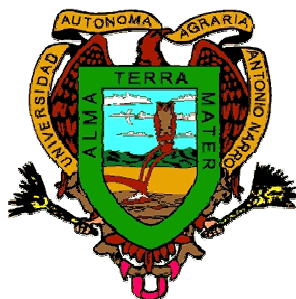


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA**

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**USO DE CILINDROS INFILTROMETROS DE DIFERENTE
DIAMETRO EN LA DETERMINACION DE INFILTRACION EN
EL CAMPO**

P O R

GUILLERMO JESUITA PEREZ MARROQUIN

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACION

Torreón, Coahuila

Diciembre de 2008

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA**

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TESIS

**USO DE CILINDROS INFILTROMETROS DE DIFERENTE DIAMETRO
EN LA DETERMINACION DE INFILTRACION EN EL CAMPO**

Elaborada bajo la supervisión del comité de asesoría y aprobada
como requisito parcial para optar el grado de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

COMITÉ ASESOR:

ASESOR PRINCIPAL:



PhD. VICENTE DE PAUL ALVAREZ R.

ASESOR:



M.C. FEDERICO VEGA SOTELO

ASESOR:



MC. J. GUADALUPE GONZALEZ QUIRINO

VOCAL:



ING. ELISEO SANCHEZ RAYGOZA

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



M.C. VICTOR MARTÍNEZ CUETO



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila

Diciembre del 2008

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA**

**USO DE CILINDROS INFILTROMETROS DE DIFERENTE DIAMETRO
EN LA DETERMINACION DE INFILTRACION EN EL CAMPO**

TESIS PRESENTADA POR:

GUILLERMO JESUITA PEREZ MARROQUIN

**QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE:**

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

COMITÉ EVALUADOR:

PRESIDENTE:



Ph.D. VICENTE DE PAUL ALVAREZ R.

VOCAL:



M.C. FEDERICO VEGA SOTELO.

VOCAL:



MC. J. GUADALUPE GONZALEZ QUIRINO

VOCAL:




ING. ELISEO RAYGOZA SANCHEZ

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



M.C. VICTOR MARTÍNEZ CUETO


Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila

Diciembre de 2008

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

Por darme la vida estar conmigo en todas partes, todo el tiempo y por esa numerosa familia tan linda que tengo.

A MIS PADRES

Por el apoyo que me brindaron en todo momento en la realización de uno de mis logros mas importantes en mi vida, MI CARRERA.

A MIS HERMANOS

A Mely, Manuel Eduardo, Saúl Pedro, David, Rubí, Blanca Flor, y Ember. Por el apoyo brindado, y ayuda para sobrevivir en 4 años y medio, sin ustedes no lo hubiera logrado.

A LA UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

Por brindarme la oportunidad de mi formación profesional dentro de sus instalaciones, abrirme las puertas y cimentar los conocimientos de esta profesión, además de todos los servicios recibidos durante mi estancia en ella, gracias ALMA TERRA MATER.

AL PERSONAL DE RIEGO Y DRENAJE

Quienes estuvieron conmigo en los cuatro años y medio de la carrera brindándome sus conocimientos y el apoyo necesario en el transcurso de ella, por eso, GRACIAS.

AI Ph.D VICENTE DE PAUL ALVAREZ REYNA

Mis más sinceros agradecimientos por darme la oportunidad de realizar la presente investigación bajo su asesoría, orientación, revisión, y sobre todo por el apoyo, paciencia y amistad que me brindo durante la presente.

AL MC. FEDERICO VEGA SOTELO

Por la amistad y tiempo brindado durante la presente investigación y durante toda la carrera en la Narro.

AL M.C. JOSE GUADALUPE GONZALEZ QUIRINO

Por compartir y brindar sus conocimientos y asesoría para poder realizar este trabajo, y su tiempo brindado.

A MIS AMIGOS

Edgar, Sergio, Gustavo, Reynaú, Paco, Cristi, Sol, Rober, Bul, Damián, Semein, Yoni, Hugo, Timo, David, Mario, Adan, Cesi, Paty, Luis Rey, Ime, Ely. A ustedes por esos momentos de diversión, apoyo y afecto, GRACIAS.

A MIS COMPAÑEROS

Fabiel, Limber, Jesús, y Domingo, por el apoyo incondicional que me brindaron en la realización de este trabajo.

A todas aquellas personas que de una u otra forma participaron en el desarrollo de este trabajo.

DEDICATORIAS

A DIOS

Por prestarme la vida y llegar con salud al término de esta etapa profesional, darme fuerza entereza, paciencia, ser mi guía y ejemplo para enfrentar los retos en el camino de la vida en el cual sin el no tendría ningún sentido.

A MIS PADRES

Sr. Elodio Pérez Díaz y Sra. Valentina Marroquín Santizo

Con todo mi amor, por darme la vida, cuidados, cariño, estar siempre conmigo cuando los necesite, por que nunca me negaron nada, por esta oportunidad y apoyo que me brindaron en esta etapa de mi vida, para ustedes no hay palabras que expresen mi agradecimiento por los esfuerzos y sacrificios que hicieron para ser posible uno de mis sueños. Adorados padres los quiero mucho y que Dios los bendiga.

A MIS HERMANOS

Saúl Pedro, Mely, Manuel, Rubí, Eladio David.

Quienes han sido de gran importancia en mi carrera profesional, por enseñarme, a sobrevivir con esos ejemplos de vida, cariño, apoyo que me brindaron siempre en los momentos difíciles, y comprensión que me tuvieron, en esta etapa, GRACIAS.

A MIS SOBRINOS

Angelita, Esmeralda, Isabel, Carlos y Jordi

Los quiero mucho por ustedes y para ustedes todo el esfuerzo y tiempo necesario.

A MIS AMIGOS y COMPAÑEROS DE LA CARRERA PROFESIONAL (2004-2008)

Límber Olán Córdova	Fabiel Vázquez Cruz
Jesús Pimentel Rubalcava	Domingo Miguel Trinidad
Julio Carballo Galicia	Hever Manjarrez San Juan
Nereida Galindo Sinecio	

Por convivir juntos en las aulas momentos alegres, de presión y tristezas.

RESUMEN

La infiltración del agua en el suelo y su movimiento en la zona no saturada del mismo es de fundamental importancia en la actividad agropecuaria ya que de ello depende el diseño de los sistemas de riego. El proceso de infiltración influye en el intercambio de agua entre el sustrato y las plantas y es afectado por las labores realizadas en el suelo. Por lo tanto, es de suma importancia su evaluación para un manejo sustentable de las tierras que procure evitar su degradación. Muchos investigadores han tratado de crear un modelo del fenómeno de infiltración, a través de formulaciones matemáticas usando algunos supuestos y simplificaciones. Por su simplicidad, las ecuaciones de infiltración más utilizadas son la de Kostiakov y Philip.

El presente estudio tuvo como finalidad evaluar diferentes diámetros de cilindros infiltrómetros, con el fin de ver la posibilidad de utilizar cilindros infiltrómetros de menor diámetro, por consiguiente de menor tamaño al que se usa actualmente. El estudio se realizó en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, en Torreón, Coahuila.

El método que se utilizó fue el de doble cilindro. En la prueba se utilizaron 4 cilindros de diferente diámetro 2, 4, 6 y 8 pulgadas, para la determinación de la infiltración siguiendo el procedimiento recomendado, los cuales fueron contruidos previamente. El diseño experimental utilizado fue bloques completamente al azar, con cuatro repeticiones. Las variables que se medidas fueron la velocidad de infiltración y la infiltración acumulada. El análisis estadístico de la velocidad de infiltración e infiltración acumulada no encontró diferencia significativa entre los cilindros utilizados por lo que el tamaño de cilindro no influyo en las determinaciones. Sin embargo, en las curvas obtenidas con la ecuación de Kostiakov; el cilindro que mas similitud presento al utilizado tradicionalmente fue el de 4" de diámetro.

Palabras clave: infiltración, Kostiakov, infiltrómetros, velocidad de infiltración, infiltración acumulada.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Paginas
AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS	iii
RESUMEN	iv
INDICE DE CONTENIDO	v
INDICE DE CUADROS	vii
INDICE DE FIGURAS	vii
INDICE DE APENDICE	viii
I. INTRODUCCION	1
1.1 OBJETIVOS	3
1.2 HIPOTESIS	3
1.2 METAS	3
II. REVISION DE LITERATURA	4
2.1 Generalidades	4
2.2 importancia de la infiltración.....	4
2.3 Definición	5
2.3.1 Fases del proceso de infiltración	5
2.3.2 Factores que afectan la infiltración.....	6
2.3.3 Condiciones de superficie.....	6
2.3.3.1 Características del terreno.....	7
2.3.3.2 Condiciones ambientales.....	8
2.3.4 Características del fluido que se infiltra.....	8
2.4 Capacidad de infiltración	9
2.4.1 Aspectos que intervienen en la capacidad de infiltración.....	9
2.4.2 Variación de la capacidad de infiltración	11
2.6 Tipos de infiltración de agua o flujo de de agua	12
2.7 Medida de la infiltración	12
2.8 Método de doble cilindro	12
2.8.1 Movimiento del agua en el suelo	14
2.8.2 Movimiento del agua en el interior del suelo	15
2.8.3 Frente de Humedecimiento	16
2.8.4 Observaciones sobre la penetración del agua en el suelo.....	16

2.8.5 Almacenamiento del agua	17
2.8.6 Determinación de las curvas de infiltración	18
2.8.6 Ecuación de Kostiakov	18
2.8.6 Curva de infiltración acumulada.....	19
2.8.6 Suelo.....	20
III. MATERIALES Y METODOS	22
3.1 Localización del experimento.....	22
3.2 Clima de la Comarca Lagunera	22
3.3 Diseño experimental.....	23
3.4 Distribución de cilindros en el terreno.....	25
3.5 Levantamiento de datos	25
3.5.1 Materiales	25
3.5.2 Procedimiento.....	25
3.6 Parámetros medidos	26
3.6.1 Tiempo	26
3.6.2 Infiltración parcial.....	26
3.6.3 Infiltración acumulada.....	27
3.6.4 Velocidad de infiltración instantánea.....	27
3.6.5 Curva de velocidad de infiltración	27
3.6.5.1 Calculo de curva de velocidad de infiltración.....	27
3.6.5.2 Determinación de coeficientes	28
3.6.6 Curva de infiltración acumulada.....	28
3.6.7 Calculo de curva de infiltración acumulada	29
3.7 Análisis estadístico.....	29
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
V. CONCLUSIONES	31
VI. SUGERENCIAS.....	31
VII. LITERATURA CITADA	32
VIII. APENDICE.....	35

INDICE DE CUADROS.

No.	Contenido	Página
1	Propiedades Físicas del suelo en lote experimental UAAAN-UL 2008.	23
2	Diámetro y número de cilindro.	24
3	Intervalos de tiempo para la toma de datos utilizados en el lote experimental. UAAAN-UL 2008.	26

INDICE DE FIGURAS.

No.	Contenido	Página
1	Infiltrómetro de cilindros concéntricos o de doble cilindro. . .	13
2	Parcela y ubicación de cilindros infiltrómetros en el lote experimental. UAAAN-UL 2008.	24
3	Curva promedio de Velocidad de Infiltración VI (Kostiakov 1932).	30
4	Curva promedio de Infiltración Acumulada IA (Kostiakov 1932).	30

INDICE DE APENDICE.

No.	Contenido	Página
8.1a	Infiltración acumulada a los 4 minutos.	36
8.2.a	Infiltración acumulada en 41 minutos.	36
8.3a	Infiltración acumulada en 151 minutos.	36
8.4a	Infiltración acumulada en 246 minutos.	37
8.5a	Infiltración acumulada en 366 minutos.	37
8.6a	Coeficientes de la ecuación obtenida para (VI) en los diferentes cilindros con la ecuación de Kostiakov.	37
8.7a	Potencias de la ecuación obtenida para (VI) en los diferentes cilindros con la ecuación de Kostiakov.	37
8.8a	Coeficientes de la ecuación obtenida para (IA) en los diferentes cilindros con la ecuación de Kostiakov.	38
8.9a	Potencias de la ecuación obtenida para (IA) en los diferentes cilindros con la ecuación de Kostiakov.	38
9.0.1	Figura 5. Cilindro de 8'' de diametro Repeticion 1.	39
9.0.2	Figura 6. Cilindro de 8'' de diametro Repeticion 2.	39
9.0.3	Figura 7. Cilindro de 8'' de diametro Repeticion 3.	40
9.0.4	Figura 8. Cilindro de 8'' de diametro Repeticion 4.	40
9.0.5	Figura 9. Cilindro de 6'' de diametro Repeticion1.	41
9.0.6	Figura 10. Cilindro de 6'' de diametro Repeticion 2.	41
9.0.7	Figura 11. Cilindro de 6'' de diametro Repeticion 3.	42
9.0.8	Figura 12. Cilindro de 6'' de diametro Repeticion 4.	42
9.0.9	Figura 13. Cilindro de 4'' de diametro Repeticion 1.	43
9.1.0	Figura 14. Cilindro de 4'' de diametro Repeticion 2	43

9.1.1	Figura 15. Cilindro de 4'' de diametro Repeticion 3	44
9.1.2	Figura 16. Cilindro de 4'' de diametro Repeticion 4	44
9.1.3	Figura 17. Cilindro de 2'' de diametro Repeticion 1	45
9.1.4	Figura 18. Cilindro de 2'' de diametro Repeticion 2.	45
9.1.5	Figura 19. Cilindro de 2'' de diametro Repeticion 3.	46
9.1.6	Figura 20. Cilindro de 2'' de diametro Repeticion 4.	46

I. INTRODUCCION

La cantidad y estado energético del agua en el suelo influye en las propiedades físicas del suelo mas que ningún otro factor, de ahí que las relaciones entre el agua y el suelo ocupen considerable extensión en todo el estudio de física de suelos (Conti, 2000).

En el ciclo hidrológico las principales entradas de agua se deben a precipitaciones, ocasionalmente riegos y a nevadas o rocíos, el suelo juega un rol fundamental en los mecanismos tanto de entrada como en los de salida del agua, siendo de particular interés en la agricultura la infiltración, la evaporación y la transpiración.

Es a través de la primera propiedad, específicamente la entrada de agua en el perfil a través de la superficie del suelo hacia el interior del mismo y es diferente de la percolación que radica en el movimiento del agua a través del perfil del suelo (Schwab, 1990).

El movimiento cíclico del agua en el suelo comienza con su entrada en el perfil a través del proceso de infiltración, continua con su almacenamiento temporal en la zona explorada por la raíz y termina por su salida del suelo mediante el drenaje, evaporación y absorción de las plantas.

La infiltración depende de muchos factores, por lo que su estimación confiable es bastante difícil y es imposible obtener una relación única entre todos los parámetros que la condicionan.

En este sentido, el proceso de infiltración de agua en el suelo ha sido intensamente estudiado debido a su importancia en el manejo del agua en la agricultura, la conservación del recurso suelo y otras actividades silvoagropecuarias

La capacidad de infiltración conocida como infiltrabilidad del suelo, es el flujo que el perfil del suelo puede absorber a través de su superficie cuando es mantenido en contacto con el agua a la presión atmosférica, (Gurovich, 1985)

Por otra parte, la velocidad de infiltración determina la cantidad de agua de escurrimiento superficial y con ello el peligro de erosión hídrica. En casi todos los métodos de riego la velocidad de entrada de agua al suelo determina los tiempos de riego y los diseños de los sistemas en cuanto al tamaño de las unidades superficiales y los caudales a utilizar.

La velocidad de infiltración en un suelo insaturado es máxima al inicio y luego decrece hasta alcanzar un valor constante mínimo, llamado infiltración básica, cuyo valor es similar a la conductividad hidráulica o saturación del horizonte menos permeable, valor que se obtendrá cuando el valor de infiltración instantánea se hace constante.

1.1 OBJETIVOS

Obtener un cilindro de menor diámetro, para determinar la infiltración del agua en el campo.

1.2 HIPÓTESIS

Las dimensiones de los cilindros infiltrómetros no afectan los valores de infiltración obtenidos en el campo.

1.3 METAS

Obtener un cilindro más manual al utilizado actualmente en la determinación de la infiltración bajo condiciones de campo, en un tiempo de dos meses.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Generalidades.

La infiltración del agua en el suelo y su movimiento en la zona no saturada del mismo es de fundamental importancia en la actividad agropecuaria. El proceso de infiltración influye en el intercambio de agua entre el sustrato y las plantas y se ve afectado por las labores realizadas en el suelo, (Narro Farías, 1994).

El análisis de la infiltración en el ciclo hidrológico es de importancia básica en la relación entre la precipitación y el escurrimiento, por lo que a continuación se introducen los conceptos que la definen, los factores que la afectan y los métodos que se usan para medirla.

2.2 Importancia de la infiltración

El conocimiento del proceso de infiltración del agua en el suelo es de importancia en el diseño de sistemas de riego y en la predicción de la vulnerabilidad a la contaminación del suelo y del agua subterránea.

La infiltración, como una componente del ciclo hidrológico, está relacionada con el escurrimiento superficial que puede producir erosión y con la recarga de los acuíferos. Por lo tanto, es de suma importancia su evaluación para un manejo sustentable de las tierras que procure evitar su degradación.

2.3 Definición.

La infiltración se define como el proceso por el cual el agua penetra por la superficie del suelo y llega hasta sus capas inferiores. Muchos factores del suelo afectan el control de la infiltración, así como también gobiernan el movimiento del agua dentro del mismo y su distribución durante y después de la infiltración, (Vélez, 2002).

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

2.3.1 Fases del proceso

En el proceso de infiltración se pueden distinguir tres fases:

- a) *Intercambio*. Se presenta en la parte superior del suelo, donde el agua puede retornar a la atmósfera por medio de la evaporación debido al movimiento capilar o por medio de la transpiración de las plantas.
- b) *Transmisión*. Ocurre cuando la acción de la gravedad supera a la de la capilaridad y obliga al agua a deslizarse verticalmente hasta encontrar una capa impermeable.
- c) *Circulación*. Se presenta cuando el agua se acumula en el subsuelo debido a la presencia de una capa impermeable y empieza a circular por la acción de la gravedad, obedeciendo las leyes del escurrimiento subterráneo.

2.3.2 Factores

El agua, para infiltrarse, debe penetrar desde la superficie del terreno y circular a través de éste. Hay dos grupos de factores que influyen en el proceso, (Aparicio, 1999):

- a) Factores que definen las características del terreno o medio permeable, (Aparicio, 1999).
- b) Factores que definen las características del fluido (agua) que se infiltra, (Custodio, 1996).

Algunos de estos factores influyen más en la intensidad de la infiltración, al retardar la entrada del agua, que en el total de volumen infiltrado, pero tal consideración se desprende, intuitivamente, de la descripción que a continuación se hace de ellos:

2.3.3 Condiciones de superficie.

La compactación natural, o debida al tránsito, dificulta la penetración del agua y por tanto, reduce la capacidad de infiltración. Una superficie desnuda está expuesta al choque directo de las gotas de lluvia, que también da lugar a la compactación, lo que también disminuye la infiltración.

Cuando un suelo está cubierto de vegetación, las plantas protegen de la compactación por impacto de lluvia, se frena el recorrido superficial del agua que está, así, más tiempo expuesta a su posible infiltración, y las raíces de las plantas abren grietas en el suelo que facilitan la penetración del agua.

La pendiente del terreno influye en el sentido de mantener más o menos tiempo una lámina de agua de cierto espesor sobre él. La especie cultivada, en cuanto define mayor o menor densidad de cobertura vegetal, y sobre todo, el tratamiento agrícola aplicado, influirán en la infiltración. En las áreas urbanizadas se reduce considerablemente la posibilidad de infiltración.

2.3.3.1 Características del terreno.

El suelo, desde el punto de vista hidrológico, es un depósito o almacén de agua cuya capacidad para retenerla y contenerla depende de sus propiedades físicas:

Textura del suelo.

Es la composición física de un suelo, se refiere al porcentaje con el que se presentan los diversos materiales constitutivos de un suelo. La textura del terreno influye por sí y por la influencia en la estabilidad de la estructura, tanto menor cuanto mayor sea la proporción de materiales finos que contenga.

Un suelo con gran cantidad de limos y arcillas está expuesto a la disgregación y arrastre de estos materiales por el agua, con el consiguiente llenado de poros más profundos. La textura de un suelo influye bastante en la infiltración del agua; en términos generales se puede decir que a mayor diámetro de las partículas del suelo, mayor infiltración, (Torres, 2001).

Estructura del suelo.

Se refiere al arreglo de las partículas del suelo con respecto a las tres dimensiones del espacio, a su forma de unión y a sus aglutinantes, lo cual permite conocer la discontinuidad del suelo en cuestión y los espacios huecos que posee, que son los conductos para el agua y el aire, necesarios para el desarrollo de las plantas.

La estructura de los suelos puede ser granular, laminar, columnar, prismática, de bloque y amorfa. La unión de los elementos de un suelo se efectúa por coloides, éstos pueden destruir su estructura ante la presencia de sales que al disolverse en el agua efectúan esa destrucción.

Porosidad

El aire que llena los poros libres del suelo, tiene que ser desalojado por el agua para ocupar su lugar y esto suaviza la intensidad de la infiltración, hasta que es desalojado totalmente.

2.3.3.2 Condiciones ambientales.

La humedad inicial del suelo juega un importante papel. Cuando el suelo está seco al comienzo de la lluvia, se crea una fuerte capilaridad al humedecerse las capas superiores y este efecto, se suma al de gravedad incrementando la intensidad de infiltración. A medida que se humedece, se hinchan por hidratación, las arcillas y coloides y cierran las fracturas y grietas disminuyendo la capacidad de infiltración.

Por otra parte, el agua que alcanza el nivel acuífero es el total de la infiltrada menos la retenida por el suelo.

2.3.4 Características del fluido que se infiltra

La turbidez del agua afecta la intensidad de la infiltración, especialmente por los materiales finos en suspensión que contiene, que penetran en el suelo y reducen por colmatación la permeabilidad.

El contenido en sales, a veces, favorece la formación de flóculos con los coloides del suelo y reduce por el mismo motivo, la intensidad de infiltración. En otras ocasiones, puede ocurrir lo contrario, al producirse defloculación.

La temperatura del agua afecta a su viscosidad y en consecuencia, a la facilidad con que discurrirá por el suelo. Debido a ello se han obtenido para el mismo terreno, intensidades de infiltración es menor en invierno que en verano.

2.4 Capacidad de infiltración

Es la cantidad máxima de agua que un suelo puede absorber por unidad de superficie horizontal y por unidad de tiempo. Se mide por la altura de agua que se infiltra, expresada en mm/hora, (Springall, 1997)

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

2.4.1 Aspectos que intervienen en la capacidad de infiltración.

Tipo de suelo.

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

Grado de humedad del suelo.

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

Presencia de sustancias coloidales.

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

Acción de la precipitación sobre el suelo.

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

Cubierta vegetal.

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

Acción del hombre y de los animales.

El suelo virgen tiene una estructura favorable para la infiltración, alto contenido de materia orgánica y mayor tamaño de los poros. Si el uso de la tierra tiene buen manejo y se aproxima a las condiciones citadas, se favorecerá el proceso de la infiltración, en caso contrario, cuando la tierra está sometida a

un uso intensivo por animales o sujeto al paso constante de vehículos, la superficie se compacta y se vuelve impermeable.

Temperatura.

Las temperaturas bajas dificultan la infiltración.

2.4.2 Variaciones de la capacidad de infiltración

Pueden ser clasificadas en dos categorías:

- A. Variaciones en áreas geográficas debidas a las condiciones físicas del suelo.
- B. Variaciones a través del tiempo en una superficie limitada:
 - Variaciones anuales debidas a la acción de los animales, deforestación, etcétera.
 - Variaciones anuales debidas a diferencias de grado de humedad del suelo, estado de desarrollo de la vegetación, temperatura, etcétera.
 - Variaciones a lo largo de la misma precipitación.

La tasa de infiltración se determina midiendo el tiempo que tarda una cantidad de agua depositada sobre la superficie de un suelo en penetrar en el interior del suelo hasta una cierta profundidad.

Esta tasa de infiltración, cambia con el tiempo a medida que los poros de la tierra se llenan con agua cuando esto sucede, decimos que está saturada.

2.4.3 Tipos de infiltración de agua o flujo de agua:

Flujo no saturado: La tasa inicial de flujo es alta, los poros de la tierra seca se llenan rápidamente de agua.

Flujo saturado: La tasa de flujo es estable y el agua penetra en la tierra, dependiendo su velocidad de penetración de la textura y estructura del suelo.

Estancamiento: La tasa de flujo es cercana a cero, la tierra está saturada de agua y no puede penetrar el agua en su interior.

2.5 Medida de la infiltración

Para medir la velocidad de infiltración, existen varios métodos, entre ellos:

- Surcos infiltrómetros
- Método de represa o poceta
- Método de doble cilindro

Independiente de la utilidad práctica de cada uno de ellos, los infiltrómetros han sido más recurrentemente utilizados, ya que requieren de menos equipos y materiales, y son más fáciles de instalar y operar.

2.5.1 Método de doble cilindro

Este instrumento fué diseñado para medir las propiedades hidráulicas del suelo en condiciones de campo. Presenta la ventaja de poder hacer mediciones rápidas, directamente de una superficie reducida del suelo con un mínimo o nulo disturbio, (Mertens, 1992).

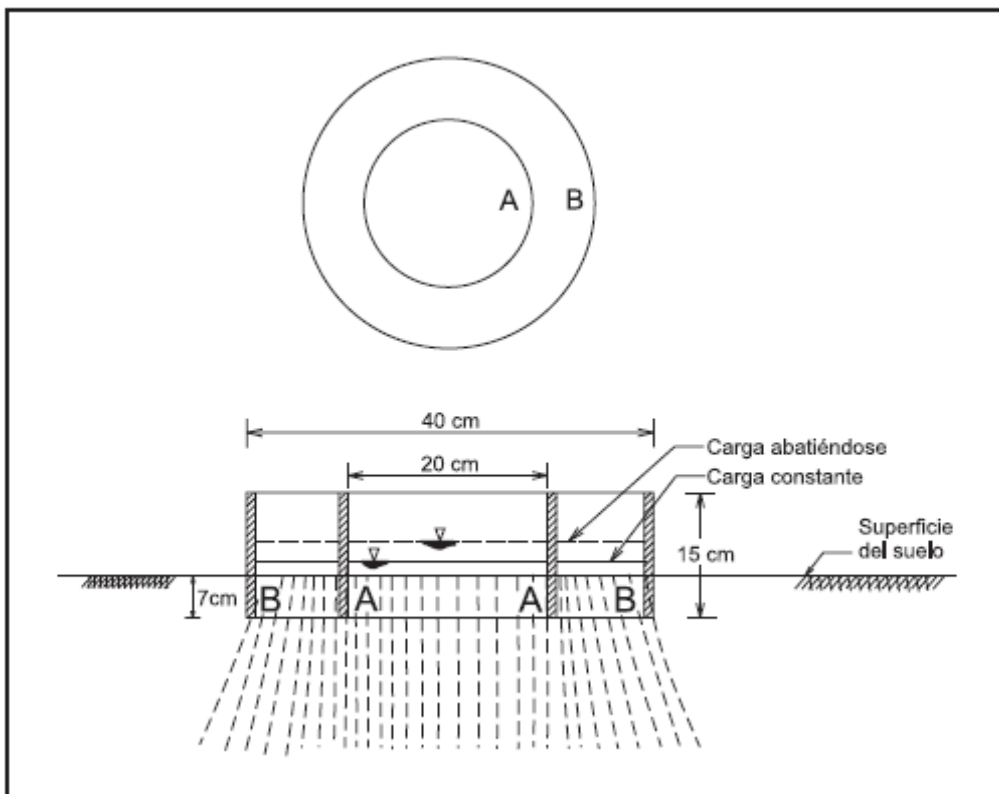
Este método se utiliza para determinar la velocidad de infiltración en suelos en los que se establecerán métodos de riego, tales como acequias en contorno, bordes, tazas, aspersion y goteo, (Gurovich, 1985).

El más común consiste en un cilindro de 30 cm de largo y fijo, aproximadamente de 20 cm de diámetro; se pone en él una determinada cantidad de agua y se observa el tiempo que tarda en infiltrarse. A este aparato se le atribuyen algunos defectos: el agua se infiltra por el círculo que constituye el fondo, pero como alrededor de él no se está infiltrando agua, las zonas del suelo a los lados del aparato participan también en la infiltración, por lo tanto, da medidas superiores a la realidad.

Error apuntado se corrige colocando otro tubo de mayor diámetro (40 cm) alrededor del primero, constituye una especie de corona protectora.

En éste también se pone agua aproximadamente al mismo nivel, aunque no se necesita tanta precisión como en el del interior; con ello se evita que el agua que interesa medir se pueda expandir. La medición es menor que la que se hubiera obtenido antes y más concordante con la capacidad real del suelo.

Figura 1. Infiltrómetro de cilindros concéntricos o de doble cilindro.



Hay otro método que no utiliza aparato alguno, sino simplemente consiste en hacer un agujero de dimensiones conocidas en el suelo. Se llena de agua hasta cierta altura y se mide la variación de esa altura a través del tiempo. Como la infiltración se produce tanto por el fondo como por las paredes, el caudal infiltrado será igual a la superficie del cilindro por el coeficiente de infiltración.

Este procedimiento es mucho menos exacto que el anterior, pues partiendo de un suelo seco, al inicio la infiltración horizontal es igual a la vertical, sin embargo, para un período determinado, la infiltración vertical domina sobre la horizontal; pero, por no requerir aparato alguno, se puede improvisar en cualquier caso.

También se puede determinar la capacidad de infiltración considerando una cuenca que esté perfectamente controlada, de la que se tengan datos muy precisos de precipitación, evaporación y escurrimiento.

Así, conociendo estos términos, se puede determinar la infiltración. Este método es el ideal, aunque es el más difícil de operar, por ello sólo es aplicable en cuencas de ensayo, para confrontar con datos medidos por otros procedimientos.

2.6 Movimiento del agua en el suelo

El movimiento del agua ocurre cuando hay diferencias de potencial entre diferentes puntos del sistema. El agua tiende a moverse de alto a bajo potencial. Ya que la componente de succión (consistente sobre todo de gradientes matricial, osmótico o termal) puede exceder el componente gravitacional, el agua puede moverse verticalmente hacia arriba y hacia abajo o permanecer sin movimiento, cuando la gradiente de succión balancea la fuerza de gravedad.

Según la naturaleza de los procesos y leyes de la fuerza, pueden reconocerse tres fases del movimiento del agua: movimiento del agua en el interior del suelo, movimiento y drenaje del agua a través de un suelo saturado, y ajuste del agua en los suelos no saturados, incluyendo varios efectos osmóticos y térmicos sobre él.

2.6.1 Movimiento del agua en el interior del suelo

El agua que penetra en el suelo proviene de irrigación, lluvias, inundación o filtración de canales de agua. Algunas veces, toda la superficie del suelo está mojada y, otras, solo parte se halla en contacto con el agua.

Si toda la superficie está mojada, el área a través de la que penetra el agua al suelo es mayor que cuando solo una porción de la superficie está mojada y el movimiento será en una sola dirección: vertical hacia abajo. Si solo parte de la superficie está mojada, el agua se moverá hacia abajo y lateralmente. Si el suelo está muy seco, el movimiento lateral puede ser, por cierto tiempo, tan grande como el movimiento hacia abajo.

Cuando el agua se infiltra en el suelo, llena el reservorio de humedad hasta rebasarlo en cada intervalo sucesivo de profundidad. Por lo tanto, la cantidad de agua entra a un suelo dado, en cierto tiempo, depende de la cantidad de agua que ese suelo puede almacenar y de la velocidad con que el exceso de agua se transmite a través del suelo húmedo, al frente de mojadura en contacto con el suelo seco de abajo.

El total de agua que entra en un suelo dado es mayor cuando el suelo está seco que cuando está mojado; sin embargo, la velocidad con que el agua avanza a través del suelo es menor cuando el suelo está seco.

2.6.2 Frente de humedecimiento

Se ha observado que el agua avanza en el suelo como un frente de humedad. Cuando la humedad llega hasta el suelo seco del frente de mojadura, la conductividad disminuye bruscamente dando la impresión de que el agua se acumula detrás del frente hasta que el suelo tiene alrededor del 80% de saturación, después de lo cual se mueve bastante rápido hasta el próximo agregado o grano.

Si el suelo dentro del que se está infiltrando el agua estaba inicialmente húmedo, el movimiento del frente de mojadura hacia abajo es más gradual que en suelo seco.

Los suelos húmedos transmiten agua mucho más rápidamente que los secos y, por lo tanto, el declive del frente de mojadura es más gradual. En general, los suelos arenosos mojados tienen propiedades más altas de transmisión de agua que las arcillas mojadas, pero propiedades más bajas de transmisión cuando ambos suelos están secos.

2.6.3 Observaciones sobre la penetración del agua en el suelo

El agua se mueve en el interior de suelos homogéneos, que están uniformemente húmedos, a más o menos la misma velocidad en todas las direcciones.

El agua que se aplica a la superficie del suelo franco arenoso entra más rápido que en los suelos finos. En este caso los poros son más grandes en los suelos franco arenosos y el movimiento del agua líquida libre está menos restringido que en suelos de textura fina con poros pequeños. Sin embargo el suelo fino con poros más pequeños tiene más espacio poroso libre a través del cual el agua puede moverse.

La resistencia al flujo del agua no aumentará tan rápidamente en el suelo fino con numerosos poros pequeños como el suelo franco arenoso con menos poros pero de mayor tamaño, cuando el contenido de humedad disminuye y las películas conductoras se tornan más delgadas. Consecuentemente, en un tiempo dado de drenaje, el frente de mojadura se extiende más en un suelo arcilloso que en uno franco arenoso.

La conductividad de la humedad del suelo es función del número y espesor de las películas conductoras; esto tiene relación, a su vez, con el potencial de humedad.

2.6.4 Almacenamiento del agua

El suelo está compuesto de partículas sólidas de formas y tamaños, entremezclados con espacios porosos que pueden llenarse con cantidades recíprocas variables de solución del suelo o aire, de acuerdo con la situación de la humedad.

Algunas veces se ha supuesto que toda el agua que entra en el suelo se almacena y, posteriormente, es aprovechable por las plantas. Este concepto ha conducido a la idea de que cuando se cubre la capacidad de almacenamiento no entra más agua en el suelo. No es raro encontrar que algunos agricultores aplican agua libre en exceso durante la época de preparación, con la creencia errónea de que se almacena para uso futuro de las plantas. De ello resulta un considerable desperdicio de agua, lixiviación de sustancias nutritivas del suelo y formación de áreas anegadas y salinas en regiones irrigadas, (Fedeaigo Colombia, 1987).

2.7 Determinación de las curvas de infiltración

Con los resultados obtenidos en una prueba de infiltración se elaboran los diagramas de la curva de velocidad de infiltración y curva de lámina infiltrada.

La curva de velocidad de infiltración está en función del tiempo, desde el inicio de la prueba y será tanto más exacta cuánto menores sean los intervalos de tiempo utilizado.

Muchos investigadores han tratado de crear un modelo de el fenómeno de infiltración, a través de formulaciones matemáticas usando algunos supuestos y simplificaciones entre los que se puede mencionar a Horton (1933-1939), Green y Ampt (1911), Kostiakov (1932), citados por Baver (1973).

Por su simplicidad, las ecuaciones de infiltración más interesantes son la de Kostiakov y Philip.

Las ecuaciones empíricas se adaptan mejor a la infiltración en campo que las ecuaciones teóricas, (Clemmens, 1983).

De las ecuaciones empíricas la menos compleja es la de Kostiakov. Philip (1957) señaló que la ecuación de Kostiakov predecía bastante bien la infiltración si los tiempos no son muy grandes.

2.7.1 Ecuación de Kostiakov (1932)

La ecuación de Kostiakov es una función que describe la velocidad de infiltración en un punto cualquiera. Se trata de un modelo exponencial de la forma:

$$V_i = K * T^{m-1}$$

Donde:

V_i = Velocidad de infiltración (cm/h ó mm/h).

T = Tiempo de oportunidad o tiempo de contacto del agua con el suelo (min).

K = Coeficiente que representa la velocidad de infiltración. (Gavande, 1972).

m = Es un parámetro que depende de los cambios de estructura del suelo, resultantes de la mojadura, (Gavande, 1972).

Esta fórmula no tiene un fundamento físico, ni es dimensionalmente homogénea, pero se ajusta muy bien al fenómeno de infiltración, dentro de los límites agronómicos, (Fernández, 1971).

2.7.2 La curva de infiltración acumulada

También es función del tiempo transcurrido. Permite estimar el tiempo requerido para que se infiltre una determinada dosis (lámina) de riego.

La Ecuación de Kostiakov (1932) para la lámina infiltrada acumulada, también es un modelo exponencial de la forma:

$$V_i = K * T^{m-1}$$

Y se obtiene integrando la función de velocidad de infiltración con respecto al tiempo (Aparicio, 1999).

$$IA = C * T^{m+1}$$

Donde:

IA = infiltración acumulada o lámina infiltrada acumulada (cm ó mm).

T = tiempo de oportunidad o tiempo de contacto del agua con el suelo (min).

C = coeficiente que representa la lámina infiltrada para $t_0 = 1$.

m = exponente que varía entre 0 y 1.

Será necesario dividir la integral resultante por 60, por cambio de unidades.

2.8 Suelo

El suelo juega un rol fundamental en los mecanismos tanto de entrada como en los de salida del agua, siendo de particular interés en la agricultura la infiltración, la evaporación y la transpiración.

Es a través de la primera propiedad, específicamente la entrada de agua en el perfil a través de la superficie del suelo hacia el interior del mismo y es diferente de la percolación que radica en el movimiento del agua a través del perfil del suelo (Schwab, 1990).

La importancia de la materia orgánica en el suelo está entre otras dada por su influencia en la formación de una estructura estable de agregados en el suelo por medio de la estrecha asociación que tiene con las arcillas, esta asociación incrementa la tasa de infiltración y la capacidad de retención de agua (Ortiz y Ortiz, 1990).

La porosidad del suelo representa el porcentaje de vacíos existentes al interior del mismo y depende de la textura, estructura, actividad biológica y del sistema de labranza utilizado.

Cuanto más grueso (arena) son los elementos de la textura mayores son los vacíos, excepto si las partículas más finas (limo) los obstruyen. No obstante lo más común es que los suelos con elementos gruesos presenten poros también gruesos y los suelos limosos y arcillosos, poros muy numerosos pero de menor tamaño por otra parte la materia orgánica contribuye a recuperar y

aumentar la porosidad mediante la agregación de las partículas minerales del suelo.

El número, tamaño y continuidad de los poros juegan un papel determinante en la dinámica del agua en las diferentes capas y sobre todo en la retención y disponibilidad de esta hacia la raíz del cultivo.

La morfología de los poros varía en función del grado de compactación de las diferentes capas a consecuencia del manejo utilizado por el productor.

Cualquier tipo de tránsito por el campo, y la utilización de prácticas culturales como el arado y el pastoreo de animales genera una presión en la superficie del suelo que se compacta, esta compactación se incrementa especialmente cuando el suelo está húmedo.

La presión incrementa la cantidad de suelo por unidad de volumen y se refleja en una porosidad reducida en espacio y tamaño. Lo anterior afecta la velocidad de infiltración, la conductividad hidráulica a saturación y la capacidad de almacenamiento de agua.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del experimento

El experimento fue conducido bajo condiciones de campo en terrenos del campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, en Torreón, Coahuila; el cual se encuentra localizado en una latitud N de 25° 33'42'' y una longitud W de 103° 22' 32'', con una altitud de 1124 msnm. El método a utilizar fue el de infiltrómetros de doble cilindro. En la prueba se utilizaron infiltrómetros de 4 diferentes diámetros (2, 4, 6, y 8 pulgadas de diámetro de los cilindros internos y 10, 12, 12 y 18 pulgadas de diámetro del los cilindros externos), para la determinación de la infiltración siguiendo el procedimiento recomendado, los cuales se construyeron previamente.

3.2 Clima de la Comarca Lagunera

El clima de la Comarca Lagunera es de tipo desértico con escasa humedad atmosférica, precipitación pluvial promedio entre 200 y 300 mm anuales en la mayor parte de la región y de 400 a 500 mm en la zona montañosa oeste, con una evaporación anual de 2600 mm y una temperatura media de 20 °C. Este ultimo aspecto. El área de la llanura y gran parte de la zona montañosa, presenta dos periodos bien definidos: el primer periodo comprende 7 meses desde Abril hasta Octubre, en los que la temperatura media mensual varía de 13.6 °C. Los meses mas fríos son Diciembre y Enero registrándose en este ultimo, el promedio de temperatura mas bajo es de 5.8 °C aproximadamente (CNA, 2002).

3.3 Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue el de bloques completamente al azar con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. La finalidad del estudio fue la comparación de cilindros infiltrómetros de diferentes diámetros, para determinar las curvas de velocidad de infiltración e infiltración acumulada. La parcela experimental consistió en la distribución de la ubicación de los cilindros de una manera al azar. En total se realizaron 16 ensayos de infiltración, cuatro repeticiones por cada cilindro.

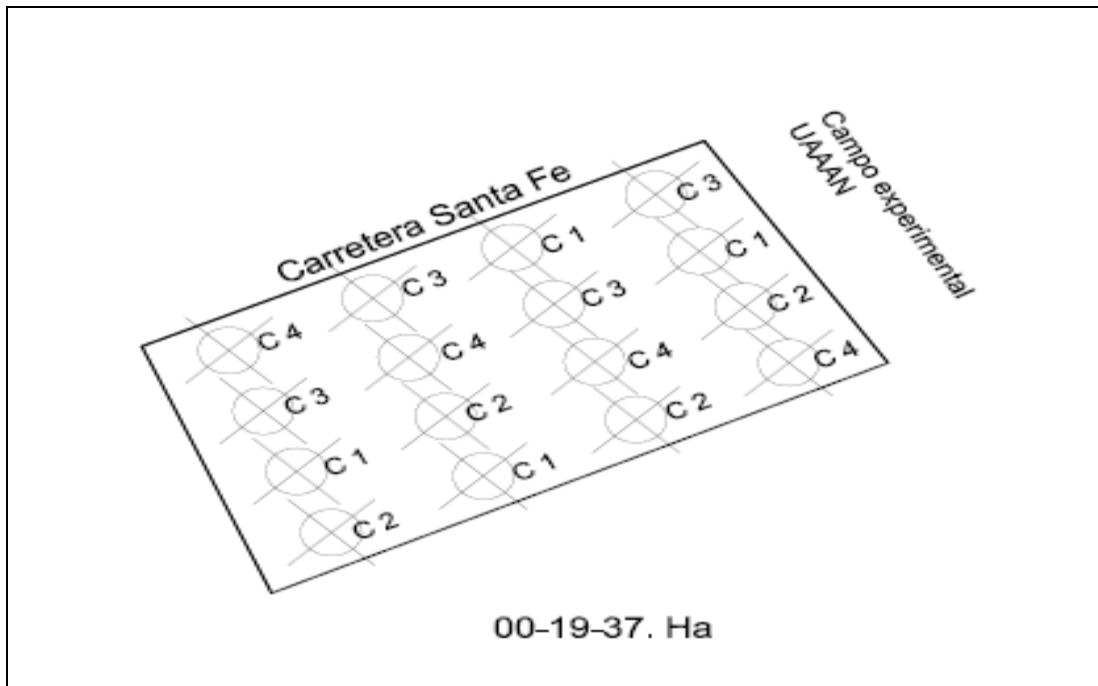
La variable a medir fue la velocidad de infiltración e infiltración acumulativa en 4 cilindros con diferentes diámetro de 8, 6, 4 y 2 dos pulgadas, estos valores obtenidos a través de la ecuación de Kostiakov.

La determinación de infiltración se realizó en una superficie de 00.19.37 hectáreas la cual se caracteriza por tener una textura franco arcilloso arenoso (**Cuadro 1**). Esta fue determinada por el método del hidrómetro de Bouyoucos, en el laboratorio de suelos de la UAAAN-UL, mediante la clasificación del USDA. Las muestras de suelo se tomaron a profundidades de 0-30 y 30-60 cm, se determinó además la densidad aparente, capacidad de campo (C.C) y punto de marchitez permanente (P.M.P).

Cuadro 1. Propiedades físicas del suelo en el lote experimental.
UAAAN-UL 2008.

Propiedades físicas del suelo	Estrato (cm)	
	0-30	30-60
Arena	38.24	28.24
Limo	38	42
Arcilla	23.76	29.76
Da (gr cm ⁻³)	1.1	1.2
C.C. (%)	25.17	24.83
P.M.P (%)	13.13	13.27

Figura 2. Parcela y ubicación de cilindros infiltrómetros en el lote experimental. UAAAN-UL 2008.



Cuadro 2. Diámetro y número de cilindro en el lote experimental. UAAAN-UL 2008.

NUM DE INFITROMETRO	DIAMETRO INTERNO	DIAMETRO EXTERNO
INFILTROMETRO 1 (C1)	8 pulgadas	18 pulgadas
INFILTROMETRO 2 (C2)	6 pulgadas	12 pulgadas
INFILTROMETRO 3 (C3)	4 pulgadas	12 pulgadas
INFILTROMETRO 4 (C4)	2 pulgadas	10 pulgadas

3.4 Distribución de los cilindros en el terreno

La distribución de los infiltrómetros de doble cilindro se hizo, al azar.

3.5 Levantamiento de datos

Los materiales que a continuación se describen se utilizaron en el levantamiento de datos en, en el lote experimental. UAAAN-UL 2008.

3.5.1 Materiales

<i>Materiales</i>	<i>Cantidad</i>
<i>Garrucha</i>	1
<i>Escalímetro</i>	1
<i>Cronometro</i>	1
<i>Bolsas de plástico</i>	4
<i>Cubetas</i>	5
Marro	1

3.5.2 Procedimiento

La instalación de los cilindros fue con el marro a través de golpes sobre los mismos ubicándolos en el suelo según la distribución descrita anteriormente, a una profundidad de aproximadamente 15 centímetros, se colocaron las bolsas de plástico dentro de cada cilindro para no perder el fluido al momento de llenarlas con el agua.

Una vez lleno el cilindro se procedía a quitar las bolsas e inmediatamente se tomaban las medidas con el escalímetro y la garrucha, según el tiempo descrito en el **cuadro 3**, las cuales eran los que señalaban el momento de la recopilación de datos con el cronometro.

La prueba consistió en medir la infiltración acumulada, en función del tiempo, del agua con la que inicialmente se llena el infiltrómetro (carga inicial). El cilindro fue incrustado verticalmente en el terreno, verificando que la carga quede repartida uniformemente y así evitar sobrepresiones sobre el terreno.

Una vez insertado el cilindro en el terreno a una profundidad de 15 cm, se lleno de agua, se efectuaron lecturas de la altura del agua, según el tiempo determinado. Obteniendo la infiltración acumulada $I A = C * T^{m+1}$ siendo C el descenso medido en el instante T. La prueba se realizó durante 6 horas.

3.6 PARÁMETROS MEDIDOS

3.6.1 Tiempo

Los intervalos de tiempo que se utilizaron en los ensayo infiltración de los diferentes cilindros se presentan en el **cuadro 3**.

Cuadro 3. Intervalos de tiempo para la toma de datos utilizados en el lote experimental. UAAAN-UL 2008.

Nº Dat	T Min	Nº Dat	T Min	Nº Dat	T Min	Nº Dat	T Min
0	Inicial	5	5	10	10	15	30
1	1	6	5	11	15	16	30
2	1	7	5	12	15	17	60
3	2	8	10	13	15	18	60
4	5	9	10	14	30	19	60

Nº Dat = numero de datos, T Min= tiempo en minutos

3.6.2 infiltración parcial

La infiltración fue medida durante cada intervalo de tiempo, se calculo a partir de la diferencia en altura de agua del cilindro entre dos mediciones. Esto se mide en centímetros.

3.6.3 Infiltración acumulada

La infiltración acumulada se obtuvo de la sumatoria, en cada lectura, de la infiltración parcial ocurrida durante cada intervalo de tiempo.

3.6.4 Velocidad de infiltración instantánea

Esta se determinó de acuerdo a los centímetros de agua infiltrados por minuto (centímetros/minuto), y se calculó dividiendo los centímetros infiltrados por el intervalo durante el cual esta infiltración se produjo.

3.6.5 Curva de velocidad de infiltración

Curva de velocidad de infiltración, esta corresponde a la expresión general que define la velocidad de infiltración del suelo medida por el cilindro.

3.6.5.1 Cálculo de curva de velocidad de infiltración

La ecuación que se utilizó para calcular la velocidad de infiltración del suelo fue el método de Kostiakov (1932).

$$V_i = K * T^m - 1 \quad (1)$$

Donde:

V_i velocidad de infiltración instantánea (centímetros/hora)

T= tiempo

K = constante que representa la velocidad de infiltración para

m = pendiente de curva de velocidad de infiltración.

En la ecuación anterior se calcula la velocidad de infiltración (**VI**) que ocurre durante el momento **T**. Los coeficientes **K** y **m** se determinaron empíricamente, con las mediciones de infiltración hechas con los cilindros (Aparicio, 1999).

Esta curva representa la decreciente velocidad de infiltración que ocurre en el suelo cuando este comienza a ser regado.

3.6.5.2 Determinación de coeficientes

Para el cálculo de los coeficientes **K** y **m** de la expresión (1), el primer paso fue transformar la ecuación en una de tipo logarítmico, quedando:

$$\log V_i = \log K + m * \log T \quad (2)$$

La expresión (2), equivale a la ecuación de una recta de primer grado:

$$Y = a + m * X \quad (3)$$

En la expresión anterior, **m** es la pendiente de la curva y **a** ($\log K$) la interceptación con el eje de las **Y** (cuando $X = 0$).

Al transformarse la expresión (1), que es exponencial, en una del tipo (3), que es lineal, se facilita el cálculo de los coeficientes. Y con regresión lineal se obtiene **K** y **m**.

3.6.6 Curva de infiltración acumulada

Esta curva representa, en forma general, al proceso de acumulación de agua en el suelo a través del tiempo, expresándose en centímetros de agua acumulada.

3.6.7 Cálculo de curva de infiltración acumulada

La infiltración acumulada se calculo Integrando la expresión (1), que describe la velocidad de infiltración, se pudo calcular cuanto ha sido el agua infiltrada para un momento determinado, quedando:

$$IA = \int Vi = \frac{K * T^{m+1}}{60 * (m+1)}$$

Con fines de cálculo se obtiene a **C** de la siguiente forma:

$$C = \frac{K}{60 * (m+1)}$$

Reemplazando tenemos que:

$$IA = C * T^{m+1}$$

Donde:

IA = Infiltración acumulada

C = Constante que representa la infiltración acumulada.

T = Tiempo.

m = Pendiente de curva de velocidad de infiltración.

3.6 Análisis estadístico

En el análisis estadístico realizado de los datos obtenidos no se encontró diferencia significativa en la infiltración acumulada y velocidad de infiltración del agua en el suelo de la parcela experimental al utilizar cilindros infiltrómetros de diferente diámetro.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

No se encontró ninguna diferencia significativa entre cilindros de menor diámetro. Mas sin embargo, el cilindro que más tendencia tiene a obtener resultados similares es el de 4" de diámetro interno y 12" de diámetro externo, según muestra en las figuras 3 y 4.

Figura 3. Curva promedio de Velocidad de Infiltración VI (Kostiakov 1932).

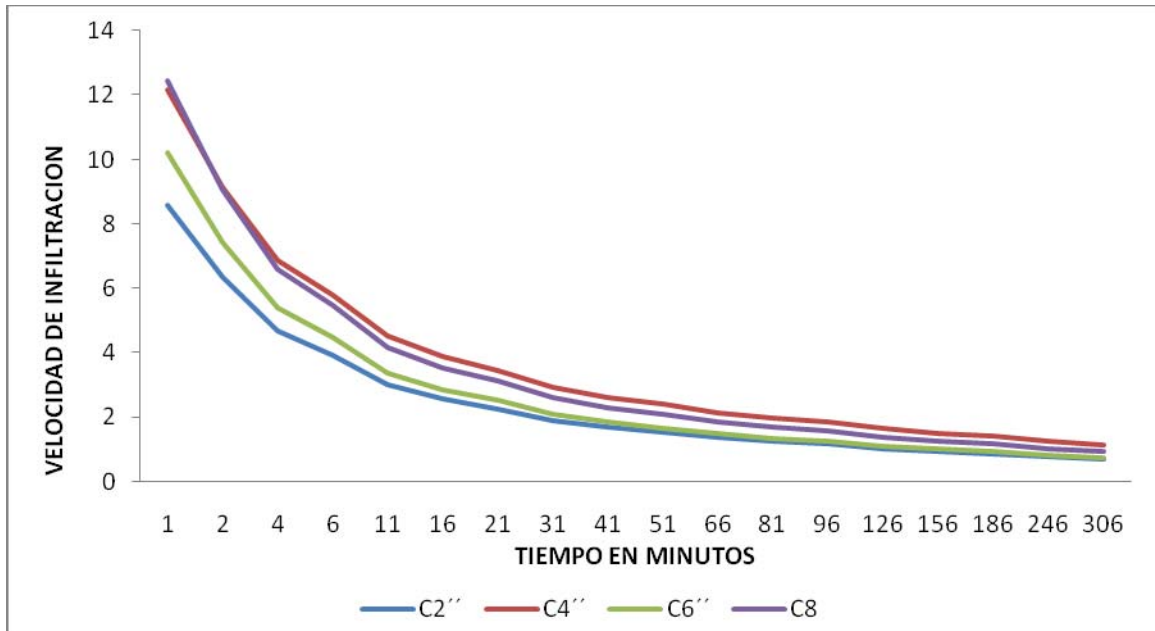
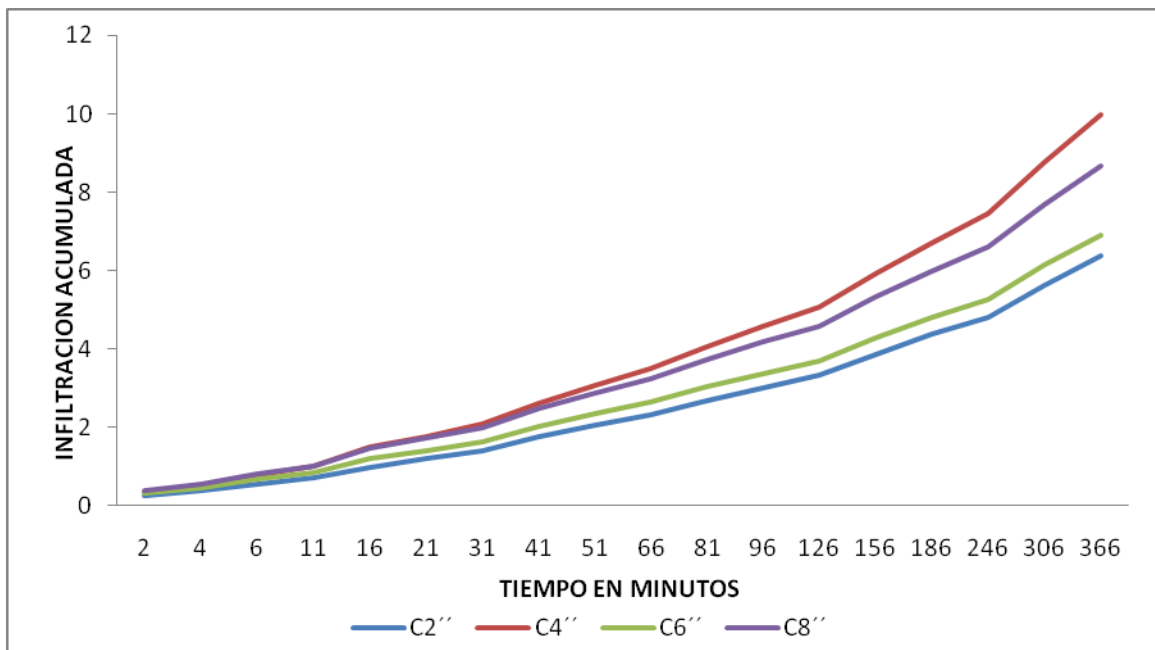


Figura 4. Curva promedio de Infiltración Acumulada IA (Kostiakov 1932)



V. CONCLUSIONES

No existe diferencia significativa entre cada cilindro infiltrómetro.

Se encontró que el cilindro que el cilindro de 4" muestra resultados similares al infiltrómetro que se utiliza comúnmente.

VI. SUGERENCIAS

Se propone usar un cilindro de 4" de diámetro. Siendo este mas factible de usar por su operatividad y manualidad.

VII LITERATURA CITADA

- Anónimo, 2001. Principios de Hidrogeografía. Estudio del ciclo hidrológico. Infiltración y humedad del suelo, Capitulo IV. México. pp 58-60.
- Aparicio Mijares F. J. 1999. Fundamentos de Hidrología de Superficie. Ed. Limusa. México. pp. 303.
- Baver L. D, Gardner W. N, Gardner WR. 1 973. Ed. UTEHA. pp. 299–434.
- Bogler T. P. and A. G. Matches. 1990. Water use efficiency and yield of sainfoin and catarina. udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lec/fernandez_r_r/apendiceA.pdf – (Consultada el 13 de Noviembre de 2008).
- Chávez R, E. 2004. El flujo permanente y la evolución del diseño de riego en huertos del nogal pecanero (*carya illinoensis*, koch) bajo sistemas de manejo diferente. Tesis. México.
- Clemmens, A.J. (1983). Infiltration equations for border irrigation. Proc., Nat. Conf. on Adv. in Infiltration, Am. Soc. of Agric. Engrs., St. Joseph, Michigan, pp. 266.
- Clothier, B. E y I. Withe. 1981. Measurement of sorptivity and soil difusivity in the field. Soil.sci. soc. am. J., pp 117,311-314.
- Contl Marta, 2000. Principios de Edafología con énfasis en suelos Argentinos, Editorial Facultad de Agronomía.
- Custodio, E. y Llamas, M. R. 1996. Hidrología Subterránea. Ed. Omega. Barcelona., pp. 2350.
- Dane J. H., Topp G. C. (Eds). 2002. Methods of Soil Analysis Part 4 – Physical Methods. Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Fedealgo (Federación de algodoneros de Colombia). “Bases Técnicas para el cultivo del algodonero en Colombia” – Bogotá, Colombia, 1987.

- Fernández P.C, Luque J.A, Paoloni J.D. 1971. Análisis de la Infiltración y su aplicación para diseño de riego en el valle inferior del Río Colorado. Publicación N° 130 INTA., pp 29.
- Fitzpatrick K, E, A 1996 introducción a las ciencias del suelo, 1era edición. Mexico. , pp 52.
- Gavande S.A. 1 972. Física de Suelos. Principios y Aplicaciones. Ed. Limusa Wiley., pp 199–232
- Grimes D. W., P. L. Wiley, and W. R. Sheesley. 1992. Alfalfa yield and plant water relations with variable irrigation. Crop Science, cap 32, pp 1381-1387.
- Gurovich L. 1985. Fundamentos y diseño de sistema de riego. Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura (CIIA). Primera Edición, San José, Costa Rica. Capítulo 6. pp. 143-168.
- Hanson B. R., L. Schwankl, S. Grattan, and T. Prichard. 1997. Drip irrigation for row crops. Division of Agriculture and Natural Resources. University of California, Davis.. Hartz, T.K. 1996. Water management in drip irrigated vegetable. Publication 3376., pp 238
- Instituto Tecnológico de Sonora. 1985. Manual de apuntes de Hidrología Superficial. Cd. Obregón, Sonora., pp 132 .
- Kirkham, M.B. (2005) Principles of Soil and Plant Water Relations.Elsevier Academic Press: Burlington, MA. pp. 145-172.
- Mertens, J., D. Jacques, J. Vanderborght, J. Feyen. 2002. Characterization of field-saturates hydraulic conductivity on a hillslope : in situ single ring pressure infiltrometer measurements. Journal of Hydrology, pp 217-229.
- Metodología curva-seno propuesta por Allen (1976) Redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/302/30237201.pdf (Consultada el 13 de Noviembre de 2008).

- Narro F., E. 1994. Física de suelos, con enfoque agrícola. Editorial Trillas. México., pp. 194.
- Olivares S. E. Paquete de estadístico (1994).
- Ortiz, V.B. Y C.A. Ortiz. 1990. Edafología. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Suelos. Séptima edición. Chapingo, México.
- Philip, J.R. (1957). Theory of infiltration. Soil Sci., 84(3):257-264.
- Production. Hort Technology. Cap. 6, pp. 165-167.
- Ruiz M, F. A. 2006. Infiltración en el suelo .tesis. México
- Heras, R. "Manual de Hidrología". Centro de Estudios Hidrográficos. Madrid.1970.
- Springall, R.: "Hidrología". Universidad Autónoma de México. 1976.
- Schwab G, FREVERT T. EDMISTER y BARNES K. 1990 Ingeniería De Conservación De Suelos Y Agua. Noriega Editores. México, pp. 570.
- Sobieraj, J.A. 2003. Spatial Patterns of Saturated Hydraulic Conductivity and its Controlling Factors for Forested Soils. Ph.D. Theses. University of Cincinnati, pp. 237.
- Soil Moisture Equipment Corp. 1991. 2800KI Guelph Permeameter, operating instructions. Soil Moisture Equipment Corp, pp. 28.
- Torres R. E. (2001). Agro-meteorología. Editorial trillas México, pp. 84.
- Vélez, M., Vélez, J. 2002. Capítulo 8: Infiltración. Universidad Nacional de Colombia, Unidad de Hidráulica.
- www.scielo.org.co/pdf/rce/v29n1/v29n1a04.pdf (Consultada el 13 de noviembre de 2008).

VIII APENDICE

8.1a Infiltración acumulada en los diferentes cilindros a 366 minutos.

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTOS	1	4260,10938	4260,10938	53,0889	0,004
ERROR	3	240,734375	80,244789		
TOTAL	7	10191,5			

C.V. = 25.88%

8.2a Infiltración acumulada en los diferentes cilindros a 246 minutos

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTO	3	17.796.875	5.932.292	0.5930	0.634
ERROR	12	120.037.354	10.003.113		
TOTAL	15	137.834.229			

C.V. 24.46 %

8.3a Infiltración acumulada en los diferentes cilindros a 151 minutos.

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTO	3	9.144.775	3.048.259	0.6495	0.601
ERROR	12	56.315.063	4.692.922		
TOTAL	15	65.459.839			

C.V. 23.17 %

8.4a Infiltración acumulada en los diferentes cilindros a 41 minutos

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTO	3	2.086.853	0.695618	13.746	0.297
ERROR	12	6.072.525	0.506044		
TOTAL	15	8.159.378			

C.V. 18.51 %

8.5a Infiltración acumulada en los diferentes cilindros a 4 minutos

FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTO	3	0.294996	0.98332	0.2245	0.878
ERROR	12	5.255.001	0.437917		
TOTAL	15	5.549.997			

C.V. 58 %

8.6a Análisis de los Coeficiente de la ecuación obtenida para Velocidad de Infiltración (VI) en los diferentes cilindros con la ecuación de Kostiakov.

ANALISIS DE VARIANZA		(COEFICIENTE VI)			
FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTO	3	14.779.541	492.514	0.3213	0.811
ERROR	12	184.024.170	15.335.347		
TOTAL	15	198.803.711			

C.V 24.72 %

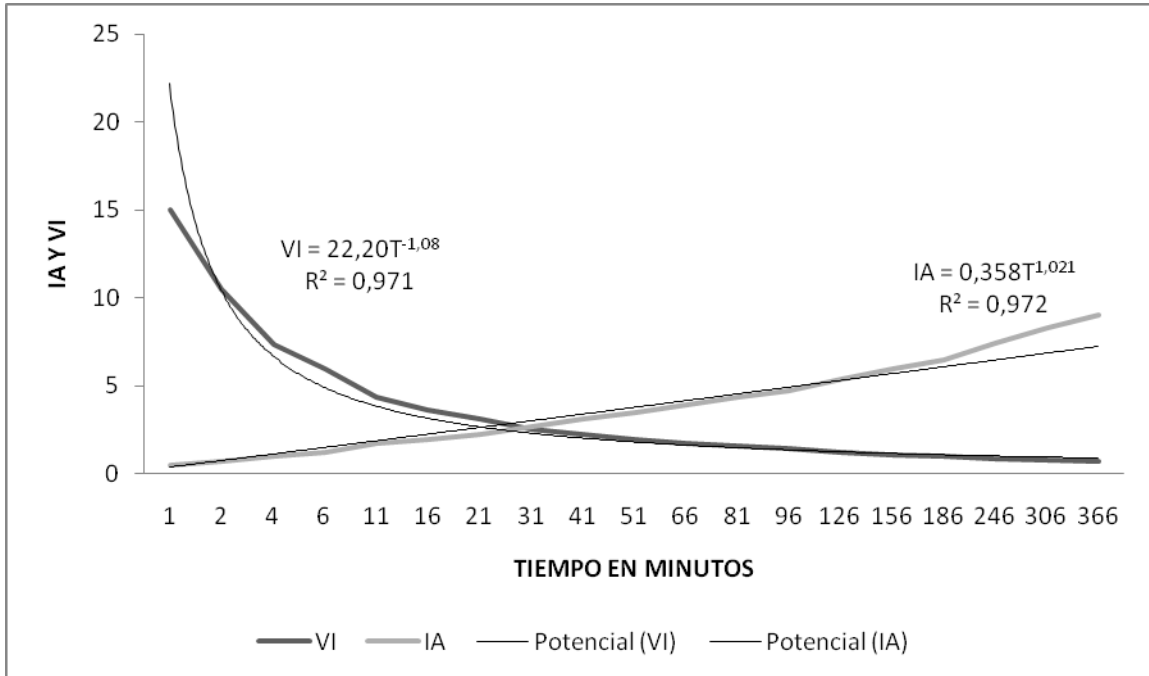
8.7a Análisis de las potencias de la ecuación obtenida para Velocidad de Infiltración (VI) en los diferentes cilindros con la ecuación de Kostiakov.

ANALISIS DE VARIANZA		POTENCIA VI			
FV	GL	SC	CM	F	P>F
TRATAMIENTO	3	0.006449	0.002150	0.0952	0.961
ERROR	12	0.271050	0.022588		
TOTAL	15	0.27499			

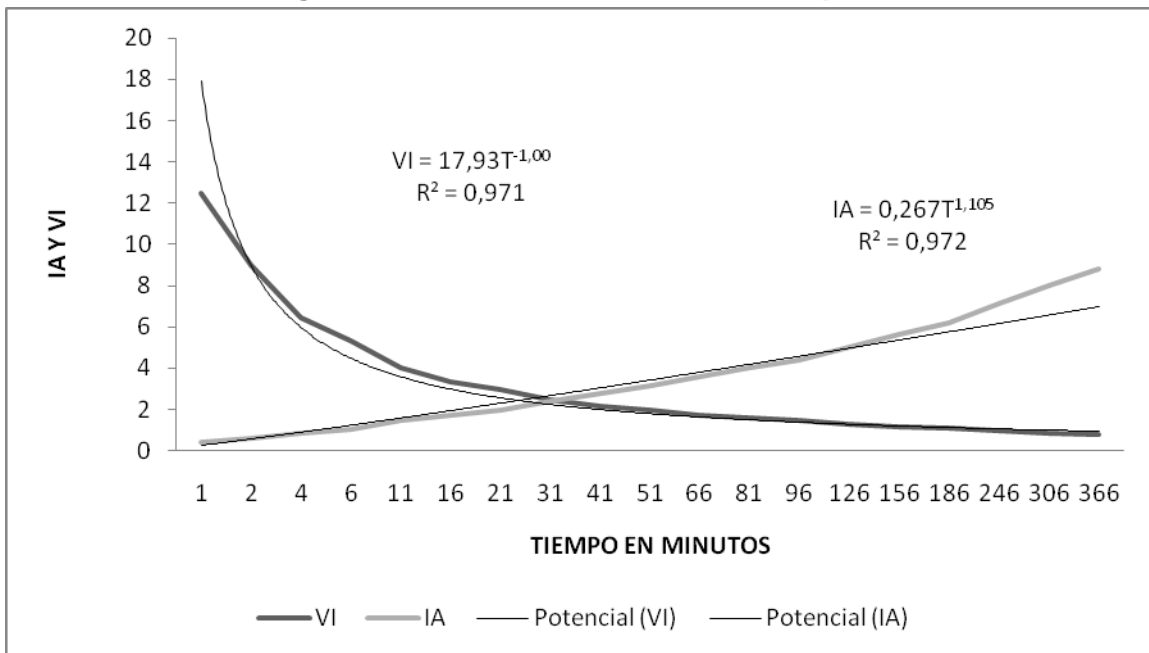
C.V 0.961 %

9.0a curvas de infiltracion acumulada y velocidad de infiltracion obtenidas con la ecuacion de kostiakov

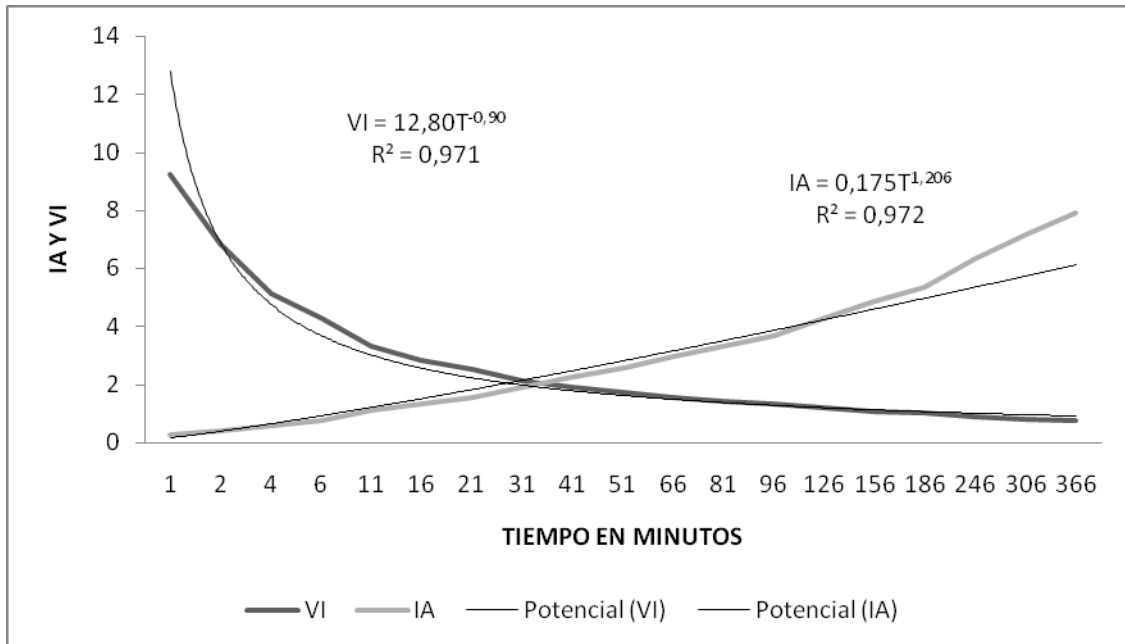
9.0.1a Figura 5. Cilindro de 8'' de diametro. Repeticion 1



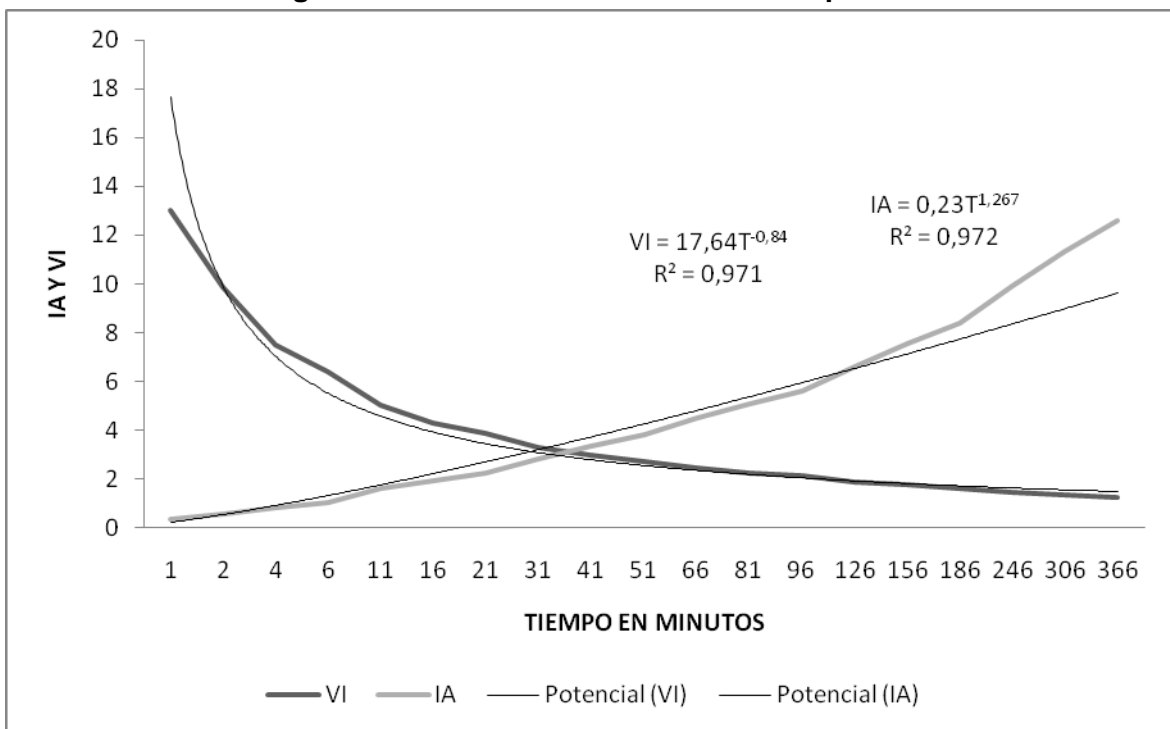
9.0.2a Figura 6. Cilindro de 8'' de diametro. Repeticion 2



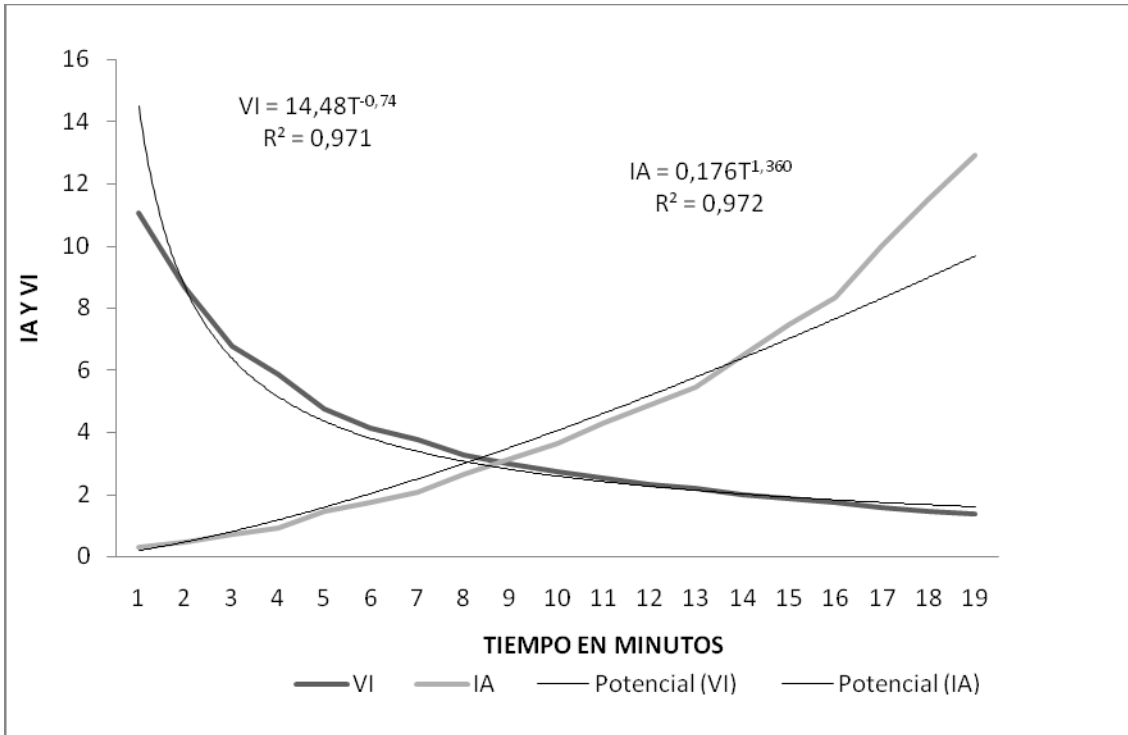
9.0.3a Figura 7. Cilindro de 8'' de diametro. Repeticion 3



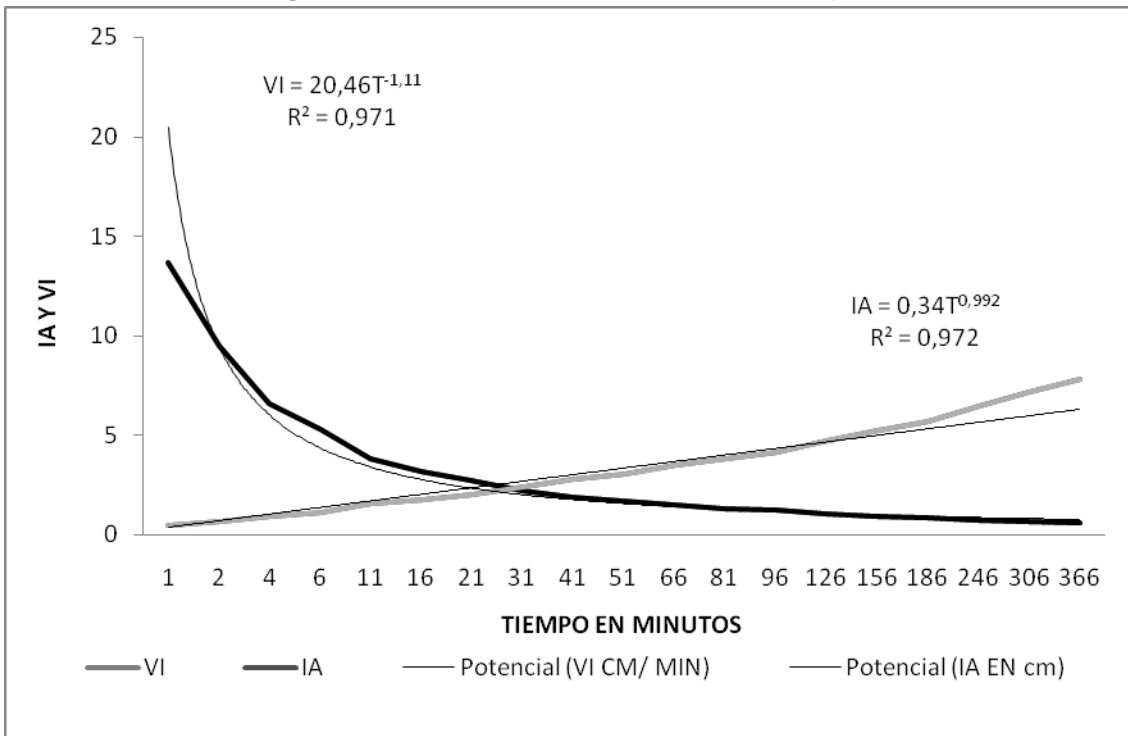
9.0.4a Figura 8. Cilindro de 8'' de diametro. Repeticion 4



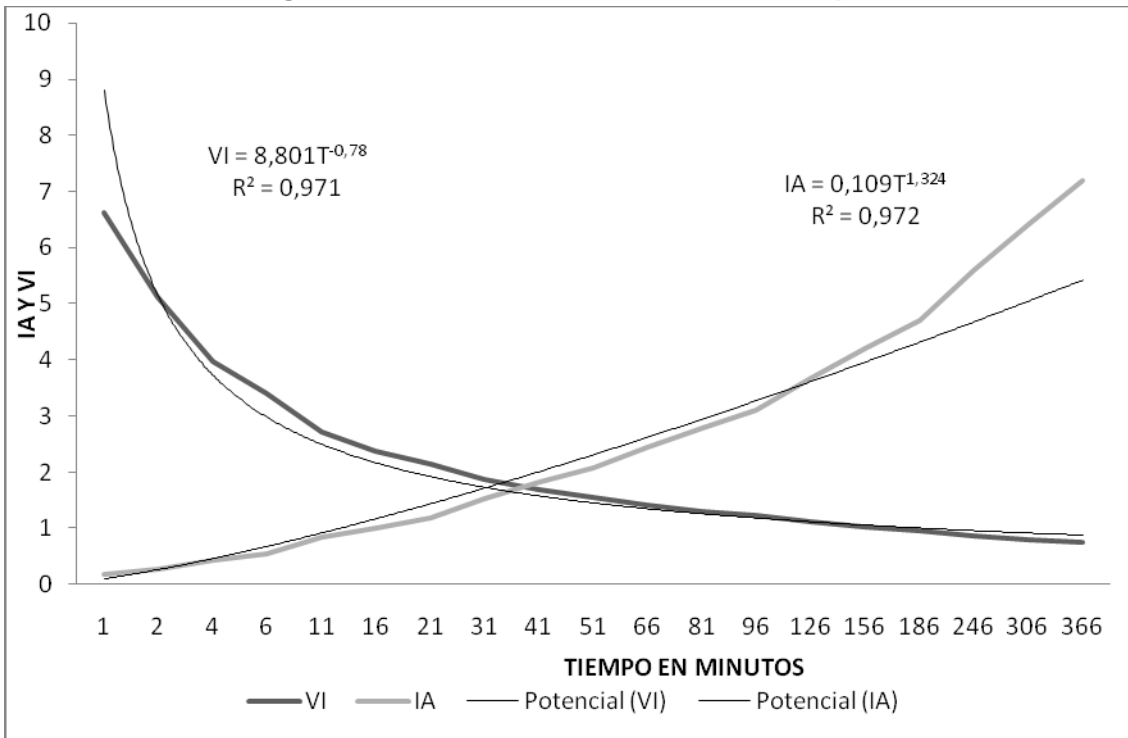
9.0.5a Figura 9. Cilindro de 6'' de diametro. Repetición 1



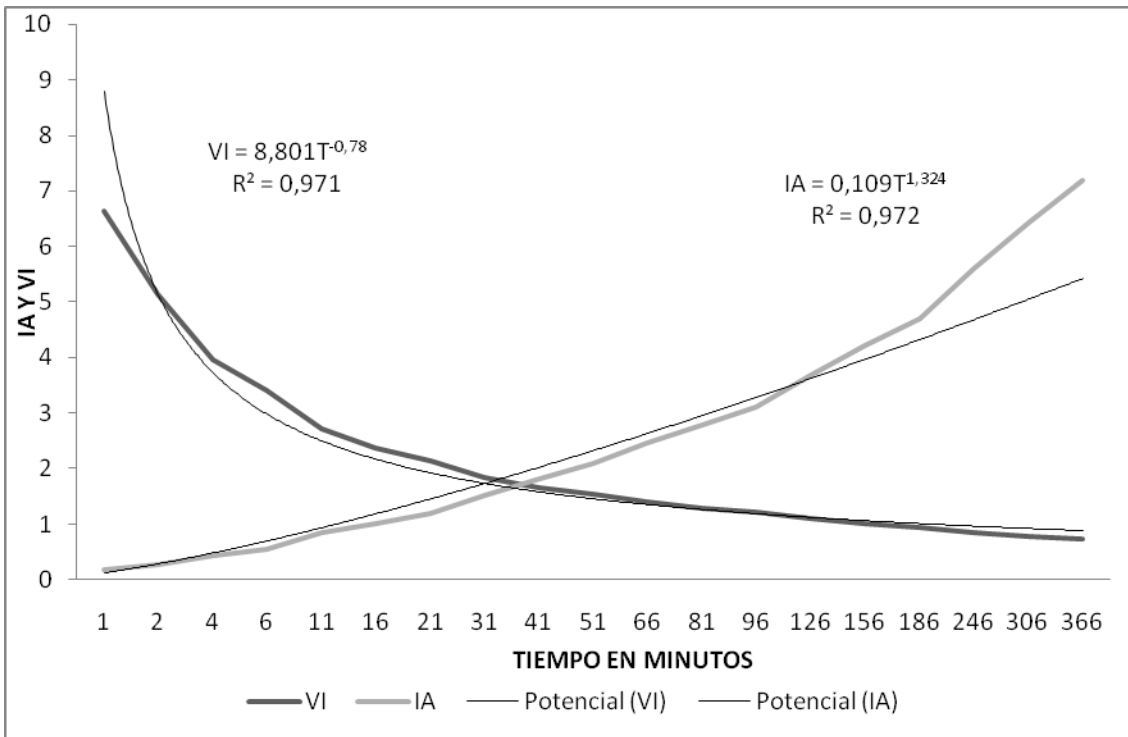
9.0.6a Figura 10. Cilindro de 6'' de diametro. Repetición 2



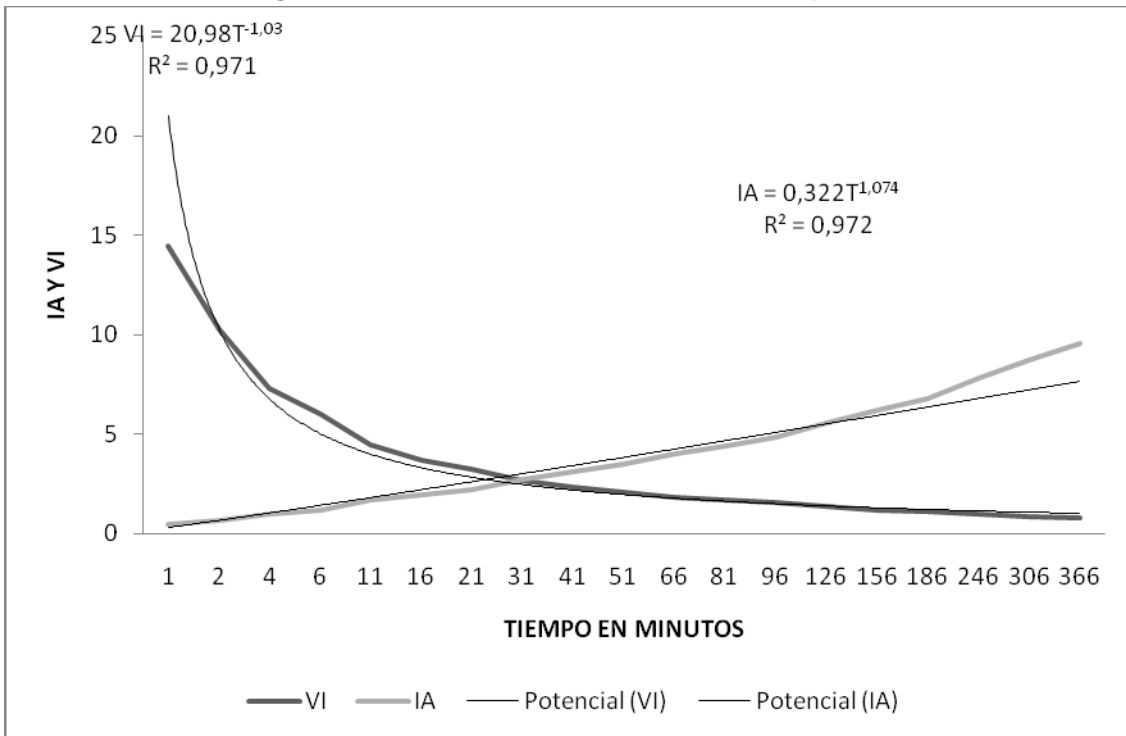
9.0.7a Figura 11. Cilindro de 6'' de diametro. Repeticion 3



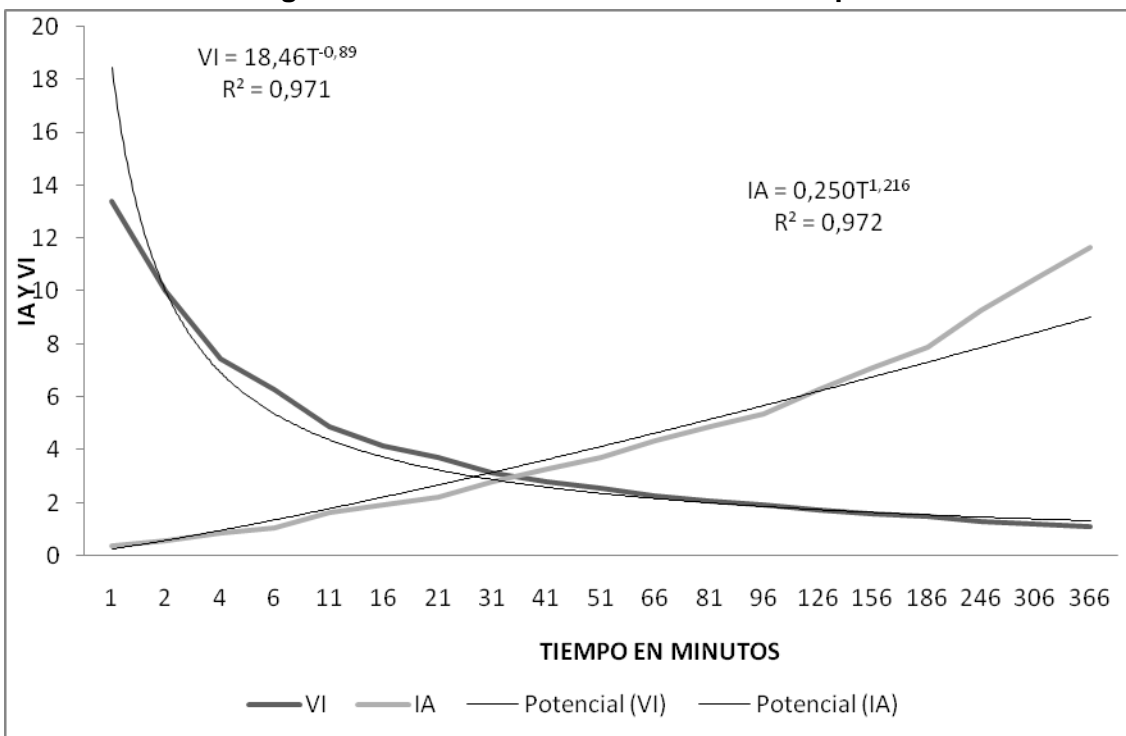
9.0.8a Figura 12. Cilindro de 6'' de diametro. Repeticion 4



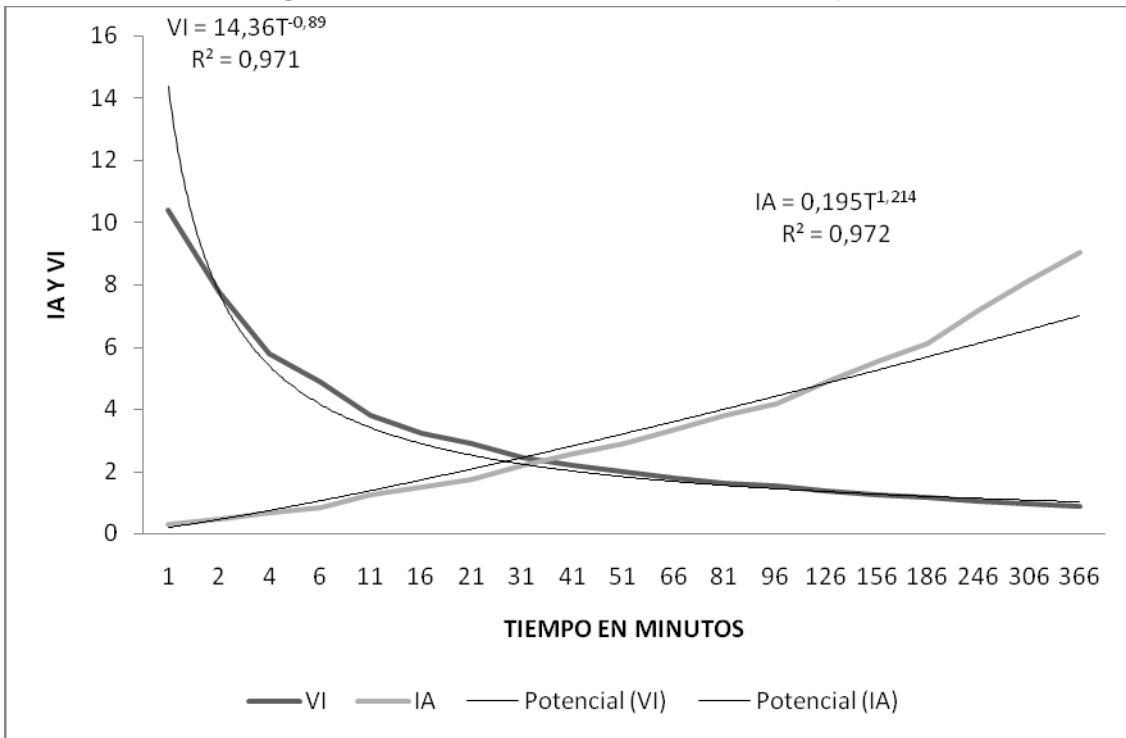
9.0.9a Figura 13. Cilindro de 4'' de diametro.Repeticiones 1



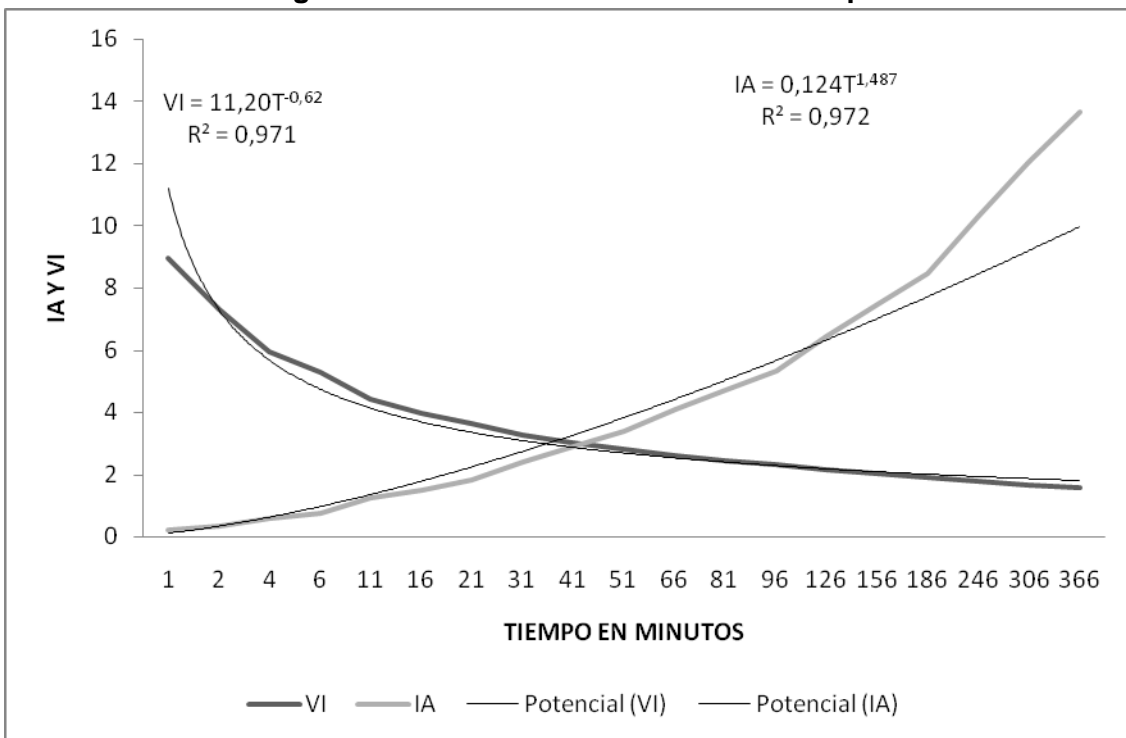
9.1.0a Figura 14. Cilindro de 4'' de diametro. Repeticion 2



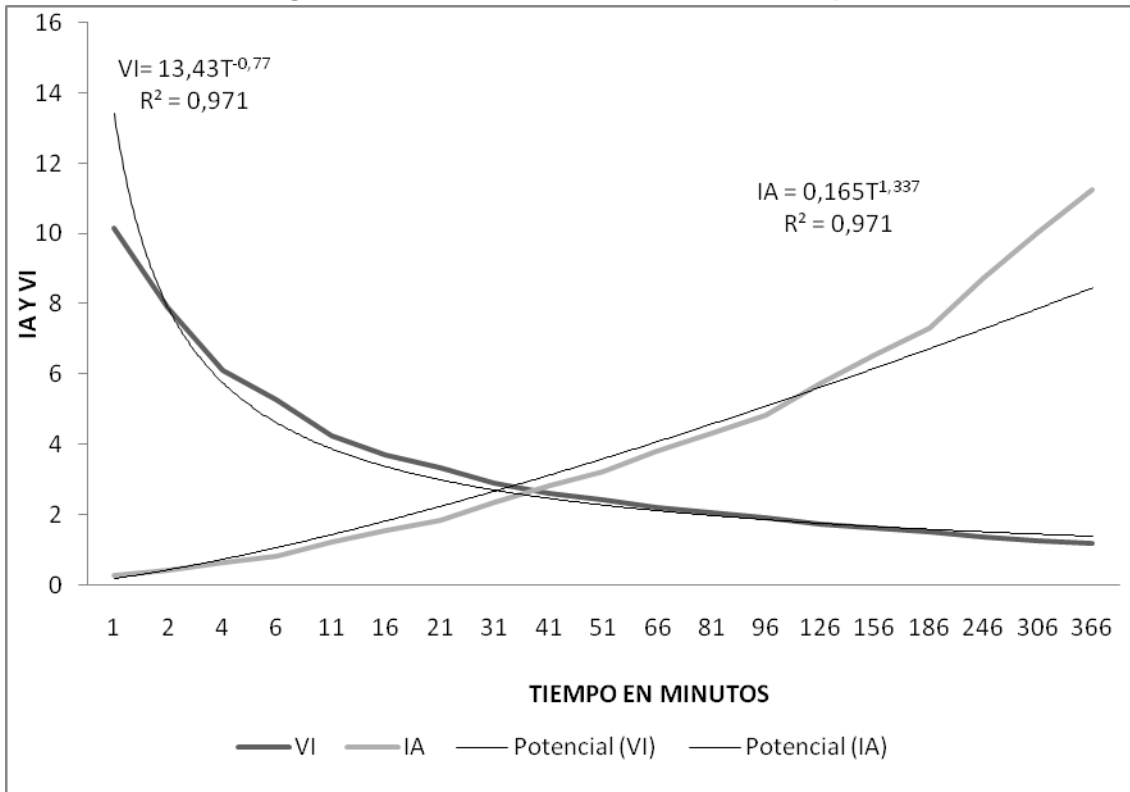
9.1.1a Figura 15. Cilindro de 4'' de diametro. Repeticion 3



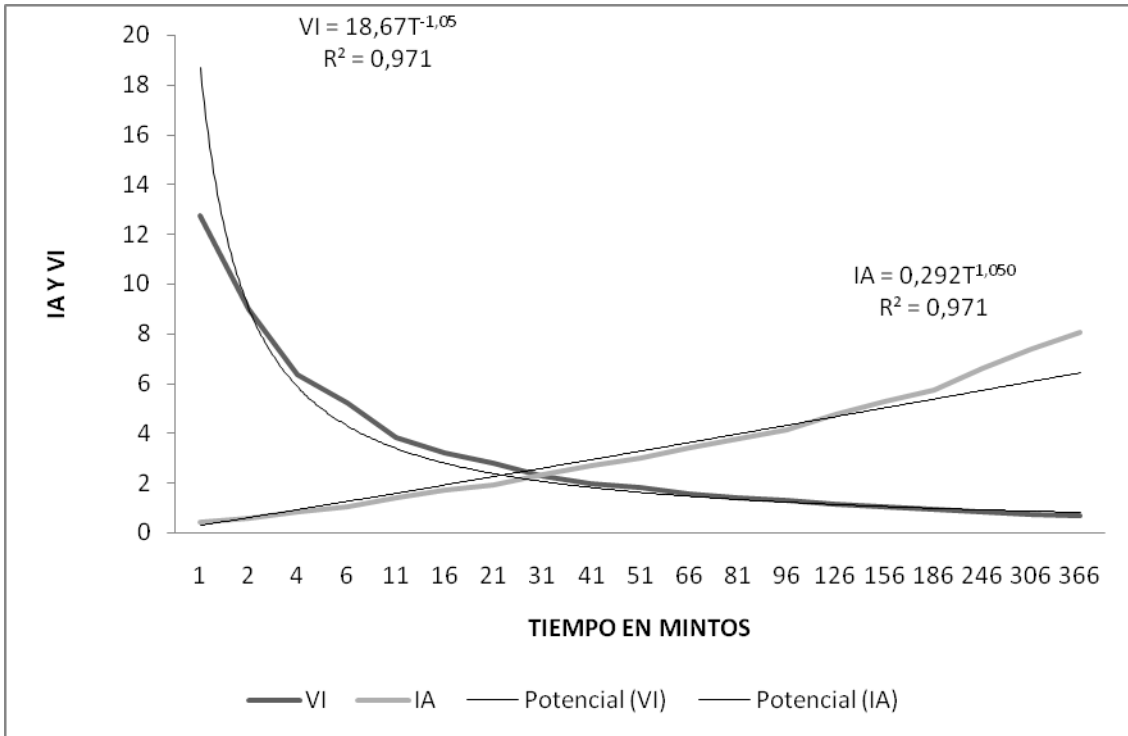
9.1.1.2a Figura 16. Cilindro de 4'' de diametro. Repeticion 4



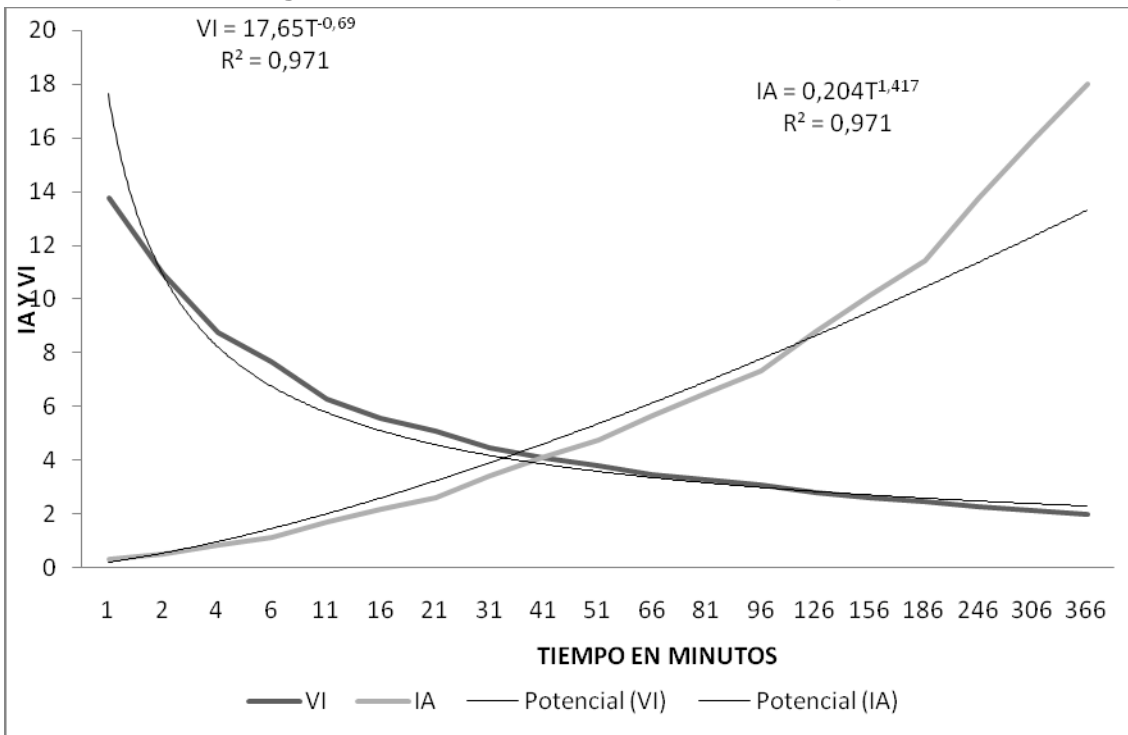
9.1.3a Figura 17. Cilindro de 2'' de diametro. Repeticion 1



9.1.4a Figura 18. Cilindro de 2'' de diametro. Repeticion 2



9.1.5a Figura 19. Cilindro de 2'' de diametro. Repeticion 3



9.1.6a Figura 20. Cilindro de 2'' de diametro. Repeticion 4

