

5941

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DESCARTE



DESCARTE

**ABATIMIENTO DEL COSTO DE LA INVERSION INICIAL
DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO**

T E S I S
que para obtener el título de:
I N G E N I E R O C I V I L
p r e s e n t a :
L U I S M A N U E L F L O R E S M A Z A R I

1977



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



ABATIMIENTO DEL COSTO DE LA INVERSION INICIAL
DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO

T E S I S

que para obtener el título de:

INGENIERO CIVIL

presenta

LUIS MANUEL FLORES MAZARI

1977



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Al Pasante señor LUIS FLORES MAZARI,
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Pro fesor Ing. Francisco Torres H., para que lo desarrolle como tesis - en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

"ABATIMIENTO DEL COSTO DE LA INVERSION INICIAL DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO"

- I. Introducción.
- II. Cálculo del uso consuntivo del agua y factores que inter vienen en el mismo.
- III. Descripción de los diferentes métodos de riego por goteo y análisis detallado de costo por hectárea.
- IV. Descripción de los emisores propuestos y tes-reducción, objeto del presente trabajo.
- V. Análisis hidráulico del sistema de riego propuesto.
- VI. Determinación experimental del área y volumen de influen cia de un emisor y conclusiones.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio - Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indis pensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposi ción de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el títu lo del trabajo realizado.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, a 14 de noviembre de 1977
EL DIRECTOR

ING. ENRIQUE DEL VALLE CALDERON

EVC/GSA/ser



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION

DESCARTE

AL C. COORDINADOR GENERAL
DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR,
P r e s e n t e .

Conforme al Reglamento Interno de esta Facultad, el señor _____
LUIS MANUEL FLORES MAZARI _____, alumno de la Carrera
de Ingeniería Civil, llevó a cabo sus Prácticas de Desarrollo Regional
en el período comprendido entre el 6 de marzo y hasta el 6 de
septiembre de 1975 _____, en virtud de lo cual se le extiende constancia de
haber cumplido su Servicio Social conforme a la Ley Reglamentaria de los
Artículos 4o. y 5o. Constitucionales relativos al Ejercicio de las Profesio-
nes en el Distrito y Territorios Federales.

Atentamente,

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D.F., a 6 de septiembre de 1975.
EL DIRECTOR,

ING. ENRIQUE DEL VALLE C.



FACULTAD DE
INGENIERIA

evc'gac'schs

Con infinito amor y agradecimiento a mi madre, cuyo ejemplo y abnegación fueron factores determinantes para el logro de esta meta

Con profundo respeto y veneración a la memoria de mi padre

Con inmenso amor y ternura a Carmelita y Alejandra por su comprensión, auxilio y estímulo otorgados

Con cariño entrañable y absoluto amor fraternal a mis hermanos: Margarita Teresa y Francisco José por su confianza y ayuda

Con todo cariño al dulce recuerdo de mis tños
Doris y Teodoro

Con todo cariño a mis tños
Alicia, Marcos, Juan, Clarita y Apolinar

Con afecto a mis familiares

**Con agradecimiento y estimación al Sr. Ing. Francisco
Torres H. por su valiosa orientación**

**Con profundo agradecimiento y cariño a la Universidad
Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Inge -
niería por haberme acogido en su seno**

Con estimación a mis maestros y compañeros

I N D I C E

ITULO I	INTRODUCCION
ITULO II	CALCULO DEL USO CONSUNTIVO DEL AGUA Y FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL MISMO
ITULO III	DESCRIPCION DE LOS DIFERENTES METODOS DE RIEGO POR GOTEO Y ANALISIS DETALLADO DE COSTO POR HECTAREA
ITULO IV	DESCRIPCION DE LOS EMISORES PROPUESTOS Y TES-REDUCCION, OBJETO DEL PRESENTE TRABAJO
ITULO V	ANALISIS HIDRAULICO DEL SISTEMA DE RIEGO PROPUESTO
ITULO VI	DETERMINACION EXPERIMENTAL DEL AREA Y VOLUMEN DE INFLUENCIA DE UN EMISOR Y CONCLUSIONES
	BIBLIOGRAFIA

CAPITULO 1

INTRODUCCION

Las obras de infraestructura son indispensables para lograr el desarrollo armónico de un país. Siendo las obras de carácter hidráulico aplicadas al riego unas de las más importantes en esta infraestructura y dada la crisis alimenticia que se presenta por la explosión demográfica y por la escasez de agua, elaboro este trabajo para colaborar, en la medida de mis posibilidades, a un mejor aprovechamiento del agua para riego, enfocando el problema a parcelas de pequeñas superficies y a minifundios, bastante generalizados en nuestro campo.

Existen 4 principales maneras de aplicar el agua de riego:

1. Por Entarquinamiento

En el que se inunda completamente la superficie por cultivar. Presenta algunas desventajas en cuanto al desperdicio tan grande de agua que existe y a que no es aplicable a algunos cultivos tales como la fresa, melón, etc. Esta clase de riego se utiliza generalmente como riego de presiembra dado que se usan las avenidas de los ríos para inundar la mayor área posible derivando ese caudal por medio de una toma directa. Esta clase de riego es ideal para cultivos del tipo del arroz y alfalfa.

2. Por Gravedad

En el que se conduce el agua por canales, generalmente revestidos de concreto, del lugar del almacenamiento a la superficie por cultivar.

Estos canales poseen estructuras especiales para repartir el agua de riego a la superficie cultivada por medio de pequeños canales abiertos en tierra, denominados regaderas. En este sistema de riego hay pérdidas considerables durante la conducción y distribución del agua, calculándose aproximadamente un gasto de 1 l.p.s. para regar una superficie de 1 Ha. dependiendo dicho gasto del cultivo. Este sistema está muy generalizado y es el más comúnmente adoptado en las grandes zonas de riego.

3. Por Aspersión

En el que la conducción del agua de riego se hace por medio de tuberías de aluminio. Dichas tuberías poseen orificios con piezas especiales que se denominan aspersores. El agua, circulando a presión, sale por los aspersores y forma una lluvia artificial. La principal desventaja de este sistema es el alto costo de la inversión en el equipo y las grandes cargas que se le tienen que suministrar al agua para formar dicha lluvia artificial.

4. Por Goteo

En el que la conducción se hace por tubería de P.V.C. y la aplicación

por medio de goteros. La ventaja que posee este sistema sobre los anteriormente descritos es el indiscutible ahorro de agua en su conducción y aplicación. Las principales desventajas son el número de piezas especiales que se necesitan, su elevado costo inicial y el taponamiento constante de los goteros comerciales.

El objeto del presente trabajo es desarrollar un nuevo tipo de gotero así como un nuevo tipo de unión entre los tramos de tubería, y otra distribución de ella en la superficie cultivada con un tanque elevado económico que proporcione una carga constante, todo lo anterior con la meta de abaratar al máximo este eficiente sistema de riego y hacerlo accesible a aquel campesino que posee un abastecimiento hidráulico al cual puede extraerle gastos reducidos durante períodos cortos.

La comparación de costos por Ha. de los diferentes sistemas de riego nos dará una idea muy pobre de las ventajas y desventajas existentes entre ellos si no tomamos en cuenta la inversión total de la obra ya sea para el alumbramiento o para la captación, almacenamiento o derivación del agua y el tiempo necesario para su petición, estudios, anteproyecto, proyecto definitivo, obtención de los créditos para su construcción, construcción de la obra, construcción de la zona de riego, operación, conservación y reposición del equipo de bombeo. Así pondremos como ejemplo 1 Ha. puesta bajo riego por una presa de almacenamiento y 1 Ha. de riego por pozo profundo, el costo inicial por Ha. es más o menos semejante, pero el costo inicial de la presa es mu-

chísimo mayor así como su período de estudio y construcción, por otra parte un pozo profundo necesita de un mantenimiento más costoso por la reposición del equipo de bombeo y el elevado costo de éste, etc.

En este trabajo se pretenden comparar costos unitarios, rendimientos de cultivos y tiempos en que se alcanzan, costos de operación y conservación entre un sistema de riego por canales de un proyecto real de pozo profundo y el sistema de riego por goteo propuesto para la misma superficie pero extrayendo el agua de riego de pozos poco profundos y estableciendo unidades de riego para superficies no mayores de 5 Ha., tratando de justificar desde un punto de vista técnico, económico y social la presente tesis.

CAPITULO II •

CALCULO DEL USO CONSUNTIVO DEL AGUA Y FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL MISMO

A pesar de que ya hace varios años que fue introducido a México el concepto de "uso consuntivo" del agua, no existe un acuerdo unánime sobre el significado exacto de dicho concepto.

La palabra consuntivo es una adaptación al español de la palabra inglesa "consumptive" que expresa consumo, sin embargo, se ha generalizado tanto el término "uso consuntivo" que es completamente necesario emplearlo para darse a entender.

Al emplear este término a lo largo del presente trabajo, entenderé por "uso consuntivo" a la cantidad de agua absorbida por una cosecha durante su ciclo vegetativo, para ser transpirada o empleada directamente en la construcción de los tejidos de las plantas, unida a la cantidad de agua evaporada desde el suelo en que está vegetando la cosecha, en otras palabras, sería igual a la evapotranspiración total más el agua utilizada para la formación de los tejidos de las plantas para completar su desarrollo y madurar su cosecha, o sea agua consumida por las plantas sin posible recuperación.

Llamaremos coeficiente bruto de riego a la aportación total de agua, por riego y por lluvia, para producir la cosecha, y coeficientes netos de riego a las aportaciones directas de agua a las parcelas cultivadas.

El "uso consuntivo" (cantidad de agua) es independiente de los coeficientes de riego mencionados anteriormente ya que una parte, a veces importante, de estas aportaciones no es utilizada por las plantas, debido a que ó se escurre por la superficie de los suelos de pendiente muy pronunciada ó bien se infiltra a capas fuera del alcance del sistema radicular ó queda retenida por las partículas del suelo sin que las raíces lleguen a absorberla ni se evapore en la superficie del mismo, a pesar de esa independencia, el uso consuntivo correspondiente a una especie determinada, es factor esencial para determinar esos coeficientes de riego, ya que constituye el dato básico para estimarlos. Lo que básicamente interesa al agricultor, es la cantidad de agua de que debe disponer cada cosecha para completar su ciclo y rendir sus frutos, ya que tomando como base este volumen será más fácil determinar la cantidad de agua que deberá agregarse para compensar las pérdidas en la parcela.

El "uso consuntivo del agua" para una especie determinada es variable, ya que influyen en su valor factores variables que afectan de modo importante el desarrollo vegetativo y con éste el consumo de agua. Entre los factores más importantes, mencionados anteriormente, podemos enunviar los siguientes:

La cantidad de calor aprovechable durante el ciclo vegetativo.

El fotoperíodo durante dicho ciclo.

La evaporación normal en el lugar.

La capacidad de retención del agua por el suelo.

La naturaleza del suelo, (textura, estructura, fertilidad).

La especie cultivada.

La variedad o agrotipo dentro de cada clase de cosecha determinado por sus características genéticas.

El rendimiento efectivo de la cosecha.

Como es imposible considerar todas las situaciones imaginables que originarían las combinaciones de los factores antes mencionados, haremos énfasis en que el "uso consuntivo" sólo puede dar valores medios más o menos generales y constituir una orientación para la resolución de los problemas de riego.

Haremos mención de un "uso consuntivo" potencial y un "uso consuntivo" real, correspondiendo el primero a la evapotranspiración potencial, determinada por los factores climatológicos durante el ciclo vegetativo de una cosecha dada y el segundo a la evapotranspiración que realmente tenga lugar. La evapotranspiración potencial puede diferir de la real por las relaciones suelo-agua y en algunos casos por la naturaleza morfológica y fisiológica de las plantas.

Entenderemos como evapotranspiración potencial, a la cantidad de agua transpirada en la unidad de tiempo, por una cosecha verde de poca altura que cubra uniforme y totalmente el terreno, teniendo siempre agua a su disposición, cualquiera que sea la planta y tipo de suelo.

Un enfoque importante del problema sería el de saber cuándo es igual la transpiración real a la potencial y cuándo menor. Se acepta como axioma que el mantenimiento de la transpiración máxima es condición necesaria para un crecimiento máximo, y la aceptación de dicho principio puede simplificar la interpretación del fenómeno en ciertos casos.

Antes de continuar definiremos los conceptos coeficiente de marchitamiento y capacidad de campo.

En la fase líquida de un suelo, existe una cierta cantidad de agua de absorción retenida por las partículas de dicho suelo que la planta no es capaz de aprovechar aún desplegando el máximo de energía de que sea capaz, correspondiente a dicha energía existe un contenido de humedad característico de cada suelo conocido como Coeficiente de Marchitamiento (C.M.).

Cuando el suelo contiene mayor cantidad de agua que el coeficiente de marchitamiento, la planta la puede tomar para su desarrollo, esta cantidad tiene un límite, después del cual los poros del suelo se tapan, eliminando el oxígeno de la atmósfera del suelo y produciendo asfixia en la planta. Este límite se conoce como Capacidad de Campo.

Es interesante preguntarse si partiendo de la Capacidad de Campo de un suelo, cuánto puede reducirse el contenido de humedad de dicho suelo sin que se produzca una reducción en la transpiración y qué ocurriría después.

Viehmayer, experimentando con árboles de durazno en tanques, comprobó que la transpiración por unidad de superficie foliar era la misma en los tanques con un contenido de agua próximo a la Capacidad de Campo que en los tanques con una humedad apenas superior al Coeficiente de Marchitamiento, antes de regarlas de nuevo, obteniendo como conclusión que toda el agua contenida en el suelo por encima del Coeficiente de Marchitamiento es igualmente utilizable para la transpiración. Esta conclusión ha sido aceptada por muchos investigadores, pero también son muchos los que opinan que no se debe generalizar dicha conclusión a todas las plantas y a todos los suelos.

Van Bavel, en investigaciones en suelos poco profundos llegó a la conclusión de que la intensidad de la transpiración era constante hasta un valor límite del contenido de agua en el suelo, dependiente de la profundidad de éste. Pero no acepta que el límite inferior de la humedad utilizable sea el Coeficiente de Marchitamiento.

Penman, en investigaciones en suelos profundos, opina que el agua que la planta puede utilizar fácilmente no está limitada por la profundidad del suelo sino por la profundidad a que las raíces hayan penetrado, considerando la cantidad de agua utilizable como una característica más inherente a la planta que al suelo. Considera además que una vez que ha disminuído la cantidad de agua fácilmente aprovechable que mantenía la transpiración inicial o potencial, puede haber aportaciones limitadas del suelo situado por debajo de la profundidad que alcanza el sistema radicular, registrándose un descenso

relativamente brusco en la transpiración aunque ésta última, a pesar de ser de menor intensidad, resulta ser significativamente mayor que cero.

Son muchos los autores que opinan que la transpiración empieza a decrecer por debajo de la potencial cuando la cantidad de agua de un suelo comienza a ser menor que la correspondiente a la capacidad de campo. Thorntwaite y Mather en estudios realizados en 1954 opinan que la intensidad de la transpiración pudiera considerarse una función continua y decreciente, de la reducción del contenido de humedad del suelo.

Después de expuesto lo anterior, concluimos que el "uso consuntivo" será máximo y aproximadamente igual al potencial cuando el suelo se mantenga saturado, o sea, con un contenido de humedad próximo a la capacidad de campo y que podrá ser menor de acuerdo a la profundidad del sistema radicular y a la disminución del contenido de humedad del suelo.

Han sido numerosos en los últimos tiempos los intentos de determinar en forma directa el "uso consuntivo" partiendo de medidas, directas también, del agua proporcionada al suelo donde la cosecha vegeta y del agua salida por diferentes conceptos de dicho suelo, pensando que si las medidas se hacen correctamente, la diferencia entre las entradas y las salidas sería la cantidad de agua utilizada por la cosecha o evaporada desde el suelo sin posible recuperación. Desde el punto de vista de medidas directas para el "uso consuntivo", unos investigadores lo han considerado como el "uso consuntivo" de una parcela, otros como el "uso consuntivo" de una finca, otros

como el "uso consuntivo" de un distrito de riego y unos más como el "uso consuntivo" de toda una cuenca. Como se ve, el establecimiento de un balance exacto de las entradas y salidas así como el aforo directo de muchas de éstas, es en la mayoría de los casos imposible, por lo que consideramos de mayor utilidad el conocimiento del "uso consuntivo" correspondiente a cada especie cultivada ya que la determinación experimental del "uso consuntivo" para una especie determinada es más fácil. En los últimos años se han realizado numerosos experimentos para cada especie cultivada y entre las instalaciones más prácticas para la determinación de la evapotranspiración y consumo de agua por las plantas, se encuentran los evapotranspirómetros ideados por el Dr. Thorntwaite que permiten evaluar con bastante exactitud todas las entradas y salidas y por diferencia entre ellas calcular el "uso consuntivo".

En general, las determinaciones directas del "uso consuntivo", ya sea en el campo o en el laboratorio son difíciles, lentas y costosas y es por eso que se han establecido métodos indirectos que proporcionan resultados bastante aproximados en función de factores ecológicos conocidos, de los cuales se cuentan con registros relativamente completos en casi todas las zonas.

El factor ecológico que más profundamente influye en el consumo de agua es la temperatura que por una parte estimula, hasta cierto límite, el crecimiento de las plantas y por otra reduce la humedad relativa y determina mayor evaporación y transpiración, es por eso que los métodos indirectos se basan principalmente en datos de temperatura.

El estudio del Dr. Lehenbauer sobre plántulas de maíz demuestra que el crecimiento, para temperaturas comprendidas entre los 10° y los 30° C, aumenta según una potencia de la temperatura, después de 32° C la velocidad de crecimiento decrece y al llegar a 42° C es menor que la correspondiente a 14° C. Teniendo en cuenta el estrecho vínculo del "uso consuntivo" con el desarrollo de la planta y el de éste con la temperatura, podemos afirmar que el "uso consuntivo" variará también con una potencia de la temperatura.

Los dos métodos indirectos para la determinación del "uso consuntivo" con base en datos de temperatura que más comúnmente se emplean, son los del Dr. Thorntwaite y el de los Dres. Blaney y Criddle.

El Dr. Thorntwaite observó que aunque la temperatura media mensual es el principal factor ecológico que actúa en el desarrollo de la planta, la fase vegetativa en que se encuentre ésta en el mes considerado influirá notablemente en la determinación del "uso consuntivo" mensual, por eso en 2 meses con igual temperatura media, una misma cosecha puede tener exigencias muy distintas de agua dado que está en diferentes etapas de desarrollo. Si consideramos el conjunto de una zona de riego con cierta diversidad de cultivos, existirán ciertas compensaciones entre las exigencias de las distintas cosechas y podremos determinar un "uso consuntivo" medio para la zona basado en la temperatura media. Basándose en esta idea, el Dr. Thorntwaite encontró la ecuación inicial que relacionaba ambos factores. Se observó

en zonas con gran diversidad de cultivos, que el "uso consuntivo" calculado y el obtenido en determinaciones directas coincidían bastante bien, cosa que no ocurría con zonas donde se practicaban monocultivos. Ahora bien, aún con análoga diversificación de cultivos en dos regiones con igual temperatura media para un mismo mes, la coincidencia de los valores calculados con los observados, no es la misma, pues intervienen otros factores cuyo efecto es importante también. Todo lo anterior hizo al Dr. Thorntwaite introducir en sus determinaciones el factor denominado "Eficiencia de la Temperatura". El valor mensual de este factor se determina por la fórmula:

$$E. T. = \frac{T^{1.514}}{5}$$

La suma de las eficiencias mensuales durante los 12 meses del año da la eficiencia anual I y ésta sirve para el cálculo del "uso consuntivo" en cada mes mediante la Fórmula de Thorntwaite:

$$UC = \frac{10 T^a}{I}$$

En la que T es la temperatura media mensual, I la eficiencia anual de la temperatura y $a = 0.000000675 I^3 - 0.000077 I^2 + 0.017921 I + 0.49239$, se ha encontrado una coincidencia casi completa entre los valores observados y calculados para cada mes del año en diferentes regiones del sur de los Estados Unidos. Para temperaturas excesivamente bajas, se presentan discrepancias de importancia entre los valores mencionados.

Para facilitar el cálculo del "uso consuntivo" por este método, el Dr. Thorntwaite elaboró una tabla y un nomograma que se anexan.

La tabla No. 1 proporciona la eficiencia mensual de la temperatura (E.T.) en función de la temperatura media mensual.

El nomograma permite calcular el "uso consuntivo" mensual conociendo la temperatura media mensual y la eficiencia anual I.

Para calcular el "uso consuntivo" con ayuda de la tabla y el nomograma, se procede de la siguiente manera:

1. Se calculan las temperaturas medias mensuales para los meses que comprende el ciclo vegetativo de la cosecha.
2. Con la temperatura media de cada mes se entra a la tabla en cuya primera columna se encuentran las temperaturas en grados centígrados así como las décimas de grado en el encabezado horizontal, leyéndose la eficiencia de la temperatura mensual, en la intersección de la columna y el renglón correspondiente.
3. Se suman las eficiencias de la temperatura calculadas anteriormente para los diferentes meses del año obteniendo la eficiencia anual de la temperatura (I).

4. Con estos datos se entra al nomograma. En la escala vertical de la izquierda se encuentran las temperaturas en grados centígrados. Se busca la temperatura media de cada mes y se sigue la línea horizontal correspondiente hasta encontrar la línea en diagonal que corresponde a la eficiencia anual I . Desde este punto de intersección se desciende verticalmente hasta encontrar en la escala horizontal de la parte inferior el "uso consuntivo" para el mes en cuestión.
5. Sumando los usos consuntivos de todos los meses del ciclo, se obtiene el uso consuntivo total de la cosecha en estudio.

Los valores obtenidos corresponden a un mes de 30 días y deben corregirse en los meses de distinta duración.

El método del Dr. Thorntwaite tiene como principales inconvenientes:

1. Que es aplicable preferentemente a una zona en conjunto con cierta diversificación de cultivos y que los resultados obtenidos pueden diferir del consumo real de algunas cosechas en particular y,
2. Que a pesar de la introducción del concepto de eficiencia de la temperatura que trata de tener en cuenta la influencia de las diferencias en el fotoperíodo, es la temperatura el factor que más influye en el resultado obtenido.

El método propuesto por los Dres. Blaney y Criddle para el cálculo del "uso consuntivo", se basa también en las temperaturas medias, pero utiliza de un modo directo en el cálculo la insolación total correspondiente a cada mes, es decir toma muy en cuenta el factor luz, determinante en el proceso de la fotosíntesis del que depende en gran parte la actividad fisiológica del vegetal.

Los Dres. Blaney y Criddle calculan para cada mes lo que llaman factor de "uso consuntivo" f que se calcula:

$$f = \frac{t \cdot p}{100}$$

Fórmula en la que t es la temperatura media mensual en grados Fahrenheit y p es el tanto por ciento de las horas de insolación anual que corresponde al mes en cuestión. El valor obtenido para f expresa la lámina de consumo de agua en pulgadas. El valor de p variará según la latitud del lugar y dicha variación se muestra en el anexo No. 1.

La suma de los valores de f para los distintos meses del período vegetativo de la cosecha, da un valor F que será el factor de "uso consuntivo" en la zona agrícola.

El "uso consuntivo" propiamente dicho vendrá dado por la fórmula:

$$UC = KF$$

En la que F es la suma de factores mensuales antes mencionada y K un coeficiente empírico, específico para cada cosecha, determinado experimentalmente, en el anexo No. 2 se muestran algunos de estos valores.

Se considera que este método es superior al del Dr. Thorntwaite dada su mayor flexibilidad para ajustarse a casos especiales, tanto de condiciones ecológicas como de agrotipo aunque de ninguna manera pueden considerarse sus resultados como exactos al 100%.

Para aplicarse a una nueva zona de riego o a una región donde no se disponga de observaciones directas necesitaremos que las condiciones de esa región sean análogas en ciertos aspectos, a las condiciones de las zonas donde se determinaron los coeficientes K , al menos en lo que se refiere a características generales del suelo y productividad de las variedades cultivadas.

Experimentos realizados por el Departamento de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de Norteamérica en el Centro California, han conducido a la formación de gráficas que permiten conocer el coeficiente de "uso consuntivo" en función del desarrollo de las plantas. Por esta razón a tales coeficientes se les denomina "coeficientes de desarrollo".

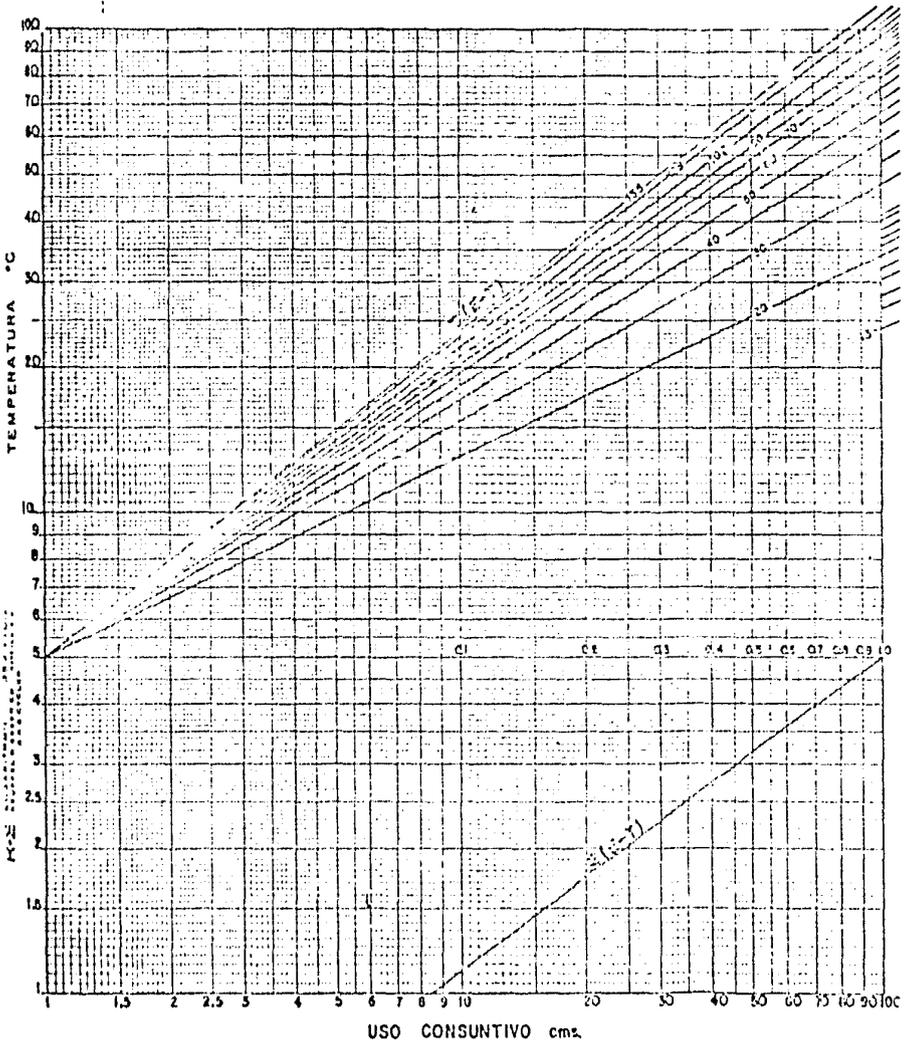
Estos coeficientes de desarrollo no se aplican directamente a los valores de f , sino al producto $f \times K_T$, que representa una corrección propuesta por J. T. Phelan después de intentar correlacionar valores de los coeficientes de

desarrollo con los valores de f obtenidos de acuerdo con la fórmula propuesta por los Dres. Blaney y Criddle.

En el anexo No. 3 se muestran algunas gráficas que relacionan el coeficiente de desarrollo K_c con el porcentaje del ciclo vegetativo así como en el anexo No. 4 la tabla de evapotranspiraciones potenciales y valores de los factores f y K_t de los diferentes Distritos de Riego.

En el Capítulo V se detallará con un ejemplo la aplicación de estos 2 métodos de cálculo del "uso consuntivo" del agua.

NOMOGRAMA PARA CALCULAR EL USO CONSUNTIVO DE UN LUGAR por el método de Thornthwaite



DIB. J. PEDROZA R.

ANEXO NUM. 1

PORCENTAJES DE HORAS-LUZ EN EL DIA PARA CADA MES Y AÑO
EN RELACION AL NUMERO TOTAL EN UN AÑO

Lat. Norte	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.¹	Nov.	Dic.
15°	7.94	7.37	8.44	8.45	8.98	8.80	9.03	8.83	8.27	8.26	7.75	7.88
16°	7.93	7.35	8.44	8.46	9.01	8.83	9.07	8.85	8.27	8.24	7.72	7.83
17°	7.86	7.32	8.43	8.48	9.04	8.87	9.11	8.87	8.27	8.22	7.69	7.80
18°	7.83	7.30	8.42	8.50	9.09	8.92	8.16	8.90	8.27	8.21	7.66	7.74
19°	7.79	7.28	8.41	8.51	9.11	3.97	9.20	8.92	8.28	8.19	7.63	7.71
20°	7.74	7.26	8.41	8.53	9.14	9.00	9.23	8.95	8.29	8.17	7.59	7.66
21°	7.71	7.24	8.40	8.54	9.18	9.05	9.29	8.98	8.29	8.15	7.54	7.62
22°	7.66	7.21	8.40	8.56	9.92	9.09	9.33	9.00	8.30	8.13	7.50	7.55
23°	7.62	7.19	8.40	8.57	9.24	9.12	9.35	9.02	8.30	8.11	7.47	7.50
24°	7.58	7.17	8.40	8.60	9.30	9.20	9.41	9.05	8.31	8.09	7.43	7.46
25°	7.53	7.13	8.39	8.61	9.32	9.22	9.43	9.08	8.30	8.08	7.40	7.41
26°	7.49	7.12	8.40	8.64	9.38	9.30	9.49	9.10	8.31	8.06	7.36	7.35
27°	7.43	7.09	8.38	8.65	9.40	9.32	9.52	9.13	8.32	8.03	7.36	7.31
28°	7.40	7.07	8.39	9.68	9.46	9.38	9.58	9.16	8.32	8.02	7.22	7.27
29°	7.35	7.04	8.37	8.70	9.49	9.43	9.61	9.19	8.32	8.00	7.24	7.20
30°	7.30	7.03	8.38	8.72	9.53	9.49	9.67	9.22	8.34	7.99	7.19	7.14
31°	7.25	7.00	8.36	8.73	9.57	9.54	9.72	9.24	8.33	7.95¹	7.15	7.09
32°	7.20	6.97	8.37	8.75	9.63	9.60	9.77	9.28	8.34	7.95	7.11	7.05

Tomada de Blaney H. F. y W. D. Criddle. S. C. S. -P-96. U. S. D. A. Soil Conservation Service.

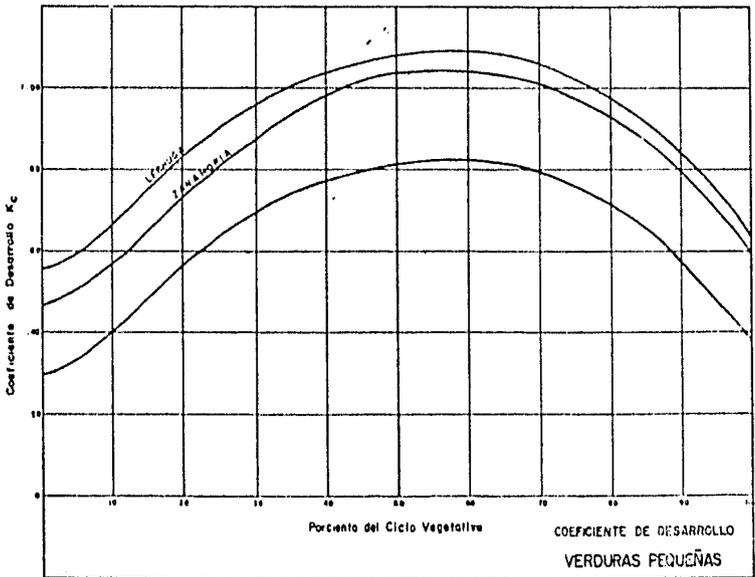
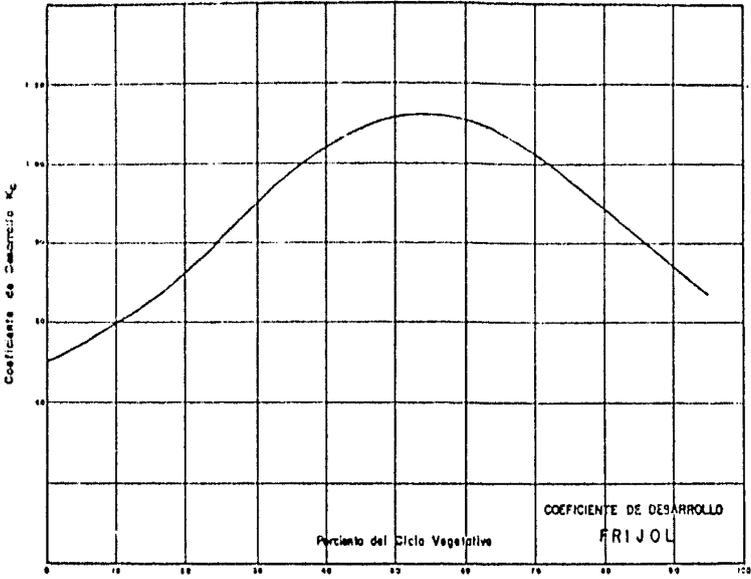
ANEXO NUM. 2

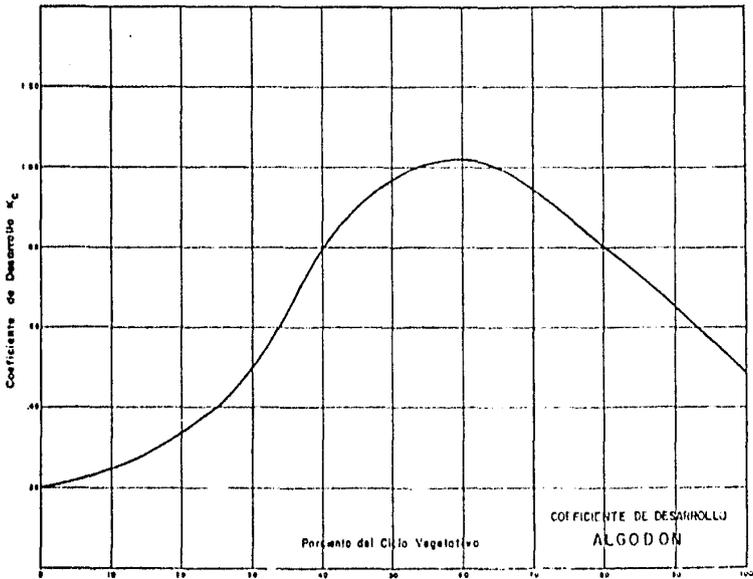
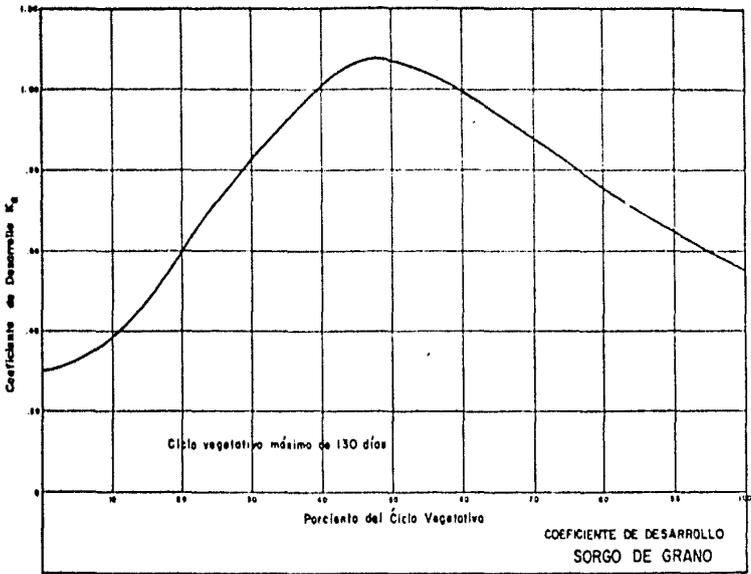
COEFICIENTE DE USO CONSUNTIVO
PARA DEFINIR EL CULTIVO

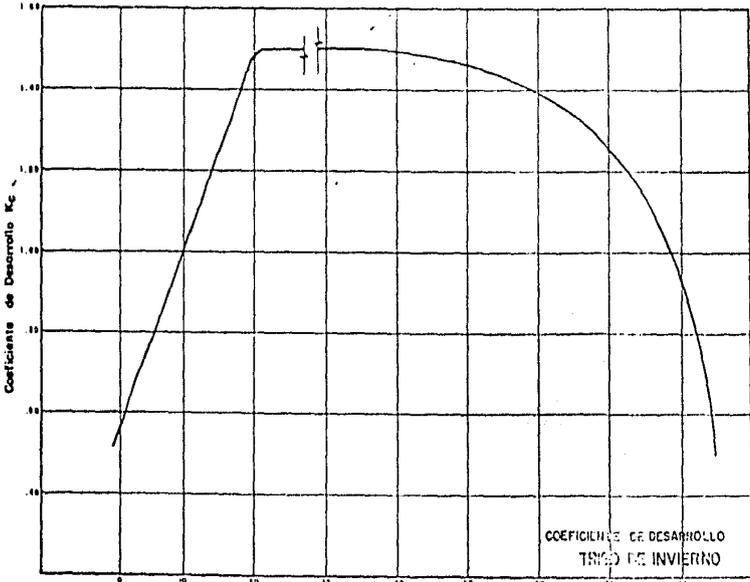
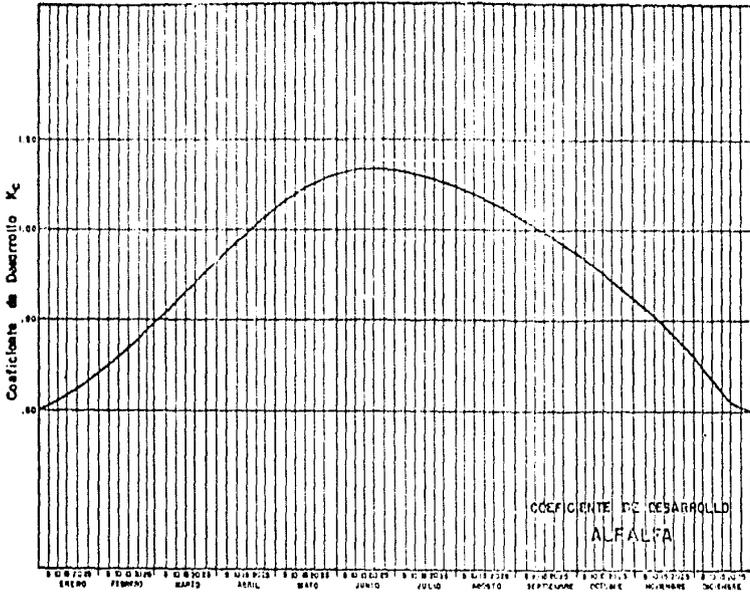
Cultivo	Período de Crecimiento	Coefficiente K
Algodón	7 meses	0.60 a 0.65
Alfalfa	Entre heladas	0.80 a 0.85
	En invierno	0.60
Arroz	3 a 5 meses	1.00 a 1.20
Cereales	3 meses	0.75 a 0.85
Cítricos	7 meses	0.50 a 0.65
Frijol	3 meses	0.60 a 0.70
Jitomate'	4 meses	0.70
Maíz	4 meses	0.75 a 0.85
Nogales'	Todo el año	0.70
Papa	3 a 5 meses	0.65 a 0.75
Pastos	Todo el año	0.75
Remolacha	6 meses	0.65 a 0.75
Sorgo	4 a 5 meses	0.70
Trébol ladino	Todo el año	0.80 a 0.85

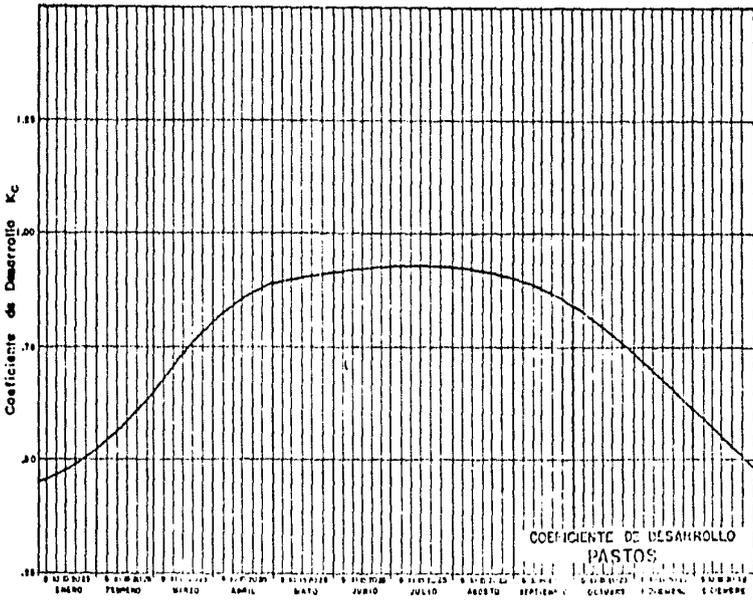
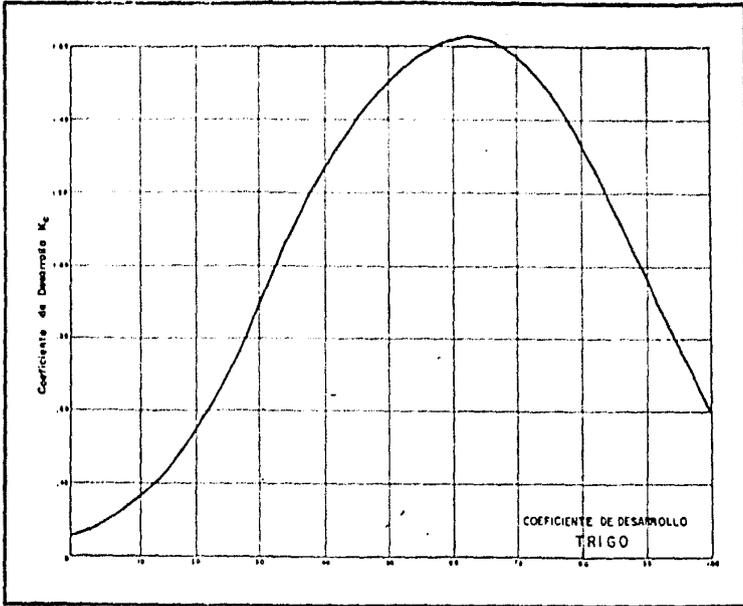
Nota: Los valores más pequeños son para regiones costeras y los mayores para zonas áridas. Tomado de H. F. Blaney y W. L. Criddle - Determining Water needs from climatological data. U.S.D.A. Soil Conservation Service. SOS - TP-9".

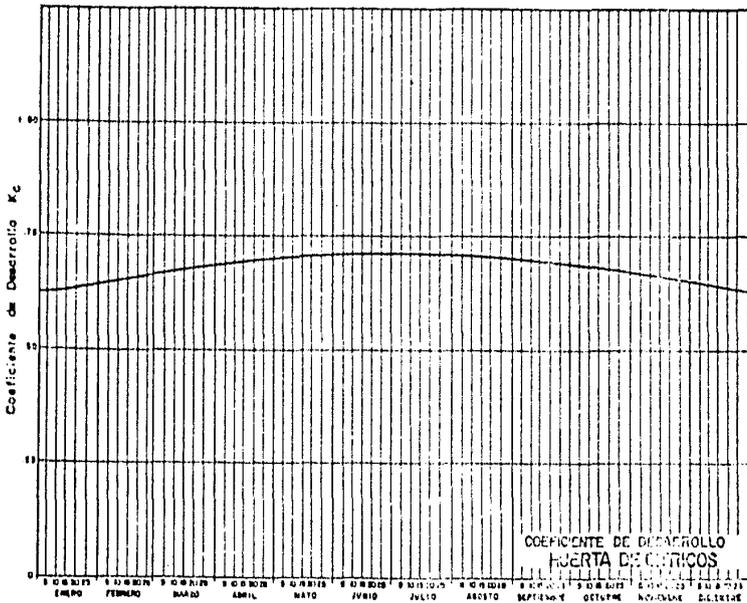
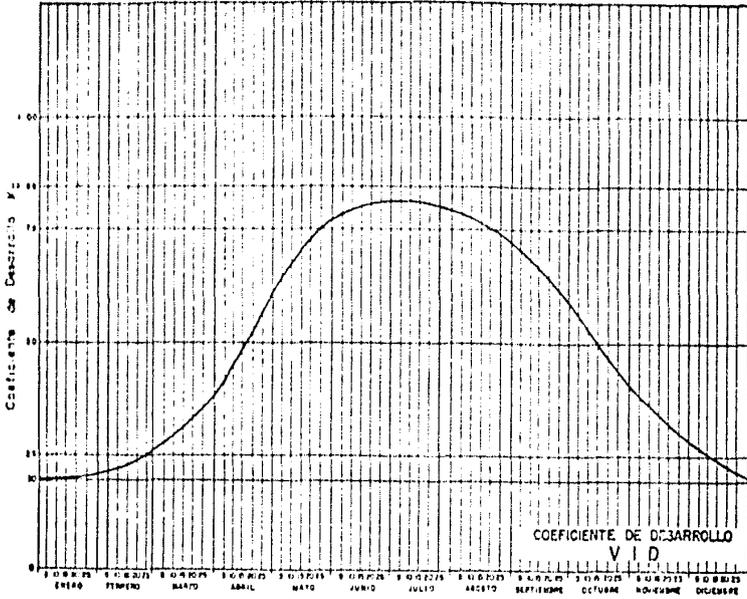
ANEXO NUM. 3

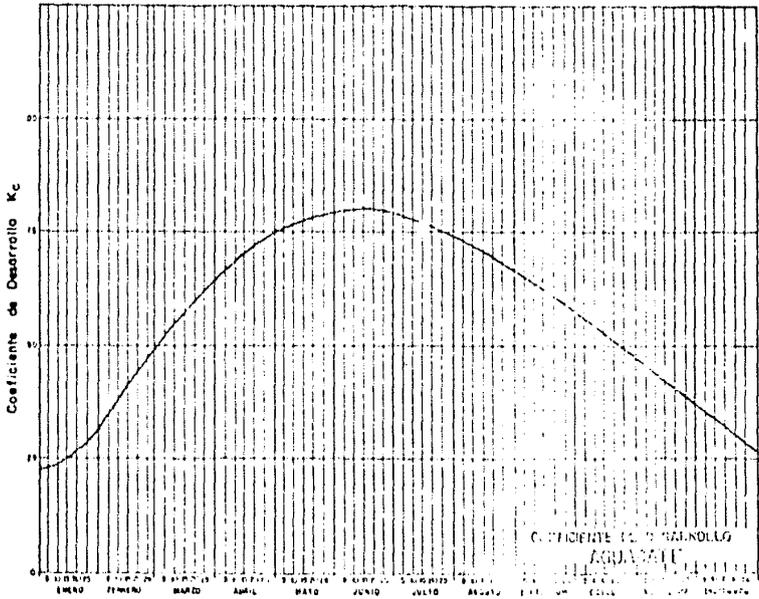
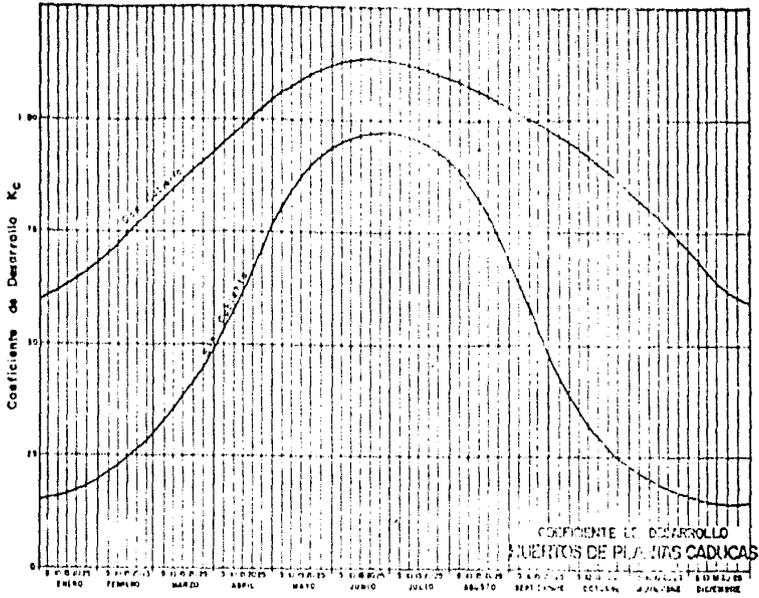


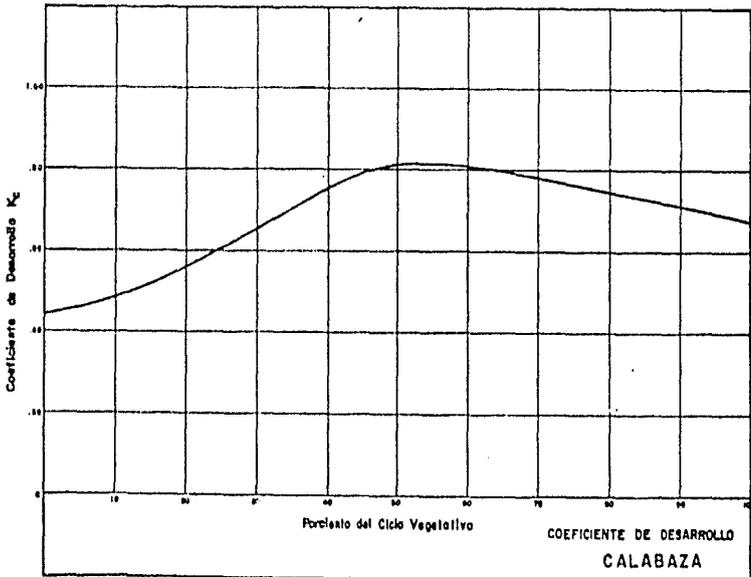
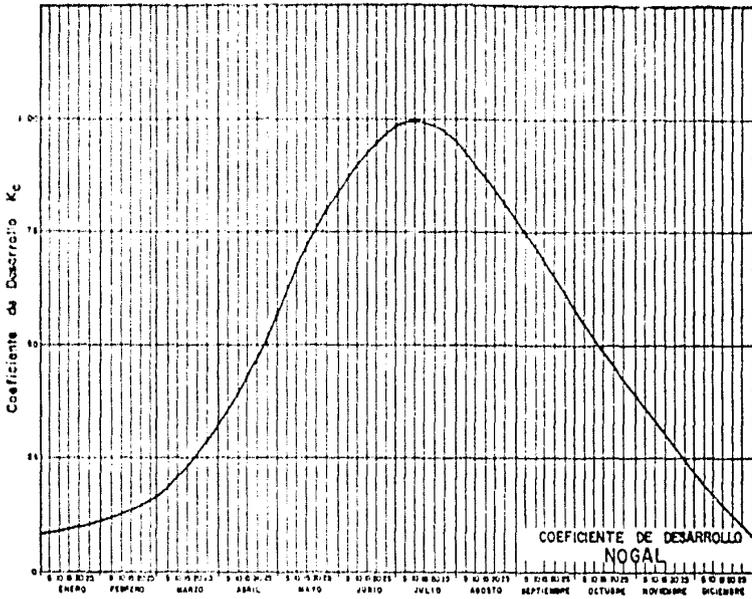


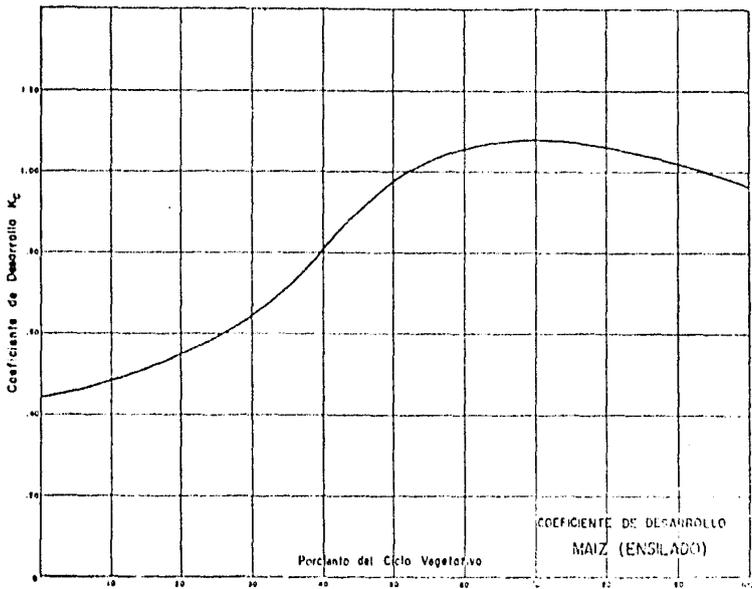
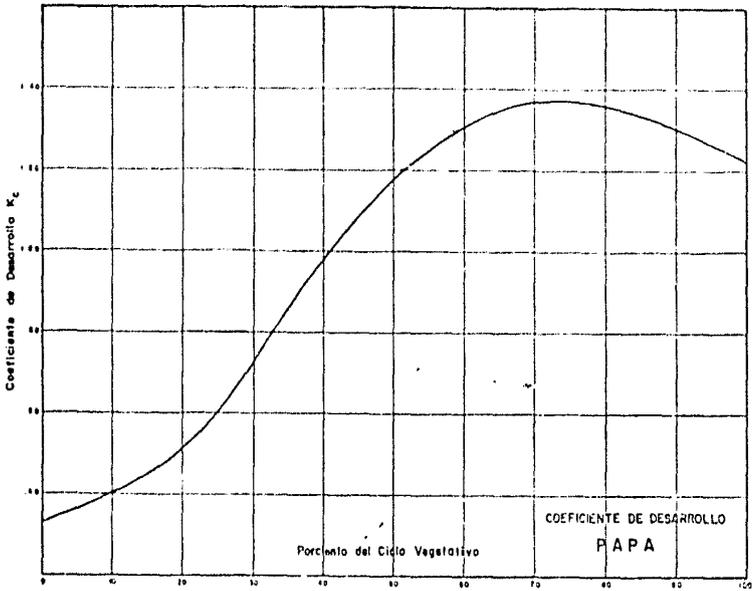


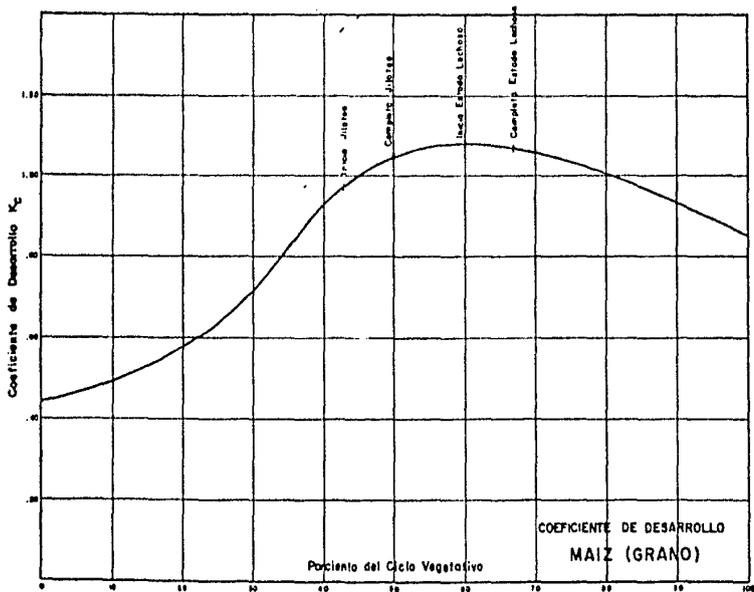
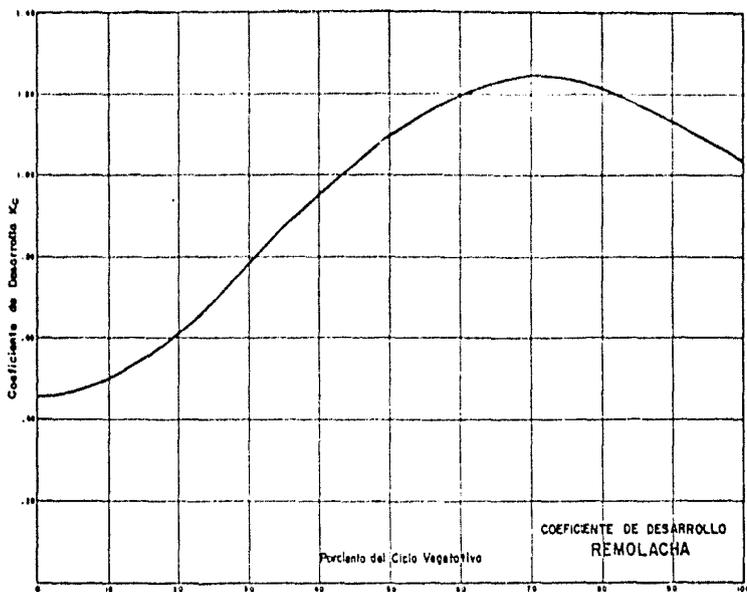


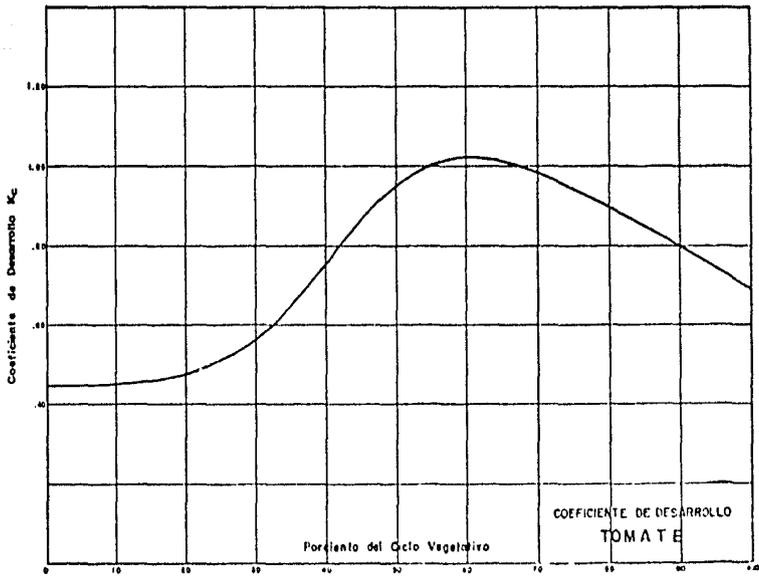
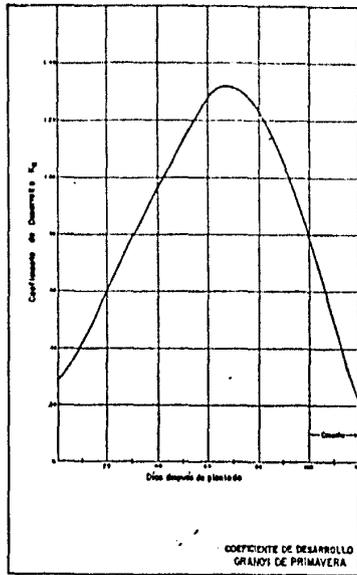












ANEXO NUM. 4

TABLA DE EVAPOTRANSPIRACIONES POTENCIALES, VALORES DE LOS FACTORES (f) Y (K_e)

Significado de las literales:
 T: Temperatura del aire en grados Celsius.
 P: Humedad relativa en índice calor.
 Est.: Evapotranspiración potencial calculada por el método de Thornthwaite.
 p: Factor de ajuste de los coeficientes.

M E S	T	P	Est.	p	f	K _e	T	P	Est.	p	f	K _e
DISTRITO DE RIEGO NUMERO 1						DISTRITO DE RIEGO NUMERO 3						
Enero	12.9	4.21	3.5	7.66	10.8	0.6125	13.0	4.27	3.0	7.74	10.9	0.6450
Febrero	14.3	4.90	4.0	7.21	10.6	0.6810	14.9	5.22	4.4	7.26	10.8	0.7038
Marzo	17.0	6.42	6.3	8.40	13.4	0.7714	17.5	6.69	6.7	8.41	13.6	0.7861
Abril	19.4	7.83	8.1	8.56	14.6	0.8158	19.1	7.66	8.0	8.53	14.4	0.8371
Mayo	20.9	8.72	9.9	9.92	17.6	0.8707	20.1	8.26	9.4	9.14	15.9	0.8676
Junio	19.8	8.66	9.7	9.09	16.0	0.8876	20.1	8.22	9.1	9.06	15.6	0.8678
Julio	20.5	7.88	8.9	9.33	15.9	0.8183	19.0	7.56	8.5	9.23	15.5	0.8421
Agosto	19.5	7.89	8.7	9.09	15.4	0.8193	19.3	7.75	8.5	8.95	15.2	0.8418
Septiembre	18.7	7.37	7.3	8.59	13.9	0.8222	18.4	7.20	7.2	8.29	13.7	0.8135
Octubre	17.2	6.37	6.3	8.13	13.1	0.7595	16.9	6.36	6.1	8.17	13.0	0.7683
Noviembre	15.2	5.42	4.6	7.50	11.3	0.7131	15.1	5.35	4.6	7.59	11.4	0.7110
Diciembre	13.2	4.37	3.6	7.55	10.7	0.6514	13.3	4.43	3.7	7.66	10.9	0.6562
DISTRITO DE RIEGO NUMERO 4						DISTRITO DE RIEGO NUMERO 5						
Enero	12.7	4.12	1.7	7.43	10.4	0.6793	9.2	2.53	1.4	7.40	9.1	0.5276
Febrero	15.7	5.67	2.8	7.09	10.6	0.7241	12.1	3.99	2.6	7.07	9.8	0.6282
Marzo	19.3	7.71	5.9	8.38	14.2	0.8114	15.3	5.45	4.6	8.39	12.7	0.7169
Abril	23.6	10.31	10.7	8.45	16.4	0.9573	19.8	8.06	8.0	8.68	14.9	0.9377
Mayo	26.6	12.62	16.0	9.49	19.1	1.0505	23.6	10.47	12.9	9.46	17.9	0.9745
Junio	29.4	14.64	20.7	9.32	20.1	1.1553	27.2	13.01	18.5	9.38	19.3	1.0875
Julio	30.5	15.46	23.5	9.32	21.1	1.1869	28.0	12.15	15.3	9.58	19.2	1.0301
Agosto	29.5	15.45	22.5	9.44	20.2	1.1866	25.1	11.52	13.6	9.16	18.6	1.0221
Septiembre	27.6	13.34	15.5	8.52	17.3	1.1015	24.1	10.16	10.4	8.32	15.6	0.9598
Octubre	25.6	10.45	9.7	8.03	15.2	0.9549	19.0	7.54	6.7	8.02	13.4	0.8312
Noviembre	16.8	6.50	3.5	7.36	11.7	0.7549	12.8	4.48	2.8	7.22	10.1	0.6103
Diciembre	13.3	4.13	1.9	7.31	10.4	0.6462	9.3	2.56	1.4	7.27	9.0	0.5398
DISTRITO DE RIEGO NUMERO 6						DISTRITO DE RIEGO NUMERO 8						
Enero	9.7	2.75	1.1	7.35	9.2	0.5498	15.5	5.55	4.1	7.71	11.7	0.7228
Febrero	13.0	4.24	2.4	7.01	9.0	0.5414	17.6	6.76	5.1	7.24	11.7	0.7901
Marzo	16.1	5.87	4.2	8.37	14.0	0.7412	19.7	8.01	7.4	8.40	14.4	0.8532
Abril	20.4	8.42	7.8	8.70	15.2	0.8761	21.8	9.30	9.0	8.54	15.5	0.9187
Mayo	23.5	11.81	14.5	9.49	18.8	1.0459	24.6	9.85	10.9	9.18	17.0	0.9458
Junio	28.6	14.67	18.9	9.43	20.1	1.1376	22.5	9.74	10.9	9.05	16.7	0.9402
Julio	29.0	15.13	21.7	9.61	21.1	1.1262	21.4	9.09	9.8	9.24	16.7	0.9087
Agosto	29.9	15.65	20.5	9.19	20.1	1.1731	22.0	9.43	10.1	8.98	16.4	0.9254
Septiembre	26.6	12.61	14.1	8.32	16.9	1.0704	20.9	8.74	8.3	8.29	14.7	0.8916
Octubre	22.2	9.00	8.7	8.00	14.7	0.9344	19.9	8.14	7.1	8.14	14.1	0.8617
Noviembre	14.8	5.21	3.0	7.24	11.8	0.7042	17.6	6.73	5.2	7.51	12.2	0.7882
Diciembre	10.9	3.27	1.4	7.20	9.4	0.5402	15.9	5.70	4.3	7.62	11.7	0.7362

MES	T	P	Ext.	p	f	Ka	T	P	Ext.	p	f	Ka
DISTRITO DE RIEGO NUMERO 9						DISTRITO DE RIEGO NUMERO 10						
Enero.....	5.0	1.19	0.7	7.29	7.7	0.415	15.4	7.21	4.1	7.53	12.5	0.819
Febrero.....	9.0	2.45	1.6	6.97	8.5	0.523	18.9	7.44	4.3	7.14	12.0	0.857
Marzo.....	11.8	3.67	3.2	8.37	11.3	0.645	20.3	8.07	6.2	8.29	11.6	0.923
Abril.....	16.8	6.28	6.3	8.75	13.8	0.755	24.4	10.20	9.7	7.64	16.2	0.963
Mayo.....	21.8	9.39	11.2	9.63	17.1	0.997	27.3	12.25	14.1	8.55	18.8	1.033
Junio.....	26.0	12.10	15.5	9.09	19.3	1.034	29.2	14.17	19.8	9.55	19.5	1.159
Julio.....	26.9	12.81	16.8	9.77	20.0	1.059	29.0	14.32	20.9	9.43	21.2	1.112
Agosto.....	26.6	12.61	15.6	9.23	18.9	1.030	28.2	13.75	18.1	9.05	19.1	1.109
Septiembre.....	22.7	9.02	10.5	8.71	15.5	0.958	28.0	13.61	16.4	8.71	17.1	1.033
Octubre.....	17.3	6.58	6.1	7.95	12.8	0.746	26.1	12.24	12.7	8.05	16.2	1.023
Noviembre.....	10.7	4.19	2.3	7.11	9.3	0.5746	22.1	9.52	5.1	7.05	13.5	0.856
Diciembre.....	6.8	1.62	1.0	7.05	7.9	0.451	19.4	7.81	4.7	7.91	12.6	0.819
DISTRITO DE RIEGO NUMERO 11						DISTRITO DE RIEGO NUMERO 12						
Enero.....	14.8	6.17	3.8	7.71	11.5	0.709	15.4	5.70	4.3	7.71	11.7	0.750
Febrero.....	16.6	6.17	4.6	7.24	11.4	0.737	16.1	5.59	4.6	7.25	11.5	0.755
Marzo.....	18.9	7.51	6.0	8.40	14.1	0.797	18.1	7.05	6.7	8.11	12.8	0.857
Abril.....	21.0	8.50	8.7	8.54	15.2	0.891	20.0	8.16	8.1	8.53	14.7	0.860
Mayo.....	22.7	9.03	11.1	9.18	17.0	0.982	21.7	9.24	10.2	9.15	16.5	0.959
Junio.....	22.5	9.07	11.0	9.05	16.8	0.938	21.5	9.14	9.9	9.01	16.2	0.912
Julio.....	21.4	9.03	9.8	9.29	16.7	0.929	20.4	8.42	9.1	9.25	16.1	0.875
Agosto.....	21.3	8.97	9.5	8.98	16.1	0.931	20.4	8.45	8.9	8.95	15.7	0.874
Septiembre.....	20.6	8.54	8.1	8.29	14.6	0.845	19.2	8.29	8.0	8.29	14.4	0.859
Octubre.....	14.6	7.01	7.2	6.15	13.9	0.835	13.2	7.01	7.1	7.16	13.8	0.833
Noviembre.....	12.5	6.68	5.3	7.34	12.2	0.754	17.3	6.54	5.3	7.59	12.2	0.793
Diciembre.....	15.3	5.46	4.1	7.63	11.6	0.749	15.8	5.79	4.5	7.05	11.8	0.736
DISTRITO DE RIEGO NUMERO 14						DISTRITO DE RIEGO NUMERO 16						
Enero.....	12.0	3.6	1.3	7.20	9.8	0.657	21.3	9.01	5.1	7.71	13.9	0.817
Febrero.....	14.7	5.12	2.3	6.97	10.3	0.656	23.0	10.12	8.1	7.25	13.6	0.959
Marzo.....	17.1	6.62	4.1	8.37	13.3	0.753	25.5	11.81	12.5	8.41	16.7	1.034
Abril.....	21.8	9.34	8.6	8.75	15.9	0.859	26.9	12.74	14.9	8.51	17.4	1.058
Mayo.....	24.4	10.24	12.8	9.34	18.6	0.934	28.0	13.62	16.1	9.11	18.7	1.059
Junio.....	29.0	15.04	25.5	9.40	21.0	0.945	29.8	14.55	22.5	8.95	19.4	1.043
Julio.....	33.2	16.61	19.7	9.77	22.8	1.052	31.2	16.28	11.2	9.25	22.5	0.929
Agosto.....	32.5	17.24	25.0	9.28	21.5	1.203	31.2	16.36	10.8	8.92	26.9	0.982
Septiembre.....	29.5	14.75	18.9	8.33	18.1	1.169	28.2	16.24	9.4	8.25	15.5	0.966
Octubre.....	21.2	10.29	10.5	7.95	15.3	0.923	23.4	10.48	9.1	8.14	15.3	0.945
Noviembre.....	16.8	6.28	3.1	7.11	11.2	0.769	22.3	9.61	7.6	7.62	14.0	0.943
Diciembre.....	12.4	4.12	1.5	7.05	9.8	0.669	21.1	8.31	6.5	7.41	14.7	0.866
DISTRITO DE RIEGO NUMERO 17						DISTRITO DE RIEGO NUMERO 18						
Enero.....	13.0	4.29	2.4	7.53	10.6	0.679	15.9	5.76	2.2	7.29	11.1	0.740
Febrero.....	15.5	5.72	3.6	7.13	10.0	0.724	17.6	6.72	3.0	6.72	11.9	0.741
Marzo.....	18.1	7.24	5.9	8.59	13.9	0.846	19.5	8.53	5.1	8.36	14.3	0.845
Abril.....	22.6	9.56	9.8	8.61	15.0	0.945	22.8	9.91	8.9	8.75	16.3	0.945
Mayo.....	25.4	11.71	14.0	9.32	16.4	1.035	24.1	11.23	14.3	9.65	19.4	1.039
Junio.....	27.0	12.81	16.1	9.22	18.9	1.093	31.3	12.73	16.6	9.69	21.6	1.206
Julio.....	26.7	12.63	16.1	9.44	19.2	1.040	30.2	12.73	16.1	9.15	21.6	1.211
Agosto.....	26.1	12.74	14.6	9.08	18.3	1.035	30.2	12.73	16.7	9.15	21.3	1.212
Septiembre.....	21.2	10.94	11.2	8.79	16.0	0.943	31.9	12.73	16.8	8.41	19.0	1.214
Octubre.....	16.8	8.12	7.5	8.08	14.1	0.844	27.6	11.81	14.3	7.75	16.5	1.094
Noviembre.....	16.2	5.93	3.9	7.40	11.3	0.736	29.8	10.78	5.1	7.11	12.6	0.828
Diciembre.....	12.6	4.09	2.1	7.11	10.5	0.691	17.7	6.44	3.1	7.05	11.4	0.794

MES	T	r	Ext.	p	f	Kc	T	r	Ext.	p	f	Kc
DISTRITO DE RIEGO NUMERO 19						DISTRITO DE RIEGO NUMERO 20						
Enero...	26.0	12.13	11.3	7.53	15.9	1.0492	12.7	4.11	3.5	7.71	10.8	0.6375
Febrero...	26.6	12.5	11.8	7.35	14.9	1.0331	14.4	4.97	4.5	7.26	10.7	0.6886
Marzo...	27.4	13.16	15.2	8.31	17.5	1.0939	16.7	6.23	6.2	8.33	13.3	0.7098
Abril...	28.7	14.10	18.8	8.46	18.0	1.1339	19.0	7.51	7.9	8.53	14.4	0.8133
Mayo...	29.6	14.76	23.0	9.01	19.5	1.1613	20.6	8.23	9.8	9.11	16.1	0.8313
Junio...	29.2	14.45	21.2	8.83	19.0	1.1591	20.2	8.51	9.5	9.00	15.7	0.8201
Julio...	29.6	14.78	24.2	9.07	19.7	1.1819	18.7	7.30	8.4	9.23	15.4	0.8239
Agosto...	30.0	15.09	23.8	8.85	19.4	1.1717	18.6	7.31	8.0	8.95	14.9	0.8191
Septiembre...	28.9	14.21	19.0	8.27	17.7	1.1395	18.0	7.00	7.0	8.29	13.6	0.8024
Octubre...	28.7	14.15	18.5	8.21	17.6	1.1334	17.1	6.47	6.3	8.17	13.1	0.7742
Noviembre...	27.9	13.34	15.3	7.72	16.2	1.1102	15.7	5.68	5.0	7.59	11.6	0.7300
Diciembre...	26.2	12.31	11.9	7.83	15.8	1.0582	13.1	4.31	3.7	7.66	10.5	0.6484
DISTRITO DE RIEGO NUMERO 21						DISTRITO DE RIEGO NUMERO 22						
Enero...	13.8	4.67	3.9	7.74	11.2	0.6795	13.9	4.70	4.0	7.74	11.2	0.6724
Febrero...	15.9	5.81	4.8	7.26	11.2	0.7375	15.3	5.45	4.5	7.26	11.0	0.7172
Marzo...	18.7	7.36	7.3	8.41	14.0	0.8219	18.1	7.01	7.0	8.41	13.8	0.8032
Abril...	20.1	8.26	8.5	8.53	14.8	0.8650	19.1	7.78	8.1	8.53	14.5	0.8457
Mayo...	21.3	9.60	10.2	9.14	16.4	0.9011	20.2	8.31	9.1	9.11	15.9	0.8504
Junio...	20.5	8.52	9.1	9.00	15.8	0.8807	20.0	8.21	9.1	9.00	15.6	0.8672
Julio...	18.6	7.33	8.0	8.23	13.4	0.8203	18.6	7.34	8.2	8.23	15.1	0.8209
Agosto...	19.2	7.68	8.3	8.65	15.1	0.8381	18.8	7.46	8.1	8.95	15.0	0.8272
Septiembre...	18.2	7.10	6.9	8.29	13.7	0.8082	12.2	7.08	7.0	8.29	13.6	0.8029
Octubre...	17.1	6.45	6.0	8.17	13.0	0.7731	16.8	6.28	5.9	8.17	12.9	0.7636
Noviembre...	15.8	5.71	4.8	7.59	11.7	0.7292	15.7	5.69	4.9	7.59	11.6	0.7206
Diciembre...	13.8	4.69	3.8	7.66	11.1	0.6721	13.9	4.73	4.0	7.66	11.1	0.6743
DISTRITO DE RIEGO NUMERO 23						DISTRITO DE RIEGO NUMERO 24						
Enero...	12.0	3.77	3.4	7.71	10.5	0.6192	14.1	4.82	3.7	7.74	11.3	0.6796
Febrero...	14.0	4.78	4.2	7.26	10.6	0.6577	16.0	5.82	4.5	7.26	11.2	0.7381
Marzo...	16.8	6.27	6.5	8.41	13.3	0.7659	18.2	7.11	6.6	8.41	13.9	0.8095
Abril...	18.8	7.46	8.0	8.53	14.3	0.8209	20.2	8.29	8.3	8.53	14.8	0.8665
Mayo...	19.3	7.75	9.0	9.11	15.5	0.8413	22.0	9.46	10.6	9.11	16.7	0.9265
Junio...	19.2	7.69	8.8	9.00	15.2	0.8367	21.9	9.41	10.3	9.00	16.4	0.9243
Julio...	17.9	6.90	8.0	9.23	15.1	0.7973	20.4	8.46	9.2	9.23	16.2	0.8576
Agosto...	18.1	7.91	7.9	8.65	14.7	0.8032	20.6	8.56	9.1	8.95	15.7	0.8526
Septiembre...	17.2	6.52	6.7	8.29	13.3	0.7767	20.1	8.29	8.0	8.29	14.4	0.8676
Octubre...	15.7	5.65	5.6	8.17	12.5	0.7294	19.1	7.62	7.1	8.17	13.8	0.8333
Noviembre...	14.2	4.87	4.5	7.59	11.1	0.6930	16.7	6.22	5.0	7.59	12.0	0.7405
Diciembre...	12.4	3.96	3.6	7.66	10.6	0.6263	14.8	5.19	4.0	7.66	11.4	0.5017
DISTRITO DE RIEGO NUMERO 25						DISTRITO DE RIEGO NUMERO 26						
Enero...	14.1	4.40	2.1	7.49	10.9	0.6786	13.9	4.70	1.7	7.49	10.8	0.6727
Febrero...	16.5	6.14	3.2	7.12	11.2	0.7562	17.2	6.51	3.2	7.12	11.4	0.7850
Marzo...	19.5	7.83	5.9	8.40	14.3	0.8468	22.1	8.41	6.3	8.40	14.7	0.7851
Abril...	23.7	10.60	10.6	8.64	16.4	0.9401	29.4	11.38	11.9	8.64	16.9	1.0133
Mayo...	26.9	12.77	16.2	9.38	19.2	1.0722	28.4	13.89	19.3	9.38	19.8	1.1219
Junio...	28.4	13.87	18.9	9.30	19.7	1.1242	30.9	15.76	21.9	9.30	20.7	1.2921
Julio...	29.1	14.31	20.7	9.49	20.1	1.1479	31.7	16.42	27.5	9.49	21.5	1.2846
Agosto...	29.5	14.50	20.5	9.10	19.7	1.1588	31.5	16.23	25.7	9.10	20.5	1.2908
Septiembre...	27.7	13.37	15.7	8.31	17.3	1.1041	28.7	14.11	17.6	8.31	17.2	1.1342
Octubre...	24.5	11.41	10.8	8.66	15.6	1.0937	24.7	11.28	10.9	8.66	15.7	1.0412
Noviembre...	19.3	7.52	5.1	7.36	12.5	0.8466	18.2	7.12	4.0	7.36	12.1	0.8091
Diciembre...	15.1	5.31	2.6	7.35	11.1	0.7107	14.9	5.23	2.1	7.35	11.0	0.7042

M E S	T	r	Evl	p	f	Kv	T	r	Ext.	p	f	Kv
DISTRITO DE RIEGO NUMERO 28						DISTRITO DE RIEGO NUMERO 29						
Enero	12.7	4.11	1.0	7.74	10.8	0.6357	18.1	7.65	3.3	7.62	12.5	0.8671
Febrero	13.4	4.95	1.7	7.26	10.7	0.6889	21.2	8.91	5.4	7.19	12.8	0.9961
Marzo	15.8	6.29	6.8	8.41	13.3	0.7643	24.2	10.92	10.1	8.40	16.2	0.9937
Abril	17.6	6.72	7.4	8.53	13.8	0.7879	27.9	11.51	17.1	8.37	17.9	1.1099
Mayo	17.6	6.75	8.0	9.14	14.8	0.7892	30.0	11.97	23.9	9.24	20.2	1.1713
Junio	17.4	6.61	7.7	9.00	14.5	0.7829	30.3	11.35	23.7	9.12	20.1	1.1813
Julio	16.0	5.85	7.0	9.23	14.3	0.7307	29.7	11.89	23.6	9.35	20.4	1.1696
Agosto	16.3	6.00	7.0	8.95	14.0	0.7181	29.4	11.40	23.5	9.02	19.9	1.1857
Septiembre	16.2	5.92	6.3	8.29	12.9	0.7440	28.5	11.01	17.8	8.50	17.0	1.1278
Octubre	15.0	5.29	5.5	8.17	19.3	0.5076	26.1	12.26	12.7	8.11	16.4	1.0541
Noviembre	13.9	4.73	4.6	7.59	14.0	0.6743	22.7	9.89	7.1	7.47	13.8	0.9471
Diciembre	12.7	4.13	4.0	7.66	10.7	0.6303	18.9	7.51	3.7	7.00	12.6	0.8295
DISTRITO DE RIEGO NUMERO 30						DISTRITO DE RIEGO NUMERO 32						
Enero	13.1	4.32	3.7	7.79	11.0	0.6494	17.2	6.53	3.1	7.58	12.1	0.7776
Febrero	14.9	5.24	4.4	7.28	10.9	0.7048	20.2	8.29	5.0	7.17	12.7	0.8692
Marzo	17.1	6.40	6.4	8.41	13.4	0.7739	22.9	10.05	8.7	8.40	15.7	0.9518
Abril	19.0	7.56	7.9	8.51	14.3	0.8321	26.2	12.29	13.8	8.60	17.3	1.0561
Mayo	19.8	8.03	9.1	9.11	15.7	0.8561	28.7	14.15	20.3	9.30	19.8	1.1591
Junio	19.6	7.96	8.8	8.97	15.4	0.8527	29.9	15.06	24.0	9.20	20.4	1.1304
Julio	18.4	7.23	8.1	9.20	15.3	0.8117	29.7	14.85	22.9	9.41	20.5	1.1647
Agosto	19.0	7.55	8.3	8.92	15.9	0.8318	30.5	15.45	23.9	9.04	20.0	1.1896
Septiembre	18.3	7.17	7.2	8.28	13.7	0.8119	28.1	13.64	16.6	8.31	17.4	1.1149
Octubre	17.4	6.62	6.4	8.19	13.2	0.7826	25.1	11.52	11.2	8.69	15.9	1.0241
Noviembre	15.5	5.56	4.9	7.63	11.6	0.7235	20.2	8.28	5.1	7.33	12.9	0.8699
Diciembre	13.7	4.63	4.0	7.71	11.1	0.6680	17.6	6.73	3.2	7.46	12.1	0.7582
DISTRITO DE RIEGO NUMERO 33						DISTRITO DE RIEGO NUMERO 33 A						
Enero	9.4	2.62	3.3	7.74	9.6	0.5314	9.3	2.82	3.1	7.74	9.8	0.5483
Febrero	10.5	3.07	3.6	7.26	9.4	0.5665	11.6	3.57	4.0	7.26	9.7	0.6008
Marzo	12.7	4.11	5.3	8.41	11.7	0.6360	13.8	4.65	5.8	8.41	12.1	0.6969
Abril	14.3	4.91	6.3	8.53	12.5	0.6855	15.1	5.35	6.7	8.53	12.8	0.7410
Mayo	15.1	5.33	7.3	9.14	13.7	0.7101	15.7	5.65	7.6	9.14	14.0	0.7914
Junio	15.4	5.52	7.4	9.00	13.7	0.7210	15.1	5.50	7.3	9.00	13.7	0.7290
Julio	14.9	5.22	7.2	9.23	13.8	0.7035	14.1	4.96	6.8	9.23	13.6	0.6840
Agosto	14.8	5.18	7.0	8.95	13.3	0.7014	14.5	5.02	6.7	8.95	13.2	0.6920
Septiembre	14.5	5.03	6.3	8.29	12.2	0.6923	14.0	4.79	5.9	8.29	12.1	0.6783
Octubre	12.9	4.24	5.3	8.17	11.5	0.6411	13.0	4.26	5.2	8.17	11.4	0.6453
Noviembre	11.1	3.28	4.9	7.59	10.0	0.5889	11.5	3.51	4.1	7.59	10.2	0.5989
Diciembre	9.8	2.77	3.4	7.66	9.7	0.5450	10.3	2.99	3.6	7.66	9.8	0.5406
DISTRITO DE RIEGO NUMERO 34						DISTRITO DE RIEGO NUMERO 35						
Enero	11.9	3.75	3.5	7.62	10.1	0.6126	21.2	8.91	6.1	7.79	13.9	0.9613
Febrero	13.0	4.27	3.8	7.19	10.1	0.6462	2.3	9.65	6.8	7.28	13.1	0.9378
Marzo	15.4	5.19	5.8	8.10	12.7	0.7191	24.4	11.02	10.5	8.41	16.2	0.9990
Abril	17.6	6.72	7.4	8.57	12.9	0.7829	26.5	12.51	14.2	8.34	17.3	1.0966
Mayo	19.5	7.86	9.4	9.14	15.8	0.8174	28.8	13.55	17.9	9.11	19.0	1.1936
Junio	19.5	7.86	9.4	9.12	15.6	0.8177	28.4	13.44	18.2	8.97	18.8	1.1416
Julio	14.4	4.96	5.9	9.35	13.8	0.6840	26.9	12.81	16.2	9.20	18.8	1.1619
Agosto	18.3	7.14	8.3	9.02	14.9	0.8101	25.3	15.10	16.6	8.92	18.1	1.1619
Septiembre	17.6	6.77	7.1	8.50	13.5	0.7911	25.0	12.54	14.6	8.28	17.0	1.0830
Octubre	16.6	6.17	6.2	8.11	12.8	0.7580	25.9	12.12	12.6	8.19	16.4	1.0529
Noviembre	14.9	5.22	4.8	7.47	11.2	0.7035	24.0	10.65	8.8	7.43	14.1	0.9678
Diciembre	12.2	3.86	3.5	7.50	10.3	0.6201	21.7	9.28	6.5	7.71	13.9	0.9158

M E S	T	r	Ext.	p	f	Ka	T	r	Ext.	p	f	Ka
DISTRITO DE RIEGO NUMERO 37						DISTRITO DE RIEGO NUMERO 38						
Enero	13.2	4.35	1.8	7.25	10.3	0.6509	15.8	5.71	2.9	7.43	11.4	0.7319
Febrero	14.6	5.10	2.3	7.09	10.4	0.6967	16.8	6.28	3.3	7.04	11.2	0.7639
Marzo	17.0	6.42	4.2	8.36	13.3	0.7717	18.1	7.29	5.0	8.38	13.9	0.8135
Abril	20.7	8.10	7.4	8.73	15.4	0.8848	21.2	8.96	7.8	8.65	15.5	0.9022
Mayo	24.5	11.11	12.9	9.57	18.5	1.0917	24.5	10.46	11.3	9.40	17.8	0.9748
Junio	29.4	14.61	21.2	9.51	20.6	1.1551	27.8	13.42	17.8	9.32	19.1	1.1072
Julio	31.9	16.58	27.1	9.72	22.1	1.2318	30.2	15.47	24.4	9.52	20.9	1.1822
Agosto	31.2	16.04	24.3	9.24	20.7	1.2333	30.4	15.40	22.7	9.13	20.2	1.1875
Septiembre	29.2	14.58	18.4	8.43	18.0	1.1533	29.4	14.43	18.6	8.32	18.0	1.1550
Octubre	24.2	10.91	10.4	7.95	15.3	0.9936	26.2	12.31	13.1	8.03	16.2	1.0373
Noviembre	18.4	7.19	4.4	7.15	11.8	0.8128	20.3	8.39	5.8	7.36	12.8	0.8742
Diciembre	15.2	5.49	2.6	7.09	10.7	0.7111	16.8	6.28	3.3	7.31	11.6	0.7639
DISTRITO DE RIEGO NUMERO 39						DISTRITO DE RIEGO NUMERO 40						
Enero	18.3	7.17	3.6	7.62	12.6	0.8116	25.2	11.58	10.6	7.86	15.5	1.0219
Febrero	21.6	9.17	6.0	7.19	12.9	0.9125	23.2	11.62	10.0	7.32	14.4	1.0265
Marzo	23.9	10.71	9.8	8.39	16.0	0.9551	25.7	11.92	12.1	8.43	16.8	1.0395
Abril	26.8	12.71	14.8	8.35	17.5	1.0717	26.6	12.60	14.1	8.18	17.2	1.0397
Mayo	29.1	14.41	21.4	9.21	19.9	1.1479	28.2	13.72	18.6	9.04	19.0	1.1180
Junio	29.4	14.66	21.9	9.12	19.7	1.1572	28.1	13.70	18.0	8.87	18.7	1.1168
Julio	28.8	14.17	20.9	9.35	19.9	1.1367	27.7	13.36	17.6	9.11	19.0	1.1021
Agosto	29.6	14.79	22.0	9.02	19.6	1.1625	27.8	13.46	17.3	8.87	18.5	1.1068
Septiembre	28.2	13.73	16.9	8.30	17.5	1.1183	27.0	12.88	14.6	8.27	17.0	1.0819
Octubre	25.8	12.05	12.3	8.11	16.2	1.0458	26.9	12.81	14.3	8.22	16.8	1.0791
Noviembre	21.7	9.23	6.2	7.47	13.5	0.9156	23.2	12.29	12.1	7.69	15.5	1.0590
Diciembre	18.5	7.53	4.0	7.50	12.6	0.8395	21.1	11.55	10.5	7.60	15.3	1.0233
DISTRITO DE RIEGO NUMERO 41						DISTRITO DE RIEGO NUMERO 42						
Enero	17.8	6.81	3.3	7.43	12.1	0.7945	8.6	2.30	1.6	7.50	8.8	0.5995
Febrero	18.4	7.19	3.5	7.09	11.7	0.8128	10.4	3.06	2.1	7.02	9.1	0.5656
Marzo	19.8	8.04	5.3	8.38	14.4	0.8567	13.1	4.31	3.9	8.28	11.8	0.6187
Abril	23.6	10.53	9.9	8.65	16.4	0.9759	17.3	6.56	6.7	8.72	14.6	0.7792
Mayo	26.7	12.69	16.2	9.39	19.2	1.0335	21.4	9.08	10.8	9.53	17.1	0.9054
Junio	29.9	15.05	23.3	9.32	20.4	1.1731	25.4	11.74	14.6	9.49	18.8	1.0321
Julio	31.8	16.31	29.3	9.52	21.6	1.2320	25.0	11.44	14.5	9.67	18.9	1.0184
Agosto	30.7	15.67	25.0	9.13	20.3	1.1961	23.9	10.73	12.8	9.22	17.6	0.9863
Septiembre	31.5	16.23	24.4	8.32	18.8	1.2208	21.4	9.09	9.5	8.34	15.0	0.7057
Octubre	28.1	13.66	16.2	8.03	16.9	1.1172	17.6	6.72	6.3	7.99	12.5	0.7879
Noviembre	22.0	9.42	6.5	7.36	13.4	0.9246	11.8	3.70	2.8	7.19	9.7	0.6095
Diciembre	18.4	7.21	3.6	7.31	12.1	0.8111	8.0	2.42	1.6	7.14	8.7	0.5192
DISTRITO DE RIEGO NUMERO 43						DISTRITO DE RIEGO NUMERO 44						
Enero	22.7	9.92	7.2	7.66	14.2	0.9486	14.9	5.22	4.3	7.74	11.6	0.7938
Febrero	22.5	9.78	6.6	7.21	13.3	0.9418	16.6	6.16	5.1	7.36	11.4	0.7574
Marzo	23.0	10.13	8.2	8.40	15.7	0.9686	18.8	7.44	7.3	8.31	14.1	0.8239
Abril	25.1	11.52	11.5	8.56	16.8	1.0221	19.8	8.05	8.2	8.53	14.7	0.8571
Mayo	27.5	13.23	17.3	9.92	20.6	1.0968	20.0	8.20	9.0	9.14	15.8	0.8648
Junio	29.3	14.59	21.6	9.09	19.6	1.1511	9.19	8.11	8.8	9.09	15.5	0.8002
Julio	28.9	14.28	21.1	9.33	20.0	1.1114	18.8	7.44	8.1	9.23	15.5	0.8256
Agosto	29.1	14.39	20.9	9.00	19.3	1.1160	19.1	7.62	8.1	8.95	15.1	0.8353
Septiembre	28.9	14.26	18.8	8.20	17.7	1.1101	18.7	7.39	7.2	8.29	13.8	0.8271
Octubre	28.1	13.52	17.3	8.13	17.2	1.1251	17.6	6.77	6.3	8.17	13.3	0.7904
Noviembre	26.4	12.46	12.3	7.50	15.2	1.0635	16.5	6.12	5.2	7.39	11.9	0.7549
Diciembre	24.0	10.71	8.6	7.55	14.4	0.9669	15.5	5.55	4.6	7.66	11.7	0.7225

M E S	T	r'	Ext.	p	f	Kc	T	P	Ext.	p	f	Kc
DISTRITO DE RIEGO NUMERO 45						DISTRITO DE RIEGO NUMERO 46						
Enero.....	9.7	2.74	3.4	7.74	9.7	0.5429	21.3	10.97	9.8	7.94	15.3	0.9952
Febrero.....	10.5	3.11	3.6	7.25	9.4	0.5599	21.4	11.42	19.4	7.37	14.4	0.9177
Marzo.....	12.2	3.90	5.0	8.41	11.6	0.6733	21.7	11.92	12.4	8.44	16.8	1.0679
Abril.....	13.7	4.61	5.9	8.54	12.3	0.6794	22.2	12.33	13.6	8.45	17.0	1.0679
Mayo.....	15.2	5.30	7.3	9.11	13.8	0.7151	22.4	12.29	11.2	8.98	18.0	1.0679
Junio.....	15.5	5.56	7.4	9.69	13.7	0.7255	22.4	11.67	12.5	8.80	17.1	1.0679
Julio.....	14.8	5.19	7.1	9.23	13.8	0.7029	22.3	11.64	12.9	9.64	17.8	1.0679
Agosto.....	15.0	5.28	7.0	8.95	13.4	0.7053	22.4	11.71	12.7	8.83	17.5	1.0679
Septiembre.....	14.7	5.11	6.3	8.23	12.3	0.6753	22.0	11.48	11.1	8.27	16.2	1.0679
Octubre.....	14.1	4.82	5.8	8.17	11.9	0.6796	21.9	11.29	11.1	8.26	16.1	1.0679
Noviembre.....	12.3	3.91	4.2	7.59	10.4	0.6232	21.7	11.24	10.1	7.75	15.1	1.0679
Diciembre.....	10.4	3.05	3.7	7.66	9.9	0.5653	21.1	11.95	10.0	7.88	15.2	1.0600
DISTRITO DE RIEGO NUMERO 47						DISTRITO DE RIEGO NUMERO 48						
Enero.....	26.4	12.42	12.9	7.94	16.1	1.0629	22.9	10.02	7.6	7.71	14.4	0.9333
Febrero.....	26.9	12.78	12.6	7.37	15.1	1.0775	23.8	10.64	8.3	7.24	13.8	0.9822
Marzo.....	28.2	13.78	17.5	8.44	17.8	1.1562	25.8	12.02	12.6	8.46	16.8	1.0412
Abril.....	29.2	14.69	20.2	8.45	18.2	1.1188	27.2	13.05	15.6	8.57	17.6	1.0879
Mayo.....	29.7	14.42	21.2	8.98	19.1	1.1348	27.9	13.76	18.3	9.18	19.2	1.1408
Junio.....	27.6	13.31	16.7	8.00	18.3	1.0883	27.6	13.32	17.3	9.05	18.8	1.1069
Julio.....	27.6	13.33	17.4	9.04	18.8	1.1012	27.1	13.97	16.7	9.29	19.1	1.0879
Agosto.....	27.7	13.38	16.9	8.83	18.4	1.1034	27.5	13.26	17.1	8.98	18.6	1.0981
Septiembre.....	27.1	13.15	15.2	8.27	17.1	1.0337	27.0	12.59	14.7	8.29	17.0	1.0825
Octubre.....	27.5	13.21	15.3	8.26	17.1	1.0662	25.8	12.03	12.5	8.15	16.3	1.0758
Noviembre.....	27.2	13.01	13.8	7.75	16.0	1.0875	24.5	11.99	9.4	7.54	14.6	1.0825
Diciembre.....	26.7	12.69	13.1	7.88	16.1	1.0735	23.1	10.19	7.8	7.62	14.3	0.9641
DISTRITO DE RIEGO NUMERO 50						DISTRITO DE RIEGO NUMERO 51						
Enero.....	13.7	4.61	2.0	7.43	10.7	0.6668	15.9	5.77	2.4	7.35	11.3	0.7356
Febrero.....	15.8	5.75	2.9	7.09	10.9	0.7311	17.1	6.46	3.0	7.94	11.2	0.7579
Marzo.....	19.3	7.72	5.8	8.38	14.2	0.8406	19.2	7.40	5.3	8.35	14.2	0.8387
Abril.....	23.2	10.25	10.1	8.65	16.2	0.9639	22.7	9.88	8.9	8.70	16.1	0.9954
Mayo.....	26.6	12.56	15.9	9.30	19.1	1.0582	28.2	13.77	19.4	9.14	20.0	1.1409
Junio.....	29.9	14.99	21.8	9.32	23.3	1.1705	30.7	15.67	24.4	9.43	21.9	1.1984
Julio.....	30.6	15.57	23.9	9.52	21.1	1.1944	32.0	16.67	23.3	9.61	21.9	1.2182
Agosto.....	30.9	15.78	23.5	9.13	20.4	1.2057	30.9	15.80	21.9	9.59	20.5	1.2036
Septiembre.....	28.4	13.60	16.8	8.32	17.6	1.1255	29.6	15.59	22.4	8.32	16.5	1.1952
Octubre.....	23.6	10.51	9.8	8.03	15.2	0.9500	24.2	12.59	12.8	8.00	16.1	1.0354
Noviembre.....	16.7	6.24	3.4	7.36	11.6	0.7615	20.1	8.23	5.4	7.24	12.5	0.8961
Diciembre.....	13.1	4.31	1.7	7.31	10.3	0.6303	16.8	6.29	2.9	7.20	11.4	0.7643
DISTRITO DE RIEGO NUMERO 52						DISTRITO DE RIEGO NUMERO 53						
Enero.....	10.9	3.23	2.6	7.58	10.0	0.5812	21.3	11.00	9.2	7.79	15.0	0.9384
Febrero.....	12.6	4.05	3.2	7.17	9.9	0.6399	23.8	10.62	8.0	7.28	13.8	0.7579
Marzo.....	15.4	5.52	5.3	8.40	12.8	0.7213	24.7	10.66	9.0	8.11	16.0	0.9272
Abril.....	18.7	7.40	7.7	8.60	14.4	0.8230	24.7	11.28	20.9	8.54	16.6	1.0412
Mayo.....	21.3	8.99	10.5	9.30	16.6	0.9941	26.8	12.76	13.8	9.11	18.9	1.1636
Junio.....	22.6	9.86	11.6	9.20	17.0	0.9188	28.3	13.55	19.0	8.97	19.0	1.1234
Julio.....	21.2	8.93	9.6	9.11	16.8	0.9309	28.5	13.99	20.0	9.20	19.5	1.1367
Agosto.....	20.7	8.59	9.7	9.05	15.9	0.8841	28.8	11.21	20.3	8.95	19.0	1.1334
Septiembre.....	19.5	7.85	7.9	8.31	14.2	0.8371	27.7	13.36	16.0	8.25	17.2	1.0634
Octubre.....	17.3	6.58	6.3	8.01	13.0	0.7905	28.0	13.42	16.5	8.19	17.2	1.1154
Noviembre.....	14.5	5.01	4.2	7.44	11.0	0.6944	26.8	12.75	15.0	7.64	15.6	1.0354
Diciembre.....	11.3	3.44	2.7	7.45	9.9	0.5921	23.4	11.76	9.8	7.74	13.3	0.9384

M E S	T	P	Ext.	p	f	Kt	T	P	Ext.	p	f	Kt
DISTRITO DE RIEGO NUMERO 55						DISTRITO DE RIEGO NUMERO 56						
Enero.....	21.9	6.30	5.2	7.62	13.8	0.9231	13.6	4.54	3.8	7.79	11.2	0.6531
Febrero.....	23.6	10.49	6.9	7.19	13.6	0.9759	15.9	5.31	4.1	7.28	10.9	0.7091
Marzo.....	25.1	13.65	17.0	8.59	17.6	1.1119	17.5	6.68	6.6	8.41	13.6	0.7854
Abril.....	30.0	15.07	23.2	8.57	18.7	1.1741	19.3	7.73	8.0	8.51	14.4	0.8499
Mayo.....	31.2	16.60	29.9	9.24	20.7	1.2117	19.7	8.02	9.0	9.11	15.7	0.8555
Junio.....	32.0	16.63	33.9	9.12	20.8	1.2367	20.0	8.19	9.9	8.97	15.5	0.8627
Julio.....	31.9	15.59	29.8	9.35	20.9	1.2071	18.8	7.47	8.3	9.20	15.4	0.8275
Agosto.....	31.3	16.10	29.6	9.62	20.9	1.2135	19.5	7.89	8.6	8.92	15.2	0.8474
Septiembre.....	30.9	15.10	22.4	8.20	18.2	1.1756	18.5	7.41	7.4	8.28	13.9	0.8156
Octubre.....	27.8	13.47	15.7	8.11	16.9	1.1071	17.7	6.80	6.5	8.19	13.3	0.7920
Noviembre.....	24.8	11.32	8.8	7.47	14.6	1.0531	16.1	5.85	5.1	7.63	11.8	0.7421
Diciembre.....	23.4	10.36	6.8	7.50	14.1	0.9692	14.0	4.75	4.0	7.71	11.2	0.6755
DISTRITO DE RIEGO NUMERO 57						DISTRITO DE RIEGO NUMERO 58						
Enero.....	25.0	11.8	10.5	7.83	15.6	1.0383	16.3	6.02	3.4	7.40	11.7	0.7493
Febrero.....	26.9	12.84	12.4	7.30	14.0	1.0590	17.6	6.73	4.0	7.12	11.5	0.7882
Marzo.....	28.9	14.30	19.4	8.42	18.0	1.1423	20.2	8.33	6.8	8.40	14.6	0.8714
Abril.....	30.4	15.41	24.5	8.59	18.8	1.1878	23.7	10.56	10.7	8.61	16.4	0.9785
Mayo.....	31.9	16.54	32.3	9.69	20.7	1.2392	26.1	12.23	15.9	9.38	18.9	1.0535
Junio.....	30.1	15.29	24.9	8.62	19.6	1.1734	26.3	12.41	15.4	9.50	18.8	1.0613
Julio.....	27.7	13.39	17.8	8.16	17.0	1.1037	28.3	13.83	18.9	9.40	20.0	1.1224
Agosto.....	27.4	13.18	16.6	8.90	18.4	1.0876	25.3	13.81	18.1	9.10	19.2	1.1214
Septiembre.....	27.6	13.29	15.5	8.27	17.2	1.0684	25.9	12.07	13.0	8.31	16.6	1.0464
Octubre.....	27.4	13.15	14.9	8.21	17.0	1.0550	22.4	9.70	8.6	8.66	14.8	0.9350
Noviembre.....	27.1	12.93	13.2	7.66	15.7	1.0950	17.2	6.79	4.2	7.26	11.0	0.7914
Diciembre.....	25.1	11.51	9.5	7.74	15.2	1.0215	15.6	5.58	3.0	7.35	11.2	0.7217
DISTRITO DE RIEGO NUMERO 59						DISTRITO DE RIEGO NUMERO 60						
Enero.....	22.9	9.42	7.1	7.83	14.4	0.9249	18.5	7.26	4.3	7.66	12.7	0.8160
Febrero.....	22.8	9.94	7.5	7.35	13.6	0.9195	21.6	9.29	6.5	7.21	13.0	0.9140
Marzo.....	25.9	12.10	13.0	8.44	16.0	1.0479	23.4	10.36	9.5	8.40	15.8	0.9692
Abril.....	27.7	13.37	16.2	8.49	17.6	1.1028	29.8	12.71	14.7	8.56	17.5	1.0744
Mayo.....	27.6	13.24	17.3	9.04	18.7	1.1055	29.9	15.01	22.2	9.92	21.7	1.1716
Junio.....	28.7	12.67	15.9	8.83	18.0	1.0529	30.3	15.45	23.1	9.69	20.1	1.1896
Julio.....	26.2	12.27	14.5	9.07	18.3	1.0554	28.9	14.39	20.3	9.33	20.0	1.1420
Agosto.....	25.9	12.11	13.6	8.85	17.7	1.0483	30.9	15.13	22.1	9.60	19.7	1.1752
Septiembre.....	25.7	11.93	12.5	8.27	16.5	1.0955	28.9	14.30	18.2	8.50	17.8	1.1423
Octubre.....	21.8	11.33	11.0	8.24	16.1	1.0137	2.4	0.31	0.0	8.13	7.5	0.3065
Noviembre.....	23.3	10.30	8.1	7.72	14.5	0.9654	22.2	9.57	7.3	7.70	13.7	0.9318
Diciembre.....	21.1	8.87	6.2	7.83	13.9	0.8978	20.0	8.19	5.4	7.55	13.1	0.8642
DISTRITO DE RIEGO NUMERO 61						DISTRITO DE RIEGO NUMERO 62						
Enero.....	16.5	5.93	4.3	7.74	12.0	0.7113	6.5	1.49	1.1	7.20	8.1	0.4123
Febrero.....	17.9	6.94	5.2	7.26	11.9	0.7998	8.9	2.43	1.8	7.03	8.6	0.5195
Marzo.....	20.2	8.33	7.7	8.41	14.6	0.8714	13.1	4.33	4.2	8.38	11.9	0.6599
Abril.....	22.3	9.62	9.7	8.53	15.6	0.9345	15.8	5.75	6.1	8.72	13.1	0.7514
Mayo.....	23.7	10.58	12.0	9.14	17.4	0.9794	19.7	7.98	9.6	9.53	16.1	0.8326
Junio.....	23.3	10.31	11.3	9.00	16.9	0.9667	21.0	10.77	13.3	9.49	18.2	0.9882
Julio.....	21.3	8.98	9.5	9.23	16.5	0.9635	21.9	11.40	11.5	9.67	18.9	1.0165
Agosto.....	21.1	8.88	9.1	8.95	15.9	0.9665	21.7	10.58	12.7	9.22	17.5	0.9791
Septiembre.....	20.9	8.74	8.2	8.29	14.7	0.8906	23.2	8.93	9.5	8.51	14.9	0.9400
Octubre.....	20.0	8.15	7.3	8.17	14.1	0.8921	16.4	6.09	5.9	7.96	12.5	0.7520
Noviembre.....	18.1	7.29	5.6	7.59	12.6	0.8125	16.3	3.16	2.5	7.19	9.3	0.5727
Diciembre.....	16.3	5.98	4.3	7.66	11.9	0.7171	7.7	1.91	1.1	7.11	8.3	0.4815

M E S	T	r	Ext.	p	f	Kv	T	r	Ext.	p	f	Kv
DISTRITO DE RIEGO NUMERO 64						DISTRITO DE RIEGO NUMERO 65						
Enero.....	17.3	6.54	3.0	7.49	12.0	0.7784	21.5	9.14	6.2	7.79	14.0	0.9112
Febrero.....	18.9	7.31	3.9	7.12	12.0	0.8297	24.2	10.24	7.6	7.28	13.7	0.9825
Marzo.....	19.3	7.72	4.9	8.40	14.2	0.8405	21.4	11.05	10.4	8.41	16.2	1.0899
Abril.....	23.6	10.31	9.8	8.64	16.4	0.9709	26.5	12.31	11.1	8.54	17.3	1.0599
Mayo.....	26.7	12.66	16.0	9.38	19.1	1.0725	28.0	13.65	18.5	9.11	19.4	1.1189
Junio.....	29.4	14.61	21.8	9.30	20.1	1.1554	28.5	13.95	19.4	8.96	19.0	1.1562
Julio.....	30.7	15.67	25.8	9.49	21.1	1.1984	27.3	13.13	17.1	9.20	19.0	1.0925
Agosto.....	30.7	15.65	24.6	9.10	20.2	1.1874	27.8	13.18	17.7	8.92	18.6	1.1374
Septiembre.....	30.1	15.21	21.1	8.31	18.2	1.1797	27.7	13.47	16.9	8.28	17.2	1.1078
Octubre.....	27.9	13.52	15.8	8.05	16.9	1.1093	26.9	12.82	14.2	8.19	16.8	1.0695
Noviembre.....	23.0	10.13	7.8	7.36	13.8	0.9586	24.9	11.37	10.6	7.64	14.9	1.0156
Diciembre.....	19.6	7.96	4.6	7.35	12.6	0.8527	22.2	9.69	6.8	7.71	14.1	0.9353
DISTRITO DE RIEGO NUMERO 66						DISTRITO DE RIEGO NUMERO 68						
Enero.....	14.2	4.90	3.3	7.53	11.0	0.6845	23.8	10.64	8.3	7.83	14.9	0.9819
Febrero.....	14.8	5.20	3.4	7.13	10.6	0.7023	26.4	12.42	11.7	7.30	14.8	1.0929
Marzo.....	15.5	5.56	4.4	8.39	12.8	0.7232	25.0	13.61	16.9	8.42	17.7	1.1153
Abril.....	17.4	6.61	5.8	8.61	13.9	0.7829	28.8	14.22	19.3	8.50	18.2	1.1389
Mayo.....	18.2	7.11	7.0	9.32	15.4	0.8088	29.2	14.18	21.8	9.09	19.6	1.1488
Junio.....	20.6	8.56	9.0	9.22	16.2	0.8826	26.8	12.71	15.3	8.92	18.2	1.0714
Julio.....	25.0	11.44	13.9	9.43	18.5	1.0187	26.7	12.66	15.6	8.16	16.6	1.0722
Agosto.....	27.7	13.37	16.6	9.08	18.9	1.1028	26.9	12.80	15.6	8.90	18.2	1.0785
Septiembre.....	25.5	12.51	13.7	8.30	16.8	1.0657	26.8	12.73	14.2	8.27	16.9	1.0799
Octubre.....	23.1	10.18	10.0	8.08	15.1	0.9698	27.2	12.99	14.6	8.21	16.9	1.0929
Noviembre.....	17.4	6.64	5.0	7.40	11.9	0.7833	25.9	12.12	11.4	7.66	15.3	1.0386
Diciembre.....	16.0	5.83	4.1	7.41	11.4	0.7387	24.8	11.32	9.7	7.74	15.1	1.0131
DISTRITO DE RIEGO NUMERO 73						DISTRITO DE RIEGO NUMERO 74						
Enero.....	12.3	3.94	3.7	7.74	10.7	0.6254	18.4	7.29	4.0	7.53	12.5	0.8135
Febrero.....	14.1	4.81	4.3	7.26	10.6	0.6792	19.0	7.54	4.2	7.13	12.0	0.8502
Marzo.....	16.6	6.15	6.5	8.41	13.2	0.7565	20.1	8.42	6.2	8.29	14.7	0.8764
Abril.....	17.9	6.91	7.5	8.53	13.9	0.7979	23.2	10.27	9.6	8.61	16.2	0.9613
Mayo.....	18.2	7.12	8.3	9.14	15.1	0.8691	25.7	11.94	14.2	9.32	18.6	1.0508
Junio.....	18.6	7.31	8.4	9.09	15.0	0.8795	28.9	14.30	20.4	9.92	19.7	1.1425
Julio.....	17.6	6.72	7.9	9.23	13.9	0.7879	29.4	14.67	22.1	9.43	20.4	1.1555
Agosto.....	17.7	6.82	7.8	8.95	14.6	0.7992	29.0	14.31	20.1	9.08	19.4	1.1186
Septiembre.....	16.9	6.34	6.6	8.29	13.2	0.7674	28.9	14.27	18.1	8.29	17.7	1.1067
Octubre.....	15.8	5.73	5.8	8.17	12.6	0.7331	26.9	12.81	14.1	8.08	16.4	1.0591
Noviembre.....	14.1	4.81	4.5	7.59	11.1	0.6792	23.3	9.62	7.2	7.40	13.6	0.9358
Diciembre.....	12.7	4.12	3.8	7.66	10.7	0.6363	19.6	7.96	4.8	7.41	12.7	0.8527
DISTRITO DE RIEGO NUMERO 75						DISTRITO DE RIEGO NUMERO 76						
Enero.....	18.2	7.08	3.4	7.49	12.3	0.6972	14.4	3.18	3.7	7.54	16.3	0.5945
Febrero.....	18.5	7.29	3.5	7.12	11.8	0.8181	13.2	4.34	4.3	7.26	10.3	0.6406
Marzo.....	30.9	8.76	6.2	8.40	14.9	0.8926	15.5	5.54	6.3	8.41	12.8	0.7222
Abril.....	23.7	10.55	9.7	8.64	16.4	0.9776	17.3	6.34	7.5	8.53	15.7	0.7783
Mayo.....	29.5	12.51	15.5	9.38	19.0	1.0940	17.2	6.39	8.0	9.14	14.6	0.7522
Junio.....	30.2	15.26	21.2	9.30	20.4	1.1815	16.7	6.29	7.6	9.00	15.2	0.7596
Julio.....	31.9	16.55	29.6	9.49	21.6	1.2335	16.0	5.81	7.3	9.24	14.3	0.7327
Agosto.....	31.5	16.24	27.2	9.10	20.5	1.2214	16.1	5.87	7.2	8.95	13.9	0.7309
Septiembre.....	30.8	15.69	22.9	8.31	18.5	1.1993	16.3	5.98	6.7	8.29	12.9	0.7421
Octubre.....	28.1	13.67	16.3	8.06	16.9	1.1155	13.0	4.24	4.7	8.17	11.5	0.6411
Noviembre.....	22.7	9.49	7.2	7.26	13.6	0.9474	13.0	4.24	4.4	7.59	10.7	0.6411
Diciembre.....	19.4	7.34	4.3	7.35	12.5	0.8465	10.8	3.29	3.3	7.66	10.0	0.5759

MES	T	P	Evt.	p	f	Ka	T	P	Evt.	p	f	Ka
	DISTRITO DE RIEGO NUMERO 81						DISTRITO DE RIEGO NUMERO 82					
Enero.....	23.4	10.25	7.7	7.74	14.6	0.9689	21.8	9.33	6.4	7.79	14.1	0.9203
Febrero.....	24.8	11.29	9.1	7.26	14.1	1.0118	23.4	10.21	7.7	7.25	13.7	0.9652
Marzo.....	26.6	12.62	13.9	8.41	17.1	1.0767	25.4	11.76	12.0	8.41	16.6	1.0330
Abril.....	28.4	13.93	18.3	8.53	18.1	1.1257	28.1	13.61	17.3	8.51	17.9	1.1146
Mayo.....	29.1	14.43	21.6	9.14	19.6	1.1476	29.1	14.39	21.1	9.11	19.5	1.1457
Junio.....	29.0	14.33	20.8	9.00	19.3	1.1435	28.7	14.13	19.8	8.67	19.1	1.1351
Julio.....	28.5	13.94	19.0	9.23	19.0	1.1370	26.8	12.76	16.0	9.20	18.8	1.0766
Agosto.....	28.6	14.07	19.9	8.95	19.0	1.1323	29.2	13.75	18.6	8.92	18.8	1.1189
Septiembre.....	28.3	13.83	17.5	8.29	17.5	1.1224	26.8	12.70	14.2	8.28	16.9	1.0741
Octubre.....	27.0	12.86	14.2	8.17	16.8	1.0813	25.5	11.52	11.8	8.19	16.2	1.0355
Noviembre.....	25.2	11.58	10.1	7.59	14.9	1.0246	24.1	10.87	9.0	7.63	14.6	0.9925
Diciembre.....	23.5	10.43	7.8	7.66	14.5	0.9720	22.3	9.64	8.6	7.71	14.1	0.9332

C A P I T U L O I I I

DESCRIPCION DE LOS DIFERENTES METODOS DE RIEGO POR GOTEO Y ANALISIS DETALLADO DE COSTO POR HECTAREA

3.1 GENERALIDADES

El riego por goteo consiste en conducir el agua de riego por medio de una red de tubería, hacerla salir en forma de gotas por dispositivos específicos denominados emisores o goteros para aplicarla al sistema radicular de las plantas. Con este sistema de riego se han obtenido incrementos bastante significativos tanto en cantidad como en calidad de los productos agrícolas. Para lograr los mejores resultados se deben cumplir una serie de condiciones generales tales como:

1. Regar diariamente o cuando más cada tercer día.
2. Aplicar el agua a la zona radicular, de tal manera que por lo menos una parte de esta zona se encuentre en condiciones de saturación.
3. Debe regarse únicamente durante el día, es decir, en las horas luz.
4. Debe aplicarse el fertilizante, especialmente el nitrogenado a través del agua de riego.

5. La cantidad de agua aplicada debe ser la necesaria para reponer el consumo de agua en el intervalo de riego transcurrido.
6. Con este sistema de riego, es necesario provocar un desarrollo tal de las raíces, que sin ir en detrimento de la estabilidad de las plantas exploren al máximo posible las capas superficiales del suelo.

Las condiciones antes mencionadas influyen en las plantas de la siguiente manera:

Al proporcionar a la zona radicular una humedad cercana a la capacidad de campo, la planta tendrá que ejercer un mínimo de esfuerzo para absorber el agua y los nutrientes, ahorrando una gran cantidad de energía que utilizará en desarrollarse y producir más y mejor. Esto plantea el problema de que en un suelo de textura ligera se perdería el agua que proporcionaría las condiciones de saturación, problema que se resuelve regando diariamente y aplicando la cantidad de agua que la planta consuma, de acuerdo a su desarrollo y condiciones climatológicas, para que no sufra por asfixia.

Como los fertilizantes se deben aplicar disueltos en el agua de riego, su dosificación es más exacta y como consecuencia de ello existe un ahorro considerable en el consumo de fertilizantes.

Todas las plantas realizan su máxima función, o sea, la fotosíntesis durante las horas del día. Al efectuarse dicha función, las plantas elevan su temperatura por la actividad biológica desarrollada, y al transformar la energía lumínica, necesitan enfriar su organismo para no morir quemadas absorbiendo agua, principalmente por las raíces, por lo que el riego debe ser durante las horas luz, no justificándose el riego durante la noche, ya que la mayor parte del agua se perdería por infiltración profunda.

Al aplicar el agua de riego a las plantas por medio de este sistema, se disminuye en gran parte la componente evaporación del "uso consuntivo", por lo que podría pensarse en que éste es menor, pero hay que considerar que la transpiración de la planta es un fenómeno tendiente a equilibrar la presión del vapor que hay en el medio ambiente y la presión existente en los estomas y al haber menos evaporación directa del suelo y por lo tanto menos vapor de agua en el ambiente, tendrá que incrementarse la transpiración y este incremento quizá compense la disminución en la evaporación. En otras palabras, si consideramos que hay menos humedad en el ambiente debido a la disminución de evaporación directa del suelo, la planta se calentará más al realizar sus funciones fisiológicas y por lo tanto necesitará absorber una mayor cantidad de agua, que eliminará por transpiración.

Por lo anteriormente mencionado, el "uso consuntivo" seguirá siendo el mismo y por tanto el ahorro de agua se considerará únicamente en lo que se refiere a su conducción.

3.2 DESVENTAJAS

Por las condiciones especiales que debe reunir este sistema de riego se plantean una serie de problemas, entre los cuales los más importantes son:

1. Disponer de equipo de tubería, emisores y piezas especiales que sean lo suficientemente resistentes a los agentes de intemperismo, ya que los mejores resultados se han obtenido con sistemas superficiales.
2. Son altos, los costos de inversión inicial.
3. Los proyectos deben ser tales que se pueda proporcionar a todas las plantas la misma cantidad de agua para lograr un desarrollo uniforme y una producción máxima.
4. Hay posibilidades de mayor incidencia de enfermedades y plagas en las plantas por el alto contenido de humedad del tronco y las raíces.
5. Hay que evitar taponamiento en los emisores con dispositivos especiales de filtración.

6. Los fertilizantes que se apliquen con el agua de riego deben ser altamente solubles.
7. Es necesaria una vigilancia constante para detectar cualquier irregularidad en el funcionamiento del sistema.
8. En caso de aguas turbias, se hace necesaria la instalación de equipos de decantación para eliminar los materiales en suspensión.

3.3 VENTAJAS

1. Se puede usar en suelos de cualquier textura con cualquier topografía y cualquier clima.
2. Se puede usar en casi todos los cultivos. Aunque considerando el aspecto económico actualmente sólo se aplica a cultivos altamente remunerativos tales como frutales y algunas hortalizas.
3. Evita la nivelación de tierras que, además de alterar la fertilidad del suelo, implica un gasto considerable.
4. Incrementa en forma considerable la producción, tanto en calidad como en cantidad.

5. Tanto en cultivos anuales como en perenes, adelanta el tiempo de producción, vendiendo los productos en épocas de mejores precios y recuperando la inversión en un período más corto.
6. La operación del equipo es relativamente fácil, ahorrando mucha mano de obra.
7. Permite aprovechar aguas con altos contenidos de sales solubles.
8. Los vientos fuertes no afectan ni interfieren en la aplicación del agua, cosa que sucede en el riego por aspersión.
9. No entorpece las labores de cultivo, de cosecha ni de aplicación de insecticidas o fungicidas.
10. Hay menor incidencia de malas hierbas ahorrando mano de obra en el concepto de deshierbes durante las labores de beneficio.

3.4 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS MÁS USUALES EN EL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO

Dado el gran interés que ha despertado en nuestro país el sistema de riego por goteo, existen numerosos tipos de emisores o goteros que actualmente se están fabricando a escala comercial, tanto éstos como diversos tipos

de piezas especiales que deben usarse en el sistema (coples, tes, terminales, reducciones, nipples, codos, etc.) y que son rígidas, generalmente ocasionan problemas de fugas de agua y fertilizante, restando eficiencia al equipo, ya que la unión entre sí o con las tuberías están generalmente mal hechas, debido más a la mala calidad de los materiales que al personal encargado de efectuar las instalaciones.

La clase de tubería y el gotero y piezas especiales se eligen de acuerdo con el tipo de unión.

Las uniones pueden clasificarse como:

1. Unión de inserción con estrías externas.
2. Unión cementada.
3. Unión con silleta.

La unión de inserción con estrías externas, puede utilizarse con tubería de polietileno de alto, medio y bajo peso específico, así como con tubería de P.V.C. flexible. De éstos el P.V.C. y el de polietileno de alto peso específico (0.965 gr/cm^3) son muy rígidos y no poseen mucha elasticidad por lo que es necesario usar abrazaderas que aprisionen al tubo para formar un buen sello hidráulico y que permita las tensiones provocadas durante la instalación y operación del sistema, circunstancia ésta que encarece la inversión inicial sin contar que dichas abrazaderas no son resistentes

a la corrosión del agua y los fertilizantes, por tanto, para este tipo de conexiones o uniones se deben seleccionar tuberías de polietileno de medio y bajo peso específico con negro de humo de origen al 2% ó 3%. El polietileno de baja densidad tiene la desventaja de que es susceptible a agrietarse sobre todo en las uniones, donde el problema se hace crítico. Por lo anteriormente expuesto, se puede afirmar que para un equipo de riego por goteo que use goteros y piezas especiales con uniones por inserción, la tubería más adecuada es aquella que esté fabricada con polietileno de media densidad ($0,940 \text{ gr/cm}^3$) y pigmentado de origen con negro de humo al 2% ó 3%.

Este tipo de unión se muestra en los siguientes cortes longitudinales (Figs. 1 y 2).

Los elementos cuyas uniones van cementadas, necesitan forzosamente utilizar tubos fabricados con P.V.C. flexibles. Los polietilenos no se pueden utilizar con los goteros y piezas especiales de este tipo porque no existe material cementante para ellos.

Las principales desventajas de la tubería de P.V.C. flexible son:

1. Baja resistencia al intemperismo y a la presión.
2. Sensibilidad en las propiedades mecánicas a los cambios de temperatura.

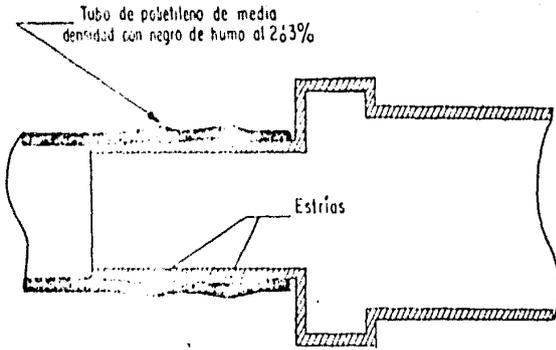


Fig. 1. Unión de inserción con estrias externas y tubo de polietileno (se puede notar la conformación del tubo, adaptándose a las estrias).

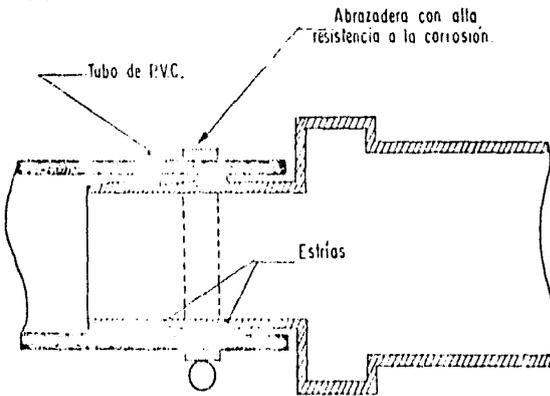


Fig. 2. Unión de inserción con estrias externas con tubo de PVC (notese la rigidez del tubo por la cual, es necesaria la abrazadera para asegurar un cierre hidráulico)

3. Necesidad de mano de obra especializada que efectúe en forma adecuada las cementaciones, ya que es necesario limpiar las áreas por cementar con el solvente apropiado y usar los cementos y técnicas de cementación especializadas.

En la figura 3 se muestra el corte longitudinal de una unión de este tipo.

La unión con silleta es la que presenta más dificultades técnicas tales como:

- a. Es difícil hacer una perforación correcta en el campo, sobre todo en tubos de diámetro pequeño.
- b. No se forma un cierre hidráulico adecuado especialmente cuando se hace sobre un tubo flexible.
- c. La capacidad de conducción del tubo se reduce al penetrar en él el regulador de gasto del gotero.
- d. La sujeción de las piezas en general es muy débil y por lo tanto casi siempre hay fugas de agua.
- e. No es posible usar empaques porque se encarece el sistema.

El siguiente corte transversal muestra una unión de este tipo con su regulador de gasto. (Fig. 4).

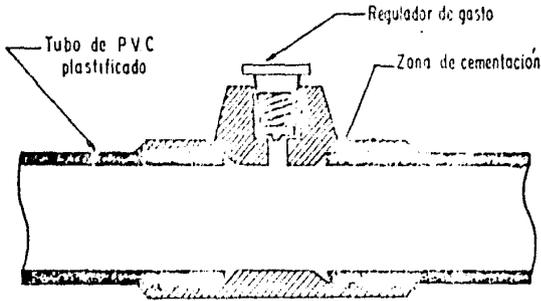


Fig. 3. Unión Cementada

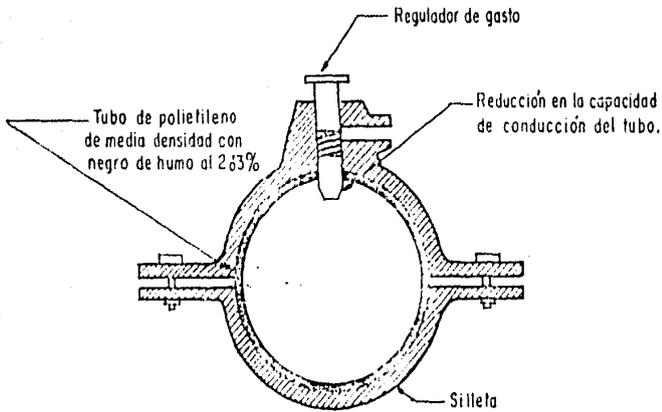


Fig. 4. Tipo de unión con silleta

3.5 COMPONENTES DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO

Los principales componentes de que consta un sistema de riego por goteo son:

1. Un "cabezal" conectado a la tubería principal de abastecimiento de agua a la parcela que incluye filtros, válvulas, coples, medidor de agua, manómetro y conexiones para un aparato de distribución de fertilizantes.
2. Tuberías de conducción de diámetro adecuado para la longitud y el gasto de diseño.
3. Tuberías de distribución o ramales de pequeño diámetro, generalmente de 1.27 cm. a 1.69 cm. ($\frac{1}{2}$ a $\frac{2}{3}$ de pulgada) conectados en paralelo a las tuberías de conducción.
4. Boquillas o goteros de diferente forma y que en principio consisten en una pequeña perforación y un dispositivo para reducir la presión del agua de manera que ésta fluya en forma de gotas. El gasto en este tipo de goteros varía generalmente entre 1.5 y 8.3 lt./hora.
5. Un aparato de distribución de fertilizante conectado al cabezal, a través del cual circula de $\frac{1}{3}$ a $\frac{1}{4}$ del gasto total de agua, la que transporta el fertilizante.

Los ramales y las boquillas se colocan sobre la superficie del terreno natural o se entierran a una profundidad comprendida entre 5 cm. y 10 cm.

(Fig. 5).

Este sistema es adecuado para cultivos en hileras, en el que cada tubo de distribución con sus boquillas riega una hilera o un número mayor de hileras poco espaciadas.

Los experimentos realizados por los Profesores D. Goldberg y M. Shmueli demostraron que la longitud óptima de la tubería de distribución de 1.27 cm. ($\frac{1}{2}$ pulgada) de diámetro estuvo comprendida entre 30.0 m. y 42.0 m. Regando suelo arenoso o de migajón arenoso los mejores resultados se obtuvieron colocando los goteros a cada 0.50 m. con un gasto de 1.514 litros/hora. La distancia entre los ramales depende del cultivo, del tipo de suelo, de consideraciones agrotécnicas y económicas, pero generalmente dicha distancia varía entre 1.20 m. y 1.80 m.

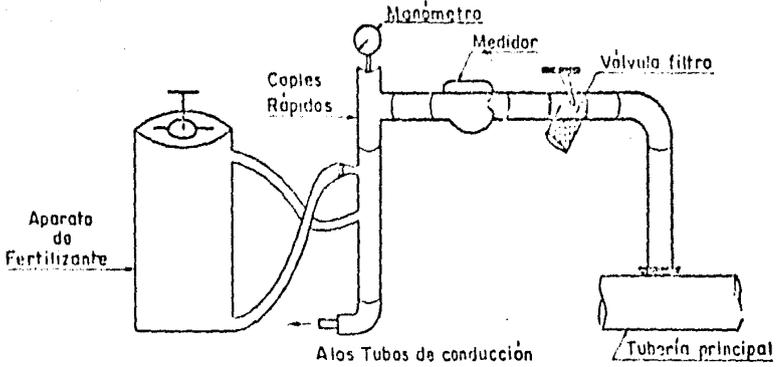
En cultivos anuales, el sistema se ensambla y se coloca en la posición deseada una vez que la parcela se ha preparado para la siembra y en algunas ocasiones después de ella.

En la figura 6, se esquematiza un sistema de riego por goteo con sus principales componentes.

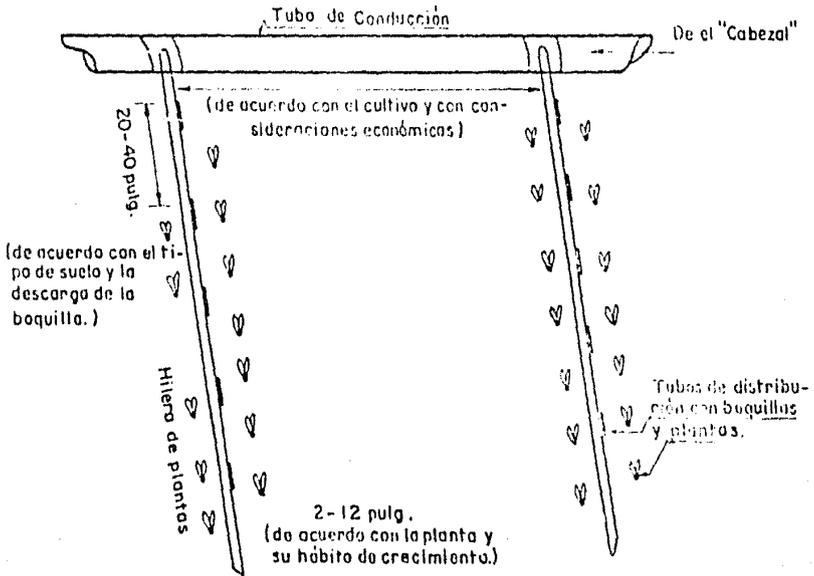
Características de los componentes del sistema de riego por goteo del esquema anterior:

Figura 5.

EL CABEZAL.



RED DE CONDUCCION Y DISTRIBUCION.



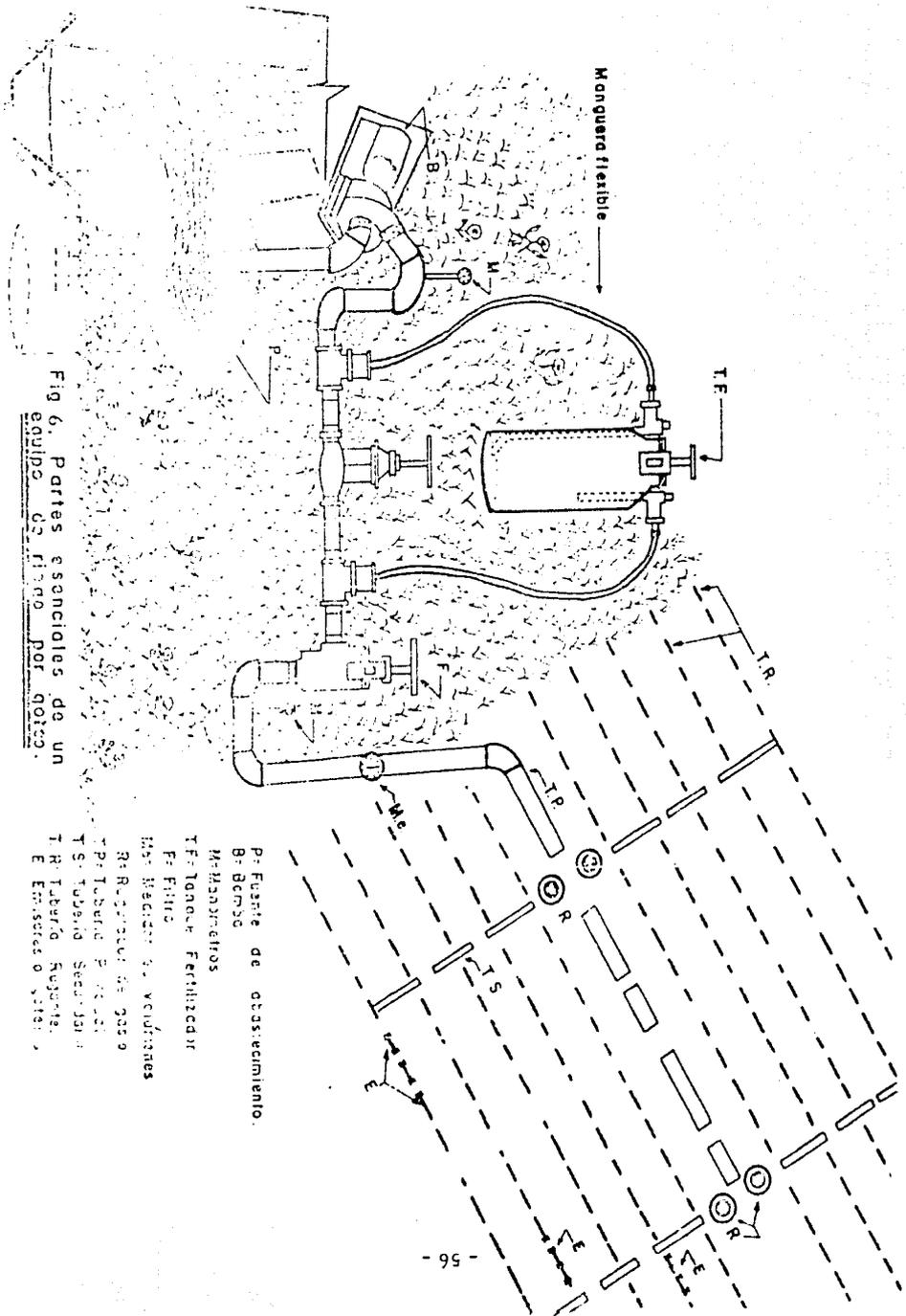


Fig 6. Partes esenciales de un equipo de riego por goteo.

- P- Fuente de abastecimiento.
- B- Bomba
- M- Manómetros
- TF- Tanque Fertilizante
- F- Filtro
- MR- Medidor de velocidades
- R- Regulador de goteo
- TR- Tubo de Registro
- T- Tubo Superior
- T- Tubo Superior
- E- Emisor o sifón

P - Fuente de Abastecimiento de Agua.

Puede ser pozo, canal, lago, río, manantial, etc.

B - Bomba.

Generalmente los goteros actuales necesitan como 10 m. de carga para proporcionar gastos comprendidos entre 2 y 4 litros/hora. Si a esta carga le sumamos la necesaria para vencer pérdidas por fricción en las tuberías, por piezas especiales y dispositivos tales como filtros, tanques fertilizadores, etc., tendremos al principio de la red de tuberías una carga hidráulica no menor de 25 m., la cual sólo la puede proporcionar una bomba, ya que los tanques elevados no serían una solución adecuada más que en lugares donde las condiciones topográficas permitan aprovechar fuertes desniveles del terreno.

M - Manómetro.

La función del manómetro es indicar la presión con la que el agua circula por el sistema. Este dispositivo puede ser un valioso auxiliar para la detección de anomalías en el funcionamiento del equipo, ya que a presiones más bajas o más altas, que la del proyecto corresponderán a fugas de agua u obstrucciones y taponamiento en los goteros.

T.F. - Tanque Fertilizador

Este dispositivo es fundamental en el equipo de riego por goteo, ya que es necesario aplicar el fertilizante, especialmente el nitrogenado

a través del agua de riego en forma debidamente dosificada, operación que facilita dicho tanque, evitando pérdidas de material fertilizante, mano de obra y asegurándose además una fertilización uniforme.

F - Filtros.

El problema principal que se presenta en un equipo de riego por goteo bien diseñado es el taponamiento de los goteros, provocado generalmente por incrustación de materiales sólidos de naturaleza orgánica o inorgánica, que disminuye la capacidad de goteo o llegando a obstruir totalmente los emisores, para evitarlo, se deben instalar, después del tanque fertilizador, dispositivos especiales de filtración que impidan el paso de los materiales perjudiciales.

Los filtros pueden ser de materiales graduados (Fig. 7), de mallas de acero (Fig. 8) o utilizando la fuerza centrífuga del agua (Fig. 9), los que prácticamente evitan el taponamiento (excepto el originado por incrustaciones de sales).

M.e. - Medidor de Volúmenes.

Ya que el método de riego por goteo es altamente tecnificado y que los fertilizantes se aplican a través del agua, es muy importante tener un buen control de los volúmenes suministrados de ésta. De ahí

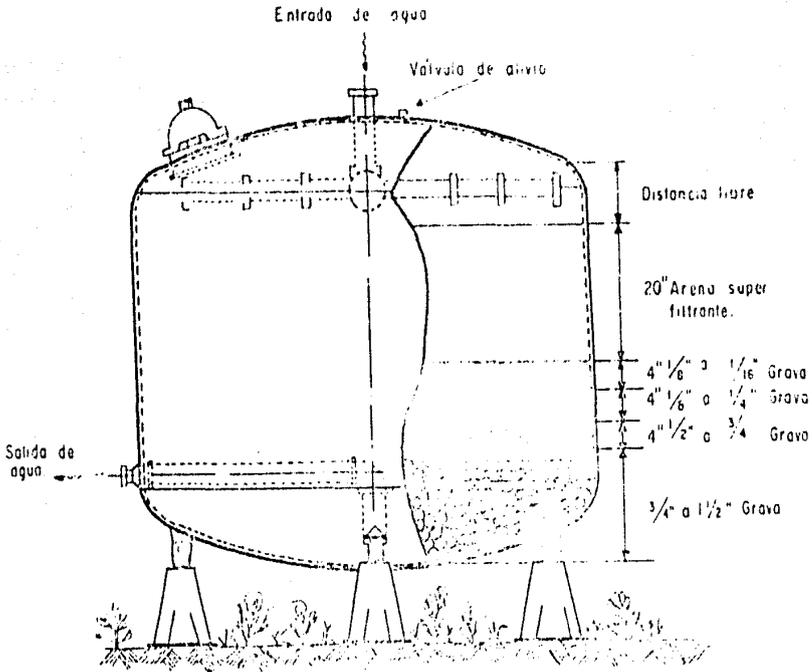


Fig 7. Filtro de materiales arduados.

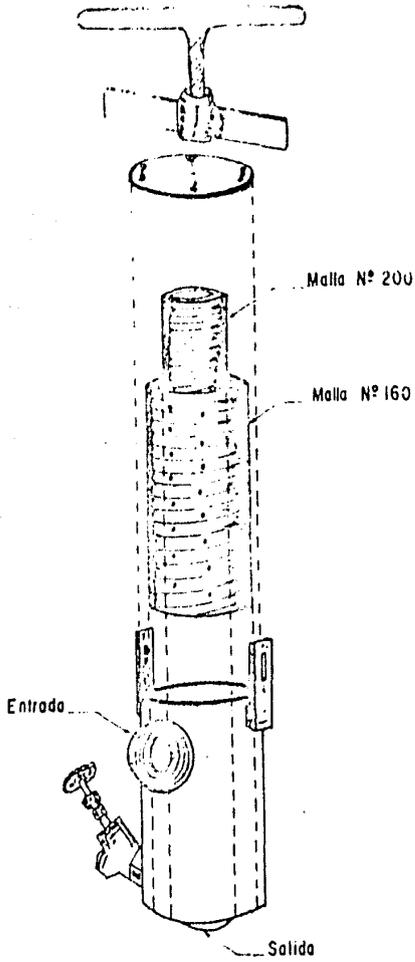


Fig. 8. Filtro de mallas metálicas

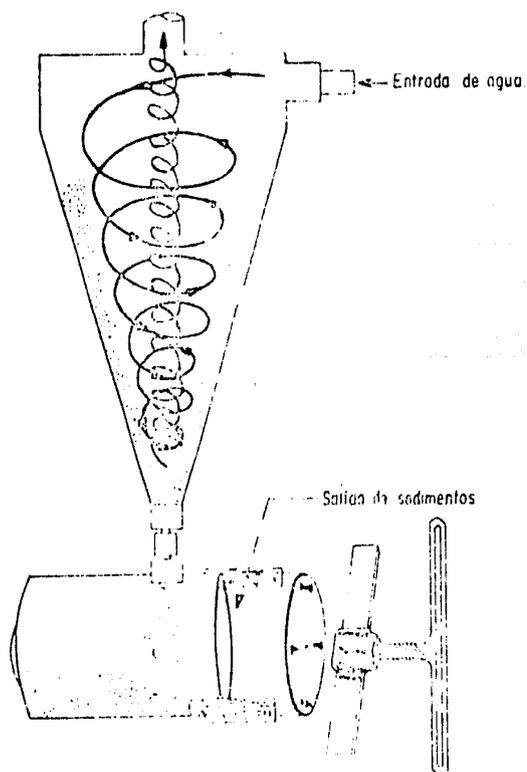


Fig. 9. Filtro que aprovecha la fuerza centrífuga
para separar los sedimentos

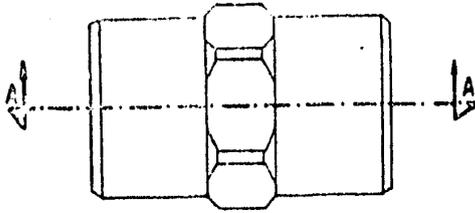
que el medidor es uno de los dispositivos importantes del equipo, incluso es muy importante que estos dispositivos registren los volúmenes acumulados y el gasto instantáneo, obteniendo de esta manera las dos informaciones más importantes respecto a los volúmenes de agua que se aplican a los cultivos.

R - Reguladores de Gasto.

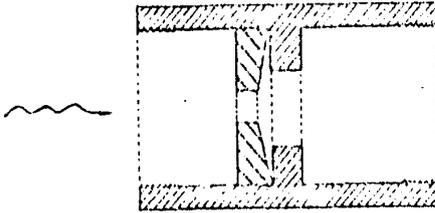
Muchas veces por condiciones topográficas o fluctuaciones de la energía disponible, el equipo de riego no puede proporcionar el mismo gasto en todos los goteros o secciones del proyecto y se está en peligro de no cumplir el requisito de proporcionar a todas las plantas la misma cantidad de agua. Para poder lograr lo anterior sobre todo en casos en que no sea posible igualar las presiones de trabajo, se utilizarán los reguladores de gasto, cuidando de seleccionar el regulador adecuado a los gastos con que se va a trabajar. (Fig. 10).

T.P. y T.S. - Tubería Principal y Tubería Secundaria.

Estas tuberías son parte esencial en todo equipo de riego por gota. Puede faltar la primera y en este caso la secundaria ocuparía la categoría de principal, dependiendo del tamaño del proyecto y su diseño. Son los medios de conducción del agua de riego desde la fuente de abastecimiento hasta las tuberías regantes.

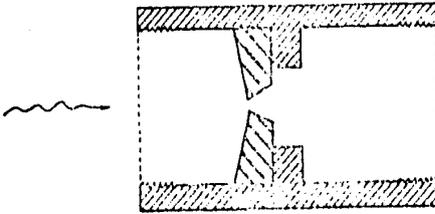


Vista de frente longitudinal



Corte A - A

Control del flujo en baja presión



Corte A - A

Control del flujo en alta presión

Fig. 10 Regulador de gasto

El material de que están fabricadas generalmente depende del diámetro por aspectos económicos.

Los criterios generales que se deben seguir para la selección de las tuberías principales y secundarias son:

- a. Generalmente en riego por goteo se desechan las tuberías de acero y asbestocemento en ese orden, por las posibilidades de corrosión debido a los fertilizantes.
- b. Para diámetros iguales o mayores de $1\frac{1}{2}$ " , normalmente se debe usar P.V.C. por las siguientes razones:

Son más ligeras y su transporte y costo en general son más económicos que las de acero y asbestocemento.

Normalmente no hay conexiones en el mercado para tuberías de polietileno de estos diámetros, por la dificultad para hacer sus ensambles. Las presiones de trabajo para el P.V.C. en condiciones normales son mayores.

Las áreas de conducción del P.V.C. por normas de fabricación son mayores que las del acero y asbestocemento.

- c. Para diámetros menores de $1\frac{1}{2}$ " y mayores de $3/4$ " puede utilizarse indistintamente tubería de polietileno o de P.V.C., dependiendo de la disponibilidad local y del costo, sin embargo,
-

hay que considerar que el ensamble del P.V.C. lo debe hacer personal especializado por la cementación de las uniones y por la experiencia en la unión de las piezas. En el caso del polietileno, el área hidráulica de la tubería disminuye porque las uniones son por inserción, lo que determina un aumento en el diámetro.

- d. Tuberías de menor diámetro que las anteriores, no entran en la clasificación de primarias o secundarias, sino en la de regantes.

T.R. - Tuberías Regantes.

Son las que alojan a los goteros, en general están constituídas por tubería de 12 mm. ($\frac{1}{2}$ " a 16 mm. ($\frac{2}{3}$ " de diámetro, deben ser tubos flexibles de polietileno de peso específico medio, que resisten los esfuerzos que provocan las cargas de 8 y 10 m., y que puedan adaptarse a las onfiguraciones topográficas del terreno de cultivo.

E - Emisores o Goteros.

Este es el dispositivo más importante, puesto que es el que le da el nombre al sistema de riego, es el que debe permitir depositar el agua en el sitio preciso, en las cantidades suficientes de acuerdo con los principios técnicos del procedimiento de riego.

En general, los goteros pueden dividirse en 3 grandes grupos que son:

1o. Goteros de Microtubo.

En este gran grupo están comprendidos todos los emisores cuyo cuerpo principal son tubos de polietileno de peso específico medio, de diámetro muy pequeño comprendido entre 1.0 mm. y 3.0 mm., conocido con el nombre genérico de "Spaguetti". Un extremo de estos goteros se inserta en la tubería regante y por el otro extremo sale el agua. La longitud del microtubo está en función de la carga hidráulica y del gasto que se desea proporcionar.

La figura 11 muestra el gotero de microtubo cuando la tubería regante va enterrada.

2o. Goteros Regulables.

Estos goteros tienen como característica fundamental, el poder modificar el gasto de descarga por medio de un mecanismo obturador en su salida.

Se supone que dicho mecanismo debe ayudar a resolver los problemas de descargas diferentes en cada gotero, aunque realmente ésta es una acción muy difícil de lograr. Un gotero de este tipo se muestra en la figura 12.

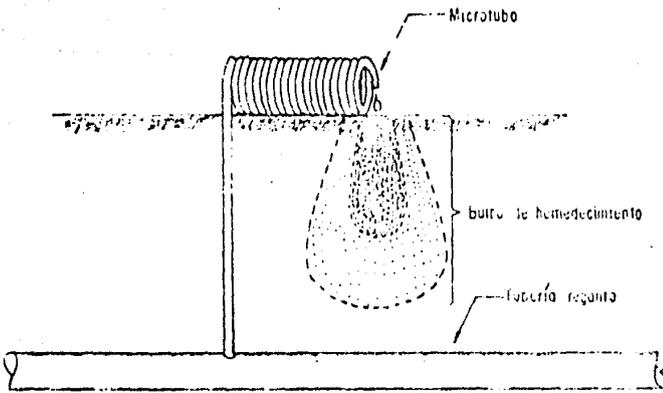
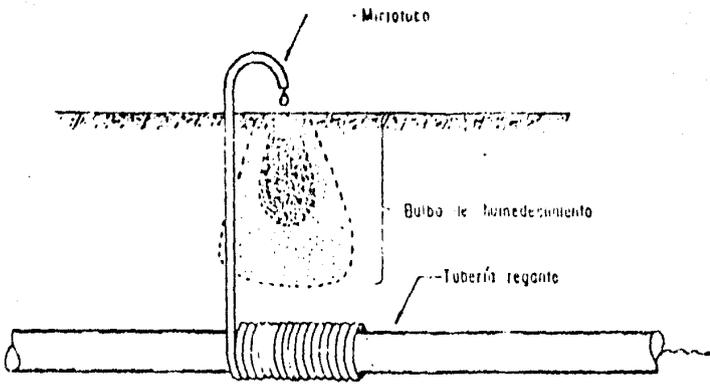


Fig 11. Caso de tuberías regantes enterradas

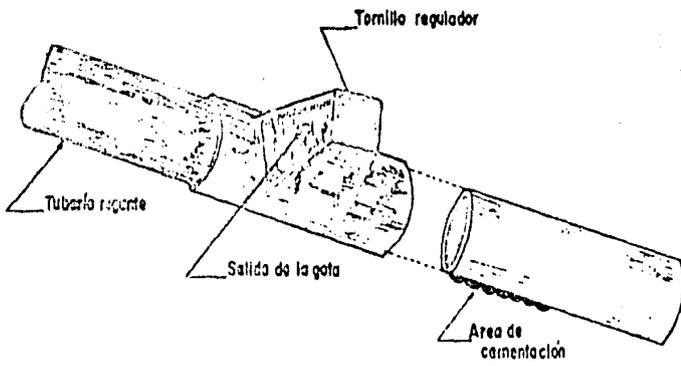


Fig. 12. Gotero de costo regulable

3o. Goteros de Descarga Constante.

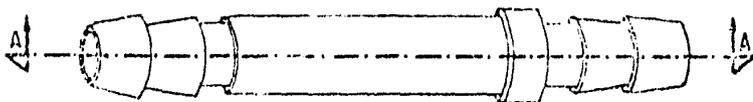
Son goteros que están fabricados de tal manera que bajo condiciones prácticas de carga hidráulica constante proporcionan un gasto también constante.

La figura 13 representa la vista y el corte longitudinal de un gotero de este tipo.

Aparte de estos tres grupos de emisores, puede presentarse el caso de goteros que resulten de la combinación de los dos primeros casos como se muestra en la figura 14, pero todos presentan una serie de ventajas y desventajas para poder cumplir con los requisitos del riego por goteo, lo que significa que es necesario conocer debidamente los dispositivos para hacer un diseño y cálculo adecuado de los equipos y para seleccionar el gotero más adecuado a las condiciones específicas de cada proyecto.

Se puede señalar que tanto los microtubos como los goteros regulables, podrían tener aplicación en lotes muy pequeños del tipo experimental, dado el bajo costo de los primeros y la dificultad de regulación de los segundos.

En general, se estima que los mejores goteros son aquéllos que están diseñados para proporcionar un gasto constante, y que están constituídos



Vista do frente longitudinal

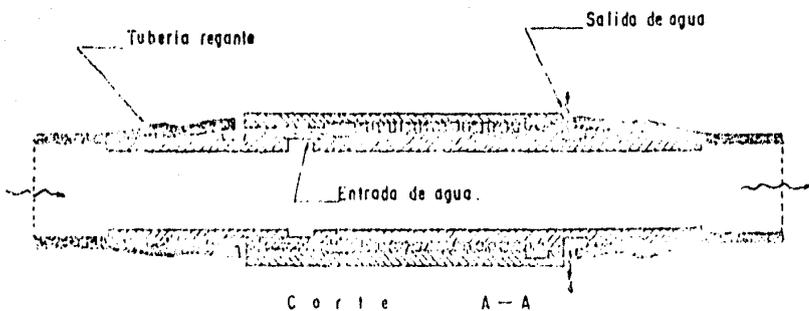


Fig 13. Gotero de gasto constante

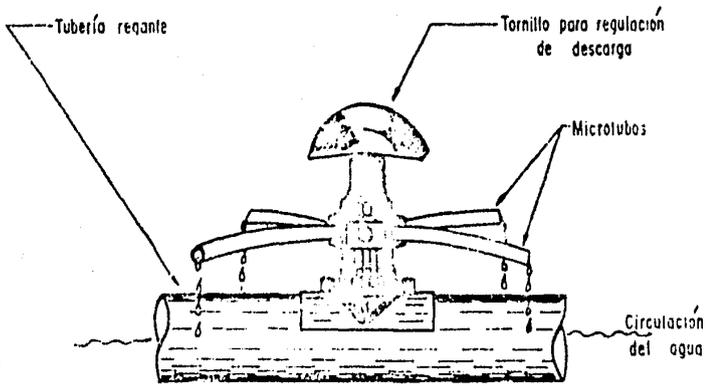


Fig. 14. Gotero combinado de microtubo y descarga regulable

por un cuerpo firme sin piezas fácilmente removibles y con conexiones a base de estrías, que aseguran la sujeción del gotero a la tubería regante, facilitan su manejo, colocación y montaje y no obstruyen el área hidráulica del tubo.

En la figura 15 se muestra una tabla comparativa del crecimiento del melón cuando dicho cultivo se riega por goteo, por aspersión y por surcos y en la figura 16 se muestra el efecto del intervalo del riego por goteo, con poca y gran descarga en la boquilla, en los rendimientos del tomate, pepino y melón.

3.6 ANALISIS DEL PRESUPUESTO DEL PROYECTO DE RIEGO POR GOTEO "EL LLANO NO. 36"

El proyecto consiste en el establecimiento de una unidad de riego por goteo, mediante la perforación de un pozo profundo (200 m.) con diámetro de 44.45 cm. ($17\frac{1}{2}$ ") adomado en toda su longitud con tubería de fierro de 30.48 cm. (12") de diámetro, del que se pretende extraer un gasto de 15 l.p.s.

El equipo de bombeo consistirá en una bomba vertical tipo turbina de 4" de diámetro accionada por un motor eléctrico de 40 H.P., que proporcionará una altura máxima de 150 m., la zona de riego se dominará con el referido sistema de riego, el que estará constituido por los elementos que a continuación se detallan:

RESUMEN DEL PRESUPUESTO PARA LA ZONA DE RIEGO (20 HAS.)

<u>Concepto</u>	<u>Unidad</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Precio Unitario (\$)</u>	<u>Importe (\$)</u>
Tubería de Asbesto Cemento de 6" de Ø Clase A-7	m.	75.0	103.00	7,725.00
Tubería de 1½" de Ø de P.V.C.	m.	290.0	21.40	6,206.00
Tubería de 2" de Ø de P.V.C. RD-26	m.	576.0	29.20	16,819.00
Tubería de 3" de Ø de P.V.C. RD-32.5	m.	336.0	47.00	15,792.00
Tubería de 4" de Ø de P.V.C. RD-41	m.	280.0	68.80	19,264.00
Tubería de Polietileno de Alta Densidad de 1" de Ø	m.	988.0	11.00	10,868.00
Tubería de Polietileno Alto Intemperismo de ½" de Ø	m.	53,250.0	1.60	85,200.00
Coterros de 3/8" y q = 2.0 l.p.h.	pza.	32,760.0	2.40	78,624.00
Jgo. Filtro 60 m ³ /hora Mod. 1006	pza.	2	3,562.50	7,125.00
Jgo. Mallas para filtro Mod. 1006	pza.	1	2,437.00	2,437.00
Tanque fertilizante y conexiones	pza.	1	2,565.00	2,565.00
Cabezal principal	pza.	1	16,500.00	16,500.00
Adaptadores, coples, niples, tees, codos, abrazaderas, reducciones, tapas, reguladores y medidores de gasto, válvula de compuerta, juntas, piezas especiales de fierro fundido, etc.	lote	1	85,000.00	<u>85,000.00</u>
Total				<u><u>354,125.00</u></u>

COSTO UNITARIO POR CONCEPTO DE ZONA DE RIEGO: \$17,706.25/HA.

Los precios anteriores, al ser de gobierno están marcados con un 25% de descuento, por lo que si un particular adquiriera este equipo, tendría que pagar aproximadamente \$450,000.00, teniendo un costo unitario de \$22,500.00/HA.

RESUMEN DEL PRESUPUESTO

<u>CONCEPTO</u>	<u>IMPORTE</u> <u>(Miles de Pesos)</u>
<u>OBRAS CIVILES E INSTALACIONES FIJAS</u>	
Perforación, ademe, filtro y aforo del pozo	525.0
Caseta de operación y evaporómetro	40.0
Suministro y colocación de la línea eléctrica	<u>25.0</u>
SUMA	590.0
Imprevistos	<u>41.0</u>
SUMA	631.0
Dirección y Administración	<u>95.0</u>
SUMA	<u>726.0</u>
<u>ZONA DE RIEGO</u>	<u>354.1</u>
<u>EQUIPO DE BOMBEO</u>	
Motor de 40 H.P. con arrancador magnético, apartarrayos, interruptor y accesorios	80.0
Banco de Transformación de 60 K.V.A.	150.0
Bomba de 4" y accesorios	135.0
Fletes e instalación	<u>25.0</u>
SUMA	<u>390.0</u>
<u>INVERSION TOTAL PARA OBRAS</u>	<u>1,470.1</u>
<u>COSTO UNITARIO</u>	<u>\$ 73,505.00/Ha.</u>

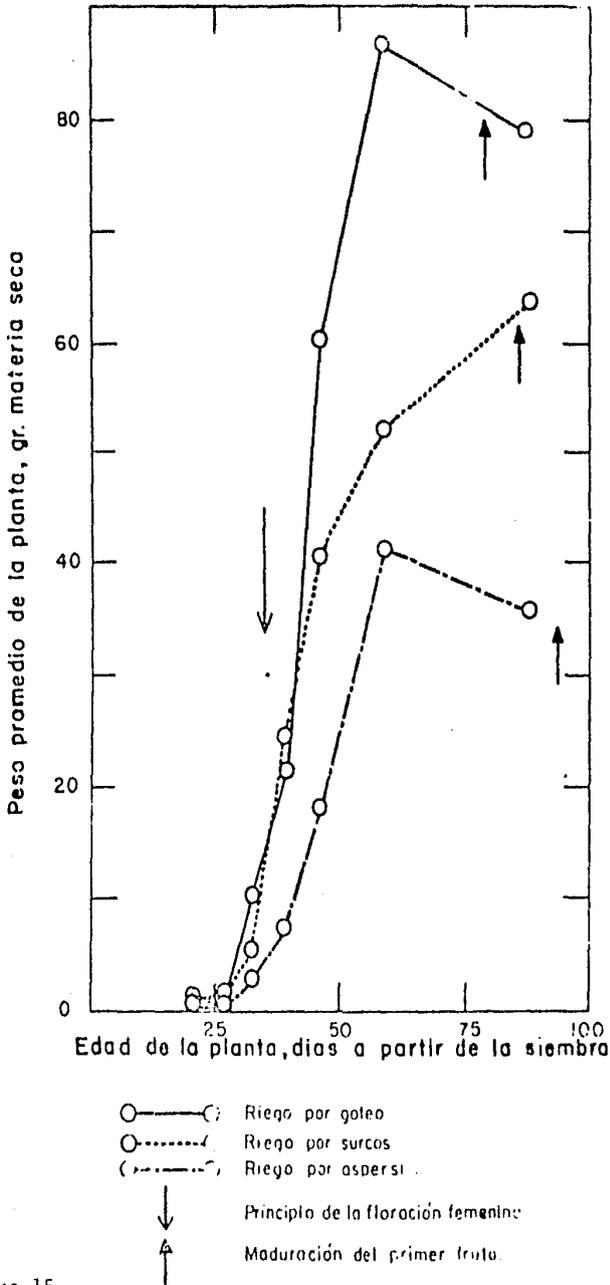


Figura 15.
Curvas de crecimiento de meloneros en experimento I.

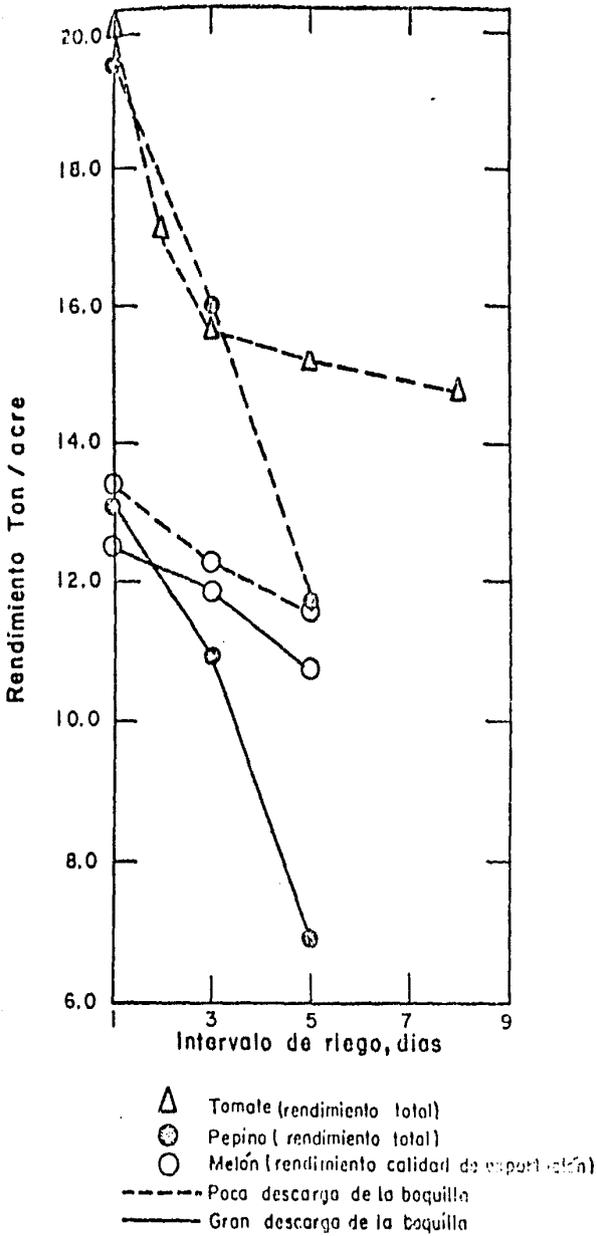
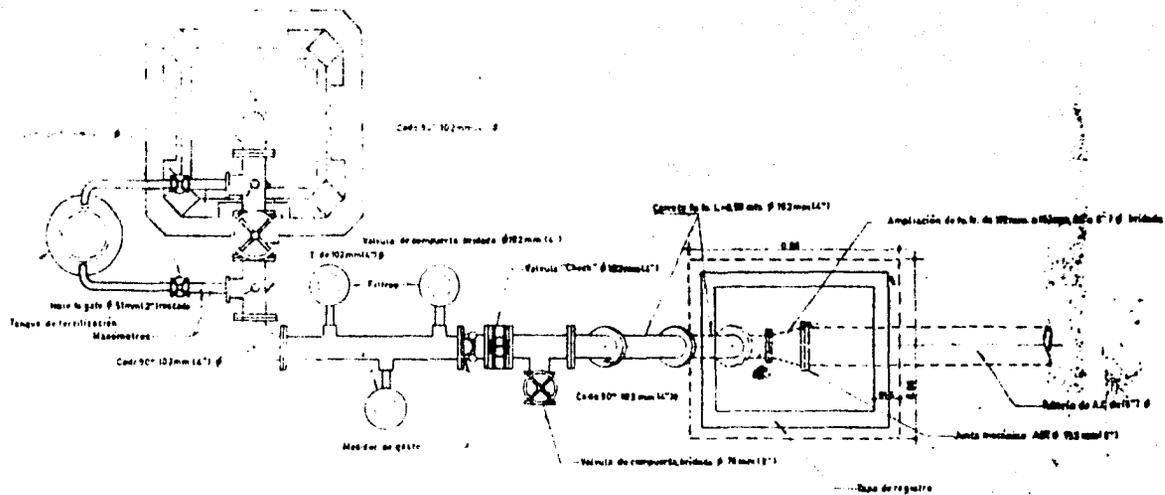
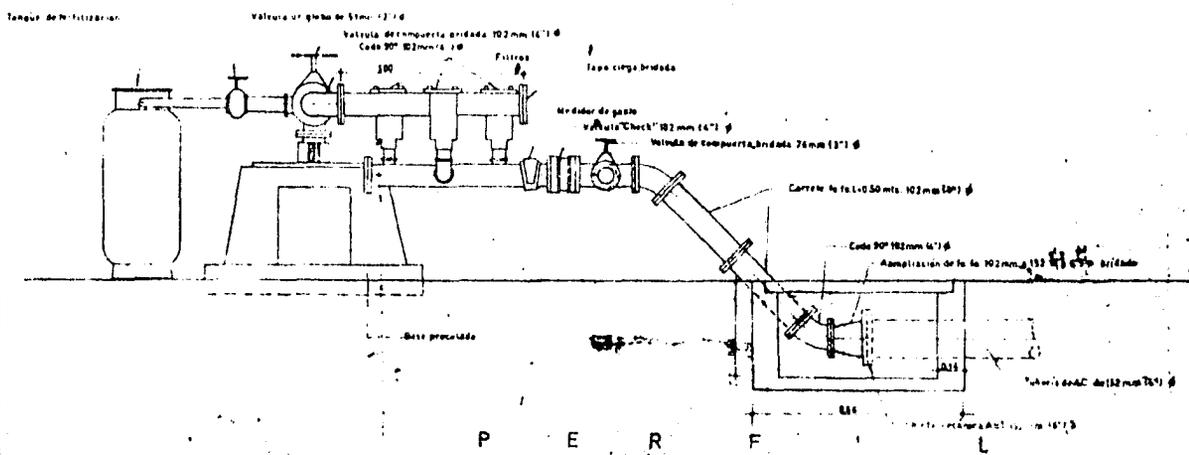


Figura 16.
Efecto del intervalo de riego por goteo sobre el rendimiento de diversos cultivos.

En el plano que se anexa, proporcionado por la Secretaría de Recursos Hidráulicos, se muestra la zona de riego del proyecto antes descrito con sus características y detalles así como con las cantidades estimadas de material y equipo necesario para el buen funcionamiento de la obra.



P L A N T A



P E R F I L

ES-120

SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS
 PLANO GENERAL DE INSTALACION FILTROS
 Y PIEZAS ESPECIALES DE FIERRO FUNDIDO
 ALTERNATIVA N°2
 AGUAS PARA EL A.C. FEBRERO DE 1977
 PROYECTO "EL LLANO"

Elaborado por: [illegible]
 Fecha: [illegible]

C A P I T U L O I V

DESCRIPCION DE LOS EMISORES PROPUESTOS Y TES REDUCCION, OBJETO DEL PRESENTE TRABAJO

En la actualidad los emisores de tipo comercial, ya sean de gasto hidráulico constante, regulable o mixto, poseen la característica común de que el orificio por el que fluye el agua es de un diámetro muy reducido (de 0.4 mm. a 1.0 mm.) para proporcionar el agua gota a gota, originando lo reducido de dicho diámetro, el taponamiento constante y muchas veces permanente de los emisores, ya sea por raicillas, pequeños fragmentos de hojas y basuras, etc. o por materia orgánica e inorgánica en suspensión tales como pequeños organismos productores de lamas, así como sales minerales, arcillas y limos que al irse sedimentando, por la baja velocidad de circulación del agua en la tubería, van obstruyendo los orificios emisores, trayendo como consecuencia una baja eficiencia del sistema y las molestias y gastos extras causados por el reemplazo de los goteros o emisores que se obstruyen permanentemente, así como la aplicación de ácidos especiales para el destaponamiento de dichos emisores.

El objeto del presente trabajo es tratar de evitar los taponamientos tanto parciales como totales en los emisores o goteros y el reemplazo periódico de éstos, haciendo el orificio emisor de un diámetro mucho mayor, comprendido entre 3.0 mm. y 5.0 mm., pero con la característica de ser obturable.

Haciendo referencia a la Fig. 1 se muestra una perspectiva de la presentación del emisor del tipo económico, que consta de un cuerpo principal (10) con el que se funde un soporte (11) con un círculo graduado (33) y un orificio con

rosca fina (12) en el que se aloja un tornillo (13), cuyo extremo superior está dotado de una cabeza cilíndrica estriada (31) para su fácil manipulación dotada de un índice (32), en el extremo inferior del tornillo mencionado anteriormente, hay un obturador cónico (14), regulador del gasto hidráulico, que se introduce en el orificio emisor (15), practicado en la tubería regante (16), la que se introduce en el hueco cilíndrico del emisor. En el cuerpo principal se ha practicado un corte (17) para que por ahí escurra el agua sobre la superficie exterior de la tubería regante, la que queda al descubierto por el corte en cuyo extremo inferior existe una protuberancia cónica (18) que sirve para la formación de la gota en un sólo sitio del emisor y el depósito de ésta en un sólo lugar del suelo, evitando así el escurrimiento del agua a lo largo de la tubería debido a alguna inclinación de ella. Para que no haya movimiento del tornillo regulador una vez seleccionado el gasto hidráulico apropiado, el emisor consta de un resorte de sujeción (19) que actúa entre el soporte y el tornillo regulador.

La Fig. 2, muestra una vista frontal del emisor, con sus elementos constitutivos, anteriormente mencionados y enumerados, notándose además el corte A-A.

La Fig. 3, representa el corte transversal del emisor, en la sección A-A de la Fig. 2, mostrando los elementos constitutivos del mismo.

Haciendo mención a la Fig. 4, se muestra una perspectiva del otro tipo de emisor, el cual está constituido por un cuerpo principal (20) que tiene en sus extremos uniones del tipo de inserción (21) para la conexión con los tramos de tubería regante (29), con este cuerpo principal va fundido un soporte (22) con

un círculo graduado (33) y un orificio con rosca fina (30) en el que se aloja un tornillo regulador (23) que tiene, en su extremo superior, una cabeza cilíndrica estriada (31), para su fácil manipulación, dotada de un índice (32), y en su extremo inferior un obturador cónico (24) cuyo eje coincide con el centro del orificio emisor (25) practicado en el cuerpo principal, para poder regular el gasto hidráulico. Para que no haya movimiento del tornillo regulador una vez seleccionado el gasto hidráulico, el emisor consta de un resorte de sujeción (26) que actúa entre el soporte y el tornillo regulador. En el cuerpo principal, a lo largo de toda la circunferencia, de ancho un poco mayor que el orificio emisor y abarcando a éste, se practica una escotadura (27) de aproximadamente 0.4 mm. de profundidad para que circule por ella el agua. En la parte inferior del cuerpo principal y alojada en la escotadura hay una protuberancia cónica (28) para la formación de la gota de agua en un solo sitio del emisor y el depósito de ella en un solo lugar del suelo, evitando así el escurrimiento del agua a lo largo de la tubería debido a alguna inclinación de ésta.

La Fig. 5, muestra una vista frontal del emisor, provisto con uniones del tipo de inserción, con sus elementos constitutivos y finalidad de éstos, anteriormente mencionados y enumerados.

La Fig. 6, representa el corte transversal del emisor, en la sección B-B de la Fig. 5, con los elementos constitutivos del mismo.

En ambos emisores el tornillo regulador será de rosca fina para que a un desplazamiento angular determinado corresponda un desplazamiento lineal mínimo con el objeto de medir y regular el gasto hidráulico. La medida de dicho gasto, se

hará con un índice que llevará la cabeza estriada del tornillo regulador y el gasto hidráulico proporcionado por el emisor se leerá en un círculo graduado en el soporte de dicho tornillo.

Las ventajas que poseen los tipos de goteros propuestos sobre los emisores actuales son:

- 1a. La limpieza del emisor es inmediata con el solo hecho de retirar el tornillo regulador, debido al mayor diámetro del orificio emisor, ya que fluirán con el agua todas las impurezas que ocasionan el taponamiento.
- 2a. Reposición nula de goteros por concepto de taponamiento permanente en ellos, caso muy frecuente en los emisores de gasto constante y en los de "Spaguetti", ya que el gotero propuesto es prácticamente intaponable de una manera permanente.
- 3a. Al no introducirse el obturador cónico en la sección de conducción de la tubería, no obstruye el área hidráulica de ésta y no es necesario aumentar el diámetro de conducción, lo que incrementaría el costo inicial del equipo.
- 4a. Trabajando con carga constante y en una posición determinada dentro del sistema, se puede seleccionar el gasto en el círculo graduado, en lt/hora, con el índice del tornillo regulador.
- 5a. La mayoría de los goteros de gasto regulable actuales, por su diseño, solamente se pueden fijar a la tubería regante por medio de un cementante y como para la tubería de polietileno no hay cemen-

tantes, el uso de dichos goteros está restringido a la tubería de P.V.C. que pasará a la categoría de regante y que es mucho más cara que la de polietileno, elevándose considerablemente el costo del equipo. Por otro lado, los goteros actuales de gasto regulable al cementarse con la tubería regante quedan adheridos a ella en forma permanente, así que al romperse algún tramo de dicha tubería y quedar inutilizada, automáticamente queda inutilizado también el gotero y hay necesidad de reemplazarlo, además, es necesaria una mano de obra especializada para limpiar con solventes apropiados las áreas por cementar y usar cementos y técnicas de cementación adecuadas para un correcto trabajo, todas éstas desventajas se superan plenamente con los emisores de gasto regulable propuestos en este trabajo.

Las principales ventajas que ofrece el emisor con uniones del tipo de inserción, sobre el gotero que se aloja en la tubería regante son:

- 1a. Una mayor eficiencia por que el tornillo regulador y el orificio emisor están en la misma pieza y no puede haber movimiento relativo entre ellos, movimiento que se puede presentar en el otro tipo de emisor si por algún motivo éste queda flojo en la tubería regante.
- 2a. Al estar provisto en sus extremos con uniones del tipo de inserción, actúa como "cople", o sea una unión entre 2 tramos separados de tubería, así que si por cualquier circunstancia, un tramo de tubería se echa a perder, es fácilmente reemplazable por otro de igual

longitud, la que generalmente no excede de 8.00 m. En un sistema, provisto con goteros del tipo económico, en el que por cualquier razón sufra un desperfecto la tubería regante, será necesario o cambiar todo el tramo (generalmente de 30 m. a 50 m.) o hacer un corte en el lugar afectado y unir los 2 tramos con un cople, lo que encarecería el sistema, reduciendo además el área de conducción en dicho sector.

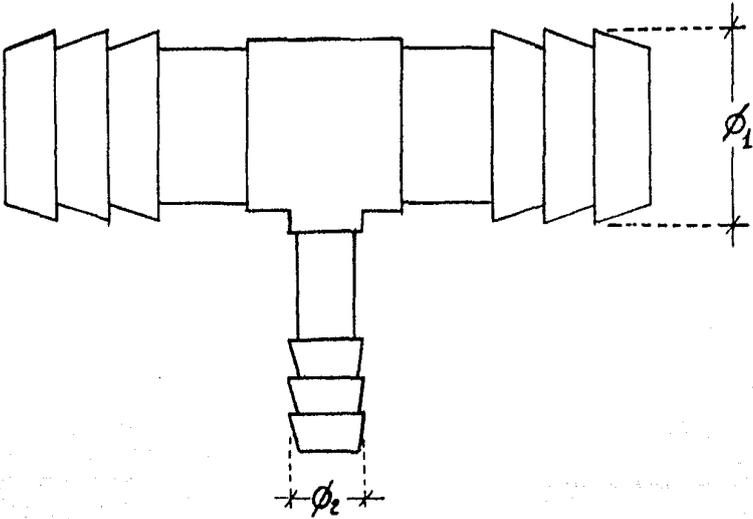
- 3a. Una mayor facilidad y rapidez en la instalación de la tubería regante, ya que mientras que los emisores de tipo económico se tendrán que correr a lo largo de la mitad de dicha tubería y hacerlos coincidir con los orificios practicados en ella, los emisores del otro tipo simplemente se introducirán en los tramos de la tubería, gracias a las uniones del tipo de inserción.

Las principales desventajas que presenta el emisor provisto de uniones del tipo de inserción con respecto al de tipo económico son:

- 1a. La reducción del área de conducción en la tubería regante por la forma de sujeción de los emisores, lo que representa o una mayor carga hidráulica o un diámetro mayor en la tubería regante para vencer las pérdidas por contracción en el área de conducción.
- 2a. Los fenómenos de agrietamiento que se presentan en el área de la tubería que está en contacto con las uniones de inserción, agrietamientos que no aparecen en la sección de la tubería en contacto con los emisores de tipo económico.

3a. La diferencia de costos de producción, tanto en las matrices como en el inyectado y cantidad de material empleado.

Para poder efectuar las conexiones entre la tubería principal con $\phi_1 = 2'' \text{ ó } 3''$ y la regante con $\phi_2 = \frac{1}{2}''$, en el sistema de riego propuesto, descrito en el Capítulo V, es necesaria la fabricación de tes, que no hay en el mercado, y que llamaremos en adelante te reducción, que se muestra en la figura siguiente, con el objeto de evitar el uso de tramos de tubería a las salidas con coples de reducción que varían de $\frac{1}{4}''$ en $\frac{1}{4}''$ y que lógicamente incrementarían muchísimo la inversión inicial.



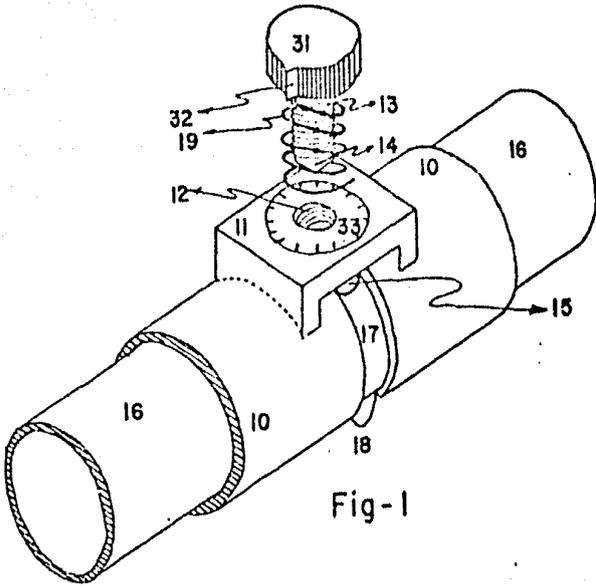


Fig-1

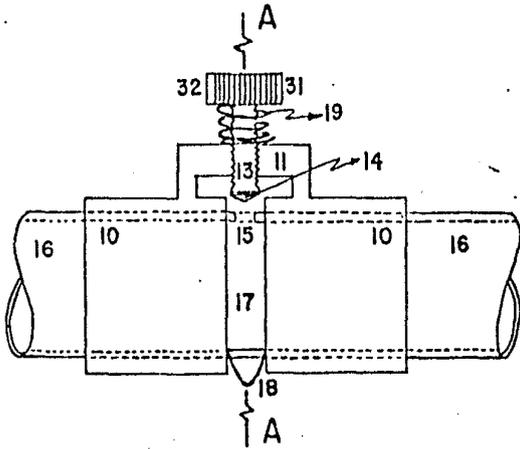


Fig-2

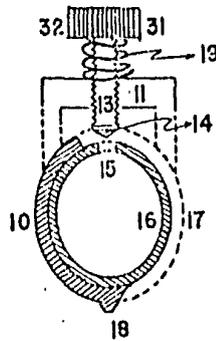


Fig-3

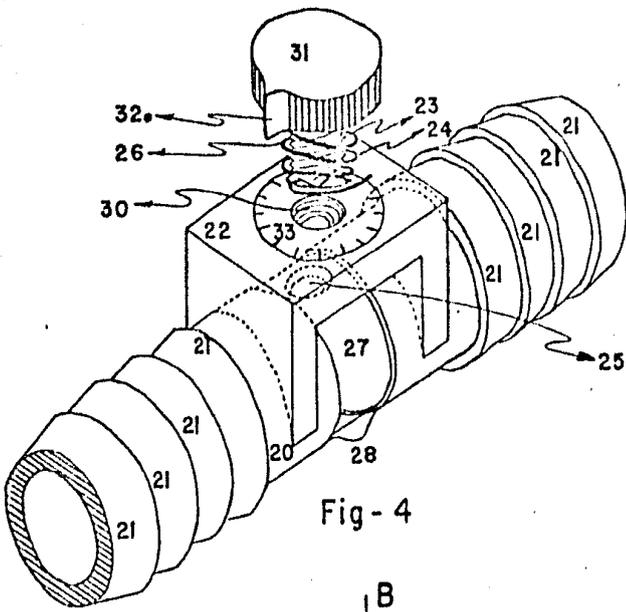


Fig - 4

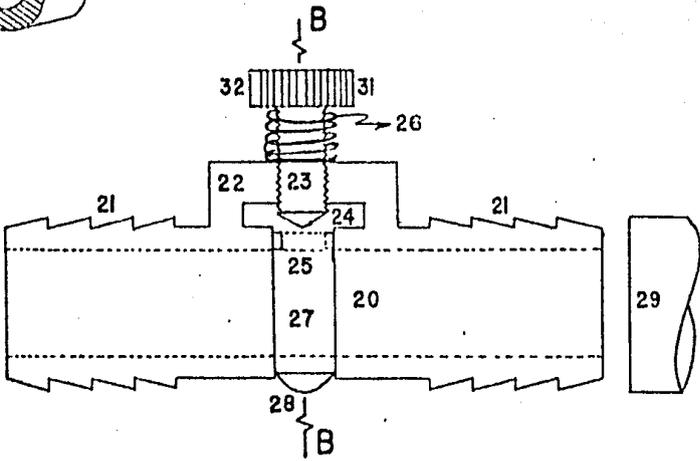


Fig-5

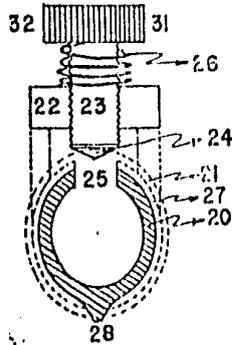


Fig-6

C A P I T U L O V

ANALISIS HIDRAULICO DEL SISTEMA DE RIEGO PROPUESTO

I. PRINCIPIOS BASICOS

Al movimiento de un fluido se le denomina flujo, analizándose, en el presente trabajo el flujo de fluidos reales en tuberías, que se diferencian de los fluidos ideales por la acción de la viscosidad que origina esfuerzos tangenciales entre tubos de corriente.

Los escurrimientos de fluidos reales se pueden dividir en:

- a) Flujo laminar.
- b) Flujo turbulento.

En cualquiera de las 2 formas anteriores de escurrimiento, se tienen que cumplir los principios fundamentales siguientes:

1. Las 3 Leyes de Newton.
2. La Ecuación de Continuidad o Ley de la Conservación de la Masa, la que establece que la masa del interior de un sistema permanece constante en el tiempo

$$\frac{dm}{dt} = 0$$

o representada en otra forma muy útil

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2$$

3. El Primer Principio de la Termodinámica, o de la Conservación de la Energía y el Segundo principio de la Termodinámica o de la imposibilidad de transformar íntegramente una cantidad dada de calor en trabajo mecánico.
4. Las Condiciones de Contorno:
 - a) En un contorno fijo, la componente de la velocidad normal ha de ser cero en todos los puntos del mismo.
 - b) Para un contorno móvil, donde un punto tiene la velocidad V , la componente normal de la velocidad debe ser igual a la velocidad normal del contorno.

Es el número de Reynolds el que define que un flujo sea laminar o turbulento. Este número de Reynolds expresa la relación existente entre las fuerzas de inercia y las de viscosidad.

$$R = \frac{V \phi}{\nu}$$

En donde

V = Velocidad del fluido.

ϕ = Diámetro de la tubería.

ν = Viscosidad cinemática del fluido.

Un flujo laminar es aquél en el que $R < 2000$.

Un flujo turbulento es aquél en el que $R > 4000$.

Para valores intermedios de Re , los efectos viscosos y de inercia son importantes y los cambios de viscosidad cambian la distribución de velocidades y la resistencia del flujo.

FLUJO LAMINAR

Se define al flujo laminar en tuberías de sección circular, a aquél en el cual las partículas del fluido se mueven en capas o láminas deslizándose una fina capa sobre la adyacente con solo un intercambio molecular de cantidades de movimiento.

Este flujo laminar se caracteriza por:

1. La regularidad de las trayectorias de las partículas.
2. Las fuerzas viscosas son las más importantes en la evaluación de pérdidas de carga.
3. En general, se presenta para $Re < 2000$.
4. Se cumple la Ley de Newton de la Viscosidad.

$$\tau = \frac{du}{dy} \mu$$

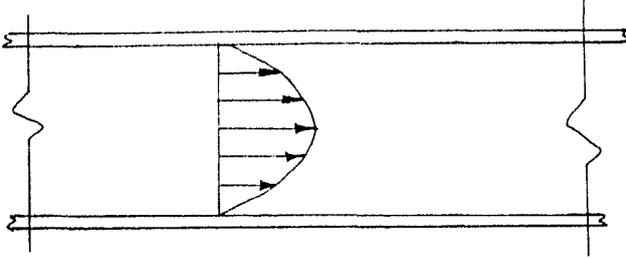
En donde U = Componente de la velocidad del fluido en el eje y

μ = Viscosidad dinámica del fluido.

5. Las pérdidas de energía son directamente proporcionales a la velocidad media.

$$h_f = F(V)$$

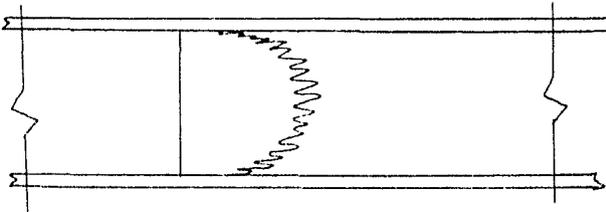
6. La distribución de velocidades instantáneas es una parábola.



FLUJO TURBULENTO

Flujo turbulento es aquél en el cual las partículas del fluido se mueven siguiendo trayectorias muy irregulares originando un intercambio de cantidad de movimiento de una porción del fluido a otra. El flujo turbulento origina un mayor esfuerzo cortante en el fluido y lógicamente produce mayores pérdidas, se caracteriza por:

1. La pérdida de energía mecánica varía, aproximadamente con el cuadrado de la velocidad.
2. La corriente de un fluido viscoso se hace inestable en un punto cualquiera.
3. La distribución de las velocidades instantáneas pasa de una parábola a una forma logarítmica.



4. Se cumple la Ley de Newton para la viscosidad turbulenta.

$$\tau = \eta \frac{dv}{dy}$$

En la que η = Viscosidad turbulenta y que además de ser una propiedad del fluido depende también del movimiento de él y de su densidad.

II. PERDIDAS DE CARGA POR FRICCIÓN

En el flujo de fluidos reales en conductos de sección circular a la pérdida de capacidad para realizar trabajo debido a la fricción o rozamiento y a otras causas se le llama pérdidas de carga, ocasionando la caída de la línea de alturas piezométricas en la dirección del flujo.

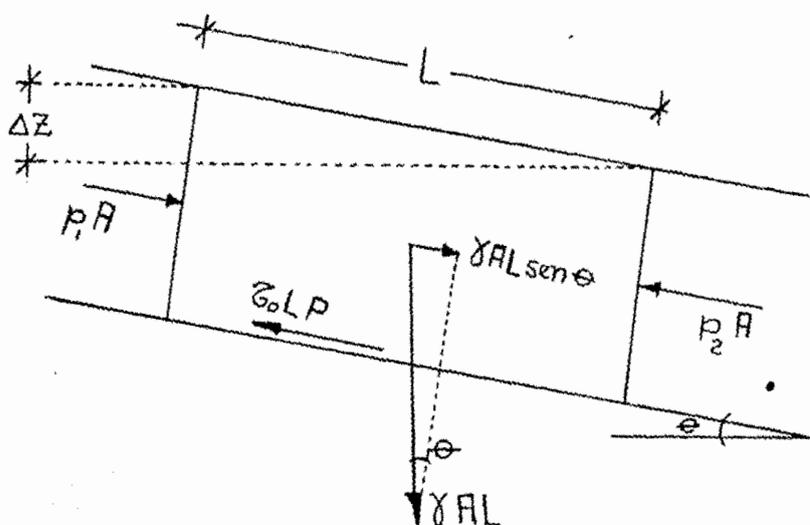
La intensidad del esfuerzo cortante en la pared del conducto se expresa por medio de:

$$\tau_o = C_f \frac{\rho V_o^2}{2} \dots\dots (1)$$

Donde C_f = Coeficiente de empuje local, adimensional.

ρ = Densidad del fluido (Peso específico / aceleración de g)

Las fuerzas cortantes en la pared, en flujo permanente, están equilibradas por las fuerzas debidas a la presión y por la componente axial del peso del fluido en el conducto (Fig. 1).



La expresión de equilibrio en la dirección axial es:

$$(p_1 - p_2)A + \gamma AL \text{sen } \theta = \tau_0 LP \quad \text{si } L \text{sen } \theta = \Delta Z$$

$$\text{v: } p_1 - p_2 = \Delta p$$

$$\text{Tendremos: } A(\Delta p + \gamma \Delta Z) = \tau_0 LP$$

Siendo P = Perímetro mojado y si $\frac{A}{P} = R$ (Radio Hidráulico)

$$\text{Tendremos: } \frac{A}{P}(\Delta p + \gamma \Delta Z) = \tau_0 L$$

$$\text{o sea: } R(\Delta p + \gamma \Delta Z) = \tau_0 L \quad \therefore$$

$$\frac{\tau_0}{R} = \frac{\Delta p + \gamma \Delta Z}{L} \quad \dots (2)$$

Por otro lado si a la expresión (1) la dividimos entre R tendremos:

$$\frac{Z_0}{R} = C_f \frac{\rho V_0^2}{2R} \text{---(3)}$$

Si la pérdida de energía mecánica por unidad de peso es:

$$h_f = \frac{\Delta p + \gamma \Delta Z}{\gamma}$$

Entonces la pérdida de energía mecánica por unidad de peso y por unidad de longitud será:

$$S = \frac{h_f}{L} = \frac{\Delta p + \gamma \Delta Z}{L \gamma} \text{---(4)}$$

Si en (4) sustituimos (2) tendremos:

$$S = \frac{h_f}{L} = \frac{Z_0}{R \gamma} \text{---(5)}$$

Si en (5) sustituimos (3) tendremos:

$$S = \frac{h_f}{L} = C_f \frac{\rho V_0^2}{2 \gamma R}$$

Y como: $\frac{\gamma}{\rho} = g$

Tendremos: $S = \frac{h_f}{L} = \frac{C_f}{R} \frac{V_o^2}{2g}$

Despejando h_f :

$$h_f = \frac{C_f}{R} \frac{L V_o^2}{2g} \text{ ---- (6)}$$

Para tuberías de sección circular:

$$C_f = \frac{\lambda}{4} ; R = \frac{\phi}{4} \text{ ---- (7)}$$

En donde:

- λ = Coeficiente de fricción adimensional.
- ϕ = Diámetro de conducción de la tubería.

Sustituyendo (7) en (6) obtendremos finalmente:

$$h_f = \lambda \frac{L}{\phi} \frac{V^2}{2g}$$

Que es la Ecuación de Darcy - Weisbach para valuar las pérdidas de carga por fricción en una tubería de sección circular. Esta fórmula y las experiencias nos indican que las pérdidas son:

- a) Directamente proporcionales a la longitud de la tubería.
- b) Inversamente proporcionales al diámetro.
- c) Función de la rugosidad de las paredes internas del tubo.
- d) Función de la densidad y viscosidad del fluido.
- e) Independientes de la presión.
- f) Directamente proporcionales al cuadrado de la velocidad.

El valor del coeficiente de fricción λ dependerá de la velocidad del fluido (V), del diámetro de conducción (\emptyset) de la densidad (ρ), de la viscosidad (μ) y de la rugosidad de la pared. (ϵ, ϵ', m) en que:

ϵ = Medida del tamaño de las proyecciones rugosas.

ϵ' = Medida de la localización o disposición de los elementos de la rugosidad.

m = Factor de forma que depende de la forma de los elementos individuales de la rugosidad, es adimensional.

Para tuberías lisas $\epsilon = \epsilon' = m = 0$ de donde λ dependerá de la velocidad del fluido, del diámetro de conducción, de la densidad y μ del fluido, parámetros éstos que se agrupan de una sola manera para formar un solo parámetro adimensional y conocido que es el Número de Reynolds.

Para tuberías rugosas, los términos ϵ y ϵ' se harán adimensionales dividiéndolos entre el valor del diámetro y así:

$$\lambda = f\left(\frac{V, \phi, \rho}{\mu}, \frac{\epsilon}{\phi}, \frac{\epsilon'}{\phi}, m\right)$$

El valor del coeficiente de fricción variará por las siguientes condiciones:

- a) Flujo laminar.
- b) Flujo turbulento de transición a tubo liso.
- c) Flujo turbulento a tubo rugoso.

El único criterio que existe para determinar cuándo una tubería funciona como lisa o rugosa es la Teoría de la Capa Límite. Esta teoría valora la resistencia en las tuberías lisas y con el concepto de la magnitud relativa de la rugosidad del contorno, valúa la resistencia en las tuberías rugosas.

Se llama Capa Límite a una estrecha región, próxima a los límites del fluido, en donde los efectos de fricción interna en dicho fluido son apreciables.

La Capa Límite comienza siendo una capa límite laminar, al aumentar la distancia, la continua acción de los esfuerzos cortantes tiende a

frenar partículas vecinas del fluido lo que hace que el espesor aumente con la distancia, al aumentar el espesor de la capa límite, ésta se hace inestable y finalmente se transforma en una capa límite turbulenta, a pesar de lo cual existe una capa delgada, próxima a la pared que tiene un movimiento laminar y se llama sub-capa laminar.

La ecuación de la cantidad de movimiento permite encontrar valores aproximados para el espesor de la capa límite (δ) cuya magnitud variará inversamente con el Número de Reynolds y directamente a la distancia (X) del tubo a partir del borde de ataque.

Así, para $Re < 5 \times 10^5$ la capa límite es laminar y su espesor será:

$$\delta_L = \frac{4.65 X}{Re_x^{1/2}}$$

El incremento del Número de Reynolds hasta valores de 5×10^5 a 10^6 , puede representar al mismo tiempo una disminución de la viscosidad, un aumento de la velocidad o un aumento de la distancia X , teniendo una capa límite turbulenta cuyo espesor será:

$$\delta_T = \frac{0.377 X}{Re_x^{1/5}}$$

Siendo X = Distancia desde el borde de ataque.

Re_x = Número de Reynolds basado en la distancia X .

El espesor de la subcapa laminar se calcula:

$$\delta = \frac{11.6 \nu}{v^*}$$

Siendo ν = Viscosidad Cinemática.

v^* = Velocidad del Esfuerzo Cortante.

Un conducto es liso o pulido cuando la influencia de ϵ sobre λ es despreciable, puesto que ϵ interviene en el Número de Reynolds a través de la relación ϵ/ϕ , un conducto será liso cuando su diámetro no tenga mayor influencia que la del Número de Reynolds.

Si la rugosidad de la pared es menor que el espesor de la capa límite, aún cuando exista flujo turbulento, el tubo será liso o hidráulicamente liso.

Se dice que un tubo o conducto es rugoso cuando la influencia de ϵ es determinante.

Si el espesor de la capa límite es menor que el valor de ϵ , las rugosidades penetran en la región turbulenta del flujo establecido, acentuando dicha turbulencia, hablándose entonces de un tubo rugoso en flujo turbulento.

En tuberías rugosas a la relación ϵ/ϕ se le conoce como rugosidad relativa, siendo el término que influye en el factor λ en flujo turbulento, como probó Nikuradse.

Para flujo laminar $\lambda = \frac{64}{R}$, ecuación que representa una línea recta de $m = 1$ en papel logarítmico. Su validez se comprobó experimentalmente y se aplica tanto a tubo liso como a rugoso, pues en régimen laminar, la pérdida de carga por fricción es independiente de la rugosidad de las paredes.

Blasius, en 1913, dedujo una ecuación empírica en tuberías lisas en flujo turbulento para $2000 < R \leq 100000$ la cual es:

$$\lambda = \frac{0.3164}{R^{1/4}}$$

A partir de Números de Reynolds mayores de 100000 Nikuradse encontró la fórmula empírica:

$$\lambda = \frac{0.221}{R^{0.237}} + 0.0032$$

Prandtl y Von Karman sabiendo que la distribución de velocidades y el gradiente de presiones están relacionados con el esfuerzo cortante, dedujeron para un contorno liso el siguiente valor de λ :

$$\frac{1}{\lambda^{1/2}} = 2.03 \text{ Log} \left(\frac{v \phi}{\nu} \lambda^{1/2} \right) - 0.91$$

Y para régimen turbulento en tuberías lisas:

$$\frac{1}{\lambda^{1/2}} = 2 \text{Log} \frac{R \lambda^{1/2}}{2.51}$$

La Ecuación de Resistencia de Von Karman y Prandtl para Régimen Turbulento en tuberías rugosas es:

$$\frac{1}{\lambda^{1/2}} = 2 \text{Log} \frac{3.71 \phi}{\epsilon}$$

Y así como las anteriores, hay muchísimas ecuaciones para tratar de cuantificar las pérdidas de carga, debidas a investigadores como Dupaix, Prony, Levy, Flamant, Von Mises, Lebeau, Hanocq, Hagen, Hazen, Williams, Kozency, Manning, Moody, Scobie, etc.

Además de las pérdidas por fricción existen las llamadas pérdidas locales que se presentan en los lugares donde ocurren cambios de sección, de dirección, bifurcaciones, juntas de unión, válvulas, etc.

La evaluación de dichas pérdidas se hace mediante:

$$h_L = \frac{v^2}{2g} K_L$$

En donde el coeficiente de pérdida de carga K_L se determina experimentalmente y depende del tipo de pérdida de que se trate y la velocidad

del fluido V , será la que posea éste inmediatamente después del lugar donde ocurre la pérdida.

Las pérdidas que más comúnmente se presentan y que tienen valores determinados experimentalmente son:

- a) Pérdida por entrada.
- b) Pérdida por rejilla.
- c) Pérdida por ampliación.
- d) Pérdida por reducción.
- e) Pérdida por cambio de dirección.
- f) Pérdida por válvulas.
- g) Pérdida por salida.

Las pérdidas mencionadas anteriormente, pueden expresarse en función de la longitud del tubo equivalente L_e , que es la longitud del tubo en la que se produciría la misma pérdida para el mismo gasto:

$$\lambda \frac{L_e}{\phi} \frac{V^2}{2g} = K \frac{V^2}{2g} \therefore$$

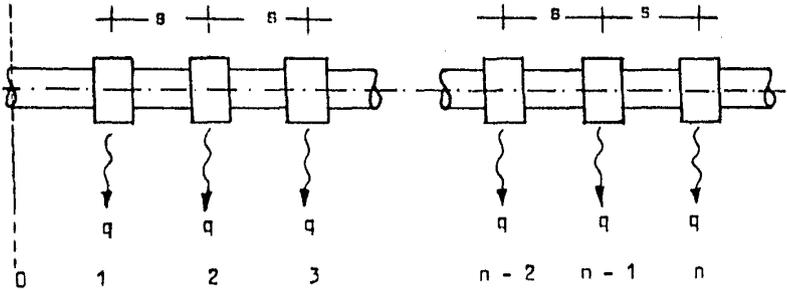
$$L_e = \frac{K \phi}{\lambda}$$

III. ANALISIS HIDRAULICO PARA UNA TUBERIA CON SALIDAS MULTIPLES

Para efectuar el desarrollo de este análisis supondremos las siguientes

condiciones:

1. La separación entre salidas es constante.
2. El gasto en cada salida es constante.
3. Nuestro plano de comparación es horizontal y sobre él se encuentra colocado el eje de la tubería.
4. El diámetro de la tubería es constante:



Como se ve, el gasto será variable a lo largo de la tubería.

En el tramo:

$0 - 1$	el gasto será	$Q_1 = nq$
$1 - 2$	el gasto será	$Q_2 = (n - 1)q$
$2 - 3$	el gasto será	$Q_3 = (n - 2)q$
\dots	\dots	\dots
\dots	\dots	\dots
\dots	\dots	\dots
$n-2, n-1$	el gasto será	$Q_{n-1} = n-(n-2) q$
$n-1, n$	el gasto será	$Q_n = n-(n-1) q$

n = número de salidas.

Si queremos conocer cuál es la carga hidráulica en cada una de las salidas, tendremos que aplicar el Teorema de Bernoulli a cada uno de los tramos, es decir del punto 0 al punto 1, del 1 al 2, etc., obteniéndose lo siguiente:

$$H_0 = h_{v_1} + h_{p_1} + h_{f_{0-1}}$$

$$h_{v_1} + h_{p_1} = h_{v_2} + h_{p_2} + h_{f_{1-2}}$$

$$h_{v_2} + h_{p_2} = h_{v_3} + h_{p_3} + h_{f_{2-3}}$$

$$\begin{array}{ccc} \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{array}$$

$$h_{v_{n-1}} + h_{p_{n-1}} = h_{v_n} + h_{p_n} + h_{f_{n-1,n}}$$

Si sustituimos sucesivamente obtendremos:

$$H_0 = h_{v_n} + h_{p_n} + h_{f_{n-1,n}} + h_{f_{n-2,n-1}} + \dots + h_{f_{1-2}} + h_{f_{0-1}}$$

$$H_0 = h_{v_n} + h_{p_n} + h_{f_n} \text{ ----- (8)}$$

Para evaluar las pérdidas de carga, las dividiremos, como vimos anteriormente, en:

- a) Pérdidas de carga por fricción.
- b) Pérdidas de carga localizadas.

Para el primer caso usaremos la Fórmula de Darcy - Weisbach, deducida al principio de este capítulo:

$$h_f = \lambda \frac{L}{\phi} \frac{v^2}{2g}$$

Aplicándola a cada tramo o segmento comprendido entre goteros, así tendremos:

$$h_{f_{0-1}} = \frac{\lambda S V_1^2}{2g\phi}; \quad h_{f_{1-2}} = \frac{\lambda S V_2^2}{2g\phi}; \dots; \quad h_{f_{n-1,n}} = \frac{\lambda S V_n^2}{2g\phi}$$

si: $Q = AV \therefore V = \frac{Q}{A}$ tendremos:

$$V_1 = \frac{nq}{A} \quad \therefore V_1^2 = \frac{n^2 q^2}{A^2}$$

$$V_2 = \frac{(n-1)q}{A} \quad \therefore V_2^2 = \frac{(n-1)^2 q^2}{A^2}$$

$$V_3 = \frac{(n-2)q}{A} \quad \therefore V_3^2 = \frac{(n-2)^2 q^2}{A^2}$$

...

...

$$V_{n-1} = \frac{[n-(n-2)]q}{A} \therefore V_{n-1}^2 = \frac{[n-(n-2)]^2 q^2}{A^2}$$

$$V_n = \frac{[n-(n-1)]q}{A} \therefore V_n^2 = \frac{[n-(n-1)]^2 q^2}{A^2}$$

Sustituyendo estos valores en la Fórmula de Darcy - Weisbach se tiene:

$$h_{f_1} = h_{f_{0-1}} = \frac{\lambda s n^2 q^2}{2g\phi A^2}$$

$$h_{f_2} = h_{f_{1-2}} = \frac{\lambda s (n-1)^2 q^2}{2g\phi A^2}$$

$$h_{f_3} = h_{f_{2-3}} = \frac{\lambda s (n-2)^2 q^2}{2g\phi A^2}$$

... ..

$$h_{f_n} = h_{f_{n-1,n}} = \frac{\lambda s [n(n-1)]^2 q^2}{2g\phi A^2}$$

La pérdida total será la suma de las pérdidas parciales:

$$h_{ft} = \sum_{i=1}^n h_{fi} = h_{f1} + h_{f2} + \dots + h_{fn} \therefore$$

$$h_{ft} = \frac{\lambda s n q^2}{2g\phi A^2} + \frac{\lambda s (n-1)^2 q^2}{2g\phi A^2} + \frac{\lambda s (n-2)^2 q^2}{2g\phi A^2} \\ + \dots + \frac{\lambda s [n-(n-1)]^2 q^2}{2g\phi A^2}$$

Si observamos las igualdades, notamos la existencia del término común

que llamaremos K_f :

$$K_f = \frac{\lambda s q^2}{2g\phi A^2}$$

Entonces:

$$h_{ft} = K_f n^2 + K_f (n-1)^2 + K_f (n-2)^2 + \dots \\ + K_f [n-(n-2)]^2 + K_f [n-(n-1)]^2$$

Sacando como factor común el término K_f , habiendo operaciones y simplificando obtendremos:

$$h_{ft} = K_f [n^2 + (n-1)^2 + (n-2)^2 + \dots + 2^2 + 1^2]$$

Por otro lado:

$$1^2 + 2^2 + \dots + (n-1)^2 + n^2 = \sum_1^n n^2$$

y:

$$\sum_1^n n^2 = \frac{1}{6} n + \frac{1}{2} n^2 + \frac{1}{3} n^3 \therefore$$

$$h_{ft} = K_f \left[\frac{1}{6} n + \frac{1}{2} n^2 + \frac{1}{3} n^3 \right] \therefore$$

$$h_{ft} = \frac{K_f}{6} [n + 3n^2 + 2n^3]$$

Y si:

$$K = \frac{K_f}{6}$$

Obtendremos:

$$h_{ft} = K n (1 + 3n + 2n^2)$$

Y factorizando tendremos finalmente:

$$h_{f_t} = K n (n+1) (2n+1)$$

Fórmula que determina la pérdida total de carga por fricción a lo largo de la tubería hasta el último emisor.

Para flujo laminar sabemos que $\lambda = \frac{64}{R}$ y

$$h_f = \frac{64 L V^2}{R 2 g \phi}$$

Imponiendo las mismas condiciones y analizando segmento por segmento:

$$h_f = \frac{64 S V_n^2}{R 2 g \phi}$$

Y como:

$$R = \frac{V \phi}{\nu}$$

Tendremos:

$$h_f = \frac{64 S V_n^2 \nu}{2 g \phi V_n \phi} \dots$$

$$h_f = \frac{64S Q_n^2}{2g\phi^2 A}$$

Y si:

$$K_L = \frac{64S \cancel{Q_n^2}}{2g\phi^2 A} \therefore$$

$$h_f = K_L Q_n$$

Sustituyendo valores para Q_n :

$$h_{f_1} = K_L n q$$

$$h_{f_2} = K_L (n-1) q$$

$$\vdots$$

$$h_{f_{n-1}} = K_L [n - (n-2)] q$$

$$h_{f_n} = K_L [n - (n-1)] q$$

Sumando uno a uno los términos sacando $K_L q$ como factor común, haciendo operaciones y reduciendo:

$$h_{f_T} = K_L q [n + (n-1) + (n-2) + \dots + 2 + 1]$$

Y como:

$$n + (n-1) + (n-2) + \dots + 2 + 1 = \frac{n(n+1)}{2} \therefore$$

$$h_{f_T} = K_L q \left[\frac{n(n+1)}{2} \right]$$

Y si:

$$\frac{K_L q}{2} = K$$

Entonces:

$$h_{f_T} = K n(n+1)$$

Ecuación que dará la pérdida total de carga en Flujo Laminar.

Para Flujo Turbulento en tuberías lisas y con $Re < 100000$:

$$\lambda = \frac{0.3164}{Re^{1/4}}$$

Y como un sistema de riego por goteo funcionará dentro de estos límites, haremos un análisis semejante a los anteriores:

$$h_f = \frac{\lambda L V^2}{2g\phi} ;$$

$$\lambda = \frac{0.3164}{R^{1/4}} ;$$

$$R = \frac{V\phi}{\nu}$$

$$\lambda = \frac{0.3164 \nu^{1/4}}{V^{1/4} \phi^{1/4}}$$

Si:

$$K = \frac{0.3164 \nu^{1/4}}{\phi^{1/4}}$$

Obtendremos:

$$\lambda = K \frac{1}{V^{1/4}}$$

Y como: $V = \frac{Q}{A}$

Entonces:

$$\lambda = K \frac{A^{1/4}}{Q^{1/4}}$$

Si:

$$K_\lambda = K A^{1/4}$$

Obtendremos:

$$\lambda = K_\lambda \frac{1}{Q^{1/4}}$$

Sustituyendo en la ecuación de Darcy - Weisbach:

$$h_f = \frac{K_\lambda \frac{1}{Q^{1/4}} L V^2}{2g\phi}$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V^2 = \frac{Q^2}{A^2}$$

Sustituyendo este valor en la primera expresión tendremos:

$$h_f = \frac{K_\lambda \frac{1}{Q^{1/4}} L Q^2}{2g \phi A^2}$$

$$h_f = \frac{K_\lambda L Q^2}{2g \phi Q^{1/4} A^2}$$

Y como:

$$K_\lambda = K A^{1/4}$$

Tendremos:

$$h_f = \frac{K A^{1/4} L Q^2}{2g \phi Q^{1/4} A^2}$$

$$h_f = \frac{K L Q^{3/4}}{2g A^{7/4} \phi}$$

Y como:

$$K = \frac{0.3164 \nu^{1/4}}{\phi^{1/4}}$$

Tendremos:

$$h_f = \frac{0.3164 \nu^{1/4} L Q^{3/4}}{2g \phi^{5/4} A^{7/4}}$$

Si:

$$A = 0.7854 \phi^2$$

$$A^{7/4} = 0.6552 \phi^{14/4}$$

$$h_f = \frac{0.3164 v^{1/4} L Q^{7/4}}{19.62 \phi^{5/4} \times 0.6552 \phi^{14/4}}$$

$$h_f = \frac{0.3164 v^{1/4} L Q^{7/4}}{12.855 \phi^{19/4}}$$

$$h_f = \frac{0.0246 v^{1/4} L Q^{7/4}}{\phi^{19/4}}$$

Si:

$$K_f = 0.0246 \left(\frac{v}{\phi^{19}} \right)^{1/4} \therefore$$

$$h_f = K_f L Q^{7/4}$$

Analizando tramo por tramo en la tubería:

$$h_{f_1} = K_f s (q n)^{7/4}$$

$$h_{f_2} = K_f s q^{7/4} (n-1)^{7/4}$$

$$h_{f_3} = K_f s q^{7/4} (n-2)^{7/4}$$

⋮

⋮

$$h_{f(n-1)} = K_f s q^{3/4} [n - (n-2)]^{3/4}$$

$$h_{f_n} = K_f s q^{3/4} [n - (n-1)]^{3/4}$$

$$h_{f_t} = h_{f_1} + h_{f_2} + h_{f_3} + \dots + h_{f_{n-1}} + h_{f_n}$$

$$h_{f_t} = K_f s q^{3/4} \left\{ n^{3/4} + (n-1)^{3/4} + (n-2)^{3/4} + \dots + [n - (n-2)]^{3/4} + [n - (n-1)]^{3/4} \right\}$$

Si:

$$K' = K_f s q^{3/4}$$

Entonces:

$$h_{f_t} = K' \sum_1^n n^{3/4}$$

Y como:

$$\sum_1^n n^{3/4} = n^{3/4} \left[\frac{4}{11} n^2 + \frac{1}{2} n + \frac{\sqrt{3}}{12} \right]$$

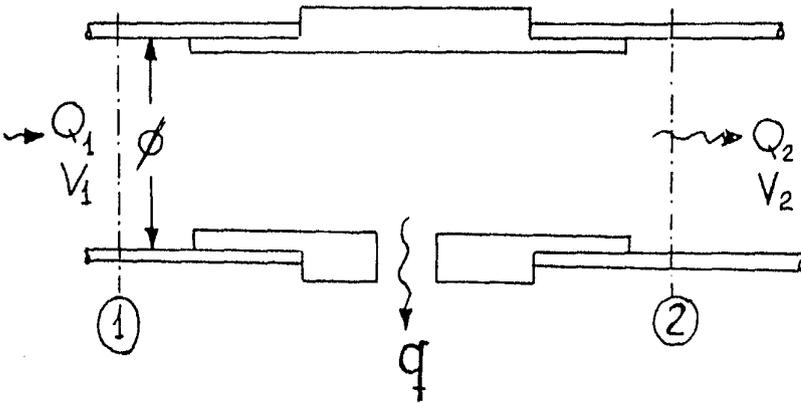
Entonces:

$$h_{ft} = K' n^{3/4} \left[\frac{4}{11} n^2 + \frac{1}{2} n + \frac{\sqrt{3}}{12} \right]$$

Ecuación que determina la pérdida total de carga por fricción en un régimen turbulento en tuberías lisas.

Como ya dijimos, las pérdidas locales ocurren en los sitios donde existen cambios de sección, de dirección y por salidas en el emisor usado y la forma de inserción de éste con la tubería regante.

Para analizar la pérdida de carga por una salida de la tubería, utilizaremos la Ecuación del Impulso:



$$P_2 A_2 - P_1 A_1 = \rho Q_2 (V_1 - V_2)$$

Como:

$$A_1 = A_2, \quad \rho = \frac{\omega}{g} \quad \text{y} \quad Q_2 = A_2 V_2$$

Entonces:

$$A_2 (P_2 - P_1) = \frac{\omega}{g} A_2 V_2 (V_1 - V_2) \therefore$$

$$\frac{P_2 - P_1}{\omega} = \frac{V_2 (V_1 - V_2)}{g} \text{ ---- (a)}$$

Aplicando el Teorema de Bernoulli entre las secciones 1 y 2 tenemos:

$$\frac{P_1}{\omega} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\omega} + \frac{V_2^2}{2g} + h_L$$

Donde:

h_L = Pérdida de carga local.

$$h_L = \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} - \frac{P_2 - P_1}{\omega} \text{ ---- (b)}$$

Sustituyendo (a) en (b):

$$h_L = \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} - \frac{V_2 (V_1 - V_2)}{g} \therefore$$

$$h_L = \frac{V_1^2 - V_2^2 - 2 V_2 (V_1 - V_2)}{2g}$$

$$h_L = \frac{V_1^2 - V_2^2 - 2 V_2 V_1 + 2 V_2^2}{2g}$$

$$h_L = \frac{V_1^2 - 2 V_2 V_1 + V_2^2}{2g}$$

Y factorizando:

$$h_L = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$$

Como esta ecuación será aplicable a cada uno de los emisores analizamos los n emisores:

$$h_{L_1} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$$

$$h_{L_2} = \frac{(V_2 - V_3)^2}{2g}$$

... ..

$$h_{L_{n-1}} = \frac{(V_{n-1} - V_n)^2}{2g}$$

$$h_{L_n} = \frac{V_n^2}{2g}$$

Si sustituimos los valores de: $V_1, V_2, V_3, \dots, V_n,$

Obtendremos:

$$h_{L_4} = \frac{[nq - (n-1)q]^2}{2gA^2} \quad \dots$$

$$h_{L_1} = \frac{[nq - nq + q]^2}{2gA^2} \quad \dots$$

$$h_{L_1} = \frac{q^2}{2gA^2}$$

$$h_{L_2} = \frac{[(n-1)q - (n-2)q]^2}{2gA^2} \quad \dots$$

$$h_{L_2} = \frac{[nq - q - nq + 2q]^2}{2gA^2} \quad \dots$$

$$h_{L_2} = \frac{q^2}{2gA^2}$$

...

$$h_{L_{n-1}} = \frac{[nq - (n-1)q]^2}{2gA^2}$$

$$h_{L_{n-1}} = \frac{[nq - nq + q]^2}{2gA^2}$$

$$h_{L_{n-1}} = \frac{q^2}{2gA^2}$$

$$h_{L_n} = \frac{[q - 0]^2}{2gA^2}$$

$$h_{L_n} = \frac{q^2}{2gA^2}$$

Se observa que:

$$h_{L_1} = h_{L_2} = h_{L_3} = \dots = h_{L_{n-1}} = h_{L_n}$$

Por lo que:

$$\sum_{i=1}^n h_{L_i} = n \frac{q^2}{2gA^2}$$

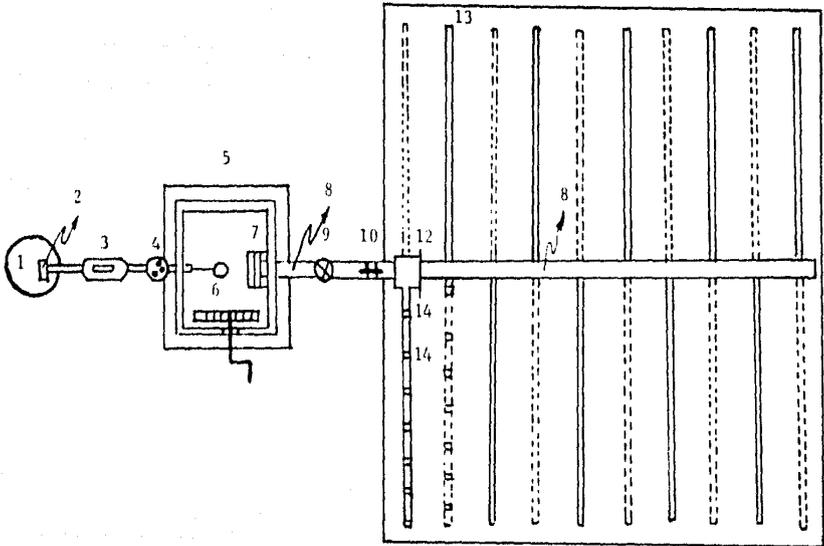
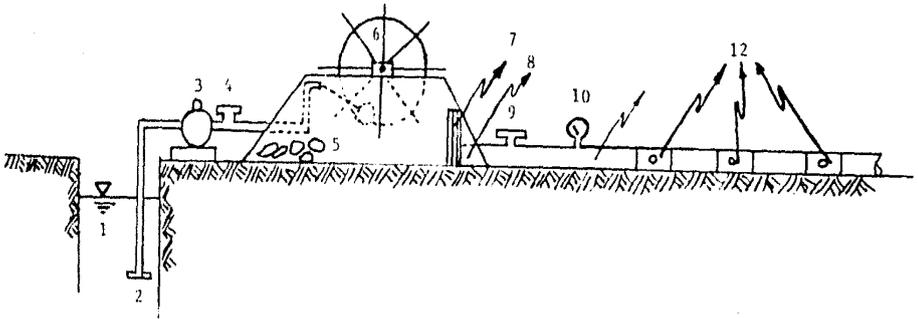
Las pérdidas de carga locales son en general una función de la carga de velocidad:

$$h_L = K \frac{V^2}{2g}$$

El valor de K depende del tipo de pérdida y más adelante detallaremos cada uno de esos tipos de pérdida con su correspondiente valor de K , para el sistema de riego propuesto.

El objeto del presente trabajo, como ya se dijo, es aprovechar los tiempos ociosos y mano de obra del campesino para lograr, con un pequeño incremento de estos factores, una distribución más sencilla de los elementos constitutivos de un sistema de riego por goteo, así como la supresión de muchos de estos elementos tales como el tanque fertilizante, muy caro, y para cuyo buen funcionamiento se necesita una carga hidráulica de 4 m., el juego de filtros comerciales, que además de ser exageradamente caro, reporta una pérdida de carga de 2 m., equipo de bombeo para proporcionar cargas de 10 m. a 20 m., el uso de tubería principal de P.V.C., que también es cara, así como las piezas especiales para ella, tales como adaptadores, uniones cementadas o del tipo de silleta, etc., y tuberías secundarias con todas las piezas especiales que llevan (Tees, codos, coples, reducciones, etc.), para fines de este trabajo, se analizará una superficie unitaria de 1 Ha., sensiblemente plana y con el abastecimiento de agua relativamente cerca.

En las figuras 2 y 3 se muestran, respectivamente, el perfil y planta del sistema de riego por goteo propuesto, con sus elementos constitutivos detallados a continuación:



1. Fuente de abastecimiento de agua, que puede ser un pozo a cielo abierto, una noria, un canal, un reembalse, etc.
2. Filtro del equipo de bombeo.
3. Equipo de bombeo que puede estar constituido por un guimbaete, o una bomba accionada por un papalote movido por el viento, o una bomba accionada por un motor eléctrico de poca potencia, ya que al eliminarse el tanque fertilizante y el juego de filtros comerciales, la carga hidráulica para el funcionamiento del sistema es mínima.
4. Medidor de volúmenes.
5. Tanque de alm. para proporcionar la carga hidráulica necesaria para el funcionamiento del sistema. Este tanque puede ser desde un tinaco de lámina soportado por una estructura barata, que sea fácilmente removible para utilizarse en otros predios hasta un tanque de concreto armado o de mampostería, si se va a aprovechar alguna condición topográfica favorable, con capacidad para 2 ó 3 días de riego para contar con agua en caso de una descompostura del equipo de bombeo, todo depende de la superficie por regar, de sus condiciones topográficas y de las posibilidades económicas del usuario.

Este tanque está provisto de un sistema electromecánico, para mantener la carga constante, consistente en un flotador con un

contacto de mercurio que accionará el motor de la bomba cuando el flotador baje y lo desconectará cuando dicho flotador suba.

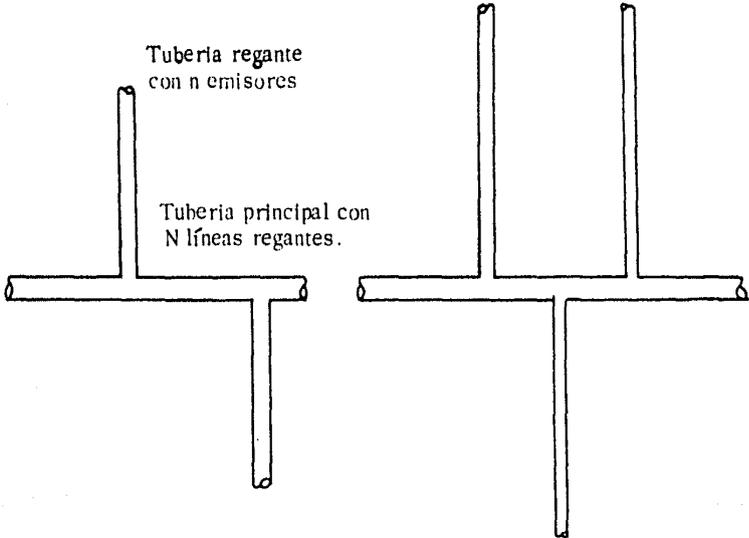
6. Agitador de aspas, manual, para provocar fenómenos de turbulencia con el objeto de disolver y evitar que se sedimente el fertilizante disuelto en el agua.
7. Filtros de mallas de diferentes aberturas para retener algunas impurezas que hayan logrado pasar por el filtro del equipo de bombeo.
8. Tubería de Polietileno de 2" ó 3" de \emptyset (según la superficie por regar), que hará el papel de tubería principal, que se colocará perpendicularmente a los surcos o hileras.
9. Válvula de control para la salida del agua.
10. Manómetro, indicador de la presión en el sistema.
- (11. Codo de 90°, con uniones de inserción, provisto con 2 abrazaderas para la firme sujeción con la tubería principal.)
12. Te-reducción de 2" ó 3" a $\frac{1}{2}$ ", (Descrita en el Capítulo anterior).
13. Tubería de polietileno de $\frac{1}{2}$ " de \emptyset que hará las funciones de tubería regante.
14. Emisores o goteros, descritos en el Capítulo anterior.

Con el objeto de economizar en la tubería regante, en los emisores y en las tes, que son un renglón importante en el aspecto económico y disminuir las pérdidas tanto de fricción como locales se propone que:

Si es n el número de tuberías regantes que se necesitan para satisfacer la demanda de agua en la superficie estudiada (1 Ha.) lógicamente tendrá que haber n tes alojadas en la tubería principal a una distancia de $100/n, m$, una de otra. Propongo colocar $n/2$ tes, en dicha tubería principal, separadas $100/2n$, con $n/2$ tuberías regantes, de aproximadamente 50 m. de longitud cada línea, aplicar el agua de riego el tiempo necesario, (de 2 a 4 hrs./día), separar las líneas regantes de las tes, aflojar la abrazadera del codo de 90° , girar 180° la tubería principal, desplazar las tuberías regantes hasta hacerlas coincidir con las tes, conectarlas, apretar la abrazadera y proporcionar el agua de riego, cubriendo así el total de la superficie y abaratando en un 50% el costo de tuberías, tes y emisores, tal como indican las líneas punteadas de la Fig. 3, otra forma de hacerlo sería hacer girar únicamente las tes, al separar de éstas las tuberías regantes, aprovechando la circunstancia de que las uniones no son rígidas ni están cementadas. Otra gran ventaja la constituye el hecho de que los emisores y tes, actúan como coples o uniones entre tramos de tubería cuya longitud no excederá, en la principal de 4.00 m., y en la 2^a 2.00 m., por lo que cuando un tramo se eche a perder por cualquier causa, será fácilmente reemplazable sin una erogación alta por concepto de mantenimiento.

En seguida procederemos a calcular las pérdidas en el sistema de riego por goteo propuesto.

La distribución de las tuberías será como se indica en la Fig. 3, o sea:



N = Número de líneas regante.

q = Gasto unitario por emisor.

n = Número de emisores por línea regante.

S = Separación entre líneas regantes.

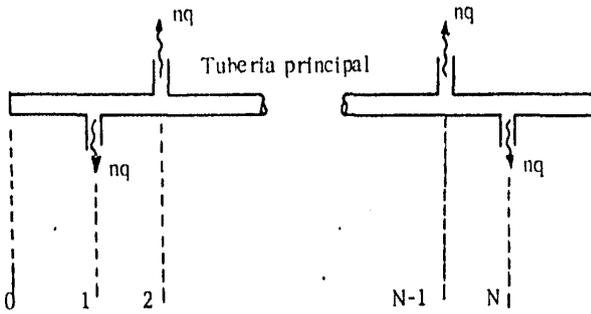
s = Separación entre goteros.

ϕ_1 = Diámetro de la tubería principal.

ϕ_2 = Diámetro de la tubería secundaria o regante.

Entonces nq = gasto por línea regante.

Esquemmatizando:



El gasto en el tramo será:

Tramo	Gasto
0 - 1	$Q_1 = N n q$
1 - 2	$Q_2 = (N-1) n q$
2 - 3	$Q_3 = (N-2) n q$
...	...
N - 2 , N - 1	$Q_{N-1} = [N - (N - 2)] n q$
N - 1 , N	$Q_N = [N - (N - 1)] n q$

El gasto total:

$$Q_T = Q_1 = N n q$$

Aplicando la fórmula obtenida para evaluar las pérdidas de carga por flujo turbulento tendremos:

$$H_{f_t} = K' N^{3/4} \left[\frac{4}{11} N^2 + \frac{1}{2} N + \frac{\sqrt{13}}{12} \right] \text{---} \textcircled{1}$$

En donde:

$$K' = K_f S (qn)^{7/4}$$

Y:

$$K_f = 0.0246 \left(\frac{v}{\phi_1^{19}} \right)^{1/4}$$

La fórmula (1) evaluará las pérdidas de carga por fricción en la tubería principal.

Para cada tubería regante:

$$h_{f_t} = K' n^{3/4} \left[\frac{4}{11} n^2 + \frac{1}{2} n + \frac{\sqrt{13}}{12} \right] \text{---} \textcircled{2}$$

En donde:

$$K' = K_f s q^{7/4}$$

$$K_f = 0.0246 \left(\frac{v}{\phi_2^{19}} \right)^{1/4}$$

La fórmula (2) nos dará las pérdidas de carga por fricción en cada línea regante.

La pérdida por entrada la calcularemos por:

$$h_o = 0.23 \frac{v^2}{2g}$$

La pérdida por la válvula de control estará dada por:

$$h_v = 0.14 \frac{v^2}{2g}$$

La pérdida por codo está en función de la relación:

Radio de la curva \div Diámetro del tubo

$$h_b = 0.2 \frac{v^2}{2g}$$

Las pérdidas de carga por contracción súbita debidas a las tes en la tubería principal estarán dadas por:

$$h_{ct} = 0.03 \frac{v^2}{2g}$$

Ya que:

$$\frac{d_2}{d_1} = 1.1$$

Las pérdidas de carga por contracción súbita en los goteros estarán expresadas por:

$$h_{cg} = 0.07 \frac{v^2}{2g}$$

Ya que:

$$\frac{d_2}{d_1} = 1.2$$

Las pérdidas de carga por ensanchamiento súbito en las tes de la tubería principal estarán dadas por:

$$h_{et} = 0.08 \frac{v^2}{2g}$$

Ya que:

$$\frac{d_2}{d_1} = 1.1$$

Las pérdidas por ensanchamiento súbito en los goteros estarán expresadas por la fórmula:

$$h_{eg} = 0.10 \frac{v^2}{2g}$$

Ya que:

$$\frac{d_2}{d_1} = 1.2$$

La pérdida de carga por filtros de mallas se determina por:

$$h_f = 3.2 \frac{v^2}{2g}$$

La pérdida de carga por bifurcación en las tes es:

$$\theta = 90^\circ \quad h_{LR} = 0.96 \frac{v^2}{2g}$$
$$\frac{qn}{Q_t} = 0.04 \quad h_{LP} = 0.05 \frac{v^2}{2g}$$

Siendo h_{LR} la pérdida en la línea regante y h_{LP} la pérdida en la línea principal.

Para determinar n , N , q , v , s , y por lo tanto, las pérdidas por fricción y locales, se procedió al cálculo del consumo de agua, suponiendo que se plantara frijol, y a la elaboración del prototipo del gotero provisto con uniones del tipo de inserción, para determinar el área y volumen de influencia de éste en un suelo de las siguientes características.

El suelo es de textura arcillo-arenosa, de estructura moderada, poco plásticos sin fragmentos rocosos, de consistencia friable en estado húmedo y ligeramente duro en estado seco. Este suelo ha estado abierto al cultivo de temporal, principalmente de maíz, por lo que es necesaria la aplicación de fertilizantes, tales como nitrógeno, fósforo, potasio y abonos orgánicos.

Posee una capacidad de campo del 21.8% y un punto de marchitamiento permanente del 11.2%.

IV. CALCULO DEL CONSUMO DE AGUA POR LOS METODOS DE LOS DRES. BLANEY Y CRIDDLE Y POR EL DEL DR. THORNTWAITE

- 1° Fijaremos el ciclo vegetativo medio; $3\frac{1}{2}$ meses, del 31 de mayo al 15 de septiembre.
- 2° Determinaremos las temperaturas medias mensuales para los meses del ciclo vegetativo, ayudándonos de los anexos del Capítulo II, tomando como representativo el Distrito de Riego No. 3, dichas temperaturas expresadas en °C, las transformaremos en °F con la fórmula: $^{\circ}\text{F} = 9/5 \text{ }^{\circ}\text{C} + 32$.
- 3° El valor de Kc, (Coeficiente de desarrollo), lo obtendremos de la curva de desarrollo correspondiente al fíjol del Capítulo II.
- 4° El valor de p lo calcularemos sabiendo que la latitud de México es de $23^{\circ}27' = 24^{\circ}$, y auxiliándonos del anexo correspondiente del Capítulo II.

<u>Mes</u>	<u>Kc</u>	<u>Temperatura Media</u>		<u>p</u>	<u>f = $\frac{\text{pxt}}{100}$</u>
		<u>°C</u>	<u>°F</u>		<u>(pulg)</u>
Junio	0.85	20.1	68.18	9.20	6.27
Julio	1.10	19.0	66.20	9.41	6.23
Agosto	0.80	19.3	66.74	9.05	6.04
Septiembre	0.75	18.4	65.12	8.31	<u>5.41</u>
					<u>23.95</u>

Con los datos anteriores, calcularemos el consumo de agua mensual por medio de la fórmula:

$$U.C.m = f K_T K_c$$

En la que K_T es un coeficiente de corrección de J. T. Phelan y vale:
 $K_T = 0.0173t - 0.311.$

<u>Mes</u>	<u>K_T</u>	<u>U.C.m</u> <u>(pulg)</u>	<u>$\frac{K}{K'}$</u>	<u>U.C.m</u>
Junio	0.8685	4.63	0.95	4.40
Julio	0.8343	5.72	0.95	5.43
Agosto	0.8436	4.08	0.95	3.88
Septiembre	0.8156	<u>3.31</u>	0.95	3.14
		<u>17.74</u>		

Para ajustar los consumos de agua mensuales (U.C.m) se calcula un coeficiente K' que vale:

$$K' = \frac{\sum UCm}{\sum f} = \frac{17.74}{23.95}$$

$$K' = 0.7407$$

El valor de K correspondiente al frijol varía de 0.60 a 0.70, tomaremos el más alto: $K=0.70 \therefore K/K' = 0.95$ (Anexo No. 2)

Obteniendo finalmente:

<u>Mes</u>	<u>Consumo de Agua en cm</u>	
	<u>Mensual</u>	<u>Acumulado</u>
Junio	11.18	11.18
Julio	13.79	24.97
Agosto	9.86	34.83
Septiembre	<u>7.98</u>	<u>42.81</u>
Total en el ciclo	42.81	42.81

Calculemos ahora el consumo de agua por el Método del Dr. Thornthwaite, sabiendo las temperaturas medias mensuales y haciendo uso de la tabla para encontrar las E.T. (Eficiencia de la temperatura) y el nomograma del Capítulo II para encontrar el U.C.

En el cuadro siguiente se resumen los datos:

<u>Mes</u>	<u>Temperatura</u>		U.C.	U.C. *
	<u>Media</u>	E.T.		
	<u>°C</u>			<u>(cm)</u>
Junio	20.1	8.22	10.1	10.10
Julio	19.0	7.55	8.8	9.1
Agosto	19.3	7.73	9.0	9.3
Septiembre	18.4	7.19	8.6	8.6

* (Corregido para meses de 31 días).

En el siguiente cuadro se ilustra la obtención de I (Eficiencia anual de la temperatura):

Temperatura Media

<u>Mes</u>	<u>°C</u>	<u>E.T.</u>
Enero	13.0	4.25
Febrero	14.9	5.22
Marzo	17.5	6.66
Abril	19.1	7.61
Mayo	20.1	8.22
Junio	20.1	8.22
Julio	19.0	7.55
Agosto	19.3	7.73
Septiembre	18.4	7.19
Octubre	16.9	6.32
Noviembre	15.1	5.33
Diciembre	13.3	4.40

$$\Sigma = 78.70$$

$$I = 78.7$$

En el cuadro siguiente compararemos los resultados de los 2 métodos:

<u>Mes</u>	U.C. (cm) <u>Método Dr. Thorntwaite</u>	U.C. (cm) <u>Método Dres. Blaney & Criddle</u>
Junio	10.1	11.18
Julio	9.1	13.79
Agosto	9.3	9.86
Septiembre	<u>8.6</u>	<u>7.98</u>
Total	37.1	42.81

C A P I T U L O V I

DETERMINACION EXPERIMENTAL DEL AREA Y VOLUMEN DE INFLUENCIA DE UN EMISOR

El movimiento del agua en un suelo se presenta como el flujo de ella a través de los conductos formados por las secciones de los poros contenidos en el suelo. Al no ser este suelo homogéneo, isótropo ni uniforme, el camino que dichos poros presentan al flujo del agua es irregular y la velocidad de infiltración de ésta cambia constantemente en magnitud, dirección y sentido.

El Ing. Francés Henri Darcy realizó investigaciones sobre la filtración del agua en filtros de arena y llegó a la conclusión de que el flujo de un líquido a través de un medio poroso es proporcional a la capacidad del medio para transmitir el líquido (conductividad hidráulica) y a la fuerza que actúa sobre el líquido y en la misma dirección que ésta, o sea el gradiente hidráulico ∇H

$$q = -K\nabla H$$

El movimiento del agua se puede realizar en un medio saturado o en uno no saturado. En el primer caso el campo de fuerzas que producen el movimiento del agua es el gradiente de un potencial positivo de presión. En el caso de un suelo no saturado, éste está sujeto a presiones inferiores a la atmosférica, siendo el gradiente de tensión el productor del flujo.

Para un suelo saturado y partiendo del concepto de que el incremento del gasto unitario debe ser igual a la proporción en que disminuye el contenido volumétrico de agua en un tiempo t , y relacionándolo con la ecuación de Darcy se llega a la siguiente expresión:

$$K_x \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 H}{\partial z^2} = 0$$

donde K_x , K_y y K_z son parámetros de la conductividad hidráulica del suelo saturado en las direcciones x, y, z, respectivamente.

Las leyes para el flujo del agua en un suelo no saturado, son muy complicadas y difíciles de cuantificar ya que intervienen muchísimos factores.

Partiendo de la ecuación de Darcy e introduciendo en ella los conceptos de contenido volumétrico de humedad, la tensión matricial como fuerza productora del flujo de agua y la difusividad Childs y Collis-George llegaron a la siguiente ecuación para flujo unidimensional:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \nabla \cdot \left[D(\theta) \nabla \theta \right] + \frac{\partial k(\theta)}{\partial z}$$

donde:

- k = Conductividad hidráulica.
- θ = Contenido volumétrico de humedad.
- $D(\theta) = k(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial \psi}$
- ψ = Campo de fuerzas del potencial del agua.

Miller y Kute proponen para el análisis del flujo de agua en un sistema bajo condiciones de riego por goteo, la siguiente ecuación que puede ser resuelta, sólo por el método numérico y con ayuda de computadoras:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial z} \right] - \frac{\partial [k(\theta)]}{\partial z}$$

Rosales (1972) calcula el volumen del bulbo de mojado por la siguiente fórmula:

la:

$$B = A Pr$$

donde:

B = Volumen del bulbo de mojado	(lts.)
A = Area de evapotranspiración	(m ²)
Pr = Profundidad radicular	(mm)
A = 0.785 D ²	
D = Diámetro del follaje del árbol	(m)
A = S x a	
S = Separación entre emisores	(m)
a = Anchura de la faja del follaje	(m)

y el volumen de agua necesario para llevar a capacidad de campo este volumen de suelo lo calcula por:

$$V.B = B \times Da (CC - P.M.P.) / 100$$

donde:

V.B = Volumen de agua necesario	(lts.)
B = Volumen del bulbo de mojado	(lts.)
Da = Densidad aparente	(gr/cm ³)
CC = Capacidad de campo	(%)
PMP = Punto de marchitamiento permanente	(%)

Se ha obtenido experimentalmente que para suelos pesados tanto el movimiento horizontal como el vertical son proporcionales a $(qt)^{0.33}$ y por lo tanto, el volumen infiltrado es también proporcional a qt ($q = \text{constante}$). Para un suelo arenoso el movimiento horizontal es aproximadamente proporcional a $(qt)^{0.2}$ y el vertical a $(qt)^{0.6}$.

Vochteloo en 1971 concluyó que para un suelo más o menos homogéneo con 20% de arcilla, 40% de limo y 40% de arena fina el radio de la zona humedecida es proporcional a $t^{0.33}$ y el patrón forma aproximadamente una semiesfera, la que está en relación directa con la cantidad total de agua aplicada.

Dada la dificultad para encontrar las conductividades hidráulicas K_x , K_y , K_z , así como la difícil determinación del campo potencial ϕ y todos los factores que provocan el flujo del agua a través de un suelo, describiré el trabajo efectuado personalmente para la determinación experimental del área y volumen de influencia de un gotero con vistas a la utilización del sistema de riego por goteo en cultivos del tipo anual.

En el capítulo anterior se indicaron las características físicas del suelo con que se hará la observación.

Dicho suelo se colocará en dos cajones de 0.67 m x 0.61 m x 0.57 m, unidos en sus bases por 4 bisagras que permitirán, mediante el giro de éstas, la separación de dichos cajones para mostrar la sección media humedecida y hacer las observaciones que se tabularán en la tabla correspondiente.

Estos cajones se colocaron en 2 bases formadas con fierro ángulo con medidas de 0.50 m x 0.30 m x 0.30 m que permiten el desplazamiento longitudinal de los cajones al ser levantados por un gato hidráulico en la unión con las bisagras tal como se muestra en las fotografías.

Los cajones se formaron con marcos de madera y se forraron de la siguiente manera: Uno de ellos por fibracel perforado con refuerzos de madera y del mismo fibracel en el fondo y en 3 de sus caras laterales, siendo el elemento de contención del suelo en la cuarta cara (directamente puesta a una de las caras del otro cajón) tela de alambre de tejido grueso para proporcionar, dentro de ciertos límites, la mejor continuidad para que el flujo hidráulico en la tierra contenida en los cajones sea lo más parecido al flujo en el suelo en estado natural.

Las perforaciones en el fibracel tienen por objeto drenar el agua que sobre después de la saturación del suelo.

El otro cajón se forró con fibracel perforado en el fondo y lámina acrílica transparente también perforada en tres de sus caras laterales para la observación y medida del avance del bulbo húmedo, siendo igualmente tela de alambre el elemento de contención del suelo en la cuarta cara común a ambos cajones.

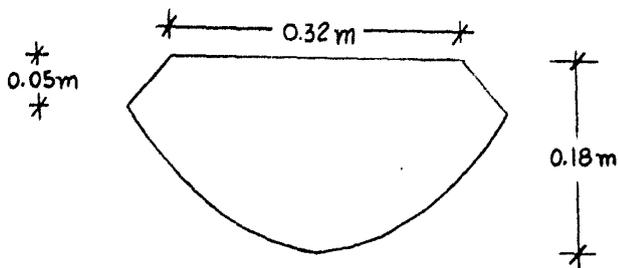
La conducción del agua se hizo del depósito al gotero a través de tubería de cloruro de polivinilo de $\frac{1}{2}$ " de diámetro.

Para efectuar las medidas se llenaron los cajones con tierra y se procedió a compactarlos según indicaciones de gente del lugar (Jonacatepec, Edo. de Morelos)

tal como quedaría el suelo después de la siembra. Se calibró el gotero para que diera un gasto aproximado de 3 lt/hr y se procedió a efectuar el riego durante 15 minutos en la unión de los 2 cajones, o sea en la parte media del conjunto, se levantaron con los gatos hidráulicos y se anotaron las medidas y las observaciones en el renglón correspondiente, se bajaron los gatos repitiéndose el experimento para tiempos de riego de 30 minutos, 45 minutos y 1 hora tal como se asienta en la tabla de recopilación de datos y las fotografías que se anexan.

RESULTADO DE LAS OBSERVACIONES

En los primeros 15 minutos de riego (Fotos 7, 8 y 9) se notó un ligero encharcamiento en la superficie de la tierra que estaba prácticamente seca, formándose un círculo de 0.13 m de radio (promedio), al levantarse los cajones se notó perfectamente definida una semielipse con semiejes mayor y menor de 0.13 m y 0.09 m, principiándose a formar la zona de transmisión (semi-elipsoide de revolución). Al finalizar el riego a los 30 minutos (Fotos 10, 11 y 12) el radio superficial del bulbo húmedo fué de 0.15 m, notándose al levantar los cajones que los semiejes mayor y menor fueron 0.15 m y 0.14 m, respectivamente, disminuyendo notablemente la excentricidad del elipse constituyéndose entonces la zona de transmisión en una semiesfera prácticamente. En los siguientes 30 minutos (Fotos 13, 14 y 15) el radio superficial del bulbo húmedo fué de 0.16 m y al levantarse los cajones se notó que el frente de humedecimiento presentaba la siguiente sección con las dimensiones que se indican:



Por la construcción del cajón (marcos de madera con fondos de fibracel con refuerzos del mismo y madera no se pudo añadir más peso de tierra por cajón $0.61 \text{ m} \times 0.57 \text{ m} \times 0.18 \text{ m} \times 1,950 \text{ Kg/m}^3 = 122 \text{ Kg/cajón}$, peso por el cual el cajón estaba presentando síntomas de falla en el fondo si se añadía más tierra) las observaciones en lo que se refiere a la profundidad de penetración del agua se redujeron a los 0.18 m de tierra visible que se tenía. En una última observación se regó en forma continua durante 4 horas observándose la formación del bulbo húmedo de la tierra con un radio superficial de 0.40 m no pudiéndose determinar el volumen saturado por la falta de fondo en la tierra almacenada, sin embargo, si suponemos que el casquete esférico crece proporcionalmente tendremos los resultados que se muestran en las tablas de recopilación de datos y en las figuras correspondientes.

Para hacer medidas más realistas sobre el terreno sin tener discontinuidades en el medio de transmisión del agua he pensado en dos electrodos conectados en serie con las pilas que sean necesarias y un miliamperímetro y sabiendo que la resistencia eléctrica del suelo varía en función inversa con su contenido de humedad, determinar las dimensiones y forma del bulbo húmedo en función de la corriente registrada por el miliamperímetro y de las distancias entre los electrodos. Lo ideal sería, con un poco más de presupuesto hacer un mejor diseño

de los cajones, con material más resistente, que permita albergar de 2.0 m^3 a 2.5 m^3 de tierra con otro funcionamiento, por ejemplo que se separen entre ellos deslizándose horizontalmente sobre carretillas para hacer más objetivamente las medidas y observaciones y además contar con el higrómetro eléctrico para correlacionar los resultados y ya en el terreno por regar determinar con dicho higrómetro el volumen de influencia del gotero y el número de éstos para la zona de riego de que se trate de una manera más precisa, aprovechando de esta manera al máximo el recurso agua.

De los resultados obtenidos, se deduce que con un gasto de 3 lt/hora y 4 horas de riego se formó un bulbo húmedo de 0.40 m de radio superficial, por lo que con un gasto de 4 lt/hora y las mismas 4 horas de riego se formará muy probablemente un bulbo húmedo con un radio superficial de 0.60 m a 0.70 m produciéndose el traslape interno entre los frentes de humedecimiento a una profundidad comprendida entre 0.15 m y 0.25 m y con un radio aproximado que fluctuará entre 0.80 m y 0.90 m. De acuerdo a lo anterior se concluye que la separación entre líneas regantes y goteros será del orden de 1.60 m a 2.00 m dependiendo del suelo. Si éste es arenoso se reducirán considerablemente las distancias entre líneas y goteros, mientras que para terrenos medios y pesados, arcillosos o limo-arcillosos, éstas aumentarán.

Para nuestro caso tomaremos como distancia entre líneas y entre goteros 1.80 m, quedando de acuerdo a la distribución de la figura de la página 120 con :

$N = 28$ (Número de líneas regantes/Ha).

$n = 784$ (Número de goteros/Ha).

Anexo VI - I

Foto No.	Riego por Goteo			Cantidad de Agua Empleada (lts.)	Gasto Hidráulico (Q) (lts./hr.)	Radio del Bulbo Húmedo		Volumen del Bulbo Húmedo (m ³)	Temperatura Medio Ambiente (°C)	Humedad Relativa (%)	Evaporación Media (mm)	Fecha
	Hora de Inicio	Hora de Término	Tiempo de Riego (min.)			Superficial (m)	Interno (m)					
7-8-9	11:55	12:10	15	0.880	3.50	0.130	0.09	0.032	41.0	40		28/8/77
D-11-12	12:35	12:50	15	0.690	2.75	0.150	0.14	0.0066	42.0	40		
B-L-15	13:07	13:37	30	1.380	2.75	0.160	0.18	0.0149	41.0	40	0.4	
	11:00	11:05	5	0.250	3.00	0.050	0.03	0.0002	37.0	40		
		11:10	10	0.200	2.40	0.070	0.04	0.0004	37.0	40		
		11:15	15	0.125	1.50	0.100	0.06	0.0013	37.0	40		
		11:20	20	0.250	3.00	0.130	0.09	0.0032	37.0	40		
		11:25	25	0.250	3.00	0.150	0.14	0.0021	37.0	40		
		11:30	30	0.250	3.00	0.170	0.18	0.0175	37.0	40		
		11:35	35	0.250	3.00	0.190			37.0	40		
		11:40	40	0.230	2.70	0.210			37.0	40		
		11:45	45	0.250	3.00	0.230			37.0	40		
		11:50	50	0.220	2.64	0.230			37.0	40		
		11:55	55	0.220	2.64	0.245			37.0	40		
		12:00	60	0.220	2.64	0.260	0.11	0.0062	31.5	40		
		12:05	65	0.325	3.90	0.270			38.0	40		
		12:10	70	0.290	3.48	0.275			37.0	40		
	12:15	75	0.275	3.30	0.270			37.0	40			
	12:20	80	0.275	3.30	0.275			37.0	40			

Anexo VI - 2

Foto No.	Riego por Goteo			Cantidad de Agua Empleada (lts.)	Gasto Hidráulico (Q) (lts./hr.)	Radio del Bulbo Húmedo		Volumen del Bulbo Húmedo (m ³)	Temperatura Medio Ambiente (°C)	Humedad Relativa (%)	Evaporación Media (mm)	Fecha
	hora de Inicio	hora de Término	Tiempo de Riego (min.)			Superficial (m)	Interno (m)					
16		12:30	90	0.500	3.00	0.285	*(2)	0.0081	35.0	40		29/8/77
		12:40	100	0.500	3.00	0.295	*(3)	0.0800	35.0	40		
		12:50	110	0.500	3.00	0.310			33.0	40		
		13:00	120	0.500	3.00	0.300			33.0	40		
		13:10	130	0.500	3.00	0.310	*(4)	0.0969	33.0	40		
		13:20	140	0.480	2.88	0.320			32.5	40		
		13:30	150	0.500	3.00	0.330			32.0	45		
		13:40	160	0.500	3.00	0.350			31.0	56		
		14:00	180	1.050	3.15	0.360			31.0	55		
		14:20	200	1.100	3.30	0.380			30.0	46		
		15:00	240	1.850	2.78	0.400	*(5)	0.1914	31.0	55	3.0	

* Se observó en una de las paredes de plástico transparente la primera señal de humedad, deduciéndose que la sección del bulbo húmedo fué aproximadamente, la siguiente para los casos (1), (2), (3), (4) y (5), según los dibujos que se muestran en las ló-
jas anexas.

Anexo VI - 5

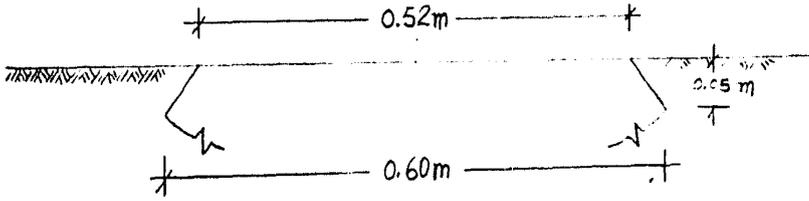


Fig. 1

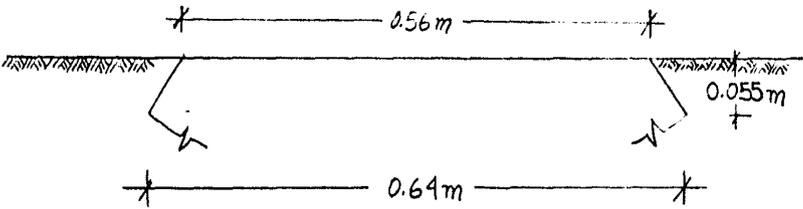


Fig. 2

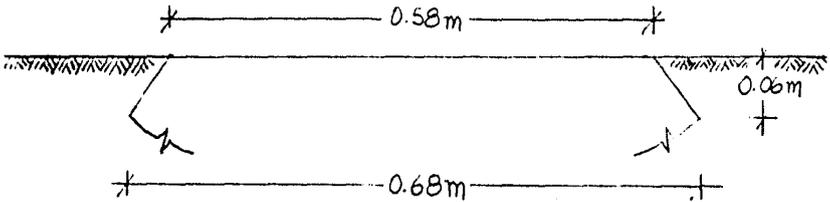


Fig. 3

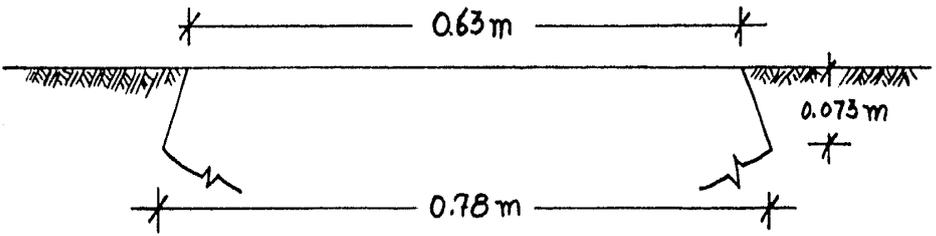


Fig. 4

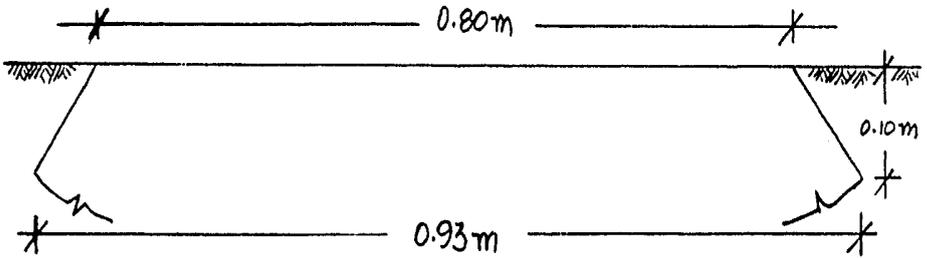
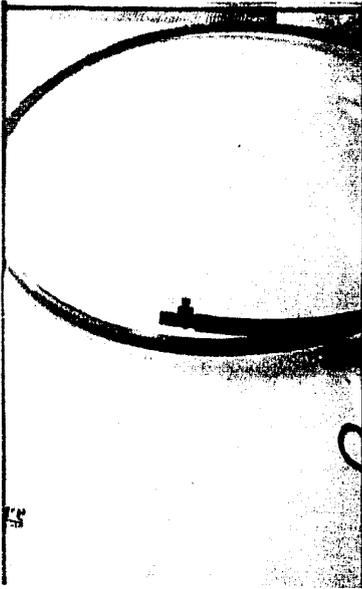


Fig. 5



Fotografía 1



Fotografía 2

En la fotografía 1 se muestra el emisor de inserción conectado a la tubería de P.V.C.

En la fotografía 2 se aprecia la tubería, con el emisor, conectada al recipiente calibrado para el almacenamiento del agua de riego.



Fotografía 3



Fotografía 4

La fotografía 3 nos muestra el calibrado del gotero para el gasto requerido.

En la fotografía 4 se aprecia la aplicación del agua de riego y la formación del bulbo húmedo.



Fotografía 5



Fotografía 6

Las fotografías anteriores muestran los cajones antes de recibir la tierra en posición de observación, levantados por los gatos hidráulicos.

ANEXO VI - 8



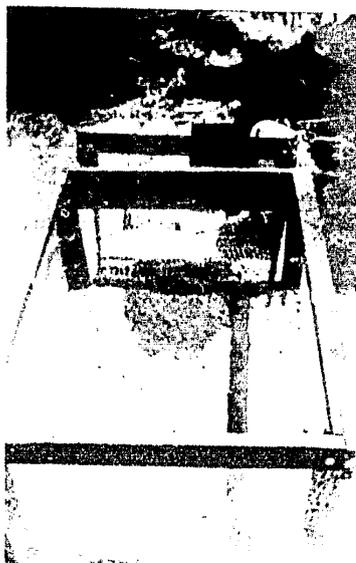
Fotografía 1



Fotografía 2



Fotografía 3



Fotografía 11



Fotografía 12



Fotografía 13

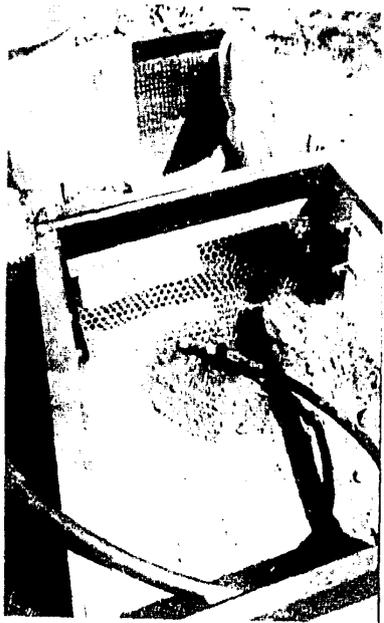


FOTO 131-13

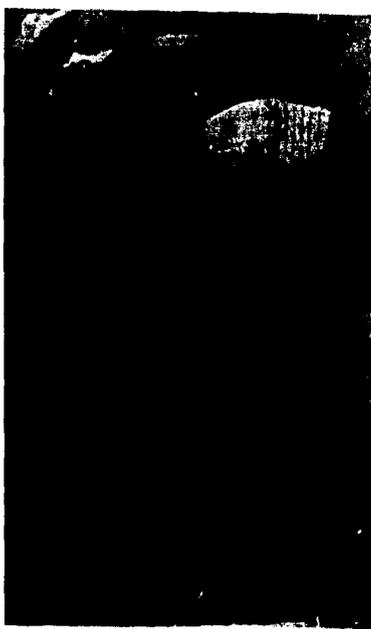


FOTO 131-14



FOTO 131-15

Antico VI - II



Fotografia 16

Con los datos obtenidos anteriormente, procederemos a calcular las pérdidas de carga hidráulica por los conceptos que se analizaron en el Capítulo V.

Primero se determinará el régimen al que pertenece el flujo para lo cual calcularemos el Número de Reynolds.

Datos:

$$N = 28$$

$$n = 28 / \text{línea regante}$$

$$q = 4 \text{ lts/hr.} \therefore q = 0.00111 \text{ lts/seg} \therefore q = 1.111 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$\nu = 0.010068 \text{ Stokes} \therefore \nu = 1.0068 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{seg}$$

$$\phi_1 = 3'' \therefore \phi_1 = 0.0762 \text{ m} \therefore A_1 = 0.00456 \text{ m}^2$$

$$\phi_2 = 0.5'' \therefore \phi_2 = 0.0127 \text{ m} \therefore A_2 = 0.000127 \text{ m}^2$$

$$S = s = 1.80 \text{ m}$$

$$Q = Nnq \therefore Q = 784 \times 1.111 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{seg} \therefore Q = 871.11 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Q = VA_1 \quad v = \frac{Q}{A_1} \quad v = \frac{0.000871}{0.004562} \quad v = 0.191 \text{ m/seg}$$

$$R = \frac{v\phi}{\nu} \therefore R = \frac{0.191 \times 0.0762}{1.0068 \times 10^{-6}} \therefore R = 14456$$

El flujo está localizado en la zona de transición, entre el flujo crítico y el turbulento $R \geq 4000$ para tubos lisos, por lo que los cálculos se harán para régimen turbulento con lo que tendremos un buen factor de seguridad.

$$H_{ft} = K' N^{3/4} \left[\frac{4}{\pi} N^2 + \frac{1}{2} N + \frac{\sqrt{13}}{12} \right]$$

$$K' = K_f S (q N)^{1/4}$$

$$K_f = 0.0246 \left(\frac{V}{D^{1.75}} \right)^{1/4}$$

$$K_f = 0.0246 \left(\frac{1.0068 \times 10^{-5}}{5.717 \times 10^{-22}} \right)^{1/4}$$

$$K_f = 0.0246 (0.1761 \times 10^{16})^{1/4} : K_f = 0.015936 \times 10^4$$

$$\therefore K_f = 159.36$$

$$K' = 159.36 (1.111 \times 10^{-5} \times 28)^{3/4}$$

$$K' = 159.36 (31.111 \times 10^{-6})^{1.75}$$

$$K' = 159.36 (409.825 \times 10^{-10.5})$$

$$K' = 65309.712 \times 3.1623 \times 10^{-10}$$

$$K' = 206528.9 \times 10^{-10} : K' = 0.0000207$$

$$H_{ft} = 0.0000207 \times 28^{3/4} \left[\frac{4}{\pi} (184) + \frac{1}{2} (28) + \frac{\sqrt{13}}{12} \right]$$

$$H_{ft} = 0.0000207 \times 12.7 [288.69 + 14.60 + 0.30]$$

$$H_{ft} = 0.000252 [299.59] = 0.0754 \text{ m}$$

$$H_{ft} = 0.0754 \text{ m}$$

Cálculo de la pérdida de carga en la tubería principal:

$$H_{ft} = K' N^{3/4} \left[\frac{4}{11} N^2 + \frac{1}{2} N + \frac{\sqrt{13}}{12} \right]$$

$$K' = K_f S (q N)^{3/4}$$

$$K_f = 0.0246 \left(\frac{\gamma}{\phi_{1.9}} \right)^{1/4}$$

$$K_f = 0.0246 \left(\frac{1.0068 \times 10^{-6}}{5.717 \times 10^{-22}} \right)^{1/4}$$

$$K_f = 0.0246 (0.1761 \times 10^{16})^{1/4} \therefore K_f = 0.015936 \times 10^4$$

$$\therefore K_f = 159.36$$

$$K' = 159.36 (1.111 \times 10^{-6} \times 28)^{3/4}$$

$$K' = 159.36 (31.111 \times 10^{-6})^{1.75}$$

$$K' = 159.36 (409.825 \times 10^{-10.5})$$

$$K' = 65309.712 \times 3.1623 \times 10^{-10}$$

$$K' = 206528.9 \times 10^{-10} \therefore K' = 0.0000207$$

$$H_{ft} = 0.0000207 \times 28^{3/4} \left[\frac{4}{11} (784) + \frac{1}{2} (28) + \frac{\sqrt{13}}{12} \right]$$

$$H_{ft} = 0.0000207 \times 12.17 [285.09 + 14.00 + 0.30]$$

$$H_{ft} = 0.000252 [299.39] \therefore$$

$$H_{ft} = 0.0754 \text{ m.}$$

Se determinará ahora el régimen del flujo en las líneas regantes:

$$q = 1.111 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{seg} \quad q_L = q \times 28 \quad \therefore$$

$$q_L = 31.108 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{seg}; \quad A_2 = 0.000127 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{q_L}{A_2} \quad \therefore \quad V = \frac{31.108 \times 10^{-6}}{12.70 \times 10^{-5}} \quad \therefore \quad V = 0.2449 \text{ m}/\text{seg}$$

$$R = \frac{0.2449 \times 0.0127}{1.0068 \times 10^{-6}} \quad \therefore \quad R = 0.0030892 \times 10^6$$

$$R = 3089.2$$

El número de Reynolds nos indica que el flujo está localizado en la zona crítica tendiendo hacia el régimen laminar en tubos lisos por lo que calcularemos las pérdidas por fricción en las líneas regantes considerando el flujo como laminar, ya que calculándolas como flujo turbulento, dan resultados muy fuera de la realidad (del orden de 700 m).

Cálculo de la pérdida de carga en una línea regante:

$$h_{ft} = Kn(n+1); \quad K = \frac{K_L q}{2}; \quad K_L = \frac{64s\gamma}{2g\phi^2 A_2}$$

$$K_L = \frac{64(1.8)(1.0068 \times 10^{-6})}{2(9.81)(0.0127)^2(0.000127)} \quad \therefore \quad K_L = 288.658$$

$$K = \frac{288.658(1.111 \times 10^{-6})}{2} \quad \therefore \quad K = 0.000160$$

$$h_{ft} = 0.000160 \times 28 \times 29 \quad \therefore$$

$$h_{ft} = 0.13 \text{ m}$$

Como ya se dijo en el capítulo anterior, las pérdidas de carga locales son una función de la carga de velocidad, la que se expresa como:

$$\frac{v^2}{2g}$$

Pérdidas de carga localizadas en la tubería principal.

$$\frac{v^2}{2g} = 0.001839 \text{ m (carga de velocidad)}$$

Pérdida de carga por filtros de mallas

$$h_{ff} = 3.2 \frac{v^2}{2g}$$

$$h_{ff} = 3.2 (0.001839)$$

$$h_{ff} = 0.00588 \text{ m}$$

Pérdida de carga por entrada:

$$h_o = 0.23 \frac{v^2}{2g}$$

$$h_o = 0.23 (0.001839)$$

$$h_o = 0.000423 \text{ m}$$

Pérdida de carga por la válvula de control:

$$h_v = 0.14 \frac{v^2}{2g}$$

$$h_v = 0.14 (0.001839)$$

$$h_v = 0.000257 \text{ m}$$

Pérdida de carga por codo:

$$h_b = 0.2 \frac{v^2}{2g}$$

$$h_b = 0.2 (0.001839)$$

$$h_b = 0.0003678$$

Pérdida de carga por contracción súbita debida a las tes en la tubería principal:

$$h_{ct} = 28 (0.03 \frac{v^2}{2g})$$

$$h_{ct} = 0.84 (0.001839)$$

$$h_{ct} = 0.001545 \text{ m}$$

Pérdida de carga por ensanchamiento súbito debida a las tes en la tubería principal:

$$h_{et} = 28 (0.08 \frac{v^2}{2g})$$

$$h_{et} = 2.24 (0.001839)$$

$$h_{et} = 0.004119 \text{ m}$$

Pérdida de carga por bifurcación en las tes en la tubería principal:

$$h_{lp} = 28 (0.05 \frac{v^2}{2g})$$

$$h_{lp} = 1.4 (0.001839)$$

$$h_{lp} = 0.00257 \text{ m}$$

En las líneas regantes $v = 0.245 \text{ m/seg}$ y la carga de velocidad será:

$$\frac{v^2}{2g} = 0.003059 \text{ m}$$

Pérdida de carga por contracción súbita en los goteros:

$$h_{cg} = 28 \left(0.07 \frac{v^2}{2g} \right)$$

$$h_{cg} = 1.96 \left(0.003059 \right)$$

$$h_{cg} = 0.0060 \text{ m}$$

Pérdida de carga por ensanchamiento súbito en los goteros:

$$h_{eg} = 28 \left(0.10 \frac{v^2}{2g} \right)$$

$$h_{eg} = 2.8 \left(0.003059 \right)$$

$$h_{eg} = 0.0086 \text{ m}$$

Pérdida de carga por salida en los goteros (Ref. Pág. 118):

$$h_l = 28 \left(\frac{1.2345 \times 10^{-12}}{31,588 \times 10^{-8}} \right)$$

$$h_l = 1.09 \times 10^{-4}$$

$$h_l = 0.0001 \text{ m}$$

Sumando las pérdidas de carga por fricción y locales tendremos:

$$h_{ft} = 0.0754 \text{ m}$$

$$h_{ft} = 0.1300 \text{ m}$$

$$h_{ff} = 0.0059 \text{ m}$$

$$h_0 = 0.0004 \text{ m}$$

$$h_v = 0.0003 \text{ m}$$

$$h_b = 0.0004 \text{ m}$$

$$h_{ct} = 0.0016 \text{ m}$$

$$h_{et} = 0.0042 \text{ m}$$

$$h_{lp} = 0.0026 \text{ m}$$

$$h_{cg} = 0.0060 \text{ m}$$

$$h_{eg} = 0.0086 \text{ m}$$

$$h_l = 0.0001 \text{ m}$$

Siendo la pérdida de carga total:

$$H_T = 0,2355 \text{ m}$$

Para determinar el costo del equipo propuesto, se tendría que hacer un análisis de adquisición de maquinaria de inyectado de plástico, troqueles y moldes para la fabricación del gotero y t-reducción, amortización del capital, costos de producción y mantenimiento, etc., por lo que no se puede determinar con exactitud el precio de los emisores y tes-reducción. Sin embargo, tomando en cuenta los precios existentes en el mercado asignaremos a los goteros y a las tes-reducción de inserción un valor máximo de \$3.50 y \$125.00, respectivamente, para hacer la evaluación económica de un proyecto hipotético de 1 Ha (en muchos de los estados de la República Mexicana como Morelos, Hidalgo, Michoacán, Tlaxcala, etc., está muy extendido el minifundio, en el que la superficie de la tierra cultivable no se mide en hectáreas sino en tareas, siendo una tarea la décima parte de 1 Ha, o sea 1000 m^2). En esta Ha se sembrarán maíz y frijol en dos ciclos anuales (primavera y verano) suponiendo que el aprovechamiento es un pozo a cielo abierto con un nivel dinámico de 10.00 m y que en el aforo proporcionó un gasto de 1 lps, necesitándose 0.8 lps durante 8 horas diarias de riego como máximo, ya que al saturarse el suelo después de los 5 primeros días de riego la necesidad de agua disminuirá, necesitándose hacer pruebas y experimentos para calcular la demanda de agua en este sistema de riego en función de rendimientos obtenidos con diferentes regímenes. Supondremos que en nuestro caso se construye el tanque de mampostería de tercera clase.

Selección del equipo de bombeo

La potencia del motor que accionará la bomba se calculará con la fórmula:

$$\text{Pot} = \frac{\gamma QH}{\eta 75} \text{ (H.P.)}$$

$$\gamma = 1000 \text{ Kg/m}^3$$

$$H = 10.00 \text{ m} + 5.00 \text{ m} = 15.00 \text{ m}$$

$$\eta = 80\%$$

$$Q = 28 \times 28 \times 1.111 \times 10^{-6} = 871.024 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{seg} \quad Q = 0.000871 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$\text{Pot} = \frac{1000 \times 0.000871 \times 15}{60}$$

$$\text{Pot} = 0.2177 \text{ H.P.}$$

$$\text{Pot} = 1/4 \text{ H.P.}$$

Para tener un margen de seguridad por si el nivel dinámico del agua se abate, se adopta una bomba accionada por un motor eléctrico de $\frac{1}{2}$ H.P.

Se necesitarán 20 m de tubería galvanizada con las conexiones necesarias, un medidor de volúmenes y el flotador con el interruptor electromecánico. El tanque elevado, con capacidad aproximada de 12.00 m^3 , llevará su juego de filtros y el agitador mecánico de aspas, adaptador de inserción para 3" de ϕ , válvula de control y manómetro. En la zona de riego se necesitarán 100 m de tubería de cloruro de polivinilo de 3" de diámetro y 1,400 m de la misma tubería de $\frac{1}{2}$ " de ϕ , 28 tes-reducción de inserción y 784 emisores teniéndose el siguiente presupuesto.

RESUMEN DEL PRESUPUESTO PARA EL TANQUE DE MAMPOSTERIA

<u>CONCEPTO</u>	<u>UNIDAD</u>	<u>CANTIDAD</u>	<u>PRECIO UNITARIO (\$)</u>	<u>IMPORTE (\$)</u>
<u>Obra Civil e Instalaciones Fijas</u>				
Losa de cimentación de concreto armado (3.00 m x 4.00 m x 0.17 m)	m ³	2	1,700.00	3,400.00
Mampostería de 3a. clase	m ³	3	750.00	2,250.00
Flotador electromecánico	pza.	1	300.00	300.00
Filtro de mallas	pza.	1	300.00	300.00
Medidor de volúmenes	pza.	1	1,200.00	1,200.00
Agitador mecánico de aspas	pza.	1	800.00	800.00
Adaptador de 3" de ϕ de inserción	pza.	1	100.00	100.00
Válvula de control de 3" de ϕ	pza.	1	850.00	850.00
Manómetro para 5Kg./cm ²	pza.	1	250.00	250.00
Abrazadera de 3" de ϕ	pza.	1	14.00	<u>14.00</u>
Suma				9,464.00
Imprevistos				<u>936.00</u>
Suma				10,400.00
Dirección y Administración				<u>1,600.00</u>
Suma				<u>12,000.00</u>

<u>CONCEPTO</u>	<u>UNIDAD</u>	<u>CANTIDAD</u>	<u>PRECIO UNITARIO (\$)</u>	<u>IMPORTE (\$)</u>
<u>Zona de Riego</u>				
Tubería de P.V.C. de 3" de ϕ	m	100	27.85	2,785.00
Tubería de P.V.C. de 1/2" de ϕ	m	1,400	2.10	2,940.00
Te-reducción de inserción de 3" a 1/2" de ϕ	pza.	28	125.00	3,500.00
Emisores	pza.	784	3.50	2,744.00
Bomba con motor eléctrico de 1/2 H.P. con conexiones y tubería	pza.	1	2,500.00	<u>2,500.00</u>
Suma				<u>14,469.00</u>

La tubería de P.V.C. en la zona de riego se cambiará cada 10 años, siempre y cuando se tenga un cuidado adecuado en su manejo, la bomba cada 2 años, se asignará un 20% del valor de la tubería como concepto de operación y conservación para la evaluación económica del proyecto. Suponiendo que se siembren maíz y frijol en ciclos de primavera y verano, no se tomará en cuenta en dicha evaluación económica la utilidad extra que representaría la siembra de algunas hortalizas de ciclo vegetativo corto tales como la calabacita, rábano, etc., que pueden sembrarse en invierno.

El Banco de Crédito Rural proporciona un crédito refaccionario con una tasa de interés del 13% anual y un plazo de amortización de 5 años. Los costos de cultivo por maíz y frijol serán aproximadamente de \$1,000.00/Ha y \$1,500.00/Ha, respectivamente teniéndose la utilidad que se indica en el siguiente cuadro:

<u>Cultivo</u>	<u>Sup. (Ha)</u>	<u>Rendimiento (Ton/Ha)</u>	<u>Precio Rural (\$/Ton)</u>	<u>Valor de la Cosecha (\$)</u>	<u>Costo Cultivo (\$)</u>	<u>Beneficio Neto</u>
<u>Primer Año Productivo</u>						
Maiz (P)	1.0	3.0	2,340	7,020	1,000	6,020
Rastrojo	(1.0)	4.0	200	800	120	680
Frijol (V)	(1.0)	0.7	5,500	3,850	1,500	<u>2,350</u>
SUMA	1.0					<u>9,050</u>
<u>Segundo Año Productivo</u>						
Maiz (P)	1.0	3.5	2,340	8,190	1,000	7,190
Rastrojo	(1.0)	4.7	200	940	120	820
Frijol (V)	(1.0)	1.1	5,500	6,050	1,500	<u>4,550</u>
SUMA	1.0					<u>12,560</u>
<u>Tercer, Cuarto y Quinto Años Productivos</u>						
Maiz (P)	1.0	4.0	2,340	9,360	1,000	8,360
Rastrojo	(1.0)	5.5	200	1,100	120	980
Frijol (V)	(1.0)	1.5	5,500	8,250	1,500	<u>6,750</u>
SUMA	1.0					<u>16,090</u>

La inversión se hará en los términos siguientes:

En el primer año se construirá el tanque, se adquirirá el material para la zona de riego, se preparará la tierra para la siembra, se instalará el equipo de riego.

En el cuarto año, tercero productivo, se cambiará la bomba y del segundo al quinto año se considerará el costo por operación y conservación, quedando las inversiones, beneficios, factores de actualización y relación beneficio-costos, asentados en el cuadro siguiente:

<u>Año</u>	<u>Inversión</u> <u>(\$)</u>	<u>Operación</u> <u>y Conser-</u> <u>vación</u> <u>(\$)</u>	<u>Total</u> <u>(\$)</u>	<u>Factor</u> <u>de Actua-</u> <u>lización</u> <u>(13%)</u>	<u>Inversio-</u> <u>nes Actua-</u> <u>lizadas</u> <u>(\$)</u>	<u>Beneficios</u> <u>(\$)</u>	<u>Factor</u> <u>de Actua-</u> <u>lización</u> <u>(13%)</u>	<u>Benefi-</u> <u>cios</u> <u>Actuali-</u> <u>zados</u> <u>(\$)</u>
1	26,469		26,469	0.8849	23,422			
2		1,145	1,145	0.7832	897	9,050	0.7832	7,087
3		1,145	1,145	0.6931	794	12,560	0.6931	8,705
4	2,500	1,145	3,645	0.6133	2,235	16,090	0.6133	9,868
5		1,145	1,145	0.5428	<u>622</u>	16,090	0.5428	<u>8,734</u>
SUMA					<u>27,970</u>			<u>34,394</u>

RELACION BENEFICIO-COSTO B/C = 1.230

La relación B/C ligeramente mayor que 1, indica que el proyecto es económicamente factible.

El caso que se analizó anteriormente es el más desfavorable de todos por las siguientes razones:

- 1a. Por la construcción del tanque de concreto armado que puede ser sustituido por una bomba de 1" de \emptyset accionada por un motor eléctrico de 1 H.P. con valor aproximado de \$3,000.00, con la desventaja sobre el tanque que hay que cambiarse y éste servirá para muchos años.
- 2a. Los cultivos seleccionados son los menos remunerativos pudiendo sembrarse hortalizas como la lechuga, zanahoria, cebolla, jitomate, etc. que serían mucho más remunerativos.
- 3a. No se tomó en cuenta la utilidad derivada de las hortalizas de ciclo corto que podrían sembrarse entre cultivos en invierno tales como el rábano, lechuga romana, ejote, etc.
- 4a. Con los cultivos seleccionados, maíz y frijol, se puede proponer un plan de siembra intercalado, es decir, juntos, con lo que aumentaría notablemente el rendimiento en los dos ciclos ya que el frijol es una oleaginosa que fija nitrógeno en el suelo, mismo que es aprovechado por el maíz, con la desventaja de que la cosecha del frijol se dificulta. Esta es una práctica común en los minifundios.

CONCLUSIONES

En el Capítulo I de este trabajo se mencionaron algunas de las ventajas y desventajas del sistema de riego por goteo con respecto a los sistemas tradicionales. Estas se pueden considerar como siguen:

Ventajas de un Sistema de Riego por Goteo Comercial

- 1a. Aumenta la eficiencia de riego por conceptos de conducción y aplicación de un 65% a un 90% ó 95%, ya que las pérdidas por conducción, aplicación y evaporación son mínimas.
- 2a. No se pierde el agua por penetración profunda quedando fuera de la zona de absorción de la zona radicular de la planta.
- 3a. No se presenta el fenómeno de erosión de las tierras cultivables que son arrastradas por el agua en terrenos de mediana o fuerte pendiente.
- 4a. No se presenta el fenómeno de lexiciviación o arrastre de materias nutrientes por penetración profunda del agua.
- 5a. Se puede incrementar la superficie de cultivo, con la misma cantidad de agua, hasta en un 25%.

Desventajas

- 1a. El alto costo de la inversión inicial que lo hace prohibitivo para cultivos como el maíz y frijol, que son tradicionales en nuestro país, siendo aplicable únicamente a frutales como la vid, aguacate, durazno, etc. que son mucho más remunerativos.
- 2a. El taponamiento de los emisores de gasto constante y el costo más o menos elevado por concepto de operación y conservación, ya que es difícil que un campesino lo haga en forma adecuada.
- 3a. El poco conocimiento técnico que se tiene de este sistema y lo poco difundido que se encuentra en muchas partes de la República.

A continuación se mencionarán las ventajas y desventajas del sistema de riego propuesto en este trabajo con respecto a uno comercial.

Ventajas

- 1a. El abatimiento en el costo de la inversión inicial de \$70,000.00/Ha. a \$27,000.00/Ha.), lo que lo hace accesible a muchos campesinos para el cultivo de maíz, frijol, hortalizas, etc., como quedó demostrado en la evaluación económica del proyecto presentado.
- 2a. La diferencia tan contrastante en las pérdidas de carga hidráulica (de 20.00 m en el equipo comercial a 0.25 m en el propuesto).

- 3a. El abatimiento en los costos de operación y conservación, ya que se suprime mucho del equipo comercial, tales como el tanque fertilizante, el juego de filtros, el cabezal, etc.
- 4a. La ocupación de los tiempos ociosos de los campesinos en la instalación y mantenimiento del sistema propuesto.
- 5a. El menor taponamiento de los goteros.
- 6a. Una mayor eficiencia en la aplicación del agua debida a la disminución de probabilidad de falla mecánica por tener menos elementos mecánicos.

Desventajas

- 1a. Se tendría que adquirir la maquinaria para el inyectado de los emisores y tes-reducción, con el propósito de no obtener ganancias desmedidas, como sucede en el campo industrial y comercial, y en verdad hacer algo real y palpable en favor del campesino que es quien, a fin de cuentas, nos proporciona nuestro diario alimento.
- 2a. Por ser goteros de gasto regulable, será muy engorroso la calibración inicial y su marcación en el lugar definitivo dentro de la zona de riego.

- 3a. Se tendrán que detectar fallas por ser un sistema no probado aún y corregirlas.

BIBLIOGRAFIA

Memoranda Técnicos, publicados por la Secretaría de Agricultura y
Recursos Hidráulicos.

Memorias del Seminario sobre Riego por Goteo. Hermosillo, Son.
1975.