

FLUJO INTERMITENTE EN SURCOS

HECTOR RODRIGUEZ RODRIGUEZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
EN RIEGO Y DRENAJE



Universidad Autónoma Agraria

Antonio Narro

PROGRAMA DE GRADUADOS

Buenavista, Saltillo, Coah.

MARZO DE 1993


Tesis elaborada bajo la supervisión del comité particular
de asesoría y aprobada como requisito parcial, para optar
al grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

EN RIEGO Y DRENAJE

COMITE PARTICULAR

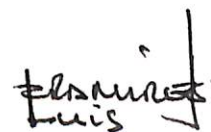
Asesor principal:



M.C. Gregorio Briones Sánchez

Asesor:

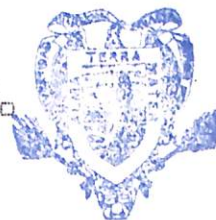

M.C. Salvador Muñoz Castro

Asesor:


M.C. Luis Edmundo Ramírez Ramos


Dr. José Manuel Fernández Brondo
Subdirector de Postgrado

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"



BIBLIOTECA

Buenavista, Saltillo, Coahuila. Marzo de 1993

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. M. C. Gregorio Briones Sánchez, por su ayuda y asesoramiento, para la elaboración de este trabajo de investigación.

Al M.C. Salvador Muñoz Castro, por su intervención en el asesoramiento y revisión de esta tesis.

Al Ing. M C. Luis Edmundo Ramírez Ramos, por su apoyo en el asesoramiento y revisión de esta tesis.

Al Departamento de Riego y Drenaje de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

A la Facultad de Agronomía dependiente de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, por su apoyo en la realización de los estudios de posgrado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por su apoyo económico en la realización de los estudios de posgrado.

COMPENDIO

Flujo Intermitente en Surcos

FOR

HECTOR RODRIGUEZ RODRIGUEZ

MAESTRIA EN CIENCIAS

RIEGO Y DRENAJE

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
BUENAVISTA, SALTILLO , COAHUILA. MARZO 1993

M.C. Gregorio Briones Sánchez - Asesor-

Palabras clave: flujo intermitente, tiempo de avance

En 1990 se realizaron varias pruebas de flujo intermitente en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), situada en Buenavista Saltillo Coahuila y en el Ejido el Esfuerzo, del Mpio. de Viesca Coahuila; donde el agua de riego y la energía para el bombeo son limitantes, consistiendo este estudio en comparar el flujo intermitente con el continuo para así visualizar las posibles ventajas del flujo intermitente.

En la UAAAN predominan los suelos de textura franco arcillosos, teniendo un rango de pendiente topográfica que varía en porcentaje de 0.04 a 0.08, la longitud de los surcos de prueba fueron de 160 m con una separación de 0.8 m. Los suelos del Ejido el Esfuerzo son de textura arcillosa, con una pendiente topográfica que varía en porcentaje de 0.05 - 0.08, la longitud de los surcos fueron de 100 m.

El avance de agua aplicado por pulsaciones con duración uniforme de 10 y 15 minutos de apertura y 10 y 15 minutos de cierre respectivamente; comparandolo con el avance superficial del flujo continuo en surcos, el gasto probado fue de 130 litros por minuto en la UAAAN, de 49 y 86 litros por minuto en el Ejido el Esfuerzo. En cada una de las pruebas de avance (intermitente y continuo) se midieron algunas características como, el tirante hidráulico, ancho de espejo, tiempo de avance por estación y máximo avance por intermitencia. Con estas características se procedió a calcular el coeficiente y exponente (K y a) de la ecuación de Kostiacov, así como la lámina promedio infiltrada a lo largo del surco por cada una de las pruebas.

El flujo intermitente en general logró mayor avance del agua en los surcos, especialmente en aquellos suelos recién labrados; sobresaliendo la prueba de 86 litros por minuto, con duración de 15 minutos de apertura y 15 de

cierre, en donde el ahorro de agua fue un 25 por ciento en comparación del flujo continuo convencional, la compactación del surco sufrida durante la estación redujo tal porcentaje a nueve limitando el potencial del flujo intermitente en uno de los sitios.

En cuanto a los resultados del balance volumétrico de las pruebas de avance los coeficientes de determinación indican un buen ajuste del método, variando estos de 0.95 a 0.99, encontrándose una relación entre los ahorros de tiempo en la velocidad de avance y las láminas promedios estimadas, para un gasto determinado.

ABSTRACT

Surge Flow in Furrows

BY

HECTOR RODRIGUEZ RODRIGUEZ

MASTER OF SCIENCE

IRRIGATION AND DRAINAJE

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MEXICO. MARCH 1993

M.C. Gregorio Briones Sánchez - Adviser -

key words: Surge flow, advance time

In 1990, were made some samples of surge flow at the Autonomus Agrarian University Antonio Narro (UAAAN), situated in Buenavista, Saltillo. Coahuila. Where the water for irrigation and energy for pumping are limiteded, this study it's to comparate the surge flow with the continuous, to visualize the possibles advantage from the surge flow.

At the UAAAN predominates, soils with a clear clayish texture, having a topography range of upgrade that varied with a percentage of 0.04 to 0.08, the length of the furrow was 160 m., with a separation of 0.8 m. The soils from the common land El Esfuerzo it's with a clasyish texture, with a topography range of upgrade that varied with a percentage of 0.05 - 0.08, the length of the furrows was 100 m.

The water advance applicated by pulsation with an opening uniform duration of 10 and 15 minutes and with 10 and 15 minutes of closure; comparating this with the superficial advance of the continuous flow at the furrows, the proved inflow was 130 liters per minute at the UAAAN; 49 and 86 liters per minute at the common land El Esfuerzo.

On each one of the samples the advance (surge and continuous) were measure some characteristics like the hydraulic tense, the wide of mirror, time of advance per station and maximum advance per surge, with these characteristics it was calculated the coefficient and the exponent of Kostiacov's equation, and the average lamine infiltrated in the furrow from each one of the samples.

In general the surge flow had a better advance of water in the furrows, specially on those soils recently plows. Standing out the sample of 86 liter per minute, whith a duration of 15 minutes of opening and 15 of closure, where

the save of water was with a percentage of 25 comparing this with conventional continuous flow, the compactation of the furrows during this station reduced the percent to a 9, reducing the potential of surge flow in some places.

Talking about the results from the volumetric balance of the advance samples, the determination coefficients indicate a good adjustment of this method. Changing this from 0.95 to 0.99, founding a relation between the save of time, the advance speed and the estimated average lamine for determined inflow.

INDICE DE CONTENIDO

	página
INDICE DE CUADROS	xiii
INDICE DE FIGURAS	xv
INTRODUCCION	1
REVISION DE LITERATURA	4
-Desarrollo Conceptual	4
-Causas de la Intermitencia	5
-Ventajas y Desventajas del Flujo Intermitente	6
-Ventajas	7
-Desventajas	8
-Dispositivos Para Crear Intermitencia ..	9
-Válvula de Vejiga Operada por el el Agua Hidráulicamente	10
-Válvula de tipo Mecánico operada por Agua y Electricidad	10
-Estrategias de Manejo	10
-Pruebas en Flujo Intermitente	14
-Análisis de la Función de Avance	19
-Función de Infiltración	21
-Movimiento del Flujo	24
MATERIALES Y METODOS	28
-Descripción de las Areas de Estudio	28
-Universidad Autónoma Agraria An-	

tonio Narro	28
-Ejido el Esfuerzo Mpio. de Vies-	
ca Coah.	29
-Tratamientos Utilizados	30
-Materiales y Equipo Utilizado	31
-Datos Medidos en el Campo y Procedimien-	
tos	32
-Calibración de la Tubería de Com-	
puertas	32
-Estacado	33
-Altimetría del Area Experimental	33
-Tirantes y Ancho de Espejo del	
Agua	33
-Area promedio	34
-Tiempos de Avance	34
-Volúmenes Infiltrados	35
RESULTADOS Y DISCUSION	41
-Calibración de la Tubería de compuerta .	41
-Gradiente Hidráulico	43
-Pruebas de Avance	44
-Sitio Universidad Autónoma Agra-	
ria Antonio Narro	44
-Sitio Ejido El Esfuerzo	47
-Velocidad de Avance	54
CONCLUSIONES	56
LITERATURA CITADA	59
APENDICE A	62

APENDICE B 67
APENDICE C 77
APENDICE D 79
APENDICE E 88

INDICE DE CUADROS

		página
2.1	Tiempo de avance de diferentes tratamientos de flujo intermitente y continuo	15
3.1	Características físicas químicas del campo el "bajío" de la UAAAN	29
3.2	Características físicas y químicas del Ejido el Esfuerzo	30
3.3	Tiempos de apertura, cierre y gastos usados para las pruebas realizadas	31
3.4	Características de construcción e hidráulicas de los surcos, en los dos sitios experimentales	35
4.1	Volúmenes aforados para la calibración de la tubería de compuertas, con un diámetro de 6 pulgadas, en la UAAAN	41
4.2	Volúmenes aforados para la calibración de la tubería de compuertas, con un diámetro de 6 pulgadas en el Ejido el Esfuerzo ...	42
4.3	Funciones empíricas de avance y de volumen total infiltrado en la UAAAN de la prueba con un gasto de 130 l/min y un tiempo de ciclo 10/10	46
4.4	Funciones empíricas de avance y de volumen total infiltrado en la UAAAN de la prueba con un gasto de 130 l/min y un tiempo de ciclo 15/15	47
4.5	Funciones empíricas de avance y de volumen total infiltrado de la prueba con un gasto de 86 l/min y un tiempo de ciclo 10/10 en el Ejido el Esfuerzo	50
4.6	Funciones empíricas de avance y de volumen total infiltrado de la prueba con un gasto de 86 l/min y un tiempo de ciclo 15/15 en el Ejido el Esfuerzo	51

4.7	Distancia avanzada por intermitencia para la prueba con un gasto de 49 l/min y un tiempo de ciclo 15/15, en el Ejido el Esfuerzo	51
4.8	Funciones empíricas de avance y de volumen total infiltrado de la prueba con un gasto de 49 l/min y un tiempo de ciclo 15/15 en el Ejido el Esfuerzo	53
4.9	Funciones empíricas de avance y de volumen total infiltrado de la prueba con un gasto de 49 l/min y un tiempo de ciclo 10/10 el Ejido el Esfuerzo	54
B.1	Listado del programa de la calibración de tubería de compuertas en lenguaje pascal .	68
B.2	Listado del programa para estimar los volúmenes infiltrados por el método balance volumen en lenguaje pascal	72
C.1	Análisis de varianza de la regresión de la prueba de calibración de la tubería de compuertas en la UAAAN	78
C.2	Análisis de varianza de la regresión de la prueba de calibración de la tubería de compuertas en el Ejido el Esfuerzo	78
E.1	Distancia avanzada y características geométricas de la primera intermitencia en la prueba con un gasto de 86 l/min y un tiempo de ciclo de 15/15, en el Ejido el Esfuerzo.	89
E.2	Distancia avanzada y características geométricas de la segunda intermitencia en la prueba con un gasto de 86 l/min y un tiempo de ciclo de 15/15, en el Ejido el Esfuerzo.	89
E.3	Distancia avanzada y características geométricas de la tercera intermitencia en la prueba con un gasto de 86 l/min y un tiempo de ciclo de 15/15, en el Ejido el Esfuerzo.	89
E.4	Distancia avanzada y características geométricas de la cuarta intermitencia en la prueba con un gasto de 86 l/min y un tiempo de ciclo de 15/15, en el Ejido el Esfuerzo.	90
E.5	Distancia avanzada y características geométricas de la primera intermitencia en la prueba con un gasto de 86 l/min y un tiempo de ciclo de 10/10, en el Ejido el Esfuerzo.	90

E.6	Distancia avanzada y características geométricas de la segunda intermitencia en la prueba con un gasto de 86 l/min y un tiempo de ciclo de 10/10, en el Ejido el Esfuerzo.	90
E.7	Distancia avanzada y características geométricas de la tercera intermitencia en la prueba con un gasto de 86 l/min y un tiempo de ciclo de 10/10, en el Ejido el Esfuerzo.	91
E.8	Distancia avanzada y características geométricas de la cuarta intermitencia en la prueba con un gasto de 86 l/min y un tiempo de ciclo de 10/10, en el Ejido el Esfuerzo.	91
E.9	Distancia avanzada y características geométricas de la quinta intermitencia en la prueba con un gasto de 86 l/min y un tiempo de ciclo de 10/10, en el Ejido el Esfuerzo.	92
E.10	Distancia avanzada y características geométricas de la sexta intermitencia en la prueba con un gasto de 86 l/min y un tiempo de ciclo de 10/10, en el Ejido el Esfuerzo.	92
E.11	Distancia avanzada y características geométricas de la séptima intermitencia en la prueba con un gasto de 86 l/min y un tiempo de ciclo de 10/10, en el Ejido el Esfuerzo.	93
E.12	Distancia avanzada y características geométricas del flujo continuo con un gasto de 86 l/min en el Ejido el Esfuerzo.....	93

INDICE DE FIGURAS

		página
4.1	Perfil del tirante hidráulico del flujo en el surco de la prueba con un gasto de 130 l/min y una relación de ciclo de 15/15 en la UAAAN	43
4.2	Distancia avanzada con flujo intermitente y continuo en la UAAAN con un gasto de 130 l/min y tiempo de ciclo de 10/10	45
4.3	Distancia avanzada con flujo intermitente y continuo en la UAAAN con un gasto de 130 l/min y tiempo de ciclo de 15/15	46
4.4	Distancia avanzada con flujo intermitente y continuo en el Ejido el Esfuerzo con un gasto de 86 l/min y un tiempo de ciclo de 10/10	48
4.5	Distancia avanzada con flujo intermitente y continuo en el Ejido el Esfuerzo con un gasto de 86 l/min y un tiempo de ciclo de 15/15	50
4.6	Velocidad de avance por intermitencia en la UAAAN y el Ejido el Esfuerzo con dos tiempos de ciclos y tres gastos	55
A.1	Perfil de la lámina infiltrada bajo flujo continuo e intermitente	63
A.2	Dispositivos que se utilizan para crear flujo intermitente	64
A.3	Perfiles de mojado en un surco	65
A.4	Redistribución del potencial matricial del suelo durante el tiempo de cerrado de la intermitencia	66
D.1	Perfil del tirante hidráulico del flujo, de la prueba con un gasto de 130 l/min y un tiempo de ciclo de 10/10, en la UAAAN .	80
D.2	Perfil del tirante hidráulico del flujo, de la prueba con un gasto de 130 l/min de flujo continuo, en la UAAAN	81

D.3	Perfil del tirante hidráulico del flujo, de la prueba con un gasto de 86 l/min y un tiempo de ciclo de 15/15, en el Ejido el Esfuerzo	82
D.4	Perfil del tirante hidráulico del flujo, de la prueba con un gasto de 86 l/min y un tiempo de ciclo de 10/10, en el Ejido el Esfuerzo	83
D.5	Perfil del tirante hidráulico del flujo, de la prueba con un gasto de 86 l/min de flujo continuo, en el Ejido el Esfuerzo .	84
D.6	Perfil del tirante hidráulico del flujo, de la prueba con un gasto de 49 l/min y un tiempo de ciclo de 15/15, en el Ejido el Esfuerzo	85
D.7	Perfil del tirante hidráulico del flujo, de la prueba con un gasto de 49 l/min y un tiempo de ciclo de 10/10, en el Ejido el Esfuerzo	86
D.8	Perfil del tirante hidráulico del flujo, de la prueba con un gasto de 49 lts/min de flujo continuo, en el Ejido el Esfuerzo .	87

INTRODUCCION

La producción agrícola de cualquier región es el resultado de la interacción de varios factores, de los que uno de los más limitativos en las zonas áridas y semiáridas es el agua de riego. De las 196 millones de hectáreas con que cuenta el territorio nacional, el 63 por ciento las forman las zonas áridas, cuya producción no es factible sin la irrigación.

En estas áreas de riego se puede incrementar aún más la producción agrícola, con el control y manejo eficiente del agua, ya que los cultivos demandan en oportunidad el este recurso, como factor de producción, para que se puedan lograr mayores rendimientos. Siendo el riego superficial el método más antiguo y ampliamente difundido, como una manera de llevar el agua de riego a los cultivos en desarrollo, sin embargo es el que presenta mayores deficiencias en su operación, originando altas pérdidas en los volúmenes de agua aplicados ya sea por percolación, o escurrimiento.

La irrigación por medio del flujo intermitente se le considera como un nuevo concepto que poco a poco se ha venido usando, tomando como base al riego superficial

convencional. Este método consiste en la aplicación del agua en pulsaciones, ya sea en surcos o melgas, mediante aperturas y cierres constantes, con la variación del tiempo. El sistema ideal en este caso podría ser aquel que fuera capaz de automatizar el manejo del agua y mejorar substancialmente el avance e impedir un gasto excesivo; esto se podría lograr utilizando la técnica del flujo intermitente, donde no existen grandes requisitos en cuanto a los recursos físicos para tener éxito en esta técnica. Las condiciones no son mayores que las convencionales para la irrigación por superficie.

Siendo el riego intermitente una práctica de manejo de agua relativamente nueva y poco probada en lo que respecta a su experimentación y uso en nuestro país, se considera que es indispensable una extensión en la realización de pruebas de campo y así entender las posibles ventajas y desventajas que presenta esta técnica. Pudiendo ser una alternativa a la solución a la problemática del riego por superficie en las regiones con problemas de disponibilidad de agua.

La presente investigación fue realizada en dos sitios que presentan problemas en la disponibilidad de agua así como de altos costos en energía en la extracción de este recurso. Por lo que se pretendió visualizar las ventajas de la técnica del flujo intermitente; para esto se realizaron pruebas de avance, en un método de riego en surcos,

comparando el flujo continuo con el intermitente, por lo cual se plantean los siguientes objetivos.

1. Estudiar el efecto de la duración del ciclo y numero de ciclos sobre la velocidad de avance del flujo intermitente en la irrigación superficial por surcos.
2. Evaluar los tiempos de avance del flujo de agua y los posibles ahorros esperados en el riego con flujo intermitente en comparación al riego con flujo continuo.
3. Realizar un programa de computadora en lenguaje pascal para estimar la lámina promedio infiltrada para el flujo intermitente y continuo por medio de un método de balance volumen.

La hipótesis planteada para el presente trabajo es la siguiente:

El riego superficial inducido con flujo intermitente acelera el avance del agua en los surcos reduciendo la lámina infiltrada.

REVISION DE LITERATURA

El objetivo de cualquier método de riego es aplicar la misma cantidad de agua en toda el área del proyecto; cuando se riega por surcos al inicio de éstos se infiltra considerablemente más lámina de agua al final del surco. Aunque la parte final del surco puede almacenar suficiente agua, es muy difícil proporcionar igual tiempo de oportunidad para la absorción de agua a lo largo del surco y lograr aceptable uniformidad en la infiltración del agua.

Ante la necesidad de lograr el aprovechamiento óptimo del agua disponible, es indispensable buscar nuevas alternativas en el riego superficial, que disminuyan los volúmenes de agua percolados y una forma consiste en automatizar estos métodos de riego incluyendo la intermitencia de las aplicaciones.

Desarrollo Conceptual

Karmeli y Peri (1974) empiezan a mencionar al riego por pulsos definiéndolo como; "una serie de ciclos de tiempo de riego", donde cada ciclo incluye dos fases la (1) fase de operación del sistema de riego y la fase (2) durante el cual el sistema no opera. El riego en la primera conduce el agua

con una relación de infiltración relativamente alta, sin embargo cuando transcurre el tiempo de la fase de "no operación" se presenta, en promedio una infiltración relativamente baja. De esta manera el riego por pulsos puede ser explicado y caracterizado por un patrón de la cantidad de agua aplicada al suelo como una función del tiempo total de riego.

Stringham y Keller (1979) introducen el concepto de riego intermitente en la conferencia de la especialidad de riego y drenaje de la ASCE. El reporte fue una discusión preliminar de una técnica que prometía automatización para lograr la reducción del volumen en riego por surcos. Así mismo Bishop et al. (1981) define al flujo intermitente como la aplicación en pulsaciones de agua ya sea en melgas o en surcos creando aperturas y cierres constantes con la variante tiempo, a través de válvulas y controladores de tiempo, en donde el periodo de un ciclo de apertura y cierre puede tener rangos desde cinco segundos hasta varias horas.

Causas de la Intermitencia

Bishop et al. (1981) mencionan que las causas probables de la intermitencia: es que el ciclado del agua en toda la superficie del suelo acelera el desarrollo de un sellamiento delgado en la superficie del lecho del surco, aparentemente durante el intervalo entre intermitencias, en el fondo del surco ocurre una dispersión de materiales finos

y lubricados por el agua los cuales al ser compactados por fuerzas de tensión se moldean sobre la superficie del suelo.

Coolidge et al. (1982) comenta que un posible mecanismo para mejorar el tiempo de avance es un sellamiento superficial, por el agua infiltrada después del primer ciclo donde se lubrican las partículas en la superficie del suelo pudiendo ser reorientadas horizontalmente y en un cubrimiento amoldado que podría generar una reducción grande en la infiltración en la sección húmeda del surco. Otra posibilidad es el desarrollo de fuerzas de tensión dentro del suelo lo que consolidaría un estrato en la superficie, otros mecanismos han sido sugeridos y pueden significar una mejoría en la hidráulica del surco como la rugosidad y el perímetro mojado, el frente de humedad puede seguir hacia abajo decreciendo el gradiente hidráulico y por consiguiente siendo menor la infiltración en la siguiente intermitencia.

Ventajas y Desventajas del Flujo Intermitente

El Servicio de Conservación de Suelos (1986) comenta que el método del riego intermitente presenta una serie de ventajas y desventajas, las cuales se enumeran a continuación.

Ventajas

- a) El agua aplicada intermitentemente por pulsos avanza más rápido hacia el fin de la parcela en una aplicación dada. Esto reduce el tiempo de oportunidad (tiempo existente para que el agua se infiltre en el suelo) en la parte más alta del campo, en relación a la parte más baja. El resultado es una baja percolación profunda en la cabecera del surco y además una aplicación más uniforme (Apéndice A.1).

- b) Algunos de los nuevos controladores de intermitencia pueden ser programados para dividir el flujo entre dos grupos de surcos o usar el tiempo de operación más cortos para reducir el riego después de que el agua ha alcanzado el fin de la parcela. Esto es efectivo en la reducción de pérdidas por coleos.

- c) La intermitencia permite una aplicación ligera de agua con una eficiencia más alta.

- d) Reduce la energía y costos de bombeo. El riego intermitente ofrece al agricultor más oportunidades de manejo para ahorrar agua y energía. Un riego ligero puede dejar un

espacio para almacenar la precipitación y reducir los requerimientos de riego.

e) El riego por flujo intermitente es una forma de automatización, la cual permitira al agricultor, practicar la reducción del riego en surcos sin ajustar compuertas.

f) Reduce los requerimientos de mano de obra.

Desventajas

a) Debido al poco tiempo que se necesita para que el agua llegue al final de la parcela; el agricultor puede aplicar menos agua si el tiene el hábito de moverse al siguiente conjunto de surcos. Como resultado el agricultor necesitara controlar la humedad del suelo más seguido que con el método de flujo continuo.

b) La habilidad para aplicar riegos ligeros puede llevar a un suministro menor de agua al cultivo, si el agricultor no ajusta su plan de riego consecuentemente.

- c) El equipo para crear intermitencia debe tener mantenimiento para operar apropiadamente. Un mal funcionamiento de la válvula puede causar daño al cultivo. El agua sucia puede afectar el mecanismo de control de algunas válvulas causando en ellas un mal funcionamiento.

- d) El riego intermitente requiere capacitación en el manejo, el cual puede ser un problema, cuando se emplea en forma inexperta.

- e) Coleos excesivos pueden resultar de una inadecuada colocación de la válvula de intermitencia.

- f) Una interrupción repentina del suministro de agua puede conducir al desconocimiento por parte del agricultor; sobre la secuencia de ciclos en que se encontraba.

Dispositivos Para Crear Intermitencia

El Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos en 1986 reporta que existen dos tipos principales de válvulas de intermitencia: la válvula de vejiga operada por el agua y la válvula mecánica operada electrónicamente o por vía hidráulica.

Válvula de Vejiga Operada por el Agua Hidráulicamente

La válvula de vejiga impulsada por agua es operada con la presión hidráulica de la tubería de alimentación de agua. El regulador alterna la presión a cada uno de los compartimientos (vejigas) dentro de la válvula. Cuando una de las vejigas es expuesta a la presión hidráulica se infla y corta el flujo del caudal hacia ese lado. La vejiga opuesta se abre hacia la atmosfera y se desinfla permitiendo que el agua pase por ese lado.

Válvula de Tipo Mecánico Operada por Agua y Electricidad

Hay varias formas o configuraciones de válvulas mecánicas de mariposa; válvulas de disco doble que se abren y cierran alternativamente para desviar el caudal a la derecha o izquierda y válvulas de disco único o sencillas que desvían el flujo a ambos lados. Estas válvulas pueden ser alimentadas por batería, tanques de aire, celdas solares, o por el agua en el sistema (estas formas se muestran en el Apéndice A.2).

Estrategias de Manejo

Coolidge (1981) afirma que como en todos los otros sistemas de riego, los sistemas de riego intermitente están sujetos a optimización; esto es la ejecución del sistema varia con dos condiciones, las de campo y las operacionales,

la eficiencia de aplicación puede ser a menudo incrementada en un 5-10 por ciento, por la selección cuidadosa de un único parámetro como lo es el tiempo de ciclo. La variable de control se manifiesta al lograr la lámina de aplicación requerida para rellenar el suministro de agua en la zona de raíces, generalmente las láminas grandes son más eficientemente aplicadas con grandes tiempos de ciclo y láminas pequeñas con tiempos de ciclos cortos. Así las prácticas de manejo para lograr la ejecución óptima de riego intermitente son definidas en relación a los requerimientos de aplicación. Para los propósitos del programa del riego intermitente el requerimiento de aplicación se considera alcanzado en el momento en que 90 por ciento o más de deficit de la zona de raíces aguas abajo hasta al final de la parcela ha sido satisfecha.

Por otro lado la hidráulica del avance se convierte en el principal resultado para el regador al comenzar el riego. La lámina especificada para ser aplicada, la hidráulica de la fase de avance debe ser optimizada por la selección adecuada de la razón de entrada y el tiempo de ciclo. Estos parámetros varían de acuerdo a la longitud de la parcela, las características de infiltración del suelo, forma y tamaño del surco y la variación de desechos sobre la superficie, una fracción significativa del avance bajo riego intermitente ocurre después que una sola intermitencia se termina. En otras palabras el agua a menudo avanza aguas abajo y desaparece al final del surco. Para hacer que este

proceso trabaje efectivamente, el volumen de agua añadida al surco en cada intermitencia debe ser grande en comparación con lo grande de la infiltración al estar ya mojado la longitud del surco y el volumen de agua necesaria para llenar el surco vacío en la sección previamente mojada. Así para suelos de textura ligera y surcos largos y cerrados las intensidades de gasto y los tiempos de ciclo deben ser grandes. Para el caso opuesto con suelos pesados y surcos cortos, pequeños y limpios los gastos y tiempos de ciclos más pequeños pueden ser usados.

El Servicio de Conservación de los Estados Unidos (1986) en la guía de riego por pulsos, menciona dos alternativas para manejar el tiempo de apertura, las cuales son.

Tiempo de ciclo variable, este método parece ser el más eficaz en riego por pulsos de acuerdo a las experiencias de campo del Servicio de Conservación de Suelos e investigaciones hechas en la Universidad de Colorado; esto ocurre precisamente en surcos con longitudes mayores de 400m. En la actualidad no todo el equipo disponible tiene la capacidad de utilizar automáticamente varias y distintas duraciones de tiempo de operación necesarias para la ejecución práctica de este método el cual consiste en usar ciclos cortos al frente del campo e incrementar la longitud en cada par de ciclos, hasta llegar al final de la parcela y luego cortar a ciclos más reducidos. Las longitudes de los

ciclos de tiempo permiten avanzar distancias iguales con cada ciclo. Esto distribuye el agua más uniforme y horizontal en el perfil de mojado. Investigaciones preliminares de campo han mostrado que con ciclos variables se aumenta la eficiencia de aplicación con riego intermitente hasta en un 90 por ciento.

Tiempo de ciclo constante, este método es más eficaz cuando las longitudes del surco son menores de 400 m y cuando el regulador de pulsos no tiene la capacidad de usar varias duraciones de pulsos. En este método el único tiempo escogido debe ser lo suficientemente largo para que el agua siga avanzando sobre el suelo seco; en cada ciclo subsiguiente y durante todo el tiempo de recorrido hasta alcanzar el fin del surco. El primer ciclo inducirá el mayor avance, con frecuencia llegara hasta la mitad del surco. En cada ciclo subsiguiente de igual tiempo, el incremento de avance será menor. La oportunidad de infiltración será muy grande en el primer ciclo e irá acortandose. El resultado será un perfil menos pronunciado pero aún irregular. Las pérdidas por coleos serán grandes si el tiempo de ciclo no es acortado manualmente, después que el agua alcanza el final de la parcela.

Pruebas en Flujo Intermitente

Cisneros (1990) menciona que para comprender lo que esta pasando en el riego intermitente en surcos es necesario el análisis de la curva típica de avance para esta forma de regar. El agua que se aplica al surco con una serie de gastos intermitentes que corren por el, sobre una sección previamente mojada por la interior intermitencia y después por una seca, hasta que se completa la recesión posterior al cerrado de la válvula. lo anterior es cierto excepto para la primera intermitencia en la cual el avance lo hace solo en la sección seca. Además en caso de seguir la intermitencia después de haber alcanzado al final del surco la intermitencia solo corre por la parte húmeda.

Bishop et al. (1981) en un estudio realizado en la Universidad de Utah, en un suelo de textura franca, con el cultivo de maíz y trabajando con diferentes tiempos de apertura y cierre y con tres gastos 0.63, 1.26 y 1.89 l/seg respectivamente, en surcos de 183 m de longitud establecen que el método de flujo intermitente origina que algunos volúmenes de agua relacionados con el avance tardaran menos en llegar al final de surco que el flujo continuo. En otras pruebas la cantidad de flujo fue variando inversamente con la proporción del ciclo, en igual volumen de agua aplicada durante algunos tiempos acumulados.

Típicamente el tiempo de avance para la distancia de 183m fue de dos a diez veces más rápido que los tratamientos de flujo continuo. Además también concluyen que los valores encontrados tienen un potencial para una técnica de manejo que proporcione una aplicación uniforme y una eficiencia de aplicación por surcos. El volumen de agua necesaria para completar la fase de avance puede ser substancialmente reducido usando la intermitencia con las practicas convencionales (Cuadro 2.1).

Cuadro 2.1 Tiempo de avance de diferentes tratamientos de flujo intermitente y continuo.

Apertura	Ciclo de Cierre min	Distancia m	Tiempo de avance min
5	5	183	30
10	10	183	36
20	20	183	35
continuo		183	52

Coolidge et al. (1982) para demostrar los efectos de la intermitencia realizaron un experimento en el campo de Milville, siendo el suelo de textura franca, surcos con pendientes de uno por ciento y de 100 m de longitud con un cultivo de maíz, con flujo intermitente relacionado con el avance del flujo utilizando diferentes tiempos de apertura y cierre encontrando que los tiempos de diez y veinte minutos de tiempo de apertura tuvieron de un 38 a 56 por ciento menor de volumen de agua utilizada por el flujo continuo, un significativo mejoramiento en la efectividad del sistema en la fase de avance lograron los tiempos de cinco minutos de

apertura y cinco de cierre y en cambio los tiempos que tuvieron poca diferencia con el continuo son los cinco minutos de apertura y 10 de cierre la irrigación por intermitencia en este caso propocionó substancial decremento de volúmenes de agua necesitada para la fase avance en la irrigación. Además la variabilidad entre surcos es reducida en iguales proporciones y las eficiencias en uniformidad y aplicación tendieron a un aumento. Por lo que estos factores pueden causar un perfeccionamiento significativo a nivel parcelario.

Izuno et al. (1985) colectaron datos de avance e infiltración en tres campos del Centro de demostración de Investigación del Norte de Colorado los suelos eran franco arcillo limosos con capas de arcilla densa y arena cascajosa, los campos se nivelaron con previsión a una pendiente longitudinal de 0.006 m/m. Un cultivo de maíz fue regado en surcos de 525 m de largo en 1983 con espaciamientos entre surcos de 0.76 m. Los datos de tiempo de avance se colectaron a intervalos de 25 m hacia bajo del surco y las pruebas de infiltración se realizaron con infiltrometro de surco cerrado en tres surcos de cada parcela experimental.

Los mismos autores mencionan que las pruebas de infiltración con intermitencia simulada fueron conducidas también usando infiltrometros de surco cerrado modificados con un tapón dren localizado en la placa aguas abajo. Los

periodos de recesión fueron simulados permitiendo que el agua en la sección de prueba drenara después del ciclo de humedecimiento deseado. Varias pruebas de intermitencia simuladas fueron conducidas en cada campo en ambos tipos de surcos compactados y no compactados; el gasto aplicado bajo intermitencia fue de 1.9 l/seg por surco en ciclos de humedecimientos de 30 o 45 minutos y en los surcos testigo con flujo continuo aplicó un gasto de 1.9 y 0.95 l/seg/surco. Los resultados indican que los volúmenes infiltrados durante el avance del flujo continuo se pueden reducir hasta un 64 por ciento durante el avance del flujo intermitente, la acelerada velocidad de avance que se desarrolló bajo riego intermitente fue debido a una reducción en la velocidad de infiltración que ocurrió durante la primera recesión enseguida del primer ciclo de humedecimiento. Las curvas de infiltración demostraron que bajo riego continuo la velocidad de infiltración disminuye asintóticamente aproximadamente a la infiltración básica después de transcurrir tiempos largos, mientras que bajo riego intermitente la velocidad de infiltración cae a la infiltración básica después de un ciclo de humedecimiento y secado. La magnitud de la reducción de los volúmenes infiltrados en riego intermitente depende de la magnitud de caída brusca en la velocidad de infiltración intermitente y del tiempo necesario para que la infiltración continua alcance a la infiltración básica. La caída brusca de la velocidad de infiltración intermitente ocasiona que volúmenes pequeños de agua aplicada sean requeridos para el

avance del flujo intermitente en comparación al riego superficial con flujo continuo.

Luna (1989) efectuó una investigación para evaluar la técnica del riego intermitente, en el campo agrícola experimental del CENID-RASPA, cuyo suelo es profundo y de textura migajon-arcilloso, el trabajo incluyó el riego de presiembra y cuatro riegos de auxilio, probando dos gastos 2.66 y de 4 l/seg con tres oportunidades de corte al 25, 50 y 75 por ciento del frente de avance del flujo relacionado con la longitud del surco. Concluyendo que el número de ciclos y su oportunidad tienen efecto sobre la relación tiempo de avance con flujo intermitente/tiempo de avance con flujo continuo, no encontrándose diferencia estadística sobre dicha relación al comparar los dos gastos probados además para ambos gastos probados, se observó una tendencia a incrementarse la lámina aplicada a partir de derivar el gasto en forma continua, seguida en donde se aplica en dos ciclos (previo uno al 50 por ciento de longitud del surco), posteriormente donde se aplicaron dos ciclos (previo uno al 75 por ciento de longitud del surco) y por último, donde se aplicó el gasto en cuatro ciclos (previo tres del 25 por ciento cada uno), estos resultados ocasionaron que la tendencia de los valores obtenidos de eficiencia de requerimientos fuera similar a la anterior. Sin embargo, el valor máximo obtenido de eficiencia de requerimientos fue de 47.37 por ciento, lo cual indica que el criterio de suspender la aplicación cuando el frente de avance del agua

alcance el extremo final del surco, ocasiona aplicaciones ligeras de laminas de riego, inferiores a las necesidades del cultivo.

Análisis de la Función de Avance

Elliot y Walker (1982) discuten que es una práctica general en las evaluaciones de campo medir el avance del agua en los surcos y ajustar los datos de campo a funciones no lineales. Muchas funciones y diversos métodos de ajuste para cada juego de datos han sido estudiados. Sin embargo pocas ventajas han sido descubiertas con respecto a estos arreglos. Solo la función potencial de avance comúnmente empleada podría ser discutida en este caso. Muchas investigaciones han usado una curva potencial para relacionar o describir el frente de avance del agua en el riego por superficie; siendo la forma general de tal función como sigue:

$$X = p * T^r \dots \dots \dots (2.1)$$

Donde:

X = Distancia de avance.

t = Tiempo de avance.

p,r = Constantes empíricas ajustadas.

Los mismos autores comentan que Fok y Bishop en 1965, usaron estas mismas relaciones en una simulación de balance volumen para la hidráulica del riego por superficie.

Además mencionan que Hort partio de esto con otras asunciones desarrolladas en el método de balance volumen, teóricamente siguiendo la curva potencial solamente en tiempos largos; sin embargo esto es una aproximación de la solución teórica. Para el ajuste potencial se usan por lo menos dos métodos enfocados a determinar las constantes p y r de la ecuación 2.1. El primero es el método de los cuadrados mínimos en el cual el tiempo de avance y los datos de distancia son transformados logarítmicamente y relacionados en una regresión lineal simple, Grassi en 1972 reporta con esa técnica los valores del coeficiente de determinación (r^2) da un rango entre 0.945 y 0.997. Wilke en 1973 usó diferentes aproximaciones para determinar p y r refiriéndose al método de los dos puntos. Con dos puntos conocidos del tiempo de avance substituidos separadamente con la ecuación 2.1 se establecen dos ecuaciones simultáneas.

$$x_1 = p * t_1^r \dots \dots \dots (2.2)$$

$$x_2 = p * t_2^r \dots \dots \dots (2.3)$$

Donde:

x_1 y x_2 = Distancias de avance, m.

t_1 y t_2 = Tiempos de avance, min.

Por ejemplo si los tiempos escogidos son aquellos que están a la mitad y al final de la irrigación, entonces la solución de las ecuaciones 2.2 y 2.3 procedería como:

$$r = \frac{\text{Ln}(0.5)}{\text{Ln}((\text{TL}/2)/t_1)} \dots \dots \dots (2.4)$$

$$p = \frac{L}{tL^r} \dots \dots \dots (2.5)$$

Donde:

Ln = Logaritmo neperiano

L = Longitud del surco o melga

TL/2 y tL = Tiempos de avance a la mitad y al final del surco o melga.

El análisis de la curva potencial con datos de avance ajustados indica que la mayor parte de las pruebas reportan altos coeficientes de r^2 que describen subjetivamente la bondad de ajuste. Pero los altos valores de r^2 no necesariamente indican un buen ajuste de medición acerca de la variación de la distancia de avance, lo cual podría ser explicado por el modelo de la ecuación 2.1. La magnitud de la variación no explicada es además una indicación de la adecuación del modelo y otros parámetros podrían estar gobernando las desviaciones de las predicciones en las distancias de avance.

Función de Infiltración

Samani et al. (1985) Menciona que extensivos estudios han sido llevado a cabo, teóricos y experimentales sobre el comportamiento de la infiltración bajo la aplicación continua del agua; sin embargo muy pocos trabajos han sido hechos sobre el proceso de infiltración bajo la

aplicación intermitente de agua. Además que los dos fenómenos básicos, que afectan la infiltración y que ocurren entre el tiempo de cierre, durante las pulsaciones son la redistribución del agua aplicada sobre el perfil del suelo y un sellamiento parcial del suelo humedecido.

La redistribución del agua infiltrada en el perfil durante el tiempo de cierre es causado por un desbalanceo capilar y de fuerzas gravitatorias que actúan sobre el agua que se infiltra. Los procesos de redistribución continuo alcanzan un equilibrio hidráulico; los procesos de redistribución resultan en avance del frente de humedecimiento dentro del perfil del suelo y el desarrollo de una presión capilar negativa cercana a la superficie del suelo. Esta presión negativa podría crear un alto gradiente hidráulico para la infiltración del agua durante el tiempo de apertura sucesivo en el riego del flujo intermitente. El segundo fenómeno también tomar lugar durante el tiempo de cierre y consiste en la consolidación del suelo previamente humedecido debido al desarrollo de presiones negativas en la matriz del suelo durante la irrigación superficial, los agregados del suelo son debilitados o parcialmente quebrados debido a las fuerzas mecánicas del agua o al aflojamiento de los agregados del suelo durante el periodo cuando el agua es aplicada. El rompimiento de los agregados encima de lo seco de acuerdo a Hillel se debe a la contracción que procede después de la hidratación coloidal, contribuyendo a empaquetar las partículas apareciendo inmediatamente un

agrietamiento en el suelo, después de la irrigación o entre cada ciclo de las intermitencias y esto igualmente contribuye al desarrollo de presiones negativas en el suelo. La compactación trae consigo "la densificación" caracterizado por, una baja porosidad y una baja conductividad hidráulica.

Furkey y Wallender (1989) estudiaron la influencia de la irrigación en surcos continuo e intermitente sobre la media y la varianza del volumen infiltrado a lo largo de un surco utilizando mediciones de la humedad en el suelo e infiltración. Los datos fueron colectados en un campo de suelo franco arcilloso serie Yolo el cual había sido sembrado con cebada para extraer uniformemente el agua del perfil. El experimento fue conducido durante el verano y la velocidad adicional no fue añadida durante el periodo experimental. Después de cosechar la cebada y cultivar el terreno los surcos se construyeron a 76 cm de espaciamiento. Dos juegos de siete surcos adyacentes fueron usados en el estudio un juego para la irrigación continua y otro juego para la irrigación intermitente. En ambos juegos de riego intermitente y continuo cuatro surcos fueron irrigados a un gasto de un l/seg y en la irrigación intermitente se usó un tiempo de 80 minutos/ciclo y una relación de ciclos de 0.5; para ambos riegos continuo e intermitente se registraron tiempos de avance y recesión en los surcos a intervalos de 3-5 m desde la entrada del surco hasta los 240m de longitud. El tiempo de oportunidad de infiltración fue calculado a

partir de las mediciones de avance y recesión y combinado con las funciones de infiltración para estimar la lámina infiltrada.

El promedio y la variación de la lámina infiltrada bajo riego intermitente fueron más pequeños que bajo riego continuo, una reducción en las velocidades de infiltración entre intermitencias originó un avance más rápido indicando una función de paso para la infiltración intermitente. La velocidad de infiltración al inicio de la segunda intermitencia fue de 58 por ciento menor (factor de reducción) con respecto a la velocidad observada al final de la primera intermitencia los factores de reducción fueron de 0.83, 0.90 y 0.92 entre los restantes ciclos de intermitencia respectivamente. Los factores de reducción fueron incorporados dentro de un modelo de infiltración intermitente el cual exactamente predijo la infiltración de campo. Para concluir es obvio que la intermitencia no solamente reduce la lámina de agua aplicada sino que también reduce la variabilidad del agua aplicada a lo largo de un surco comparado con la irrigación continua.

Movimiento del Flujo

Blair (1986) menciona que una ecuación común y simple, es usada para describir el flujo en un medio poroso saturado (perfil del suelo) es la ley de Darcy, la cual es expresada como:

$$q = k \frac{H}{L} \dots \dots \dots (2.6)$$

Donde:

q = Velocidad del flujo del agua por unidad de área.

k = Conductividad hidráulica en un medio saturado.

H = Potencial hidráulico

L = Longitud del medio a través del cual el agua esta circulando.

Sin embargo, la ecuación 2.6 no se aplica para determinar directamente la velocidad de infiltración bajo intermitencia en surcos. La Figura del Apéndice A.3 ilustra los perfiles de mojado para varios tiempos subsecuentes de oportunidad de infiltración ($t_1 < t_2 < t_3 < t_4$) bajo flujo continuo, el perfil de mojado es inicialmente circular y se alarga gradualmente con el tiempo al aumento del potencial gravitacional del suelo y al decrecimiento del potencial matricial del suelo.

Debido a la geometría del surco, la infiltración ocurre en un flujo en dos dimensiones y la aplicación de la ecuación 2.6 resulta muy limitada. La ecuación 2.6 asume también que la porción mojada del suelo es completamente saturada. Durante la infiltración bajo flujo intermitente el suelo mojado cercano a la superficie del surco esta saturado durante el tiempo de cerrado. De esta manera, la ecuación 2.6 no es directamente aplicable a la infiltración bajo intermitencia. Sin embargo la ecuación de Richard's la cual está basada en la ecuación 2.6 puede ser usada para

describir el flujo en dos dimensiones. Las soluciones para la ecuación de Richard's son complicadas afortunadamente modelos no complejos de infiltración bajo intermitencia están siendo usados ahora en la investigación, pero algunas de la relaciones usadas en la ecuación de Richard's pueden usarse para analizar sobre el problema de la infiltración del flujo intermitente.

Durante el tiempo de cerrado del flujo, probablemente el potencial matricial del suelo se redistribuye de una manera similar como lo ilustra la figura 2.4. Nótese que esta figura es para un flujo de infiltración en una dimensión, mientras que la infiltración se da en dos dimensiones. Investigaciones, a la fecha, no han determinado aún el patrón en dos dimensiones del potencial matricial.

La Figura del Apéndice A.4 indica que para un tiempo de oportunidad de infiltración igual al tiempo de operación de intermitencia $t_i = t_{on}$ (tiempo de apertura) la succión matricial es cercano a cero en la superficie donde el suelo esta saturado por el agua, la succión crece conforme a la profundidad del suelo y a la interface de mojado-secado (frente de mojado) el potencial matricial del suelo se incrementa rápidamente. A tiempos mayores que el t_{on} y previo a la siguiente aplicación de agua, la succión matricial del suelo se incrementa rápidamente. A tiempos mayores que el t_{on} y previo a la siguiente aplicación de agua, la succión matricial del suelo se incrementa en la

capa del suelo cercana a la superficie y el frente de mojado se mueve mas profundo en el perfil del suelo. La redistribución del potencial matricial puede inducir a un cambio estructural (compactación) en la capa superficial del suelo.

Se pueden hacer algunas conclusiones concernientes a como el gradiente hidráulico afecta la infiltración bajo intermitencia. primero, la física de la infiltración bajo flujo continuo. Segundo es difícil medir y cuantificar las características de infiltración necesarias para analizar la física de la infiltración bajo intermitencia. Y finalmente, las demás evidencias son inadecuadas para determinar el punto en el cual el gradiente hidráulico en un surco con flujo bidimensional en el perfil de suelo decrece durante el tiempo de no operación del riego.

MATERIALES Y METODOS

Descripción de las Areas de Estudio

El desarrollo de las pruebas de avance se realizaron en dos sitios experimentales; uno situado en el campo experimental denominado "El Bajío" de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). y el otro en el Ejido el Esfuerzo Mpio. de Viesca Coah.

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

El trabajo experimental se desarrolló en el periodo de Agosto a Septiembre de 1990, este sitio se Localiza en Buenavista Saltillo Coah., en las coordenadas 25° 22' latitud Norte y 101° 22' longitud Oeste, a una elevación de 1743 msnm.

Son suelos de profundidad moderada, la cual varía a lo largo del surco con presencia de recubrimientos de carbonatos de calcio en el perfil y de pedregosidad en los horizontes subsuperficiales, con reacción al ácido clorhídrico el laboratorio de la UAAAN reporta en el Cuadro 3.1 algunas características físico-químicas.

Ejido el Esfuerzo Mpio. de Viesca Coah

En este sitio la pruebas de riego se desarrollaron en el periodo de Octubre a Diciembre de 1990 y se encuentra localizado aproximadamente a 30 Km al sur del Km 250 de la carretera Saltillo - Torreón en el municipio de Viesca Coah. La localización geográfica es de 25° 20' de latitud Norte y 102° 20' de longitud Oeste. La altitud es de 1100 msnm.

Son suelos profundos, de origen coluvial, con problemas de erosión eólica, con contenidos pobres de materia orgánica, reaccionando fuertemente al ácido clorhídrico, con problemas de salinidad con presencia de manchas de salinas en la superficie del suelo, el uso actual de estos suelo es el de cultivos anuales, como el trigo y el sorgo; en el Cuadro 3.2 se muestran algunas propiedades físico-químicas de Ejido el Esfuerzo.

Cuadro 3.1 Características físicas químicas del campo el "bajío" de la UAAAN.

Característica	Profundidad (cm)			
	0-20	20-40	40-60	60-80
Materia orgánica (%)	5.00	5.00	1.40	0.51
Cond. eléctrica (mmhos/cm)	0.72	0.60	0.36	0.51
Por ciento de sodio int	2.40	2.10	1.70	1.60
Ph	8.32	8.39	8.28	8.03
Densidad aparente (gr/cm ³)	1.03	1.12	1.24	1.30
Capacidad de campo (%)	34.73	31.57	35.00	30.00
Punto de marchitez p. (%)	20.22	22.50	21.46	20.30
Arena (%)	15.60	13.60	9.60	1.60
Limo (%)	53.80	61.80	25.80	21.80
Arcilla (%)	30.60	24.60	64.60	76.60
Clasif.textural	F. ar	F. ar.	F. ar	F. ar.

Cuadro 3.2 Características físicas químicas del Ejido el Esfuerzo.

Característica	Profundidad (cm)			
	0-30	30-60	60-90	90-120
Materia orgánica(%)	0.70	0.53	0.23	0.20
Cond. eléctrica mmhos/cm	2.70	1.40	1.30	0.52
Por ciento de sodio int.	1.00	1.50	1.30	2.90
Ph	8.55	8.44	8.27	8.36
Densidad aparente gr/cm ³	1.20	1.22	1.25	1.28
Capacidad de campo (%)	33.30	35.60	32.70	30.20
Punto de marchitez p. (%)	14.60	15.70	16.50	15.90
Arena (%)	33.50	38.90	32.70	34.70
Limo (%)	38.20	33.50	38.10	37.10
Arcilla (%)	28.30	27.60	29.20	28.20
Clasif.textural	F. ar.	F. ar.	F. ar.	F. ar.

Tratamientos Utilizados

La investigación consintió básicamente en realizar pruebas de riego utilizando varios tiempos de apertura y de cierre así como diferentes gastos de entrada; dando una cantidad total de nueve tratamientos, en el Cuadro 3.3 se observan los tratamientos utilizados. Antes de realizar las pruebas definitivas de avance, se hicieron algunas pruebas preliminares para definir bien el procedimiento para originar las intermitencias; el mecanismo seleccionado fue mediante aberturas y cierres manuales de las compuertas, según el tiempo de apertura y cierre seleccionado.

Cuadro 3.3 Tiempos de apertura, cierre y gastos usados para las pruebas realizadas.

tiempo de apertura (min)	tiempo de cierre (min)	gasto entrada (l/min)
	U A A A N	
10	10	130
5	15	130
	Continuo	130
	Ejido el Esfuerzo	
10	10	49
10	10	86
15	15	49
15	15	86
	Continuo	49
	Continuo	86

Materiales y Equipo Utilizado

Se utilizó el material indispensable para llevar a cabo las pruebas de campo contempladas, siendo estos los siguientes:

- a) Tubería de compuerta de dos y cuatro pulgadas de diámetro respectivamente
- b) Nivel fijo
- c) Estacas numeradas
- d) Plástico
- e) Cronometro
- f) Cinta métrica
- g) Manguera de plástico
- h) Regla de 30 cm
- i) Probeta graduada

Datos Medidos en el Campo y Procedimientos

Calibración de la Tubería de Compuertas

La finalidad de utilizar tubería de compuertas es que este tipo de tubería se caracteriza por ser de peso ligero, de fácil manejo, para conducir el agua de tal manera que no existan pérdidas por percolación en la conducción, además de tener un espaciamiento igual en los orificios ajustándose estos a una abertura deseada para un gasto determinado. Siendo tal tubería utilizada en riego por surcos. Para obtener los coeficientes de calibración se realizaron pruebas en los dos sitios de trabajo y consistieron en aforar diferentes aperturas y con diferentes cargas hidráulicas, para realizar después, mediante un programa en lenguaje pascal la obtención del coeficiente de calibración, así el análisis de varianza para determinar la bondad de ajuste del modelo probado, que por medio de una regresión de tipo lineal, teniendo a la apertura multiplicada por la raíz cuadrada de la carga hidráulica como la variable independiente y el gasto aforado en litros por minuto como la variable dependiente, de esta manera el gasto a una apertura dada se estima como:

$$q_0 = K * p * h \dots \dots \dots (3.1)$$

Donde:

q_0 = Gasto de entrada, l/min

K = Pendiente de la regresión

p = Apertura de la compuerta en fracción

h = Carga hidráulica, cm

Estacado

Con una cinta métrica se colocaron las estacas a cada diez metros en la orilla de los surcos en cada localidad, para establecer las estaciones de control en la longitud del surco numerando a cada una de ellas, en el caso de la UAAAN la longitud fue de 160 m y en el ejido el Esfuerzo de 100 m respectivamente.

Altimetría del Area Experimental

Para determinar la pendiente topográfica de los en las áreas de estudio se colocó el nivel fijo en la mitad del terreno, se procedió a tomar los datos de altura en cada estación y en cada surco de prueba, obteniendose sus cotas respectivas.

Tirantes y Ancho de Espejo del Agua

Los tirantes del flujo fueron medidos una estación antes del máximo avance en cada tiempo de apertura con una regla graduada se procedio en cada una de las estaciones a lo largo del surco; la lectura del ancho del espejo se tomó al mismo tiempo que el tirante.

Area Promedio

El área de la sección del surco ocupada por el flujo fue estimada por medio de los tirantes hidráulicos y el ancho de espejo en cada una de las estaciones a lo largo del surco así como en cada una de las intermitencias, (ecuación 3.2).

$$A_o = (2/3) * y * w \dots \dots \dots (3.2)$$

Donde:

A_o = Area de la sección del surco, m^2

y = Tirante del flujo, m

w = Ancho de espejo de agua, m

Tiempos de avance

Los tiempos de avance fueron medidos en cada uno de los tiempos de apertura de las intermitencias registrandose el tiempo al llegar el flujo a cada estación así como el máximo avance logrado en el tiempo probado.

En el Cuadro 3.4 se muestra un resumen de las características de construcción e hidráulicas de los dos sitios experimentales.

Cuadro 3.4 Características de construcción e hidráulicas de los surcos de prueba, en los dos sitios experimentales.

Características de construcción	UAAAN	Ejido el Esfuerzo
Longitud de surco,m	160.00	100.0
Esp. entre surcos,m	0.75	0.70
Pendiente Topográfica,m/m	0.002-0.003	0.003-0.004
Ancho de Espejo,m	0.380-0.260	0.350-0.240
Tirante Hidráulico,m	0.120-0.060	0.090-0.050

Volúmenes Infiltrados

Los parámetros que utiliza el método de balance volumen fueron estimados por medio de un programa en el lenguaje turbopascal para facilitar los cálculos (en el Apéndice B se muestra el listado); el desarrollo del método se realiza de la siguiente manera:

El parámetro de encharcamiento superficial del elemento líder se obtuvo al multiplicar el área promedio del surco de prueba por un coeficiente de geometría de la forma del surco (valor asumido) por un incremento de distancia.

$$V_s = A_o * B * X_i * 1000 \quad (3.3)$$

Donde:

V_s = Volumen encharcado del elemento líder, l/seg

A_o = Área promedio de la sección transversal del flujo, m^2

B = Coeficiente de geometría del surco

X_i = Incrementos de distancias iguales, m

Se asumió que X_i se mantuvo constante y uniforme en rugosidad, pendiente y sección mojada durante toda la fase de avance, ya sea en flujo continuo o en el flujo intermitente.

El volumen infiltrado por incremento de tiempo t observado se obtuvo multiplicando el gasto de entrada por el diferencial finito de tiempo $t_{i+1} - t_i = \Delta t_j$ a la cual se le restó el encharcamiento superficial como lo indica la siguiente expresión:

$$V_{Ixt} = (Q_0 * t) - v_s \dots \dots \dots (3.4)$$

Donde:

V_{Ixt} = Volumen infiltrado al tiempo t sobre la distancia avanzada X

Q_0 = Gasto de entrada, l/min

t = Tiempo observado entre dos tiempos de avance por estación, min

X = Distancia avanzada por el elemento líder en el tiempo t , m, $X = X_i t = t_i$

El incremento de volumen infiltrado por incremento de tiempo es igual al volumen aplicado menos el volumen encharcado, esto es:

$$VI = (Q_0 * t) - (A_0 * B * X_i * 1000) \dots \dots \dots (3.5)$$

Volumen total infiltrado al tiempo t_x (o tiempo total de la prueba de avance) sobre la distancia avanzada, donde: $\sum V_i = V_I$. Con estos parámetros estimados se procedió a elaborar un cuadro con siete columnas quedando de la siguiente manera:

1. Distancia acumulada de cada estación (X), m
2. Tiempo de avance (t), min
3. Intervalos de tiempo (t_i), min
4. Volúmenes aplicados, l
5. Incrementos de volumen por t_i , l
6. Volumen infiltrado acumulado, l
7. Volumen promedio aplicado, l

La función empírica de avance se determinó por medio de una regresión lineal, aplicando la función logarítmica, correlacionando las variables uno y dos, teniendo como el tiempo de avance como la variable independiente y la distancia como la variable dependiente, obteniendo la siguiente ecuación:

$$X = a * t_k^b \quad \dots \dots \dots (3.6)$$

Donde:

- X = Distancia avanzada por intervalo de tiempo en m
- t_k = Intervalo de tiempo durante la prueba min
- a y b = Coeficiente y exponente de la regresión potencial

La función empírica de volumen total infiltrado se obtuvo de la misma manera, por medio de una regresión entre la columna seis y dos, siendo el tiempo la variable independiente y el volumen infiltrado acumulado como la variable dependiente de esta manera se obtuvo la siguiente ecuación:

$$V_{xt} = \bar{Z}_t * X = c * t^d \dots \dots \dots (3.7)$$

Donde:

V_{xt} = Volumen total infiltrado l

\bar{Z}_t = Volumen promedio infiltrado l/m-surco

c, d = Coeficientes y exponente de regresión potencial respectivamente.

Una vez obtenidas las ecuaciones 3.6 y 3.7 se examinaron sus coeficientes de determinación (r^2) para ver si estos aceptables. Luego se expresó el volumen promedio infiltrado (Z_t) que se introdujo en el suelo en el tiempo t sobre la distancia X, relacionando con las ecuaciones 3.6 y 3.7 de la siguiente forma:

$$\bar{Z}_t = \frac{V_{xt}}{X} \dots \dots \dots (3.8)$$

Sustituyendo las ecuaciones 3.6 y 3.7 en la ecuación 3.8 resultó:

$$\bar{Z}_t = \frac{c * t^d}{a * t^p} \dots \dots \dots (3.9)$$

$$\bar{Z}_t = (c/a) * t x^{(d-b)} \dots \dots \dots (3.10)$$

$$\bar{Z}_t = m * t x^n \dots \dots \dots (3.11)$$

Donde:

$$m = c/a$$

$$n = d-b$$

El frente de humedecimiento subsuperficial se asumió de forma parabólica, por lo mismo:

$$\bar{Z}_t = (2/3) * Z_t \dots \dots \dots (3.12)$$

$$Z_t = (3/2) * \bar{Z}_t \dots \dots \dots (3.13)$$

Sustituyendo la ecuación 3.10 en la 3.13 se tuvo lo siguiente:

$$Z_t = (3/2) * m * t x^n \dots \dots \dots (3.14)$$

Se dividió la ecuación 3.14 entre mil, obteniéndose así en unidades de m^3/m -surco.

$$Z_t = \frac{(3/2) * m * t x^n}{1000} \dots \dots \dots (3.15)$$

Para el caso del flujo intermitente se calculó Z_t por intermitencia y al dividirse por el ancho de surco se determinó la lámina infiltrada promedio por intermitencia para que después se sumaran cada uno de los valores y de esta manera estimar el volumen total infiltrado. Se derivó la ecuación 3.15, para obtener la velocidad de infiltración esperado en función del tiempo de avance, por lo mismo:

$$dZt = \frac{(3/2) * m}{1000} * n * t_i^{n-1} \dots \dots \dots (3.16)$$

Donde:

$(3/2) * m * n / 1000$ = Constante de la ecuación de Kostiacov

$n-1$ = Exponente de la ecuación de Kostiacov

$T_i = _tj - 1/2_tj$

dZt = Velocidad de infiltración $m^3/min/m$ -surco.

RESULTADOS Y DISCUSION

Calibración de la Tubería de Compuerta

Los resultados del aforo de la tubería de compuertas se muestran en los Cuadros 4.1 y 4.2. Para determinar el coeficientes de calibración de la tubería los datos de gasto, carga hidráulica y apertura de las compuertas observados en cada sitio de trabajo fueron procesados a través de un programa en lenguaje pascal (en el Apéndice B se muestra el listado del programa) para estimar los coeficientes de calibración de la tubería y el análisis de varianza para determinar el grado de ajuste del modelo, en los dos sitios de trabajo.

Cuadro 4.1 Volúmenes aforados para la calibración de la tubería de compuertas, con un diámetro de 6 pulgadas en la UAAAN.

Carga (cm)	Tiempo de llenado (seg)	Volumen Aforado (l)	Apertura Fracción	Gasto (l/min)
18	7.0	15	1.0	128.57
18	7.0	15	1.0	128.57
15	9.0	15	1.0	100.00
15	8.5	15	1.0	105.88
10	10.0	15	1.0	105.88
10	10.0	15	1.0	90.00
14	22.0	15	0.5	88.00
14	21.5	15	0.5	40.90
15	15.0	15	0.5	60.00
15	15.0	15	0.5	60.00
16	24.0	15	0.5	37.50

El coeficiente estimado para la UAAAN es de 33.317. Por lo que resultó el gasto de 130 l/min con una carga hidráulica de 0.15 m, con un coeficiente de determinación de 0.93. El análisis de varianza de la regresión (Apéndice C), para determinar la bondad de ajuste resultó altamente significativo; por lo que la hipótesis $H_0 : B_1 = 0$ se rechaza, concluyendo que no existe falta de ajuste por lo que el modelo de calibración de la tubería propuesto se considera aceptable.

Cuadro 4.2 Volúmenes aforados para la calibración de la tubería de compuertas, con un diámetro de 6 pulgadas, en el Ejido el Esfuerzo.

Carga (cm)	Tiempo de Llenado (seg)	Volumen Aforado (l)	Apertura (fracción)	Gasto (l/min)
10	12.0	15	1.0	75.00
11	17.0	15	0.5	52.94
15	12.0	15	0.5	75.00
19	8.0	15	1.0	112.50
19	6.5	15	1.0	138.46
25	12.3	15	0.5	73.27

Para el Ejido el esfuerzo el coeficiente de calibración calculado fue de 22.21; por lo que con un gasto de 86.0 l/min se tuvo una carga hidráulica de 0.15 m y de 49.0 l/min con una carga de 0.05 m, el coeficiente de determinación fue de 0.90. El análisis de varianza de la regresión, (Apéndice C) en este caso igualmente resultó significativa por lo que la hipótesis, $H_0: B_1 = 0$ se rechaza; existiendo un buen ajuste estadístico del modelo propuesto de calibración de la tubería de compuertas.

Gradiente Hidráulico

La variación de los tirantes hidráulicos a lo largo del surco mostraron poca diferencia en su medición entre intermitencias en cada prueba realizada. Confirmando lo mencionado por Blair (1986) donde menciona que ésta característica hidráulica no es significativamente afectada por el flujo intermitente. Esta tendencia se observó en todas las pruebas realizadas y en la Figura 4.1 se puede apreciar el perfil hidráulico promedio para la prueba de tiempo de ciclo 15/15, realizada en la UAAAN. Los perfiles hidráulicos promedio para el resto de las pruebas, se encuentran en el Apéndice D anexo a este trabajo.

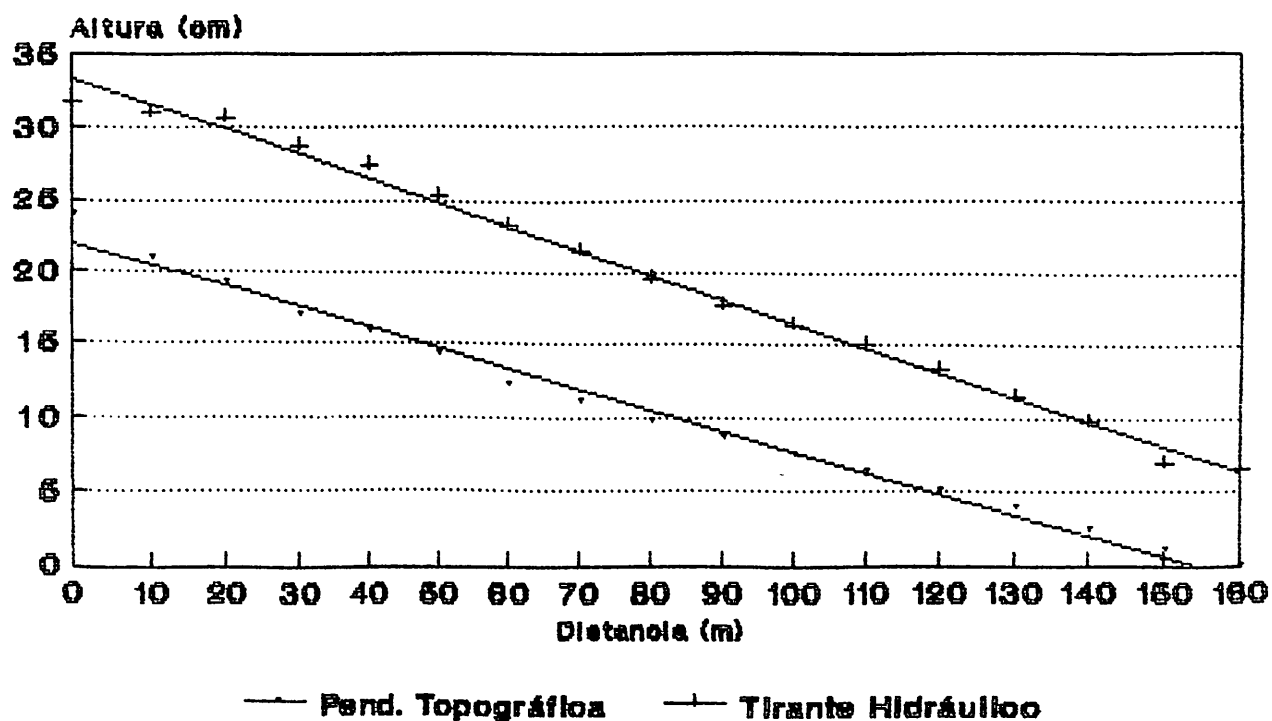


Figura 4.1 Perfil del tirante hidráulico del flujo en el surco de la prueba con un gasto de 130 l/min y una relación de ciclo de 15/15 en la UAAAN.

Pruebas de Avance

Sitio Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Las curvas de avance para cada uno de los gastos probados fueron graficadas para apreciar sus tendencias y las desviaciones del flujo intermitente en comparación con el flujo continuo. Los resultados de las pruebas de avance en la UAAAN con un gasto de 130 l/min y con tiempo de ciclo de diez minutos de apertura y diez minutos de cierre (10/10) y del tiempo de ciclo de 15 minutos de apertura y 15 minutos de cierre (15/15), se muestran en las Figuras 4.2 y 4.3, respectivamente.

El avance del agua sobre la longitud completa del surco se logró con cinco intermitencias en el tiempo de ciclo de 10/10, con un tiempo de avance total de 48 minutos; mientras que en el ciclo de 15/15 el mismo avance se logró con tres intermitencias, siendo el tiempo de avance de 44 minutos. Siendo esta última prueba la que más incrementó la velocidad de avance, comparada con el flujo continuo que fue de 49 minutos. El comportamiento de las intermitencias fueron similares en ambas pruebas, la primera se comportó como flujo continuo para que en las demás la velocidad de avance fuera mayor y aumentando conforme las intermitencias aumentaron.

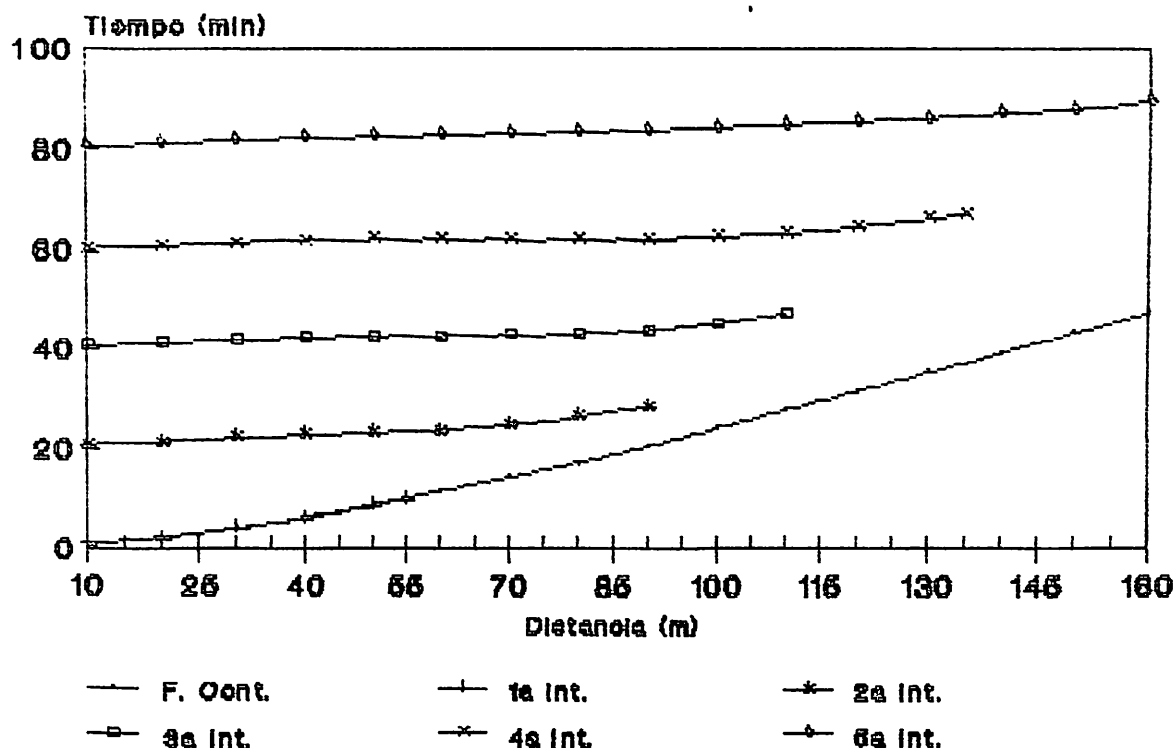


Figura 4.2 Distancia avanzada con flujo intermitente y continuo en la UAAAN con un gasto de 130 l/min y tiempo de ciclo de 10/10.

En general en este caso el flujo intermitente mostró pocas ventajas significativas sobre el flujo continuo presentando un 10 por ciento de ahorro en tiempo de avance, en el ciclo de 15/15. La literatura reporta que los ahorros de tiempo avance varían por arriba del 40 por ciento sobre el continuo (Coolidge *et al.* 1982) en este caso no se alcanzó tal ahorro probablemente por las condiciones de compactación existentes. Por lo que se considera que los volúmenes aplicados de agua para el flujo continuo son menores a los que en condiciones normales se infiltrarían dentro del suelo.

En cuanto a los resultados del método de balance volumen arrojó resultados con coeficientes de determinación que variaron de 0.98 a 0.99 en las ecuaciones empíricas de avance y de volúmenes infiltrados por lo que reflejan un buen ajuste de los datos procesados (Cuadro 4.3 y 4.4).

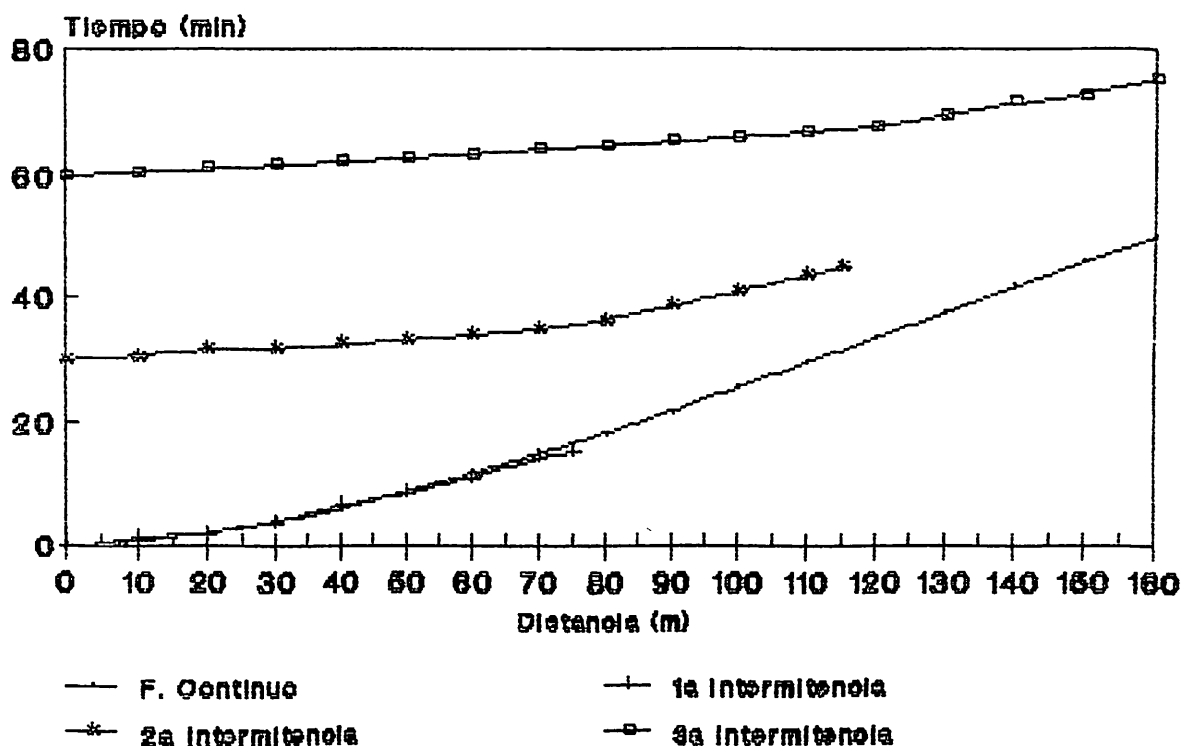


Figura 4.3 Distancia avanzada con flujo intermitente y continuo en la UAAAAN con un gasto de 130 l/min y tiempo de ciclo 15/15.

Cuadro 4.3 Funciones empíricas de avance y de volumen total infiltrado en la UAAAAN de la prueba con un gasto de 130 l/min y un tiempo de ciclo de 10/10.

No de Int.	Función de Avance (m) t (min)	r ²	Función de Volumen Tot. Infiltrado m ³ /m-surco) t (min)	r ²
1	10.7863*t ^{0.7176}	0.99	61.7000*t ^{1.1823}	0.98
2	19.8804*t ^{0.8008}	0.98	25.2730*t ^{1.4347}	0.98
3	18.6490*t ^{0.8413}	0.99	25.2730*t ^{1.7312}	0.99
4	19.3374*t ^{0.9265}	0.99	4.8910*t ^{2.1040}	0.99
5	19.9491*t ^{0.9265}	0.99	11.4730*t ^{3.2000}	0.98

Cuadro 4.4 Funciones empíricas de avance y de volumen total infiltrado en la UAAAN de la prueba con un gasto de 130 l/min y un tiempo de ciclo de 15/15.

No de Int.	Función de Avance (m) t (min)	r ²	Función de Volumen Tot. Infiltrado m ³ /m-surco t (min)	r ²
1	10.7863*t ^{0.7176}	0.99	61.700*t ^{1.1823}	0.98
2	19.8804*t ^{0.7209}	0.98	24.316*t ^{1.4816}	0.99
3	21.0530*t ^{0.8207}	0.99	9.608*t ^{1.6394}	0.99

La lámina infiltrada promedio acumulada en cada una de las intermitencias estimadas reflejan una relación con los incrementos en velocidad de avance, siendo proporcionales en ahorro de volúmenes de agua aplicado, esto debido a la reducción del agua infiltrada que ocurrió después de la primera intermitencia, siendo la prueba de tiempo de ciclo de 15/15 proporcionó mas ahorros en los volúmenes infiltrados, con 63 mm comparado con los 65 mm del tiempo ciclo de 10/10 y de los 70 mm del flujo continuo.

Sitio Ejido el Esfuerzo

La prueba que presentó los mejores resultados en cuanto a las diferencias del flujo continuo e intermitente fue la de tiempo de ciclo de 10/10 y 15/15 respectivamente, con un gasto de 86 l/min, particularmente esta última relación, en la Figura 4.6 y 4.7 se pueden observar los resultados de las pruebas de avance. Los ahorros de tiempo de avance fueron de 15 por ciento para el tiempo de ciclo de 10/10 y de 25 por ciento para el tiempo de ciclo de 15/15 en

relación al flujo continuo; por lo que en estas condiciones se considera que se desarrolló plenamente una compactación en la superficie del suelo durante el tiempo de cierre; originando un aumento en la densidad aparente y una disminución en la conductividad hidráulica en esa parte (Blair, 1986). El número de intermitencias en el tiempo de ciclo de 10/10 fueron siete y en el tiempo de ciclo de 15/15 fueron cuatro, en las Figuras 4.4 y 4.5, se puede observar que la pendiente de la curva en cada intermitencia tiende a ser menor conforme el número de intermitencias se incrementa principalmente en la parte en que ha sido previamente humedecida, lo que significa que las láminas infiltradas tienden a ser más uniformes a lo largo del surco, lo que representará una ventaja del flujo intermitente.

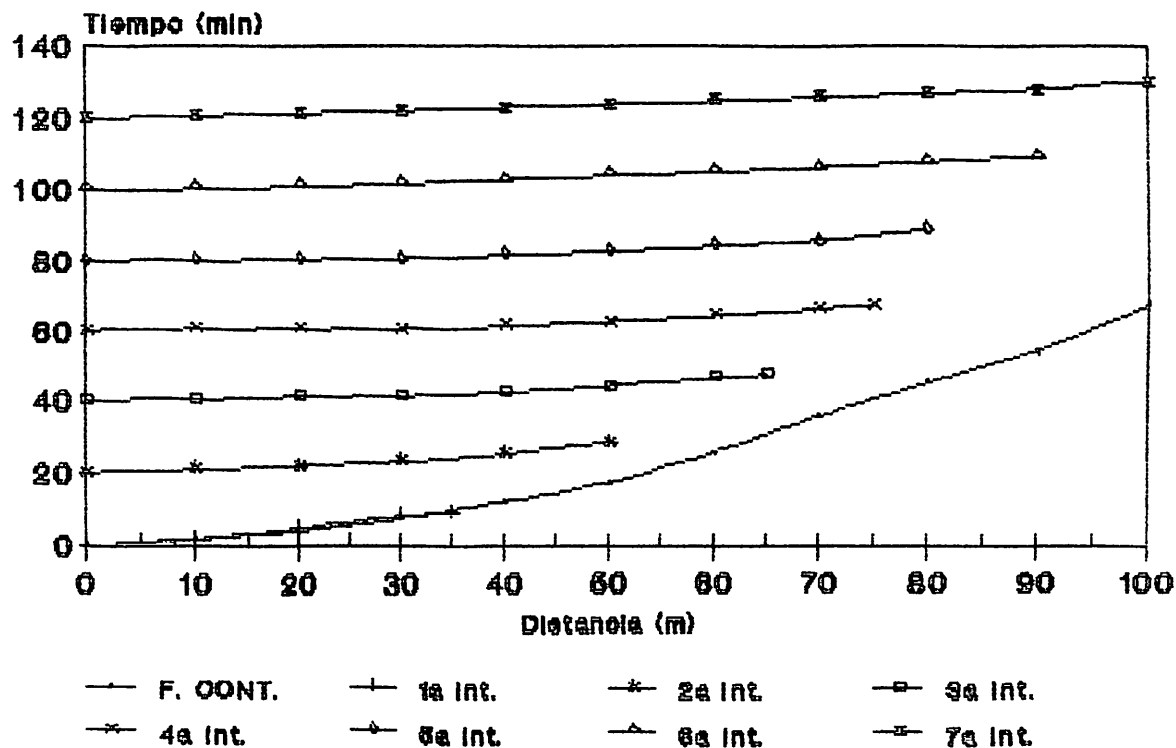


Figura 4.4 Distancia avanzada con flujo intermitente y continuo en el Ejido el Esfuerzo con un gasto de 86 l/min y un tiempo de ciclo de 10/10.

En los Cuadros 4.5 y 4.6 se muestran los resultados del método de balance volumen, igualmente que en la prueba anterior los coeficientes de determinación presentaron una buena tendencia, principalmente las constantes, en el caso de la función empírica de avance estos fueron aumentando conforme las intermitencias también fueron aumentando y los coeficientes de los volúmenes infiltrados tendieron a disminuir, mientras el número de intermitencias fueron en aumento. En el caso de los exponentes aunque tendieron a aumentar en la función de avance e igualmente en la función de volúmenes infiltrados totales estas tendencias no fueron demasiadas claras, ya que aumentaron para disminuir posteriormente.

Las láminas infiltradas promedios acumuladas por intermitencia presentan una concordancia con el tiempo de avance, para el tiempo de ciclo de 10/10 presenta una lámina infiltrada 99 mm, el tiempo de ciclo de 15/15 de 87 mm y la del flujo continuo 115 mm. Las láminas infiltradas van disminuyendo conforme las intermitencias aumentan, existiendo una caída brusca en los volúmenes infiltrados principalmente de la primera a la segunda intermitencia.

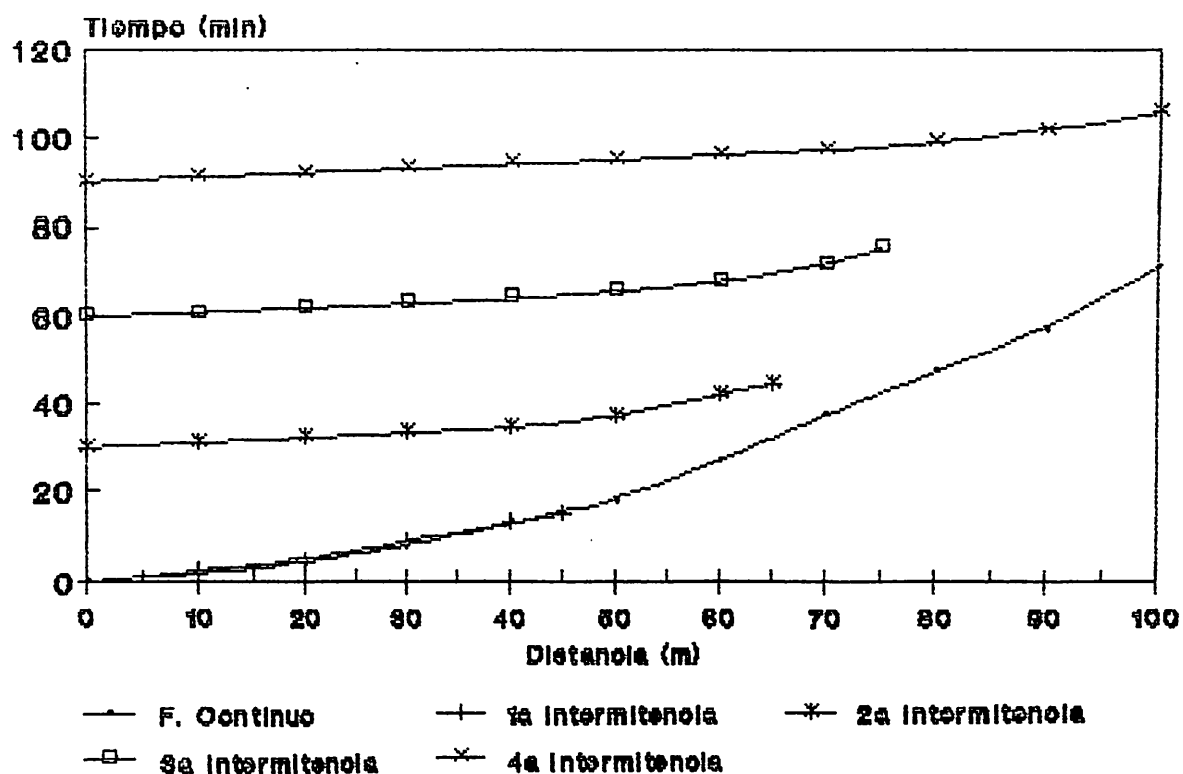


Figura 4.5 Distancia avanzada con el flujo intermitente y continuo en el Ejido el Esfuerzo con un gasto de 86 l/min y un tiempo de ciclo de 15/15.

Cuadro 4.5 Funciones empíricas de avance y de volumen total infiltrado de la prueba con un gasto de 86 l/min y un tiempo de ciclo de 10/10 en el Ejido el Esfuerzo.

No de Int.	Función de Avance (m) t (min)	r ²	Función de Volumen Tot. Infiltrado m ³ /m-surco) t (min)	r ²
1	5.4493*t ^{0.8281}	0.99	45.660*t ^{1.112}	0.99
2	7.0442*t ^{0.8957}	0.98	33.436*t ^{1.249}	0.98
3	9.6377*t ^{0.8568}	0.99	24.923*t ^{1.296}	0.99
4	10.1097*t ^{0.9008}	0.99	13.295*t ^{1.460}	0.99
5	11.6864*t ^{0.8879}	0.99	10.064*t ^{1.888}	0.98
6	10.1099*t ^{0.9748}	0.99	10.770*t ^{1.151}	0.99
7	11.8040*t ^{0.9361}	0.99	9.132*t ^{1.342}	0.99

Cuadro 4.6 Funciones empíricas de avance y de volumen total infiltrado de la prueba con un gasto de 86 l/min y un tiempo de ciclo de 15/15 en el Ejido el Esfuerzo.

No de Int.	Función de Avance (m) t (min)	r ²	Función de Volumen Tot. Infiltrado m ³ /m-surco) t (min)	r ²
1	6.8039*t ^{0.7087}	0.99	38.401*t ^{1.2144}	0.99
2	10.9952*t ^{0.7261}	0.98	25.057*t ^{1.4090}	0.97
3	11.0603*t ^{0.8278}	0.99	16.195*t ^{1.6108}	0.99
4	11.0189*t ^{0.9069}	0.98	12.635*t ^{1.2711}	0.98

En la prueba de 49 l/min y con un tiempo de ciclo de 15/15 y de 10/10 respectivamente, fue la prueba que presentó mas inconsistencia en los resultados; en los tiempos de avance los ahorros no fueron muy significativos, teniendo un tiempo de 218 minutos para el flujo continuo, 206 minutos para el tiempo de ciclo de 10/10 y de 200 minutos para el flujo de 15/15 (Cuadro 4.7), presentando la distancia avanzada por intermitencia para esta prueba.

Cuadro 4.7 Distancia avanzada por intermitencia para la prueba con un gasto de 49 l/min y un tiempo de ciclo de 15/15, en el Ejido el Esfuerzo.

No de Intermitencia	Máximo avance del flujo (m)
1	25
2	36
3	44
4	50
5	56
6	61
7	69
8	74
9	80
10	84
11	89
12	94
13	100

La tendencia encontrada en este caso es que la velocidad de avance de las intermitencias a la mitad de la prueba se perdían de tal manera que en una intermitencia en ocasiones no avanzaba ni una estación. Esto debido a que el gasto aplicado no fue suficiente para lograr el avance del frente de agua en la sección seca del surco, a consecuencia de que la mayor parte del volumen de agua aplicado se infiltró dentro del suelo durante las intermitencias mencionadas. El número de intermitencias en el tiempo de ciclo fueron 21 lo que significó la prueba de mayor duración en tiempo y en el de tiempo de ciclo de 15/15 fueron 13. Por lo que se considera que este gasto probado no permite que el flujo intermitente manifieste sus posibles ventajas.

Igualmente el método de balance volumen dio resultados inconsistentes por los coeficientes de determinación variaron desde 0.95 a 0.99; las funciones empíricas de avance y de volumen, dieron coeficientes que fueron en aumento en el caso de la ecuación de avance y disminuyendo en la función de volúmenes infiltrados; los exponentes fueron los que presentaron mayor variación, como resultado de las diferencias en el comportamiento en el avance del frente del agua en cada una de las intermitencias, a pesar de que la función de avance aumentaron conforme aumentaban las intermitencias y en la función de volumen vieron un comportamiento definido; en los Cuadros 4.8 y 4.9 se muestran estos resultados.

Las láminas totales promedio infiltradas por prueba de flujo intermitente, fueron de 193.8 mm para el tiempo de ciclo de 15/15 y de 199.8 mm para el tiempo de ciclo de 10/10, relacionandose con los tiempos de avance la mayor lámina infiltrada fue para la prueba de flujo continuo con 215 mm.

Cuadro 4.8 Funciones empíricas de avance y de volumen total infiltrado de la prueba con un gasto de 49 l/min y un tiempo de ciclo de 10/10 en el Ejido el Esfuerzo.

No de Int.	Función de Avance (m) t (min)	r ²	Función de Volumen Tot. Infiltrado m ³ /m-surco) t (min)	r ²
1	4.8775*t ^{0.6437}	0.99	30.812*t ^{1.1163}	0.98
2	8.0708*t ^{0.6573}	0.97	15.785*t ^{1.4612}	0.98
3	7.9226*t ^{0.6844}	0.98	6.846*t ^{1.7286}	0.98
4	7.6479*t ^{0.7288}	0.96	10.016*t ^{1.4403}	0.97
5	7.5978*t ^{0.7623}	0.97	15.209*t ^{1.2771}	0.99
6	8.3612*t ^{0.7762}	0.99	11.615*t ^{1.3760}	0.97
7	9.0114*t ^{0.8066}	0.99	13.311*t ^{1.2978}	0.96
8	9.0752*t ^{0.8289}	0.98	9.372*t ^{1.3720}	0.99
9	8.8831*t ^{0.8816}	0.95	8.960*t ^{1.3077}	0.98
10	9.4490*t ^{0.8642}	0.96	3.513*t ^{1.6847}	0.99
11	9.4666*t ^{0.9078}	0.97	1.955*t ^{1.7736}	0.97
12	10.3654*t ^{0.8886}	0.98	3.077*t ^{1.6788}	0.96
13	10.3235*t ^{0.9077}	0.95	0.300*t ^{3.9288}	0.99
14	10.2916*t ^{0.9274}	0.99	4.248*t ^{1.4203}	0.97
15	10.5266*t ^{0.9213}	0.98	2.944*t ^{1.4926}	0.98
16	11.2070*t ^{0.9180}	0.99	4.095*t ^{1.4699}	0.97
17	11.0577*t ^{0.9399}	0.98	5.994*t ^{1.2971}	0.99
18	11.1800*t ^{0.9382}	0.99	6.626*t ^{1.2669}	0.96
19	11.1610*t ^{0.9707}	0.95	1.554*t ^{1.4977}	0.97
20	11.1610*t ^{0.9707}	0.96	0.164*t ^{2.4922}	0.98
21	11.3733*t ^{0.9689}	0.98	3.818*t ^{1.2377}	0.97

Cuadro 4.9 Funciones empíricas de avance y de volumen total infiltrado de la prueba con un gasto de 49 l/min y un tiempo de ciclo de 15/15 en el Ejido el Esfuerzo.

No de Int.	Función de Avance (m) t (min)	r ²	Función de Volumen Tot. Infiltrado m ³ /m-surco) t (min)	r ²
1	5.4452*t ^{0.8830}	0.99	27.999*t ^{1.1843}	0.98
2	6.9457*t ^{0.6237}	0.98	14.822*t ^{1.8187}	0.99
3	7.2359*t ^{0.6639}	0.97	12.898*t ^{1.8627}	0.95
4	7.0671*t ^{0.7282}	0.97	8.533*t ^{1.8188}	0.96
5	6.8838*t ^{0.7832}	0.96	7.008*t ^{1.8806}	0.97
6	7.5839*t ^{0.7808}	0.99	6.304*t ^{1.8493}	0.99
7	8.5492*t ^{0.7916}	0.99	4.994*t ^{1.8840}	0.99
8	9.3940*t ^{0.8210}	0.97	0.781*t ^{2.3616}	0.98
9	9.5943*t ^{0.8233}	0.97	10.970*t ^{1.2901}	0.97
10	10.2220*t ^{0.8482}	0.98	2.116*t ^{1.9102}	0.95
11	11.0261*t ^{0.8469}	0.99	4.216*t ^{1.8424}	0.98
12	11.5851*t ^{0.8899}	0.97	4.283*t ^{1.8682}	0.96
13	12.1868*t ^{0.8381}	0.97	1.170*t ^{2.0382}	0.97

Velocidad de avance

La velocidad de avance promedio de la onda de agua aplicada en cada pulsación tendió a incrementarse conforme se incrementaba el número de intermitencias requeridas para el avance completo sobre la longitud total del surco a excepción de la prueba con un gasto de 49 l/min y un tiempo de ciclo de 10/10, la cual tuvo un comportamiento diferente ya que a partir de la séptima intermitencia la velocidad de avance ya no fue tan rápida como las anteriores, tales tendencias están descritas por las curvas de la Figura 4.6. La masa de agua se aceleraba en la sección previamente humedecida del surco y luego sufría un frenado gradual al llegar a la sección seca.

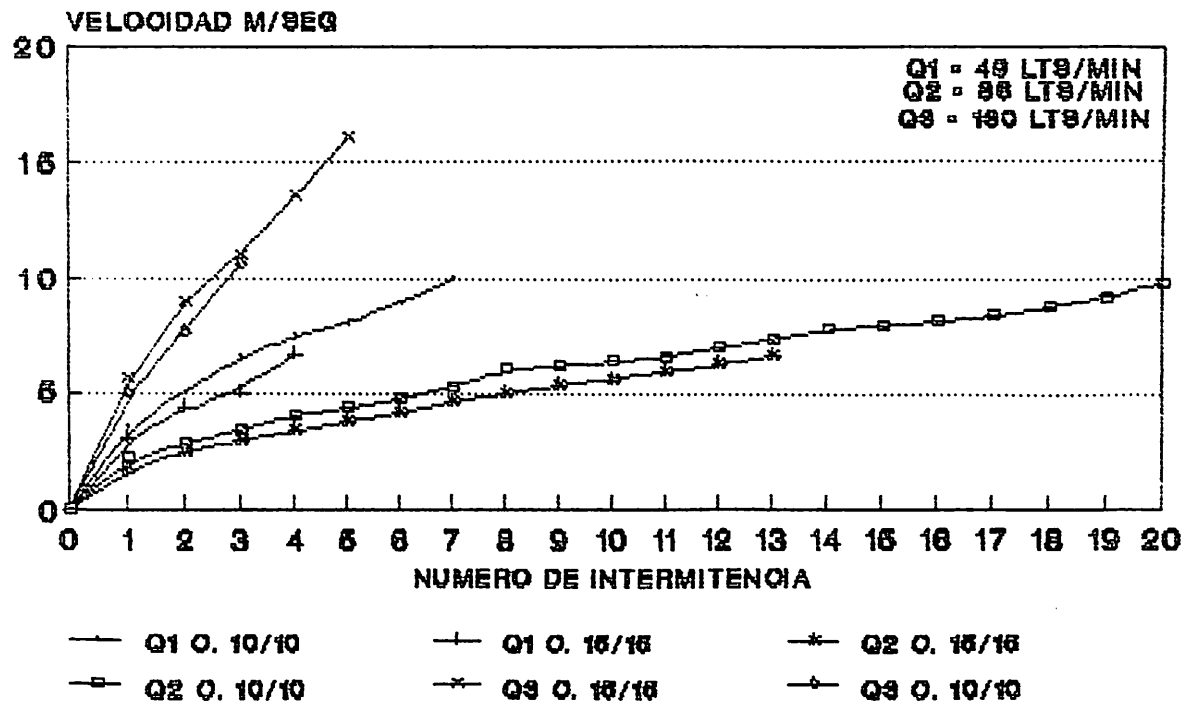


Figura 4.6 Velocidad de avance por intermitencia en la UAAAN y el Ejido el Esfuerzo con dos tiempos de ciclo y tres gastos

CONCLUSIONES

Después de la realización de las pruebas experimentales, la obtención de los resultados de campo y de su respectivo análisis y discusión de las tendencias encontradas, se acepta la hipótesis planteada, donde el flujo intermitente en forma general presenta más ventajas que el flujo continuo. Teniendose las siguientes conclusiones.

1. En forma general el flujo intermitente presenta ventajas sobre el flujo continuo, en relación a la velocidad de avance, siempre y cuando se tomen en cuenta las condiciones físicas del suelo ya que en el sitio de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, estas propiedades influyeron notablemente.
2. El gasto tiene un efecto sobre la relación tiempo de avance del flujo intermitente sobre tiempo de avance con flujo continuo, como lo demostró los dos gastos probados, en el Ejido el esfuerzo. En donde el gasto de 86 l/min presentó un mayor porcentaje en la velocidad de avance, sobre el flujo continuo, en cambio

el gasto de entrada de 49 l/min prácticamente no existió diferencia con el flujo continuo .

3. El tiempo de los ciclos tuvieron una influencia en la velocidad de avance, conforme los ciclos tendían a ser más grandes, el tiempo de avance disminuía, esto sucedió en todas las pruebas realizadas a pesar de que en algunos casos el efecto no fue muy significativo.

4. Aunque con poca diferencia las láminas infiltradas promedio estimadas por el método balance volumen presentaron una relación con el tiempo avance; a menor tiempo de avance menor lámina infiltrada, por lo que se considera como un método que se puede aplicar en forma eficiente en el flujo intermitente.

Las recomendaciones del presente trabajo son las siguientes:

1. En trabajos posteriores de flujo intermitente, las pruebas se realicen en surcos o melgas con distancias más largas, que las probadas en este trabajo. Permitiendo el estudio de tiempos de ciclo más grandes y además para que

este método de riego sea practico en su aplicación en el campo.

2. Seguir una metodología en la selección de los gastos aplicados para que las posibles ventajas del flujo intermitente se manifiesten de mejor manera; como el criterio del gasto máximo no erosivo u otros métodos.

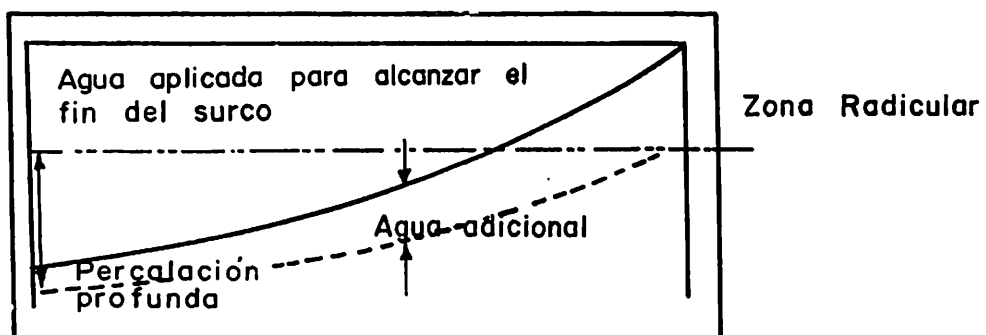
LITERATURA CITADA

- Bishop, A. A., W. R. Walker, N. L. Allen and G. J. Poole, 1981. Furrow advance rates under surge flow systems. Journal of the Irrigation and Drainage Division ASCE. 107(3):257-265. United States of America.
- Blair, A. W., 1986. Surge flow irrigation infiltration. University of Texas. pp 3-7 United States of America.
- Carrol, D.W. 1988. Lenguaje turbopascal, Editorial McwGraw - Hill de México S. A. de C. V. Naucalpan de Juarez, Edo. de México.
- Chapa, G. M. 1990. Validación de modelos de riego por superficie, Tesis de Maestría UAAAN. Saltillo, México. pp 63-67.
- Cisneros, P. V. 1990 Infiltración en riego bajo flujo intermitente, Tesis de Licenciatura UACH. pp 60-80 Chapingo México.
- Coloolidge, P.S. 1981. Advance rates under an automated pulsed flow irrigation system. M.S. Thesis. Utah State University. United States of America.
- Coolidge, P.S., W.R.Walker and A.A.Bishop. 1982. Advance and runoff surge flow furrow irrigation. Journal of the Irrigation and Drainage Division ASCE. 108(1): 35 - 45. United States of America.
- Elliot, R.L. and W.R.Walker. 1982. Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. Transaction of the ASAE. 25(2):396-399. United States of America.

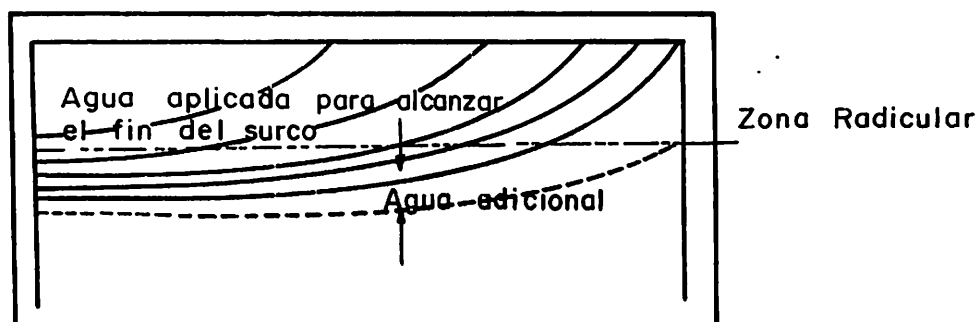
- Forsyth, S. 1987. Pascal Programación, ejemplos y aplicaciones. Editorial Gustavo Gili, S.A. pp 104-108. Barcelona, España.
- Izuno, F.T., T.H. Podmore and H.R. Duke. 1985. Infiltration under surge irrigation. Transactions of the ASAE. Vol 28(2)517-521. United States of America.
- Karmeli, D. and G. Peri. 1974. Basic principles of pulsed irrigation. Journal of the Irrigation and Drainage Division ASCE. 100(3):309-319. United States of America.
- Kemper, W.D, Trout T.J., A.S. Humpherys and M.S. Bullock. 1988. Mechanisms by which surge irrigation reduces furrow infiltration rates in a silty loam soil. Transactions of the ASAE. 31(3): 821-829. United States of America.
- Lal, R. and A.C. Pandya. 1972. Volume balance method for computing infiltration rates in surface irrigation. Transactions of the ASAE. 15(1):69-79. United States of America.
- Luna, D.E. 1989. Riego intermitente en surcos, informe de investigación. CENID-RASPA, Vol 3:188-191. Gomez Palacios, México.
- McCormick, P.G., H.R. Duke and T.H. Podmore. 1988. Field evaluation procedure for surge irrigation. Transaction of the ASAE. 31(1):188-175. United States of America.
- Ostle, B. 1974, Estadística aplicada. Cuarta Edición Ed. Limusa, S.A., México, D.F. pp 180-190.
- Purkey, D.R. and W. W. Wallender. 1989. Surge flow infiltration variability. Transactions of the ASAE. 32(3):889-894. United States of America.
- Ramirez, H.G. and H. Manges. 1972. Uniform flow infiltration in irrigation pipe. Transaction of the ASAE. Vol. 1(3):127:129 United States of America.

- Samani Z.A., W.R. Walker and L.S. Willardson. 1985. Infiltration Under Surge Flow Irrigation. Transaction of the ASAE. Vol 28(5):1539-1542. United States of America.
- Stringham, G.E. and J. Keller. 1979. Surge flow for automatic irrigation. Journal of Irrigation and Drainage Division ASCE. 99(3):2059-216. United States of America.
- Soil Conservation Service. 1986. Surge flow irrigation. Field Guide. Department of Agricultural. pp 2-3. United States of America.

APENDICE A

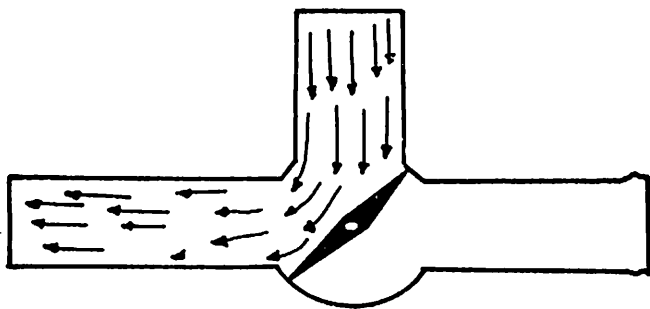


FLUJO CONTINUO

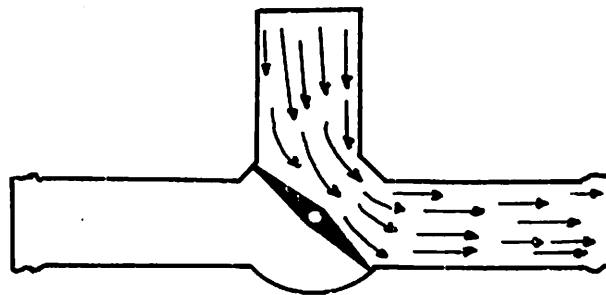


FLUJO INTERMITENTE

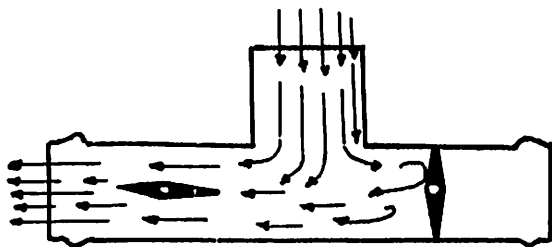
Figura A.1 Perfil de la lámina infiltrada bajo flujo continuo e intermitente.



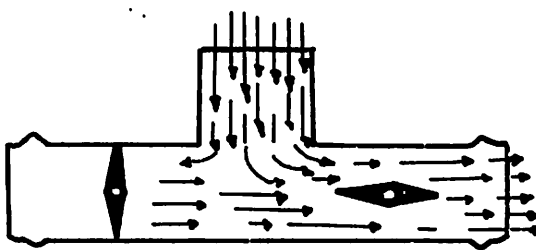
Desvio a la izquierda



Desvio a la derecha



Desvio a la izquierda



Desvio a la derecha

Figura A.2 Dispositivos que se utilizan para crear flujo intermitente.

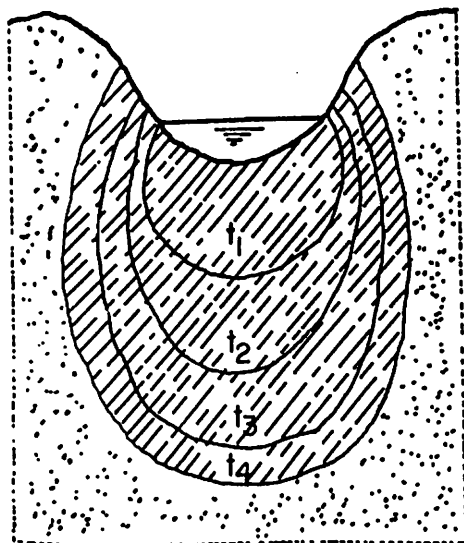


Figura A.3 Perfiles de mojado en un surco.

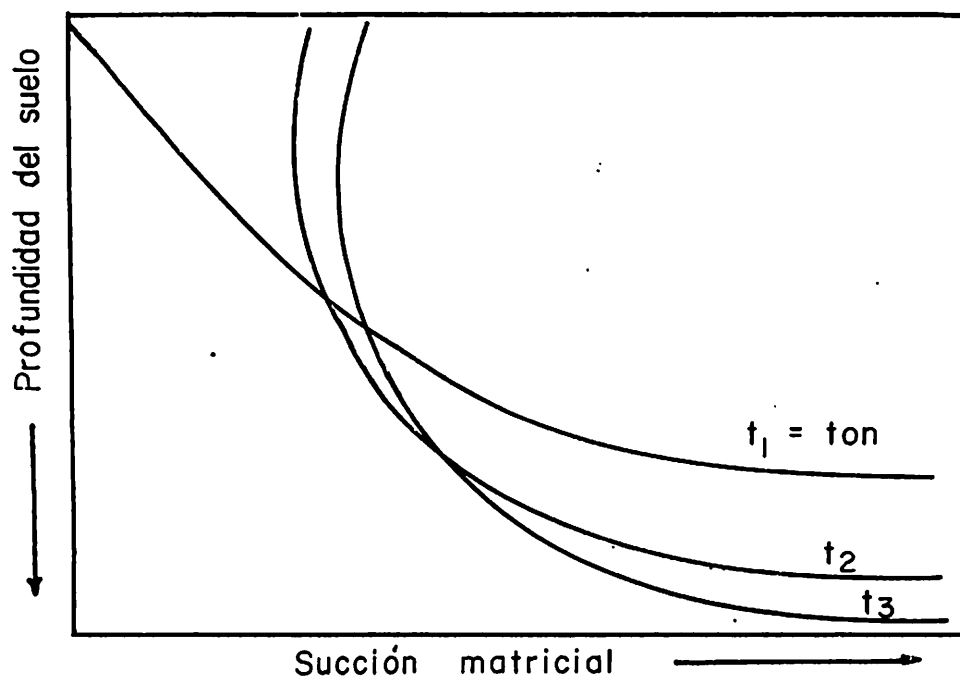


Figura A.4 Redistribución matricial del suelo durante el tiempo cerrado de la intermitencia.

APENDICE B

Cuadro B.1 Listado del programa de la calibración de la tubería de compuertas en lenguaje pascal

```

PROGRAM REGRESION;

USES PRINTER, CRT;
CONST M = 7;
TYPE ARR = ARRAY [1..M] OF REAL; VAR
DAT_X, T, DAT_Y, H, P, SUMX2, SUMXY, SUMY, SUMY2 : ARR;
Y2, X2, V, XY, X, Y: REAL;
I: INTEGER;

PROCEDURE LECTURA ;

BEGIN
WRITELN (' ':14, 'ESTE PROGRAMA CALCULA EL COEFICIENTE DE
CALIBRACION, ');
WRITELN;
WRITELN (' ':14, ' B1 (PENDIENTE), EL COEFICIENTE DE
DETERMINACION
(R2) ');
WRITELN;
WRITELN (' ':14, ' ASI COMO EL ANALISIS DE VARIANZA DE UNA
TUBERIA DE '); WRITELN;
WRITELN (' ':33, ' DE COMPUERTAS ');
WRITELN;
WRITELN (' ':33, ' DATOS DE ENTRADA ');
WRITELN;
WRITE (' ':14, ' VOLUMEN AFORADO : '); READLN
(V);
FOR I :=1 TO M DO
BEGIN {FOR}
WRITE (' ':14, ' CARGA HIDRAULICA ', I:11, ' : ':17);
READLN (H [I]);
WRITE (' ':14, ' ABERTURA DE LA COMPUERTA ', I:3, ' : ':17 );
READLN (P [I]);
WRITE (' ':14, ' TIEMPO DE LLENADO ', I:10, ' : ':17);
READLN (T [I]);
WRITELN;
END; {FOR}
END; {LECTURA}
PROCEDURE IMPRESION ;
BEGIN
WRITELN (LST, ' ':14, 'ESTE PROGRAMA CALCULA EL COEF. DE
CALIBRACION ');
WRITELN (LST);
WRITELN (LST, ' ':14, ' B1 (PENDIENTE), EL COEFICIENTE DE
DETERMINACION
(R) ');
WRITELN (LST);
WRITELN (LST, ' ':14, ' Y EL ANALISIS DE VARIANZA DE UNA TUBERIA
DE ');
WRITELN (LST);
WRITELN (LST, ' ':33, ' DE COMPUERTAS ');

```

Cuadro B.1 Continuación

```

WRITELN (LST);
WRITELN (LST);

WRITELN (LST);
WRITELN (LST);
WRITELN (LST, '':33, 'DATOS DE ENTRADA');
WRITELN (LST);
WRITELN (LST);
WRITELN (LST);
WRITELN (LST, '':14, 'VOLUMEN AFORADO : ', V:30:2 );
WRITELN (LST);
FOR I :=1 TO M DO
BEGIN (FOR)
WRITELN (LST, '':14, 'CARGA HIDRAULICA ', I:11, ' ', H[I]:17:2);
WRITELN (LST, '':14, 'ABERTURA DE LA COMPUERTA ', I:3, ' : '
, P[I]:17:2);
WRITELN (LST, '':14, 'TIEMPO DE LLENADO ', I:10 , ' : ' ,
T[I]:17:2);
WRITELN (LST);
WRITELN (LST);
END
END; (IMPRESION)

```

PROCEDURE CAL_PRELIM

```

(VAR H, P, T, DAT_X, DAT_Y: ARR);
BEGIN
X := 0;
Y := 0;
FOR I := 1 TO M DO
BEGIN
DAT_X [I] := SQRT (H [I]) * P [I];
DAT_Y [I] := V/T [I]* 60;
X :=X + DAT_X [I];
Y :=Y + DAT_Y [I];
END
END;

```

PROCEDURE REG (VAR SUMX2, SUMY2, SUMYX: ARR; X, Y: REAL);

```

BEGIN
X2 := 0;
Y2 := 0;
XY := 0;
FOR I := 1 TO M DO
BEGIN
SUMX2 [I] := SQR (DAT_X [I]);
SUMY2 [I] := SQR (DAT_Y[I]);

```

Cuadro B.1 Continuación

```
SUMXY [I] := (DAT_X [I] * DAT_Y[I]);
X2 := X2 + SUMX2 [I];
Y2 := Y2 + SUMY2 [I];
XY := XY + SUMXY [I];
END
END;
```

```
PROCEDURE F_VAR (VAR X,Y,X2,Y2,XY:REAL);
```

```
VAR
GL_REG, GL_ERROR, GL_TOTAL: INTEGER;
SC_REG, SC_ERROR, SC_TOTAL, B1, R2, CM_REG, CM_ERROR, FC : REAL;
BEGIN {F_VAR}
GL_REG := 1;
GL_ERROR := M-2;
GL_TOTAL := M-1;
SC_REG := SQR (XY - ((X * Y) /M)) / (X2 - (SQR(X)/M));
SC_TOTAL := (Y2) - (SQR (Y)/M);
SC_ERROR := SC_TOTAL - SC_REG;
R2 := SC_REG/SC_TOTAL;
B1 := (XY - (X*Y/M)) / (X2 - (SQR (X)/M));
CM_REG := SC_REG/GL_REG;
CM_ERROR := SC_ERROR/GL_ERROR;
FC := CM_REG/CM_ERROR;
WRITELN ;
WRITELN;
WRITELN(LST, ' ':15, 'EL COEF.DE CALIBRACION (PENDIENTE B1)
= ', B1:4:4);
WRITELN;
WRITELN;
WRITELN(LST, ' ':14, ' EL COEFICIENTE DE DETERMINACION (R^2)
= ', R2:4:4); WRITELN;
WRITELN;
WRITELN;
WRITELN(LST, ' ':40, 'A N V;
WRITELN(LST, ' ':14, '=====');
WRITELN(LST, 'FV':17, ' ', 'GL': 10, ' ', 'SC':11, ' ', 'CM':14
, 'FC':18);
WRITELN(LST, ' ':14, '=====');
WRITELN(LST, 'REG':18, ' ', GL_REG
:10, ' ':5, SC_REG:4:4, ' ':9, CM_REG :4:4, ' ':12, FC:4:4);
WRITELN(LST, 'ERROR':20, ' ', GL_ERROR:8, '
':5, SC_ERROR:4:3, ' ':10, CM_ERROR:4:4);
WRITELN(LST, 'TOTAL':20, ' ', GL_TOTAL:8, ' ':5, SC_TOTAL:4:3);
WRITELN(LST, ' ':14, '=====');
;
WRITELN;
END;
```

{PROGRAMA PRINCIPAL}

Cuadro B.1 Continuación

```
BEGIN (REGRESION)
CLRSCR ;
LECTURA ;
IMPRESION;
CAL_PRELIM (H, F, T, DAT_X, DAT_Y) ;
REG (SUMX2, SUMY2, SUMXY, X, Y);
F_VAR (X, Y, X2, Y2, XY);
READLN
END. (REGRESION)
```

Cuadro B.2 Listado del programa para estimar los volúmenes infiltrados por el método balance volumen en lenguaje pascal

```
PROGRAM MOD_VOL;
USES CRT,PRINTER;
TYPE ARR =ARRAY [0..100] OF REAL;
VAR
SUM_Y2,DATY,Y_PROM,X,DATX,DAT_X,DAT_Y,Y,PROM,VOL_PROM,VOL_IN
F_AC, INC_VOL, SUMX_Y, SUMX_Y2, SUM_X2, SUMY2, SUM_XY,
V_AP_LTS, T_MIN, TJ,ESP, Ao, SUMX2, SUMXY: ARR;
I,J:INTEGER;
K, BO, B_O1, BO1, MEDY_1, Y_1, Y_2, X_2, X_Y, MEDX1, MEDY1,
MEDX_1, X_1, X1, Y1, X2, AoPROM, EXPO, R2,B_1, B1,M,N,
CONSTANTE, Y2, XY, Ao_PROM, Q, B, INT_X, VOL_ENCH: REAL;
```

```
PROCEDURE TOMA_DATOS;
```

```
BEGIN
I:= 0;
J:= 0;
WRITE ( ' ':14, 'NUMERO DE ESTACIONES           = ');
READLN (J);
WRITELN;
WRITE ( ' ':14, 'EL GASTO UTILIZADO LPM           = ');
READLN (Q);
WRITELN;
WRITE ( ' ':14, 'EL VALOR DEL COEFICIENTE BETA     = ');
READLN (B);
WRITELN;
WRITE ( ' ':14, 'INTERVALO DE DISTANCIA EN M       = ');
READLN (INT_X);
WRITELN; FOR I:= 1 TO J DO
BEGIN
WRITE ( ' ':14, 'DISTANCIA DE LA ESTACION EN M ', I:3, ' = ');
READLN (X [I]);
WRITE ( ' ':14, 'TIEMPO DE AVANCE EN MIN', I:10, ' = ');
READLN (T_MIN [I]);
WRITE ( ' ':14, 'TIRANTE DEL AGUA M', I:15, ' = ');
READLN (Y[I]);
WRITE ( ' ':14, 'ESPEJO DEL AGUA EN M', I:13, ' = ');
READLN (ESP [I]);
WRITELN;
END;
END;
```

```
PROCEDURE IMPRESION;
```

```
BEGIN
```

Cuadro B2. Continuación

```

WRITELN (LST, ' ':14, 'NUMERO DE ESTACIONES      = ', J);
WRITELN (LST);
WRITELN (LST, ' ':14, 'EL GASTO UTILIZADO LPM = ', Q:4:2 );
WRITELN;
WRITELN (LST, ' ':14, 'EL VALOR DEL COEFICIENTE BETA = ' ,
B:1:2);
WRITELN (LST);
WRITELN (LST);
WRITELN (LST, ' ':14, 'INTERVALO DE DISTANCIA EN M = ' , INT_X
:2:2);
WRITELN(LST);
WRITELN (LST);
WRITELN (LST);
FOR I:= 1 TO J DO
BEGIN
WRITELN (LST, ' ':14, 'DISTANCIA DE LA ESTACION EN M ', I:3
, ' = ', X[I]:2:2); WRITELN (LST, ' ':14, 'TIEMPO DE AVANCE
EN MIN',
I:10 , ' = ', T_MIN [I]:2:2); WRITELN (LST, ' ':14, 'TIRANTE
DEL AGUA M' , I:15 , ' = ', Y [I]:2:2 );
WRITELN (LST, ' ':14, 'ESPEJO DEL AGUA EN M' , I:13 , ' = '
, ESP
[I]:2:2 );
WRITELN (LST);
END;
WRITELN (LST);
WRITELN (LST);
END;

```

PROCEDURE CALCULOS_PRELIM; BEGIN

```

TJ [I]:= 0; FOR I := 1 TO J DO
BEGIN
TJ [I]:= T_MIN [I]
T_MIN [I-1];
END;
WRITELN;
WRITELN;
END;
PROCEDURE AREA;
BEGIN
Ao_FROM := 0;
FOR I := 2 TO J DO
BEGIN
Ao [I]:= (2/3) * Y [I]* ESP [I];
Ao_FROM := (Ao_FROM + Ao [I]); END;
AoFROM := Ao_FROM/(J-1);
END;
PROCEDURE VOL_APLICADOS;
BEGIN

```


Cuadro B2. Continuación

```

BEGIN
MEDX1:= X1/(J-1);
MEDY1 := Y1/(J-1);
MEDY_1:= Y_1/(J-1);
X2 :=0;
Y2 :=0;
XY :=0;
Y_2:=0;
X_Y:=0;
FOR I := 2 TO J DO
BEGIN
SUMX2 [I]:= SQR (DAT_X [I]);
SUMY2 [I] := SQR (DAT_Y [I]);
SUM_Y2 [I] := SQR (DATY [I]);
SUMXY [I] := DAT_X [I] * DAT_Y [I];
SUMX_Y [I]:= DAT_X [I] * DATY [I];
X2 := X2 +SUMX2 [I];
Y2 := Y2 + SUMY2 [I];
XY := XY + SUMXY [I];
Y_2 := Y_2 +SUM_Y2 [I];
X_Y := X_Y + SUMX_Y [I];
END
END;
PROCEDURE COEF_AVANCE;
VAR
GL_REG, GL_ERROR, GL_TOTAL, SC_REG, SC_TOTAL, SC_ERROR: REAL;
BEGIN
GL_REG :=1;
GL_ERROR := J-3;
GL_TOTAL := J-2;
= SC_REG := SQR (XY -(( X1 * Y1)/(J-1))) / (X2 - (SQR (X1)/(J-
1)));
SC_TOTAL := (Y2) - (SQR(Y1)/(J-1)); SC_ERROR := SC_TOTAL
SC_REG; R2:=SC_REG/SC_TOTAL;
B1:=(XY-(X1*Y1/(J-1)))/(X2 - SQR (X1)/(J-1));
B0:= MEDY1 - (B1 * MEDX1);
K := EXP (B0);
WRITELN(LST);
WRITELN (LST);
WRITE (LST, 'LA FUNCION EMPIRICA DE AVANCE RESULTA');
WRITELN (LST) ;
WRITELN (LST, ' X = ', K:3:4, '* T^ ', B1:3:4); WRITELN
(LST);
WRITELN (LST, 'CON UNA R^2 DE ', R2:3:4);
END;
PROCEDURE COEF_VOLUMEN;
VAR
GLREG, GLERROR, GLTOTAL, SCERROR, SCTOTAL, SCREG, R_2: REAL;
BEGIN
GLREG:=1;
GLERROR:= J-3; GLTOTAL:= J-2;
SCREG:= SQR (X_Y - ((X1 * Y_1)/(J-1)))/(X2-(SQR(X1)/(J-1)));

```

Cuadro B2. Continuación

```

SCTOTAL := (Y_2) - (SQR (Y_1)/(J-1));
SCERROR := SCTOTAL - SCREG;
R_2 := SCREG/SCTOTAL;
B_1 := (X_Y - (X1 * Y_1/(J-1)))/(X2 - (SQR(X1)/(J-1)));
BO := MEDY_1 - (B_1* MEDX1);
B_01 := EXP (BO);
WRITELN (LST);
WRITELN (LST, 'LA ECUACION DE VOLUMEN RESULTA COMO ');

WRITELN (LST);

WRITELN (LST, 'Z = ', B_01:2:3, 'Tx ^ ', B_1 :3:4);
WRITELN (LST);
WRITELN (LST, 'CON UNA R^2 DE ', R_2:3:4);
WRITELN (LST);
END;
PROCEDURE ECUACION;
BEGIN
M := B_01/K;
N := B_1 - B1;
CONSTANTE := ((3/2) * M* N )/1000;
EXPO := N - 1;
WRITELN (LST, 'LA ECUACION DE INFILTRACION RESULTA COMO');
WRITELN (LST);
WRITELN (LST, ' I = ', CONSTANTE:3:4, ' T^ ', EXPO:3:4);
END;

```

(PROGRAMA PRINCIPAL)

```

BEGIN
CLRSCR;
TOMA_DATOS;
IMPRESION;
CALCULOS_PRELIM;
AREA; VOL_APLICADOS;
VARIABLES;
REGRE_AVANCE;
COEF_AVANCE;
COEF_VOLUMEN;
ECUACION;
READLN
END.

```

APENDICE C

Cuadro C.1 Análisis de varianza de la regresión de la prueba de calibración de la tubería de compuertas en la UAAAN.

FV	GL	SC	CM	FC	F	
					.05	.01
Reg.	1	12318.5473	12318.547	140.810	10.04	4.96
Error	10	874.830	87.4830			
Total	11	13193.377				

Cuadro C.2 Análisis de varianza de la regresión de la prueba de calibración de la tubería de compuertas en el Ejido el Esfuerzo.

FV	GL	SC	CM	FC	F	
					.05	.01
Reg.	1	4091.5249	4091.5249	19.4377	21.20	7.71
Error	4	841.977	210.4943			
Total	5	4933.502				

APENDICE D

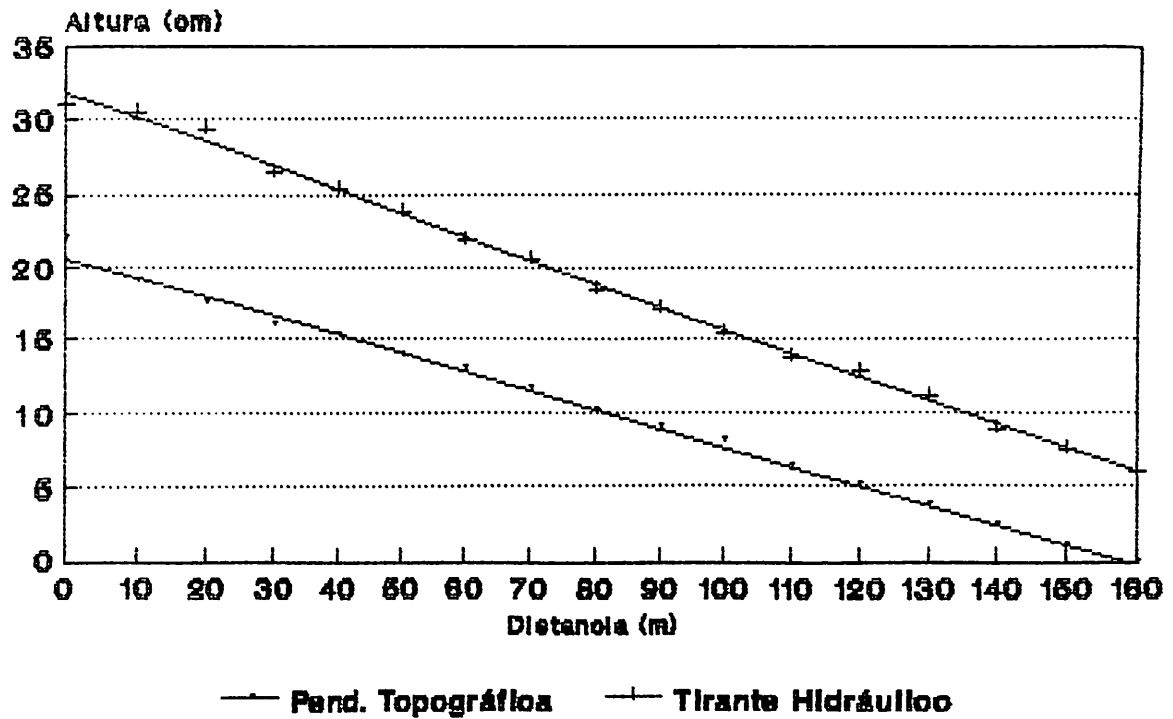


Figura D.1 Perfil del tirante hidráulico del flujo, de la prueba con un gasto de 130 l/min y un tiempo de ciclo 10/10, en la UAAAN.

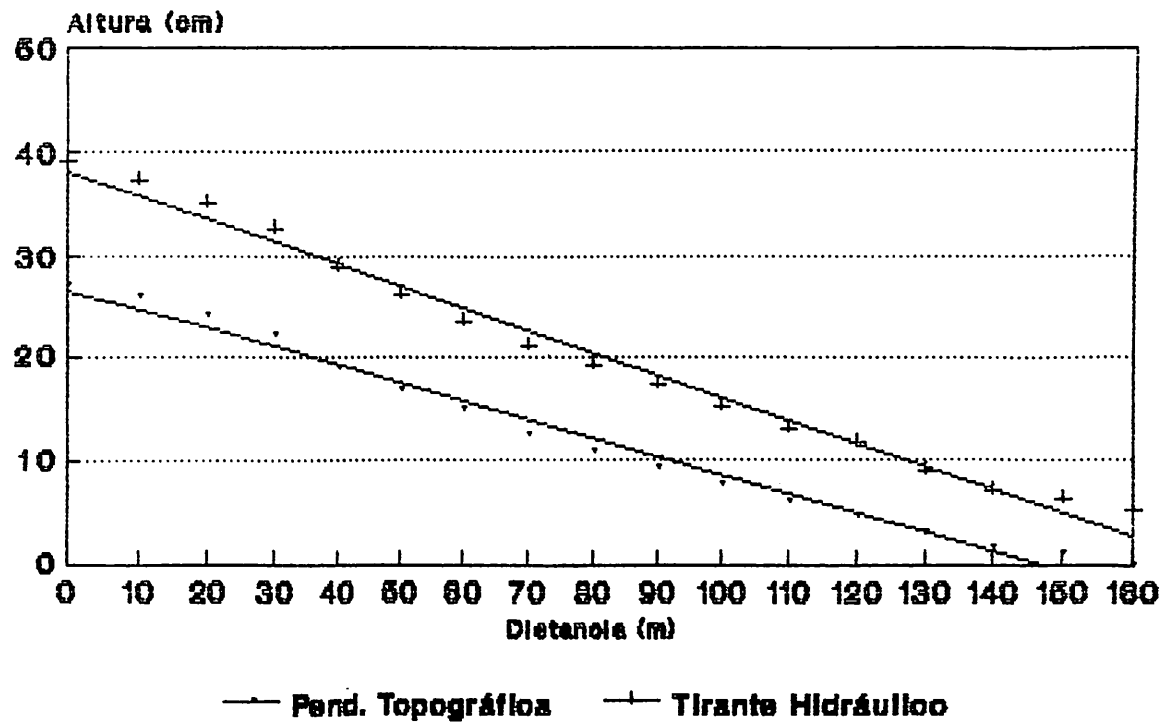


Figura D.2 Perfil del tirante hidráulico del flujo, de la prueba con un gasto de 130 l/min de flujo continuo, en la UAAAN.

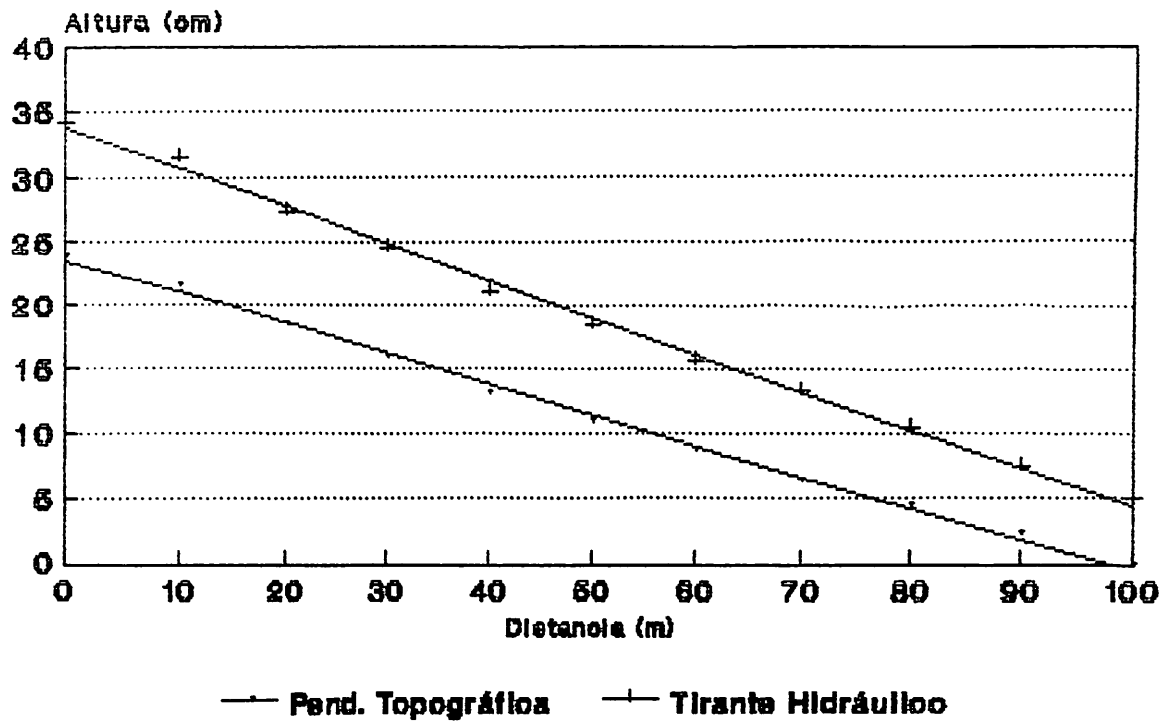


Figura D.3 Perfil del tirante hidráulico del flujo, de la prueba con un gasto de 86 l/min y un tiempo de ciclo de 15/15, en el Ejido el Esfuerzo.

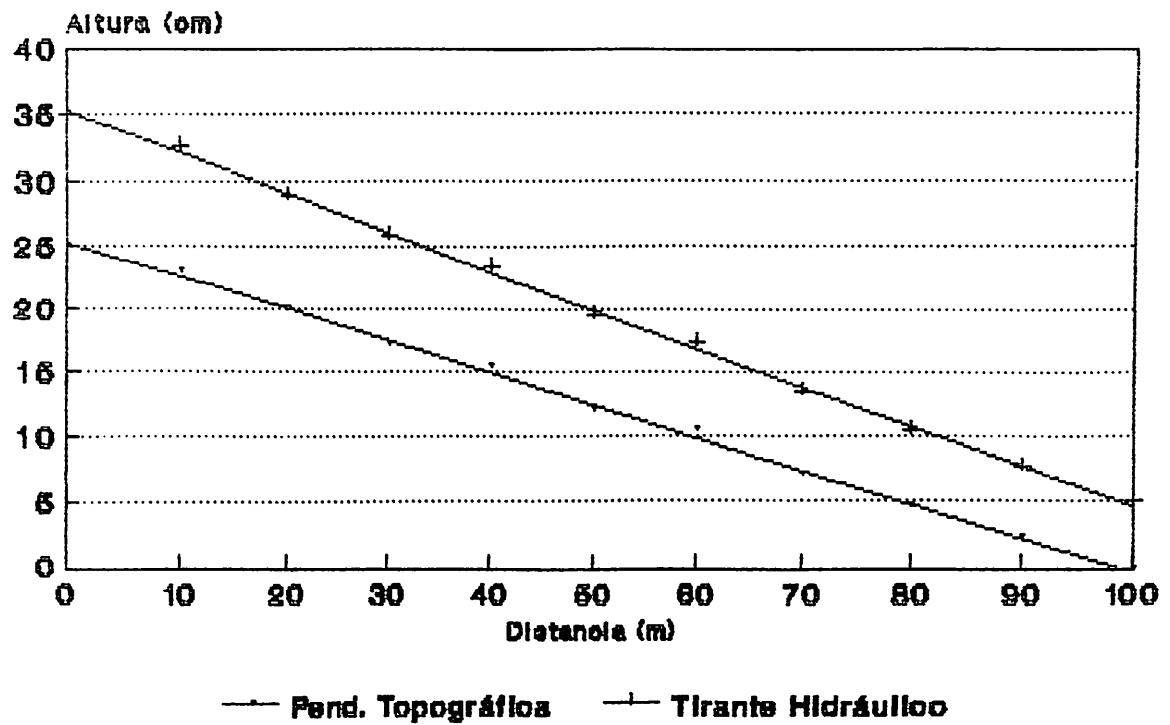


Figura D.4 Perfil del tirante hidráulico del flujo, de la prueba con un gasto de 86 l/min y un tiempo de ciclo de 10/10, en el Ejido el Esfuerzo.

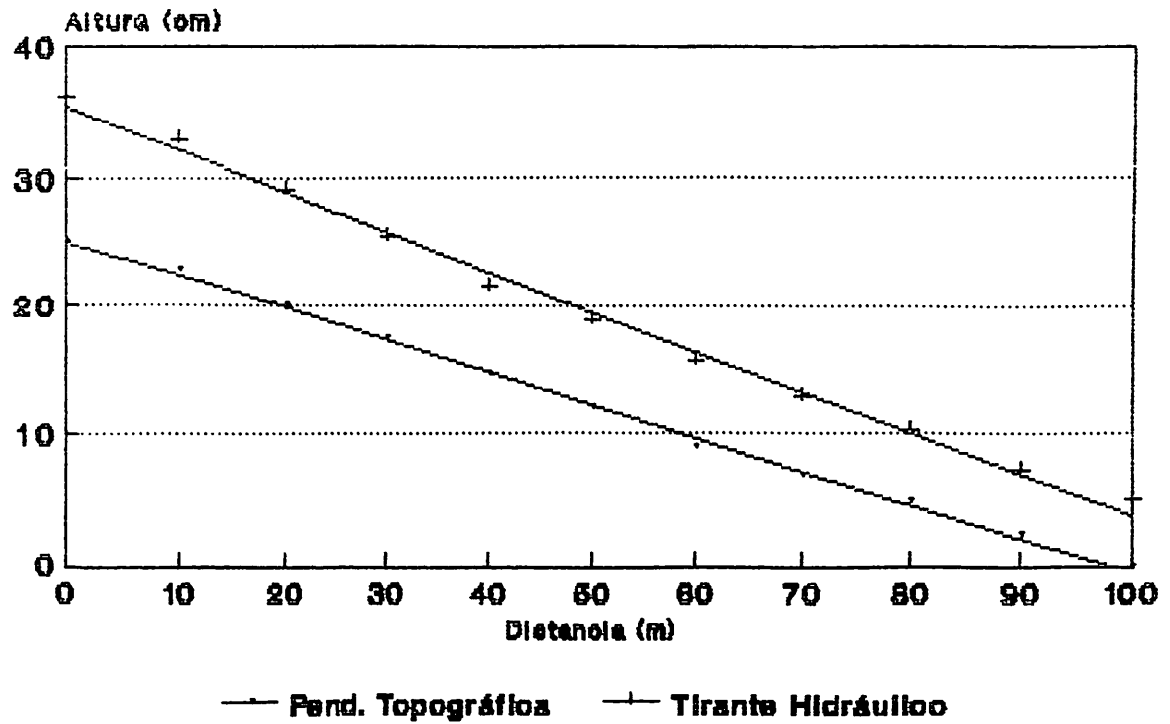
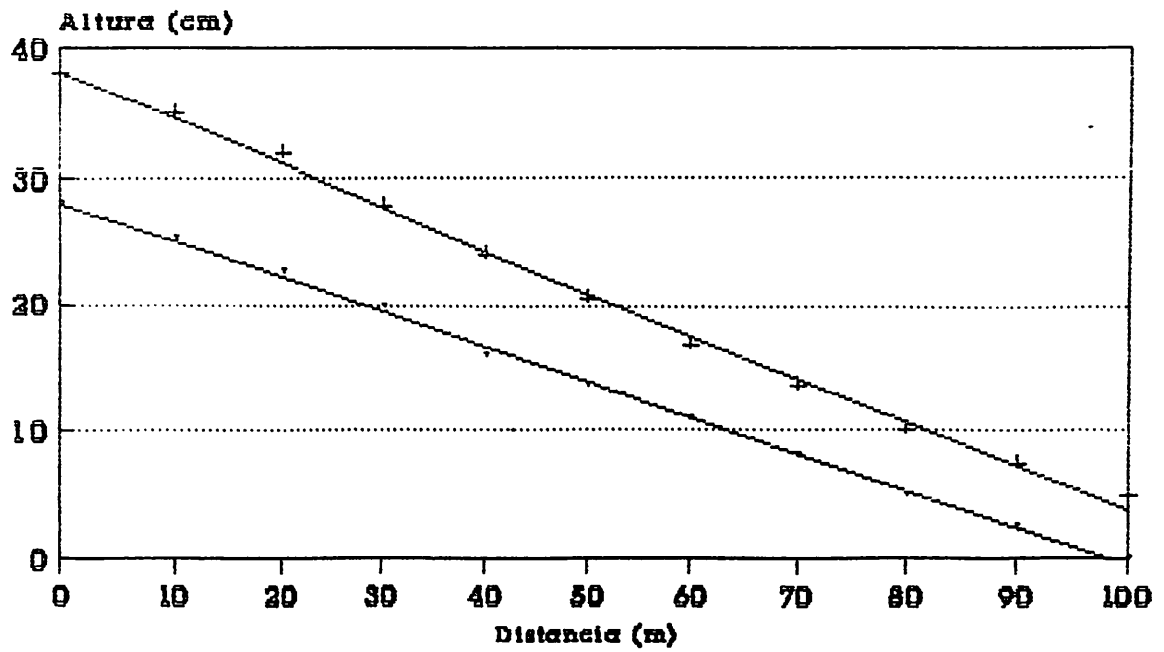


Figura D.5 Perfil del tirante hidráulico del flujo, de la prueba con un gasto de 86 l/min de flujo continuo, en el Ejido el Esfuerzo.



— Pend. Topográfica + Tirante Hidráulico

Figura D.6 Perfil del tirante hidráulico del flujo, de la prueba con un gasto de 49 l/min y un tiempo de ciclo de 15/15, en el Ejido el Esfuerzo.

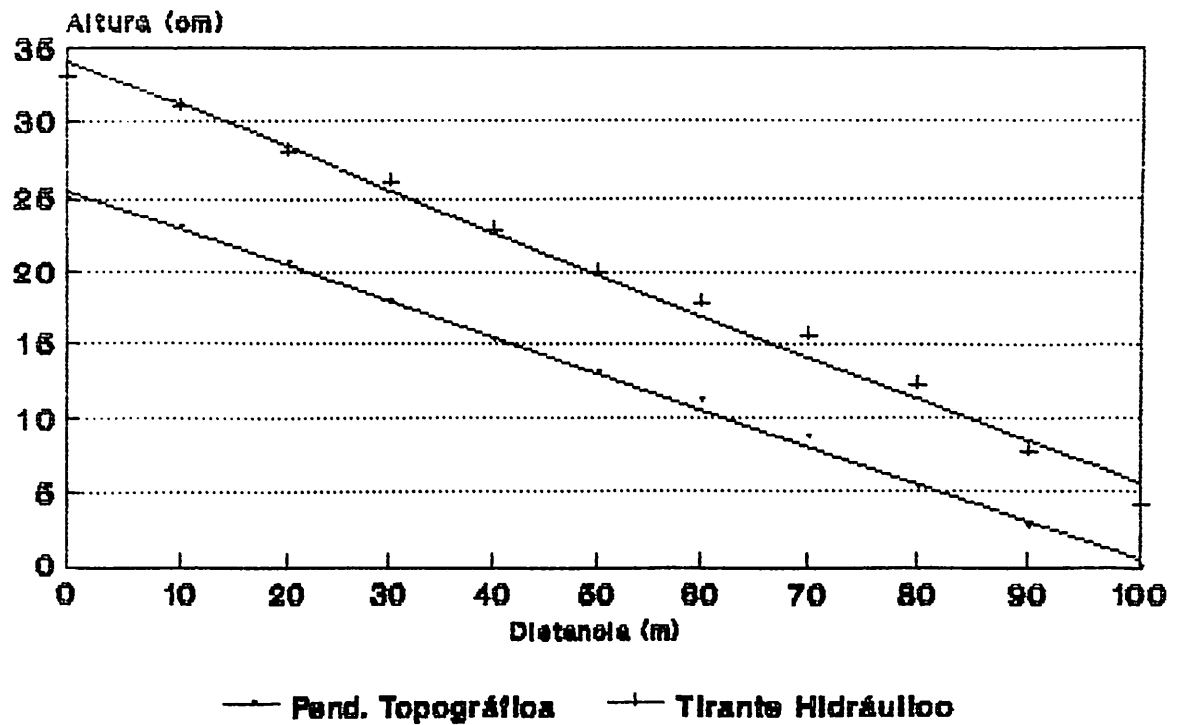


Figura D.7 Perfil del tirante hidráulico del flujo, de la prueba con un gasto de 49 l/min y un tiempo de ciclo de 10/10, en el Ejido el Esfuerzo.

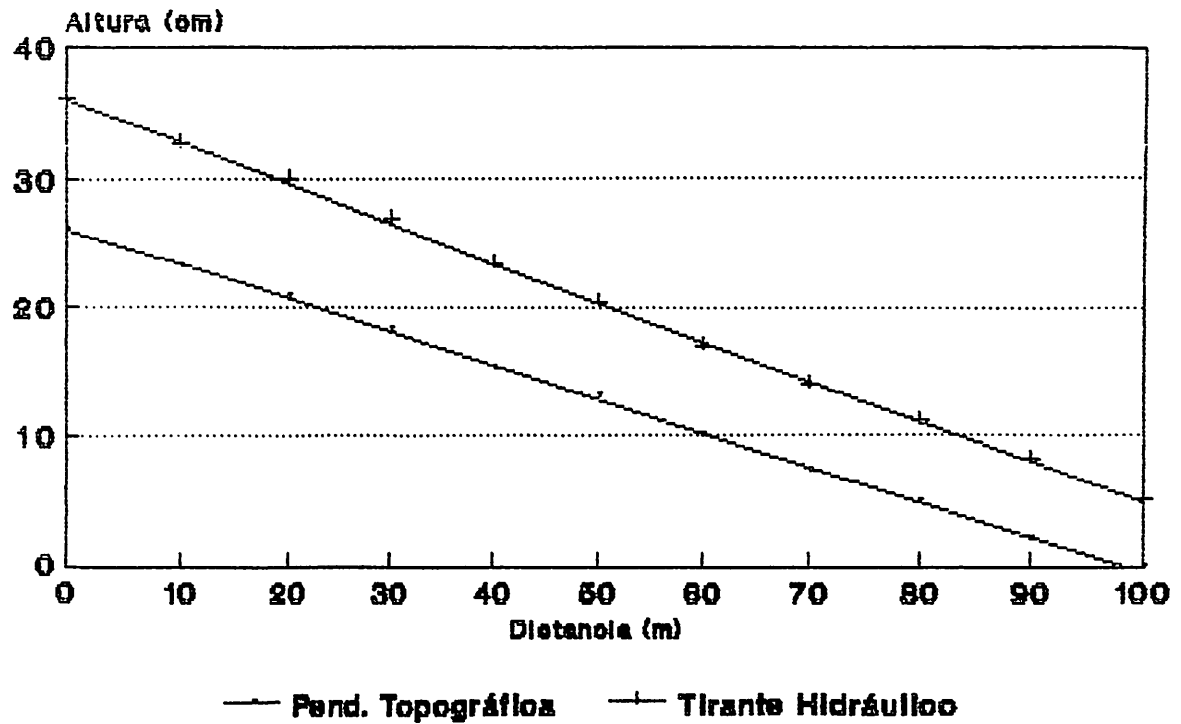


Figura D.8 Perfil del tirante hidráulico del flujo, de la prueba con un gasto de 49 l/min de flujo continuo, en el Ejido el Esfuerzo.

AFENDICE E

Cuadro E.1 Distancia avanzada y características geométricas de la primera intermitencia en la prueba con un gasto de 86 l/min y un tiempo de ciclo de 15/15, en el Ejido el Esfuerzo.

Distancia m	Tiempo min	tirante m	Espejo m
10	2.0	0.10	0.35
20	3.7	0.10	0.36
30	8.2	0.08	0.35
40	12.3	0.07	0.25
45	15.0	0.07	0.22

Cuadro E.2 Distancia avanzada y características geométricas de la segunda intermitencia en la prueba con un gasto de 86 l/min y un tiempo de ciclo de 15/15, en el Ejido el Esfuerzo.

Distancia m	Tiempo min	tirante m	Espejo m
10	1.1	0.10	0.39
20	2.3	0.09	0.38
30	3.4	0.08	0.35
40	4.6	0.08	0.35
50	7.1	0.07	0.27
64	15.0	0.06	0.25

Cuadro E.3 Distancia avanzada y características geométricas de la tercera intermitencia en la prueba con un gasto de 86 l/min y un tiempo de ciclo de 15/15, en el Ejido el Esfuerzo.

Distancia m	Tiempo min	tirante m	Espejo m
10	1.0	0.09	0.35
20	2.1	0.09	0.34
30	3.1	0.08	0.34
40	4.1	0.08	0.33
50	5.5	0.09	0.33
60	7.5	0.08	0.30
70	11.50	0.05	0.27
73	15 0.	0.05	0.25

Cuadro E.4 Distancia avanzada y características geométricas de la cuarta intermitencia en la prueba con un gasto de 86 l/min y un tiempo de ciclo de 15/15, en el Ejido el Esfuerzo.

Distancia m	Tiempo min	tirante m	Espejo m
10	0.9	0.09	0.37
20	1.9	0.09	0.37
30	3.0	0.08	0.33
40	3.8	0.08	0.30
50	5.0	0.07	0.29
60	6.1	0.08	0.28
70	7.3	0.07	0.25
80	9.0	0.06	0.26
90	11.9	0.05	0.25
100	15 0	0.04	0.23

Cuadro E.5 Distancia avanzada y características geométricas de la primera intermitencia en la prueba con un gasto de 86 l/min y un tiempo de ciclo de 10/10, en el Ejido el Esfuerzo.

Distancia m	Tiempo min	tirante m	Espejo m
10	2.2	0.09	0.35
20	4.3	0.08	0.31
30	8.3	0.07	0.27
33	10.0	0.04	0.15

Cuadro E.6 Distancia avanzada y características geométricas de la segunda intermitencia en la prueba con un gasto de 86 l/min y un tiempo de ciclo de 10/10, en el Ejido el Esfuerzo.

Distancia m	Tiempo min	tirante m	Espejo m
10	1.2	0.09	0.34
20	2.3	0.08	0.33
30	3.4	0.08	0.32
40	5.8	0.07	0.27
50	10 0	0.06	0.22

Cuadro E.7 Distancia avanzada y características geométricas de la tercera intermitencia en la prueba con un gasto de 86 l/min y un tiempo de ciclo de 10/10, en el Ejido el Esfuerzo.

Distancia m	Tiempo min	tirante m	Espejo m
10	1.2	0.09	0.35
20	2.1	0.08	0.34
30	3.1	0.08	0.35
40	4.3	0.07	0.33
50	6.0	0.08	0.32
60	9.0	0.06	0.28
66	10 0	0.06	0.24

Cuadro E.8 Distancia avanzada y características geométricas de la cuarta intermitencia en la prueba con un gasto de 86 l/min y un tiempo de ciclo de 10/10, en el Ejido el Esfuerzo.

Distancia m	Tiempo min	tirante m	Espejo m
10	1.0	0.09	0.37
20	2.1	0.07	0.36
30	3.4	0.08	0.34
40	4.6	0.08	0.33
50	5.6	0.08	0.33
60	7.2	0.06	0.30
70	9.0	0.06	0.27
73	10.0	0.04	0.22

Cuadro E.9 Distancia avanzada y características geométricas de la quinta intermitencia en la prueba con un gasto de 86 l/min y un tiempo de ciclo de 10/10, en el Ejido el Esfuerzo.

Distancia m	Tiempo min	tirante m	Espejo m
10	0.9	0.10	0.35
20	1.9	0.09	0.34
30	2.9	0.08	0.33
40	3.8	0.07	0.32
50	4.7	0.08	0.32
60	6.0	0.07	0.30
70	7.5	0.06	0.28
80	9.6	0.05	0.24
81	10.0	0.03	0.10

Cuadro E.10 Distancia avanzada y características geométricas de la sexta intermitencia en la prueba con un gasto de 86 l/min y un tiempo de ciclo de 10/10, en el Ejido el Esfuerzo.

Distancia m	Tiempo min	tirante m	Espejo m
10	0.8	0.09	0.35
20	1.7	0.08	0.35
30	2.7	0.09	0.36
40	3.8	0.07	0.33
50	4.9	0.08	0.36
60	6.0	0.06	0.30
70	7.1	0.06	0.30
80	8.2	0.06	0.28
90	9.5	0.05	0.18
96	10.0	0.03	0.11

Cuadro E.11 Distancia avanzada y características geométricas de la septima intermitencia en la prueba con un gasto de 86 l/min y un tiempo de ciclo de 10/10, en el Ejido el Esfuerzo.

Distancia m	Tiempo min	tirante m	Espejo m
10	0.8	0.09	0.35
20	1.7	0.08	0.33
30	2.6	0.08	0.34
40	3.5	0.07	0.32
50	4.7	0.07	0.32
60	5.6	0.08	0.30
70	6.7	0.06	0.29
80	7.7	0.07	0.30
90	8.8	0.06	0.26
100	10 0	0.06	0.26

Cuadro E.12 Distancia avanzada y características geométricas del flujo continuo con un gasto de 86 l/min en el Ejido el Esfuerzo.

Distancia m	Tiempo min	tirante m	Espejo m
10	2.1	0.10	0.36
20	4.2	0.10	0.35
30	8.1	0.08	0.35
40	13.3	0.09	0.31
50	18.5	0.09	0.29
60	27.5	0.09	0.33
70	38.8	0.09	0.34
80	48.7	0.09	0.27
90	57.1	0.09	0.27
100	71.3	0.07	0.26

Observaciones.

En el presente trabajo de investigación fue indispensable numerar las ecuaciones, tanto en el Capítulo de Revisión de Literatura, como el de Materiales y Métodos, la numeración se realizó de acuerdo con el número de capítulo y el número de ecuación en orden ascendente; esto debido a que en algunos casos se discutieron estas ecuaciones en los párrafos posteriores.