

EVALUACION DE LA OPERACION DEL SISTEMA DE RIEGO DE  
TOCUYO LA COSTA Y FIJACION DE BASES OPERACIONALES A  
FIN DE MEJORAR EL USO DEL RECURSO AGUA

Por:  
Julio Enrique Palacios S.

Tesis para Optar al Grado de Magister Scientiae en  
Ingeniería de Riego y Drenaje

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO INTEGRAL  
DE AGUAS Y TIERRAS (CIDIAT)  
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
MERIDA - VENEZUELA  
1988

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

*A mis padres*

*A mis hermanos*

*y*

*amigos que me apoyaron*

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## AGRADECIMIENTO

A través de estas líneas, deseo expresar mi agradecimiento a todas aquellas personas e instituciones que de alguna forma intervinieron en la realización de mis estudios y de este trabajo.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias de la SARH, por haber brindado su apoyo y haberme permitido realizar mis estudios.

A la Organización de los Estados Americanos, ya que sin su apoyo no hubiera sido posible la realización de este trabajo y de mi estancia en el CIDIAT.

A FONCOPAL y GUNDESOL, organismos que financiaron y se preocuparon por la realización de este trabajo de investigación.

Al personal de la Oficina de FONCOPAL Falcón, por su valiosa ayuda y esfuerzo, que hicieron posible la terminación oportuna del trabajo, en especial al Ing. Iraima Chacón.

Al personal del CIDIAT, que durante año y medio me dieron todas las facilidades para la realización de mis estudios y de mi tesis.

A Elizabeth Flores y Josefina Chacón O., por el mecanografiado del presente trabajo.

Al personal del campo experimental del Valle del Mayo, que me brindó su apoyo y todas las facilidades para estudiar.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

# I N D I C E

	Página
AGRADECIMIENTO.....	v
LISTA DE TABLAS.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE SIMBOLOS.....	xv
RESUMEN.....	xix
 Capítulo	
I. INTRODUCCION.....	1
Objetivos.....	4
II. REVISION DE LITERATURA.....	5
Definición de distrito o sistema de riego.....	5
Definición de operación de distritos o sistemas de riego..	5
Fases de la operación.....	6
Proceso de planeación.....	7
Proceso de ejecución.....	7
Proceso de control .....	9
Proceso de evaluación.....	10
Antecedentes del sistema de riego Tocuyo La Costa, Estado Falcón.....	10
Ubicación del sistema de riego.....	10
Geomorfología de la zona.....	11
Hidrología .....	11
Obras del embalse.....	12
Características principales del embalse.....	12
Red de riego.....	13
Climatología.....	13
Edafología.....	16
Cultivo .....	17
III. FUNDAMENTOS TECNICOS DE LA OPERACION DE SISTEMAS DE RIEGO...	19
Planeación de la operación de un sistema de riego.....	19
Estimación de las demandas.....	19

## INDICE (Continuación)

	Página
Demanda neta del riego.....	19
Lámina neta.....	22
Frecuencia de riego.....	22
Eficiencia del uso del agua.....	22
Demanda bruta de riego del sistema.....	24
Lámina bruta de riego.....	24
Plan de riego .....	24
Demanda total.....	24
Estimación de las disponibilidades de agua.....	25
Superficie factible de riego.....	26
Ejecución y control del plan de riegos.....	27
Métodos para estimar la eficiencia de conducción.....	29
Método de la diferencia de caudales.....	29
Método del estanque modificado.....	30
Operación de estructuras y canales.....	31
Control de la operación.....	32
Métodos de aforo .....	33
Método de sección y velocidad .....	33
Control de caudales entregados.....	35
Gráficas de eficiencias de canales.....	36
Control del plan de riegos.....	38
IV. MATERIALES Y METODOS.....	39
Análisis de la situación general del sistema de riego...	39
Estimación de las demandas netas de riego.....	43
Estimación de la evapotranspiración.....	43
Necesidades de riego del cultivo.....	44
Modelo de simulación de drenaje subterráneo (DRPR)...	44
Estructura del modelo.....	47
Calibración del modelo.....	48
Uso del modelo.....	49



## INDICE (Continuación)

	Página
Influencia de los niveles freáticos.....	49
Determinación de la eficiencia de conducción.....	56
Estimación de aportaciones .....	59
Modelo de simulación hidrológica (SIHIM).....	59
Estructura del modelo.....	60
Calibración del modelo .....	61
Funcionamiento del embalse.....	61
Modelo de la simulación de la operación de un embalse.	62
Estructura del modelo.....	62
Calibración del modelo.....	63
V. RESULTADOS Y DISCUSION.....	65
Diagnóstico de la situación actual del sistema de riego..	65
Estado de conservación de las obras.....	65
Operación y manejo del sistema .....	68
Diseño del sistema de riego .....	69
Operación y manejo actual del sistema de riego.....	71
Manejo de riego a nivel parcelario .....	78
Operación del embalse.....	83
Estado general del cultivo.....	87
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	91
Conclusiones.....	91
Recomendaciones .....	92
BIBLIOGRAFIA .....	95

## INDICE (Continuación)

	Página
APENDICES	
APENDICE 1: ANALISIS DEL SUELO.....	97
APENDICE 2: AFOROS.....	101
APENDICE 3: CALIBRACION CANAL PRINCIPAL .....	115
APENDICE 4: MODELO DE SIMULACION DE DRENAJE SUBTERRANEO (DRPR)..	123
APENDICE 5: MODELO DE SIMULACION HIDROLOGICA MENSUAL (SIHIM)....	151
APENDICE 6: MODELO DE SIMULACION ESTOCASTICA (LAPGM).....	167
APENDICE 7: MODELO DE SIMULACION DE OPERACION DE EMBALSES (S130E).....	179

## LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
1	Características de los canales laterales.....	14
2	Profundidad radicular, del nivel freático y de la capa endurecida .....	43
3	Datos climatológicos de la estación Tocuyo de la Costa (0396).....	45
4	Balance hídrico (sin aporte freático).....	46
5	Flujo de ascenso capilar máximo. Suelo arenoso.....	52
6	Balance hídrico (con aporte freático).....	54
7	Producción relativa para diferentes profundidades radicales y diferentes profundidades del nivel freático.....	55
8	Eficiencia global de riego en el año de 1987.....	72
9	Eficiencias de conducción por tramo de canal.....	75
10	Lámina de riego necesaria para elevar a capacidad de campo la humedad del suelo, a diferentes profundidades.....	81
11	Láminas de riego adicionales para elevar el nivel freático a 60 cm de profundidad (porosidad drenable 0.2).....	82
12	Calidad del agua freática.....	84
13	Curva elevación-área-capacidad del embalse Jatira-Tacarigua, Estado Falcón.....	85
14	Resultados del movimiento del embalse en 50 años.....	86
15	Volúmenes a extraer del embalse, para diferentes niveles del manto freático.....	88

LISTA DE TABLAS (Continuación)

Tabla		Página
16	Comparación entre plantación de cocoteros con riego y sin riego en el Estado Falcón.....	89
17	Principales causas de erradicación de plantas.....	90

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Red de canales de riego.....	15
2	Perfil del suelo en una calicata.....	40
3	Ubicación de los pozos de observación .....	41
4	Isobatas mes de marzo.....	42
5	Esquema general para la interpretación de la influencia del nivel freático en la productividad de los cultivos (Tomado de Aguirre y Norero, 1982).....	50
6	Puente de control.....	57
7	Aforo en el canal trapezoidal de tierra.....	58
8	Aforo en el canal rectangular de concreto.....	58
9	Conservación deficiente en la toma de un lateral .....	66
10	Compuerta tipo AMIL.....	67
11	Vertedor "Pico de pato" de Neyrpic.....	68
12	Inicio del canal principal.....	69
13	Vertedor "Pico de pato" dañado.....	71
14	Riego a nivel parcelario .....	73
15	Toma clandestina en el canal principal.....	77

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## LISTA DE SIMBOLOS

Símbolo	Definición
$a$	Coefficiente de la eficiencia intrínseca
$A$	Area de la sección
$b$	Coefficiente de la eficiencia operacional
$d_b$	Lámina bruta de riego
$d_{bt}$	Lámina bruta total del sistema
$d_{ca}$	Aporte freático
$d_d$	Lámina disponible en el suelo
$d_n$	Lámina neta
$\bar{d}_n$	Lámina neta ponderada
$d_{pc}$	Lámina bruta en el punto de control
$d_r$	Lámina bruta empleada en el riego
$d_T$	Lámina total disponible en el suelo
DBR	Demanda bruta de riego
DNR	Demanda neta de riego
$E_{fc}$	Eficiencia de conducción
$E_{fq}$	Eficiencia global de riego
$E_{fr}$	Eficiencia de riego
$E_T$	Evapotranspiración real
ETP	Evapotranspiración potencial
$f$	Factor de control de riego
$F$	Factor de pérdidas

LISTA DE SÍMBOLOS (Continuación)

Símbolo	Definición
$F_r$	Frecuencia de riego
$F_{Lim}$	Flujo de ascenso capilar máximo
$K$	Coefficiente de cultivo
$m$	Número del mayor al menor
$n$	Coefficiente de Manning
$P$	Precipitación total
$P_b$	Probabilidad acumulada de ocurrencia
$P_e$	Precipitación efectiva
$\frac{P}{P_p}$	Producción relativa
$q$	Caudal en toma parcelaria
$Q$	Caudal del canal o sistema
$Q_e$	Caudal entregado a las parcelas
$Q_d$	Caudal derivado en el punto de control
$Q_i$	Caudal que entra al tramo
$Q_n$	Caudal normal de operación
$Q_p$	Caudal de pérdidas
$Q_s$	Caudal que sale del tramo
$Q_t$	Caudal derivado por la toma del terciario



LISTA DE SIMBOLOS (Continuación)

Símbolo	Definición
$R_h$	Radio hidráulico
$S$	Pendiente del fondo del canal
$S_r$	Superficie regada
$TOTE_j$	Total de entradas al vaso en el mes $j$
$TOTS_j$	Total de salidas del vaso en el mes $j$
$VOL_{j+1}$	Volumen inicial del mes $j+1$
$VOL_j$	Volumen inicial del mes $j$
$W$	Profundidad del nivel freático
$W_c$	Capacidad de campo (%)
$W_m$	Marchitez permanente (%)
$y$	Zona de subaeración
$z$	Número de eventos observados
$\rho_a$	Densidad aparente

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## RESUMEN

En el sistema de riego del Tocuyo La Costa, en los meses de abril y mayo, se hizo un trabajo de investigación sobre el funcionamiento y operación del mismo, con el objetivo de cuantificar pérdidas, desperdicios de agua y analizar su disponibilidad y demandas, formulando un plan de riegos expresado en reglas de operación que permitan mejorar el uso del recurso agua a nivel de sistema, y determinar el manejo del agua apropiado a nivel de predio, con el fin de regular la humedad en el suelo y aumentar la productividad del cultivo del coco.

Se hizo un diagnóstico de la situación general del sistema de riego, que incluyó un recorrido por éste, construcción y muestreo de pozos de observación de la napa freática, muestreo de suelo y medición de caudales en diferentes puntos de la red de canales. Se usó un modelo de simulación de drenaje, para estimar los niveles freáticos y determinar su influencia tanto positiva como negativa en el desarrollo del cultivo; se siguió el procedimiento propuesto por Aguirre y Norero (1982). Como se tenía información sobre escurrimientos al embalse, éstos se generaron con un modelo de simulación hidrológica y se calibró con información proporcionada por el MARNR. Se generaron 2 trazas sintéticas de 25 años en un modelo de simulación estocástica autoregresivo, y se simuló el movimiento del embalse con uno y dos riegos al año, con una demanda por riego de  $19.278 \text{ Hm}^3$  y una demanda para uso urbano de 200 l/s.

Los resultados indican que el estado de conservación de las obras del sistema de riego no es el adecuado, trayendo como consecuencia problemas para la conducción del agua así como para su distribución a los usuarios; el sistema de riego no se opera de acuerdo a como fue diseñado, falta una planificación del riego y control del agua en los canales, su distribución no se ajusta a las demandas del cultivo, no siendo, además, equitativa ni flexible. La operación del embalse es muy restrictiva para el riego y sobreprotege al uso urbano, por lo que se desperdicia mucha agua, que podría utilizarse para aumentar la superficie bajo riego y por ende el beneficio de

la región; tal como se aplica el riego, éste no garantiza la regulación de la humedad en el suelo en forma adecuada, por lo que el cultivo sufre por se quía y por exceso de humedad afectando sustancialmente su productividad.

Para mejorar la distribución del agua, es necesario operar el sistema de acuerdo a como fue diseñado, controlando los tirantes con las com puertas automáticas AMIL y estableciendo un programa de orden de riegos por canal. Las pérdidas de conducción resultaron estar en un rango aceptable, pues la eficiencia de conducción de la red de riego es de 68.41%. Con el fin de mejorar el manejo del riego a nivel parcelario, se propone utilizar como referencia el nivel freático, regando de tal forma, que el nivel freático no suba más de 60 cm y no baje más de 135 cm de la superficie del terreno.

Aunque el sistema de riego fue proyectado para regar por superficie, las particulares condiciones edáficas y geohidrológicas del área, lo transforman en una subirrigación informal, ya que los productores aplican grandes volúmenes de agua elevando los niveles freáticos, satisfaciendo gran parte de las demandas evapotranspiratorias del cultivo, durante el período de sequía. Los métodos convencionales para calcular la eficiencia parcelaria de riego no son pertinentes, pues parte del agua percolada debe considerar se como agua útil.

Dadas las características hidráulicas y agrícolas del sistema, y la escasa participación que en la administración del mismo tienen los organismos públicos, es conveniente responsabilizar de la operación y conservación a una junta de usuarios.

## CAPITULO I

### INTRODUCCION

En América Latina, la agricultura bajo riego constituye una importante fuente de producción de alimentos desde antes de la conquista.

Actualmente en países como México, Argentina, Chile y Perú, que cuentan con amplias zonas áridas, el desarrollo del riego ha sido fundamental para el crecimiento económico y para la producción de alimentos.

En otros países con clima tropical y subtropical, principalmente, como lo es el caso de Brasil, Venezuela, Colombia, Ecuador y otros países de Centroamérica y del Caribe, el riego ha hecho posible extender los períodos de cultivo a todo el año y, además, dedicar tierras a la siembra del arroz.

En la mayoría de los países latinoamericanos, el financiamiento, construcción y manejo de los sistemas de riego es casi en su totalidad realizado por el sector público. En algunos, como en el caso de México, Perú o Argentina, el objetivo de la construcción de las obras de riego está definido en sus leyes de aguas. En cambio en otros no se ha seguido una política definida al respecto.

En Venezuela, en el año de 1949 se inicia el Plan Nacional de Irrigación, cuyo objetivo fue la construcción y aprovechamiento de las obras de riego al servicio de la reforma agraria, definiéndose una política de riego por parte del estado; después, en 1967, se crea la Comisión del Plan Nacional de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos (COPLANARH), la cual tenía como función fijar las estrategias y directrices a largo plazo, así como llevar un control de la administración de las aguas, entre ellas las destinadas a la irrigación.

Posteriormente, en 1976 se crea la Dirección General de Riego, dependiente del Ministerio de Agricultura y Cría (MAC), cuya responsabilidad es con

ducir el desarrollo integral de los sistemas de riego, quedando en el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables (MARNR) la coordinación de las actividades relativas al riego. Así, el MARNR define las disponibilidades de utilización del agua y el MAC el uso, manejo y distribución de la misma. (Colegio de Ingenieros de Venezuela, 1983).

Según el MOP (1975), existen 23 grandes sistemas de riego controlados por el estado, cuya superficie regable varía de 500 a 60.000 ha, de las cuales el avance de obras representa sólo el 54.9%, el aprovechamiento de la superficie bajo riego es del 64,2% y el coeficiente de uso de la tierra es del 47.5 %. Dichos índices muestran la subutilización de los sistemas de riego en Venezuela.

Aun cuando los sistemas de riego representan una pequeña superficie del total nacional cosechado: 4.2% (Colegio de Ingenieros de Venezuela, 1983) y son deficientemente aprovechados, el nivel de producción por hectárea es mucho más alto que en el resto del sector agrícola, llegando a ser casi el doble, además de que posibilita la producción de cultivos básicos como el arroz, en el cual el riego contribuye con más de la mitad del total nacional.

El deficiente aprovechamiento de los sistemas de riego en Venezuela parece estar relacionado con las siguientes condiciones básicas:

1. La inexistencia de una política definida y coherente en cuanto a riego se refiere.
2. El desarrollo físico es incompleto en la mayoría de los sistemas.
3. Existen deficiencias en la operación y el manejo de los sistemas.

Las deficiencias de operación y de manejo de los sistemas de riego se pueden corregir con poca inversión, con el consiguiente aumento de la eficiencia del uso de los recursos agua y suelo, aumentando así las disponibilidades

de agua, de superficie a regar y, por ende, de los beneficios obtenidos.

Al ser la operación la actividad básica para un apropiado manejo del agua en todo sistema de riego, es necesario establecer reglas que permitan optimizar el manejo de este recurso, sobre todo donde la escasez de agua sea limitante para la producción agrícola. Un caso representativo a este respecto en Venezuela, lo constituye el sistema de riego Tocuyo de la Costa, en el estado de Falcón, el cual fue originalmente concebido para la explotación bajo riego de 6600 ha aproximadamente de cocoteros, y dicha superficie no se ha podido regar debido a que la fuente principal de agua para riego, el embalse Jatira-Tacarigua, no parece tener la capacidad suficiente para cubrir las demandas de riego, las cuales se ven incrementadas significativamente debido a las bajas eficiencias de riego y al mal manejo del sistema.

Lo expuesto trajo como consecuencia que sólo un sector del sistema de riego fuera construido: la margen derecha del río Tocuyo, con aproximadamente 2500 ha de cocoteros bajo riego. El segundo sector, ubicado en la margen izquierda, el cual sólo se riega en una pequeña parte cuando hay disponibilidades de agua, a través de bombeo directo del caño Cadillal y del caño Las Boquitas, es el más afectado por esta situación, trayendo como consecuencia bajas producciones y mayor erradicación de plantas por sequía que en la margen derecha. Esto ha generado que, tanto los organismos del sector agrícola como el MAC, FONCOPAL, MARNR y otros, así como los productores de la región, estén tratando actualmente de resolver el problema derivado de la escasez de agua, agravado además por el compromiso que existe con el Instituto Nacional de Obras Sanitarias para la dotación de agua potable a las poblaciones de Chichiriviche, Tocuyo de la Costa, Boca de Mangle y otras.

Se han estudiado diversas alternativas por parte del MAC, como transverse del río Tocuyo al embalse Jatira - Tacarigua, construcción de presas sobre el río Tocuyo y Tucurere, tomas directas, etc.; pero para cualquier alternativa que se adopte es de vital importancia el mejorar las eficiencias de riego y un mejor manejo y operación del sistema.

## Objetivos

Los objetivos del presente trabajo fueron los siguientes:

1. Hacer un análisis del funcionamiento del sistema de riego Tocuyo de la Costa desde la derivación hasta los predios regados, a través de la medición de caudales en diferentes puntos de la red.
2. Cuantificar pérdidas y desperdicios de agua, separando las pérdidas intrínsecas debidas a infiltración y evaporación, de los desperdicios debidos a fallas de operación.
3. Analizar las disponibilidades y demandas de agua y formular un plan de riego, ajustable anualmente, expresado en reglas de operación que permitan mejorar el uso del recurso agua a nivel parcelario.
4. Determinar el manejo del agua apropiado a nivel de predio con el fin de regular la humedad en el suelo y aumentar la productividad del cultivo del coco.

Para cumplir dichos objetivos, fue necesario hacer un diagnóstico de la situación actual del sistema de riego de Tocuyo de la Costa, a fin de identificar y jerarquizar los problemas existentes y proponer medidas que los solucionen.



## CAPITULO II

### REVISION DE LITERATURA

#### Definición de distrito o sistema de riego

Espinoza (1962), define un distrito de riego como una unidad agrícola que cuenta con las aguas y obras necesarias para poder efectuar el riego de las tierras comprendidas en ella y que cuenta, así mismo, con aquellas obras que permiten el correcto funcionamiento y la conservación de las tierras bajo riego, con el fin de lograr el desarrollo agrícola, social, comercial e industrial de la unidad.

Lobo, citado por Grassi (1977), en cambio, lo define como un conjunto de elementos físicos (tierra, clima y obras civiles y agronómicas), personas (usuarios, funcionarios del sistema y de las instituciones relacionadas) y modos de acción combinados para actuar sobre algunos insumos para producir bienes (directos, indirectos y sociales), bajo ciertas restricciones (de orden legal y conservacionista).

Palacios (1979), define a un distrito de riego, como un sistema de producción agropecuaria, que tiene como característica principal la regulación del régimen de humedad del suelo de los terrenos considerados dentro de sus límites.

Astorga (1978), define a los sistemas de riego como el conjunto de obras civiles y agronómicas que, con determinada organización, hacen posible tanto la utilización del agua proveniente de una fuente de captación, en forma de riego, de cierta superficie de tierras, como la recolección de los excesos, y su vaciamiento a la misma o distinta fuente.

#### Definición de operación de distritos o sistemas de riego

Espinoza (1962), establece que la operación de los distritos de riego

es el conjunto de actividades que tienen el propósito fundamental de lograr que el suelo y el agua disponible en los distritos de riego, se utilicen cada vez con mayor eficiencia para obtener, así mismo, mayores beneficios económicos y sociales, y conservar estos recursos al más alto nivel de productividad.

Grassi (1977), define la operación de un sistema de riego como el conjunto de actividades técnicas y administrativas, mediante las cuales se pone a disposición de los usuarios, en oportunidad y cantidad, el agua necesaria para la producción de las tierras bajo cultivo, con el fin de lograr el cumplimiento de las metas del proyecto.

Chávez (1977), expresa que la operación de los sistemas de riego es la realización de las actividades necesarias para la planeación, distribución y control del recurso agua, con la finalidad de proporcionar una regulación óptima del régimen de humedad de los suelos del distrito de riego en el que se establecen los cultivos.

Palacios (1979), define la operación como el conjunto de actividades cuyo objetivo es el obtener el mayor rendimiento posible de los cultivos regados, mediante un uso eficiente y racional de los recursos agua, tierra, humanos y económicos, con un costo mínimo de operación.

#### Fases de la operación

Las fases en que se divide la operación de los distritos de riego son básicamente las siguientes:

- a. Planeación: consiste en la elaboración del plan de riego a partir de un plan de cultivos propuesto, y de las disponibilidades de agua.
- b. Ejecución: consiste en llevar a la práctica el plan de riego, previa programación de las distintas actividades en cuanto a conducción, distribución y entrega del agua.

c. Control: consiste en vigilar que el plan de riego se lleve a cabo conforme a lo planeado y comprende el registro, procesamiento y monitoreo de toda la información de campo.

d. Evaluación: es la comparación de los resultados obtenidos, tomando en cuenta los factores imprevistos en las etapas anteriores. Es la retroalimentación del sistema, y de su justa apreciación depende el mejoramiento de la operación y la formulación de planes de riego en ciclos agrícolas posteriores.

### Proceso de planeación

La planeación comprende todo un proceso que concluye en un plan de cultivos y, finalmente, en un plan de riegos.

El plan de cultivos, es el resultado final de los deseos de los agricultores en cuanto a cultivos a implantar y superficie de los mismos, y se basa en sus preferencias, la disponibilidad de insumos y las necesidades del país.

El plan de riegos, ya a llevar a cabo, es el resultado final de la estimación de la factibilidad técnica del plan de cultivos propuesto, y puede constituir sólo una parte de la demanda total de la fuente de abastecimiento.

Como consecuencia de lo anterior, la planeación de la operación parte de dos aspectos básicos: estimación de demandas y estimación de aportaciones.

Después que se estimaron las demandas y las aportaciones, es necesario hacer un balance entre los volúmenes necesarios y los volúmenes disponibles, tratando de equilibrarlos correctamente.

### Proceso de ejecución

El proceso de ejecución del plan de riegos, se origina cuando a un

usuario, en particular, se le presenta la necesidad de aplicar el agua a sus cultivos y, por lo tanto, la solicita a la administración. El número de solicitudes a ser atendidas por medio de uno o más canales, forma el gasto hidráulico que corresponde a la demanda de agua que debe ser satisfecha, tanto en cantidad como en oportunidad.

El paso siguiente es llevar a cabo la entrega de agua al usuario, para lo cual se cuenta con los siguientes métodos de distribución:

- a. Por caudal continuo
- b. Demanda controlada
- c. Por tanteo, turno o rotación

El método por caudal continuo consiste en entregar un gasto constante durante un período determinado a cada parcela. Este método se usa en sistemas en los cuales no hay limitaciones de agua y en parcelas de tamaño grande, en cultivos como arroz, hortalizas o en viveros.

En el método por demanda controlada, los usuarios determinan cuándo de sean regar y así lo solicitan a la administración, que con todas las solicitudes recibidas formula el programa de entrega de agua de un determinado canal.

El método por rotación o turno, se emplea cuando existen limitantes en las disponibilidades hídricas y el patrón de cultivos tiende al monocultivo, consiste en hacer entrega al usuario del agua cada determinado tiempo fijado con anterioridad; puede ser cada 1, 2 ó 3 semanas.

Debido a que al conducir el agua por los canales, existen pérdidas por evaporación, infiltración, fugas y errores en la operación, es necesaria ajustar el caudal a entregar a los usuarios para compensar esas pérdidas. Por tal motivo, es necesario conocer la eficiencia de conducción en tramos específicos de los canales, o entre determinados puntos de control.

Grassi (1977), menciona dos métodos para medir las pérdidas de agua en canales, a saber: por medición directa, o en base a procedimientos analíticos y empíricos.

### Proceso de control

Esta parte de la operación es la que presenta más dificultades, ya que implica una serie de actividades que dependen de imprevistos que se presentan durante la ejecución del plan de riego.

El control se lleva a través de registros, gráficos o informes, cuya frecuencia depende de la superficie del sistema y del personal y equipo disponible; generalmente a nivel de sección de riego es diaria, y a nivel de distrito mensual.

Entre los datos básicos que hay que analizar cabe mencionar:

a. Revisión de caudales solicitados y gastos derivados en puntos de control.

b. Avances de superficie regada por cultivo y superficie total.

c. Láminas brutas y netas.

d. Eficiencias de conducción y eficiencias de riego.

e. Número de riegos por cultivo.

f. Tirantes de operación de los canales.

g. Volúmenes derivados y servidos por cultivo.

h. Otros.

El proceso de control consiste básicamente en ir comparando lo programado con lo que se va realizando, a fin de ir ajustando el plan en caso necesario. Para llevar a cabo el plan de riegos se requiere contar con una organización eficiente y con experiencia, ya que operar un sistema es adelantarse a los problemas posibles.

### Proceso de evaluación

Esta parte de la operación es de vital importancia, ya que al finalizar la estación de riego debe hacerse una evaluación general, con el objeto de señalar los errores y los aciertos, y cuantificar resultados.

Generalmente la evaluación se hace de tres formas:

- a. Diferencias de lo realizado con lo programado en el plan de riegos.
- b. Eficiencia del distrito respecto a los años anteriores.
- c. Diferencias en los rendimientos de los cultivos.

En base a estos parámetros se puede llegar a una conclusión en cuanto a la operación del sistema y tomar medidas correctivas para el siguiente ciclo agrícola.

### Antecedentes del sistema de riego Tocuyo La Costa, Edo. Falcón

A continuación se describe en general al sistema de riego, en base a la información incluida en el estudio agrológico realizado por el MOP en 1966 y al Informe Técnico del MARNR en 1986.

### Ubicación del sistema de riego

El sistema de riego de Tocuyo La Costa se encuentra ubicado políticamente en el municipio de San Juan de los Cayos, distrito de Acosta y munici-

prios Tocuyo La Costa y Chichiriviche, Distrito de Silva, estado de Falcón. Está situado en el tramo final del valle del río Tocuyo, constituyendo un sector costanero. Las coordenadas son: longitud  $62^{\circ} 21' 0$ , latitud  $11^{\circ} 03' N$  (Est. Tocuyo, 0396).

La superficie regable es de 3060 ha y las respectivas obras de infraestructura que componen el sistema se iniciaron en 1964.

### Geomorfología de la zona

La zona de riego es de origen típicamente marino, ya que está formada por cordones litorales y las consecuentes depresiones entre ellos. La influencia directa de los aluviones del río Tocuyo en la zona costanera se nota únicamente en las inmediaciones del río, constituyendo una faja irregular con ancho que no sobrepasa 1000 m.

La dinámica de la formación de los cordones litorales es la siguiente:

Los azolves arrastrados por los ríos, al desembocar éstos al mar, sufren una separación granulométrica, las partículas finas son llevadas mar adentro y las gruesas quedan en las aguas llanas y son lanzadas por el oleaje contra la costa. El proceso de acumulación, frente al litoral, por fuerte oleaje en el caso de mar abierto, es favorecido por los restos vegetales que se depositan en el litoral inmediato.

### Hidrología

El único río de flujo continuo que atraviesa el área es el río Tocuyo, que tiene una cuenca de  $18.000 \text{ km}^2$ , el recorrido del cauce, siguiendo todos sus meandros, al atravesar la faja de los cocoteros, es de unos 6 km.

Según datos de caudales medidos por el MOP durante el período 1963-1982, en la estación hidrométrica "El Alto", puente sobre la carretera Sanare - Yaracal el gasto medio anual estimado fue de  $48.15 \text{ m}^3/\text{seg}$ .

## Obras del embalse

El sistema de riego es alimentado por un embalse formado mediante el represamiento de las lagunas de Tacarigua, Jatira y Cauce, las cuales son alimentadas principalmente por el Caño Arapuario y el Caño Cauce; las lagunas se encuentran intercomunicadas a través de canales.

Las obras de represamiento están constituidas por una presa y un dique. La presa tiene una longitud de 1164 m y altura máxima de 7.20 m, la sección de la presa es homogénea con taludes  $3^{1/2}$ : 1 y 5:1 aguas arriba y 3:1 aguas abajo. El dique tiene una longitud de 5000 m y altura máxima de 6 m, la sección es homogénea con taludes 4:1 cuando la altura es mayor de 3 m, y con taludes 3:1 cuando la altura es igual ó menor de 3 m.

El aliviadero tiene un ancho de 10 m, está provisto de un cimacio cuya cota es de 8 msnm; al final del canal rápido tiene un pozo disipador y seguidamente, un canal de descarga hasta el río Tocuyo. La capacidad máxima es de 40 m<sup>3</sup>/seg.

La obra de toma está situada en el estribo izquierdo y tiene una longitud de 30 m y un conducto de 2.44 m de diámetro interno. El conducto de aducción es de concreto, de sección circular con diámetro de 2.44 m y una longitud de 1840 m; al final está ubicada la compuerta de regulación, un pozo disipador y una transición del pozo al canal trapezoidal de aducción, que une al conducto con el canal de riego, tiene una longitud de 3700 m y es trapezoidal con taludes  $1^{1/2}$  : 1.

### Características principales del embalse

Cota cresta presa	9.5 msnm
Cota nivel normal	8.0 msnm
Cota nivel máximo	8.3 msnm
Control de crecientes	8.3 msnm
Cota nivel mínimo de operación	5.0 msnm



Capacidad muerta	19.5 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Capacidad útil	50.0 x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Area inundada (nivel normal)	2.500 ha

### Red de riego

La red de riego se inicia en la descarga del tubo de aducción del embalse; aquí existe una compuerta radial que permite controlar el caudal de salida, y un pozo disipador de energía. El canal principal, en sus primeros 4 km, es de tierra, de sección trapezoidal con taludes 1.5:1; después tiene un tramo revestido de 300 m y en un puente cambia de sección, a una de forma rectangular hasta el fin del canal, 8.5 km adelante.

Los canales secundarios o laterales se encuentran ubicados a diferentes progresivas del canal principal y tienen diferentes longitudes y caudales de operación, como se aprecia en el Tabla 1 y en la Figura 1. Los canales laterales fueron construidos con canaletas de concreto de forma parabólica, de diferentes tamaños, y en total son 11.

Los canales terciarios nacen de los canales secundarios y son hechos de tierra, antes de la temporada de riego.

En el sistema de riego se encuentran ubicados 298 usuarios, en una superficie promedio bajo riego de 7.124 ha por usuario; el 85% tiene superficies bajo riego menores de 10 ha, el agua se distribuye por desbordamiento de los canales terciarios o por tomas directas del canal principal o de los secundarios.

### Climatología

Para el período de 1963 - 1980 (18 años), en la estación Tocuyo La Costa, la precipitación media anual es de 1052.81 mm; el 70% de la precipitación cae en los meses de Agosto, Septiembre, Octubre, Noviembre, Diciembre y Enero.

Tabla 1. Características de los canales laterales

Canal	Longitud (m)	Progresiva del principal (km)	Caudal (l/s)
J	1800	2 + 517.72	160
I	1825	3 + 280.90	206
H1	1750	nace en H	-
H	2375	5 + 537.80	366
G	1100	8 + 123.90	186
F	1125	9 + 263.20	64
E	825	9 + 975.30	60
D	695	11 + 036.90	75
C	1070	11 + 042.53	95
B1	1655	11 + 260.00	64
B	1500	12 + 000.00	113
A	1400	12 + 800.00	146
Total	17120	-	1535

SISTEMA DE RIEGO TOCUYO LA COSTA

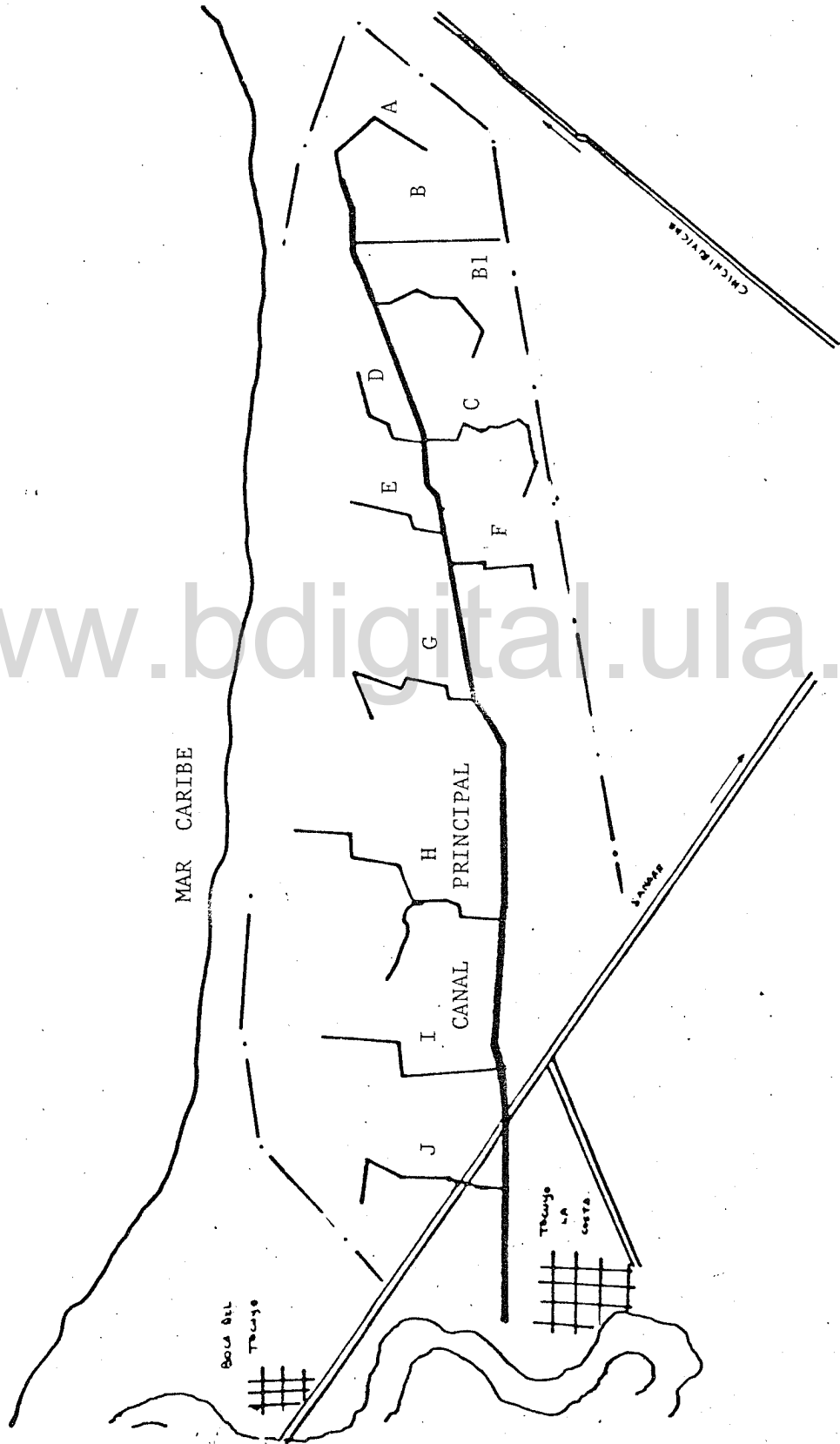


Figura 1. Red de canales de riego.

La evaporación anual del tanque para el mismo período es de 2230.7 mm. La temperatura media anual es de 27.4°C.

El clima podría clasificarse como subhúmedo, tropical, con época de lluvias en el invierno.

### Edafología

El material parental de los suelos está compuesto por arenas cuarcíferas marinas, depositadas por el oleaje en distintas épocas a lo largo de la costa.

La clasificación taxonómica es la siguiente:

Orden : Entisoles  
Suborden : Ustents  
Gran grupo: Psammustents  
Serie : Playa - arenas marinas

La clasificación para riego es: 4S, suelos de 4a. clase por ser el suelo muy arenoso, ya que el 94% del total de partículas es arena, siendo entonces de textura arenosa, apta para riego bajo ciertas condiciones.

El pH de 6.9 es neutro, aunque en estratos más profundos se vuelve más alcalino.

La estructura es granular con permeabilidad muy rápida y bajo contenido de materia orgánica.

En algunas partes se observan manchones salinos.

## Cultivo

Este sistema de riego se caracteriza por tener como monocultivo el cocotero. El cocotero es una palmera típica que alcanza de 10 a 15 m de altura, de tronco sin ramificar y entrenudos cortos; el estípite termina en un penacho de hojas grandes muy divididas, la base del tronco es cónica muy desarrollada y de ella parten numerosas raíces fibrosas.

El sistema radical del cocotero está formado por varios millares de raíces de un centímetro de diámetro y de algunos metros de longitud, estas raíces principales nacen de la parte subterránea del estípite a una profundidad 50 a 120 cm. Las raíces principales pueden ramificarse dando origen a raíces secundarias no muy numerosas, también a veces surgen raíces terciarias como ramificaciones de las secundarias; las raíces se alargan en todas direcciones y la dirección de cada raíz es constante.

La planta adulta tiene una corona de hojas formada por 30 a 40 hojas abiertas y un número doble que aún no se han desarrollado. De las hojas abiertas, 10 a 15 son inactivas fotosintéticamente y en sus axilas han madurado ya los frutos, otras 10 a 15 tienen racimos en maduración y 10 a 12 llevan inflorescencias por abrir las hojas sin desarrollar, forman el palmito o cogollo, masa blanca compacta y protectora de la zona de crecimiento, la hoja adulta mide de 2 a 4 m de largo y lleva de 150 a 250 folios opuestos.

El cocotero es una planta monóica, es decir tiene flores masculinas y flores femeninas por separado, pero en la misma inflorescencia. El fruto se desarrolla de las flores femeninas basales; el fruto es botánicamente una drupa pero comúnmente es llamada nuez, y la semilla es la parte comercialmente importante cuyo endospermo es la copra.

El fruto se compone de diferentes partes, las cuales al separarlas y pesarlas dan los siguientes porcentajes: cáscara 35%, concha 12%, copra 28% y agua 25%.

El tiempo que transcurre desde la apertura de la inflorescencia a la formación de copra es de aproximadamente 330 días.

La clasificación taxonómica es la siguiente:

Reino : Vegetal  
División : Tracheophyta  
Sub-división: Pterosidae  
Clase : Angiospermae  
Sub-clase : Monocotyledonae  
Orden : Arecales  
Familia : Palmaceae  
Sub-familia: Cocoidea  
Tribu : Ceroxilineae  
Genero : Cocos  
Especie : Cocos nucífera L.

## CAPITULO III

### FUNDAMENTOS TECNICOS DE LA OPERACION DE SISTEMAS DE RIEGO

#### Planeación de la operación de un sistema de riego

##### Estimación de las demandas

Se definen como demandas a los volúmenes que hay que extraer de la fuente de abastecimiento, para suministrar a los cultivos el agua necesaria para satisfacer sus requerimientos de riego, así como para otros usos establecidos, como domésticos, industriales, generación de energía eléctrica y otros.

##### Demanda neta del riego

La demanda neta de riego es el déficit de agua que presentan los cultivos en un determinado período de tiempo, y se expresa así:

$$DNR = d_d - ET + P_e + d_{ca} \quad (3.1)$$

donde:

$$\begin{aligned} DNR &= \text{Demanda neta de riego } [L] \\ d_d &= \text{Lámina disponible en el suelo } [L] \\ ET &= \text{Evapotranspiración real } [L] \\ P_e &= \text{Precipitación efectiva } [L] \\ d_{ca} &= \text{Aporte freático } [L] \end{aligned}$$

La lámina disponible en el suelo  $d_d$ , es la parte de la lámina total  $d_T$ , que no ha sido consumida en la capa de suelo, que exploran las raíces de los cultivos.  $d_T$  se calcula de la siguiente forma:

$$d_T = \frac{(W_c - W_m)}{100} \rho_a D \quad (3.2)$$

donde:

- $d_T$  = Lámina total de agua disponible en el suelo  
 $W_c$  = Porcentaje de humedad a capacidad de campo (en base a suelo seco)  
 $W_m$  = Porcentaje de humedad a punto de marchitamiento permanente (en base a suelo seco)  
 $\rho_a$  = Densidad aparente ( $\text{gr/cm}^3$ )  
 $D$  = Profundidad radicular

Si existen varios estratos, se calcula una lámina para cada uno y la lámina total será la suma de las láminas parciales.

La evapotranspiración real ET, es la cantidad de agua que transfiere a la atmósfera un cultivo dado, bajo ciertas condiciones de clima y humedad en el suelo. Se puede expresar así:

$$ET = ETP K \quad (3.3)$$

donde:

- $ETP$  = Es la evapotranspiración potencial  
 $K$  = Coeficiente de cultivo

La evapotranspiración potencial ETP, es el máximo consumo de agua en las condiciones climatológicas existentes, de un cultivo de baja altura, en activo crecimiento, cubriendo totalmente el suelo y con nivel de humedad óptimo.

El coeficiente de cultivo K, permite ajustar la evapotranspiración po



tencial, tomando en cuenta al cultivo, su estado de desarrollo y el nivel de humedad en el suelo.

La precipitación efectiva  $P_e$ , es la parte de la precipitación total que aporta humedad al suelo y una de las formas de calcularla es siguiendo el procedimiento que menciona Palacios (1979), hay otros procedimientos como el del SCS, que también se podría utilizar.

Para lluvias menores de 25 mm

$$P_e = P - 0.05 P^2 \quad (3.4)$$

donde:

$P_e$  = precipitación efectiva, cm

$P$  = precipitación total, cm

y para lluvias mayores de 25 mm.

$$P_e = 1.27 P^{0.75} - 0.0806 P^{1.50} \quad (3.5)$$

El aporte freático  $d_{ca}$ , es la lámina de agua proveniente de la napa freática que contribuye al proceso evapotranspirativo.

Aguirre y Norero (1982), analizando datos de otros autores, dedujo las siguientes ecuaciones para tres tipos de suelo:

$$F_{Lim} = (1.050) 10^3 W^{-2} \quad (\text{Suelos arcillosos}) \quad (3.6)$$

$$F_{Lim} = (1.23) 10^5 W^{-3} \quad (\text{Suelos francos}) \quad (3.7)$$

$$F_{Lim} = (6.00) 10^6 W^{-4} \quad (\text{Suelos arenosos}) \quad (3.8)$$

donde:

$F_{Lim}$  = Flujo de ascenso capilar máximo | L/T |

$W$  = Profundidad del nivel freático | L |

### Lámina neta

Es la lámina neta de agua por aplicar y corresponde a la lámina consumida en el período inmediato anterior expresado como una fracción de la lámina total de agua disponible en el suelo dependiendo del umbral de reposición considerado, de modo que:

$$d_n = f d_T \quad (3.9)$$

donde:

$d_n$  = lámina neta

$f$  = factor de umbral de riego ( $0 < f \leq 1.0$ )

### Frecuencia de riego

Es el intervalo de tiempo, en el cual habrá que reponer la lámina neta aplicada, la cual fue consumida por el cultivo en el período inmediato anterior:

$$F_R = \frac{d_n}{ET} \quad (3.10)$$

donde:

$F_R$  = frecuencia de riego (días)

$d_n$  = lámina de reposición (mm)

$ET$  = velocidad de evapotranspiración (mm/día)

### Eficiencia del uso del agua

Para estimar las demandas, se toma en cuenta la eficiencia con que se aplica el agua, en el predio, y con la que se conduce por la red de canales.

La eficiencia con la que se aplica el agua en el predio se conoce como eficiencia de riego, y es la relación entre la lámina de reposición necesaria y

la lámina bruta empleada en el riego.

$$E_{fr} = \frac{d_n}{d_r} 100 \quad (3.11)$$

$E_{fr}$  = eficiencia de riego

$d_n$  = lámina de reposición o lámina neta

$d_r$  = lámina bruta empleada en el riego.

La eficiencia de conducción, es la relación entre el caudal derivado en el punto de control y el entregado en las parcelas de riego.

$$E_{fc} = \frac{Q_e}{Q_d} 100 \quad (3.12)$$

$E_{fc}$  = eficiencia de conducción

$Q_e$  = caudal entregado a las parcelas

$Q_d$  = caudal derivado en el punto de control

Palacios (1972), demuestra que existe una relación lineal entre los caudales entregados y los derivados de la fuente de abastecimiento:

$$Q_d = b Q_e + a \quad (3.13)$$

Dividiendo entre  $Q_d$  y despejando  $\frac{Q_e}{Q_d}$  que es la eficiencia de conducción se tiene:

$$E_{fc} = \frac{Q_e}{Q_d} = \frac{1}{b} \left( 1 - \frac{a}{Q_d} \right) \quad (3.14)$$

donde:

$$\frac{1}{b} = \text{eficiencia operacional}$$

$$1 - \frac{a}{Q_d} = \text{eficiencia intrínseca de la red.}$$

### Demanda bruta de riego del sistema

Es la demanda neta de riego, afectada por las pérdidas que se tiene en las parcelas y en la conducción del agua en los canales, y se expresa de la siguiente manera:

$$DBR = \frac{DNR}{E_{fr} E_{fc}} \quad (3.15)$$

### Lámina bruta de riego

Es la lámina neta por aplicar en el predio afectado por las eficiencias de riego y de conducción.

$$d_b = \frac{d_n}{E_{fr} E_{fc}} \quad (3.16)$$

### Plan de riegos

La base del plan de riegos es el plan de cultivos, el cual está formado por los diferentes cultivos a sembrar en el sistema, con su superficie a regar por mes.

El plan de riegos, para un determinado plan de cultivos, contiene básicamente el número de hectáreas a regar de cada cultivo, las láminas netas y láminas brutas; y además, los volúmenes brutos necesarios para cada mes, los cuales se extraerán de la fuente de abastecimiento, constituyendo éstos la demanda para riego.

### Demanda total

La demanda total está formada por la demanda para riego, la demanda pa-

ra uso urbano, para uso industrial, generación de energía eléctrica si las hubiere.

Generalmente, la demanda para uso urbano, industrial, generación de energía eléctrica y otros, son casi constantes en comparación con los volúmenes utilizados para riego que son variables, por lo que el hacer una buena estimación de esta demanda es de gran importancia.

### Estimación de las disponibilidades de agua

Las fuentes de abastecimiento de un sistema de riego, pueden ser: un río, un lago, un embalse, un acuífero subterráneo o bien una combinación de 2 o más de éstas.

Para una buena planeación del riego, es necesario hacer una estimación de los volúmenes disponibles y compararlos con los de la demanda, y hacer los ajustes requeridos, si es necesario.

En forma general, se presentan dos situaciones comunes en un sistema de riego: existe un embalse o se tiene una derivación directa de un río.

En el caso de un embalse, normalmente hay un estudio hidrológico con anterioridad y existen registros de los caudales que entran a éste.

La determinación de los volúmenes disponibles por mes, se hace estimando su probabilidad de ocurrencia, usando la fórmula de Weibull:

$$P_b = \frac{m}{z + 1} \cdot 100 \quad (3.17)$$

donde:

$P_b$  = probabilidad empírica acumulada de ocurrencia (%)

$m$  = número de orden del mayor al menor

$z$  = número de eventos observados

También se hace ajustando los datos a una distribución de frecuencias, pudiendo ser normal, log-normal, gamma, etc. En general se escoge un caudal que tenga una probabilidad del 50% de ocurrencia.

Una vez obtenida la entrada probable de agua al embalse se calcula el volumen disponible de la siguiente manera:

Volumen disponible = volúmen útil almacenado + entradas probables

Cuando la fuente de abastecimiento es un río, es conveniente observar si los caudales mínimos coinciden con las demandas máximas, después se calcula el caudal esperado a un 50 ó 75% de probabilidad. En este caso hay que ser más estricto en el nivel de probabilidad a escoger, ya que no se cuenta con un embalse que pueda compensar el déficit de un mes con el exceso de otro.

#### Superficie factible de riego

En el caso de un embalse, con las demandas totales y con los datos obtenidos de las probabilidades de aportación, se analiza el funcionamiento de este, mes a mes, y se determina si existe un buen balance entre los valores de las entradas y las salidas, y con esta información se estima el área factible de riego.

La ecuación más usada es la de balance de masas, la cual se expresa así:

$$VOL_{j+1} = VOL_j + TOTE_j - TOTS_j \quad (3.18)$$

donde:

$VOL_{j+1}$  = Volumen final en el embalse en el mes  $j$ , y además es el volumen inicial del mes  $j + 1$  ( $10^3 m^3$ ).

$VOL_j$  = Volumen inicial del mes  $j$  ( $10^3 m^3$ )

$TOTE_j$  = Total de entradas al vaso en el mes  $j$  ( $10^3 m^3$ )

$TOTS_j$  = Total de salidas del vaso en el mes  $j$  ( $10^3 m^3$ )

$TOTE_j$  = Volumen de precipitación sobre el embalse en el mes  $j$  + volumen escurrido en el mes  $j$  (a cierto nivel de probabilidad) + volumen de aportaciones deducidas (3.19)

$TOTS_j$  = Volumen evaporado del embalse en el mes  $j$  + volumen total de las demandas en el mes  $j$ . (3.20)

Las aportaciones deducidas incluyen todas las entradas o salidas que no pueden medirse, como filtraciones, escurrimientos superficiales, etc. se obtienen con la diferencia entre el volumen final calculado y el volumen final real, y pueden ser positivas o negativas. Para el caso del análisis del vaso se pueden usar valores promedios de años anteriores.

Actualmente, con el uso de los computadores, existen diferentes modelos de simulación de la operación de embalses, a través de varios métodos, como el de balance de masas, de curva de masa y otros.

Para el caso de la derivación directa de un río, lo que se compara es el caudal mínimo a cierto grado de probabilidad, que podría presentarse en cada uno de los meses en los que se va a derivar con el caudal requerido para satisfacer la demanda; y, si es necesario hacer ajuste al plan de cultivos.

Es muy importante tomar en cuenta la capacidad de la obra de toma y de conducción de los canales, para evitar que sea excedida por la demanda en algún mes; esto debe verificarse tanto en un embalse como en una derivación directa.

### Ejecución y control del plan de riego

Después que se ha formulado el plan de riego, el siguiente paso es

llevarlo a la práctica y vigilar que se realice conforme a lo planeado.

El inicio de la temporada de riego comienza con la solicitud de agua por parte de los usuarios, que conforman una demanda expresada por el caudal que habrá que entregar en las tomas parcelarias. Pero como existen pérdidas en la conducción, este caudal habrá que afectarlo, para compensar estas pérdidas, por el siguiente factor:

$$F = \frac{1}{E_{fc}} \quad (3.21)$$

donde:

$F$  = factor de pérdidas

$E_{fc}$  = eficiencia de conducción del canal terciario

Por lo tanto el caudal que habrá que derivar por la toma del canal será:

$$Q_t = F (\sum q) \quad (3.22)$$

siendo:

$Q_t$  = caudal derivado por la toma del canal terciario

$q$  = caudal solicitado en toma parcelaria

$F$  = factor de pérdidas

A nivel de toma del canal secundario, del principal y del tramo muerto si existe, en cada punto de control que haya, el caudal solicitado tendrá que afectarse por el número necesario de factores de pérdidas hasta tener el caudal que habrá que extraer del embalse o de la obra de regulación, o sea:

$$Q = F_1 F_2 \dots F_n (\sum q) \quad (3.23)$$





donde:

$Q$  = caudal a extraerse del embalse

$F_1, F_2, \dots, F_n$  = factores de pérdidas del primer canal hasta el enésimo.

$\Sigma q$  = suma de todos los caudales solicitados en tomas parcelarias.

### Métodos para estimar la eficiencia de conducción

Las pérdidas por infiltración en canales pueden medirse directamente en la red o pueden estimarse en base a procedimientos analíticos o empíricos.

En los sistemas de riego, los métodos más usados son los que pueden medirse directamente en la red de canales, entre éstos se puede mencionar dos: el de diferencia de caudales y el del estanque modificado.

#### Método de la diferencia de caudales

Este método está basado en el aforo simultáneo entre dos secciones de un tramo de canal y las diferencias de caudal son las pérdidas por conducción. Otra variante de este método es cuando varias tomas están funcionando, en cuyo caso se afora el caudal de entrada al tramo, el de las tomas que estén funcionando en el tramo a evaluarse, y el caudal que sale del tramo; la diferencia del caudal que entra y la suma de los caudales que salen, son las pérdidas por conducción, por lo que la eficiencia se puede expresar por la fórmula (3.12) o bien por la siguiente ecuación:

$$E_{fc} = \frac{\Sigma q + Q_s}{Q_e} 100 \quad (3.24)$$

siendo:

$\Sigma q$  es la suma de los caudales de las tomas que funcionan en el tramo.

$Q_s$  es el caudal que sale del tramo

$Q_e$  es el caudal que entra al tramo

### Método del estanque modificado

Este método mencionado por Zapata (1977), se utiliza en el llenado de canales al inicio de la temporada de riego, ya que no hay tomas que aforar. Se va llenando el canal que interesa, hasta poner el tirante normal en cada represa, dejando pasar el agua sobrante. En la última represa se retiene el agua y se verifica la escala; si el caudal que se está suministrando es mayor que las pérdidas, la escala marcará un tirante mayor que el normal y, si el caudal suministrado es menor, el tirante será menor. Para cualquiera de los dos casos, el caudal se ajusta hasta que la lectura de la escala se nivele en el tirante normal por varios días; luego, el caudal que permitió mantener el tirante normal, se adopta como valor de las pérdidas por conducción.

La eficiencia de conducción será:

$$E_{fc} = \left( 1 - \frac{Q_p}{Q_n} \right) 100 \quad (3.25)$$

donde:

$Q_p$  = caudal perdido por infiltración

$Q_n$  = caudal normal de operación del canal estudiado

## Operación de Estructuras y Canales

El tiempo de llenado de las represas y canales está en función del material del canal, tipo de construcción, el tiempo en que han permanecido secos y su estado de conservación. Lo recomendable es hacer el llenado lentamente (en general se toma 1 cm/hr) y con anticipación al riego, para poder inspeccionarlos y tomar medidas correctivas, si hay algún problema, como una ruptura, grietas, levantamiento de losas, etc.

Una vez llenos los canales y las represas, se determina el caudal que debe derivarse, el cual depende del número de usuarios que solicitarán el riego, eficiencias de conducción, estado del tiempo, demandas evapotranspiratorias, capacidad de los canales, etc.; éste se calcula con las ecuaciones (3.22) y (3.23), tomando en cuenta lo referido anteriormente.

La función básica de la operación es mantener el caudal necesario en los canales para satisfacer la demanda con la máxima eficiencia posible. Esto se logra siguiendo ciertas reglas prácticas de operación, de las cuales se menciona las siguientes:

- a. Concentrar áreas de riego
- b. Mantener los canales con su caudal de diseño el mayor tiempo posible.
- c. Operar con tirantes constantes en represas y canales.
- d. Los cambios de caudal se harán abriendo o cerrando compuertas, nunca con movimientos de tirantes.
- e. Los cambios de gastos se harán de aguas arriba hacia aguas abajo.

para evitar que bajen los niveles en las represas.

- f. Al haber cambio de gasto, tratar de mover las represas al mismo tiempo.
- g. Regar primero los terrenos elevados, en los cuales se tenga que alzar mucho el tirante.
- h. Al finalizar la temporada de riego, utilizar el volumen de agua almacenado en las represas y canales para seguir regando y evitar desperdicios de agua.

### Control de la operación

Al tener un buen control en la operación de canales y estructuras, se podrá cumplir con el plan de riegos adecuadamente. El control de la operación del sistema se basa en los siguientes puntos:

- a. Tener un método de distribución y entrega de agua al usuario de acuerdo a las condiciones existentes.
- b. Controlar los caudales entregados a los usuarios.
- c. Controlar los tirantes de operación del sistema.
- d. Llevar gráficos de eficiencias en canales.
- e. Conocer superficies regadas, volúmenes entregados, volúmenes derivados, láminas de riego neta y bruta.

El método de distribución, generalmente ya está establecido en los sistemas de riego. En el caso de caudal continuo y rotación, la programación y entrega de agua al usuario es simple. En el método de caudal continuo se conoce el caudal a entregar al usuario y todo se remite a entregarle el agua en forma continua; en el método por rotación ya existe un orden de riegos y un programa, por lo que todo se concreta a cumplirlo adecuadamente. En cambio, en el método de distribución de acuerdo a la demanda, las solicitudes de riego

varían a través del tiempo, los cultivos no son los mismos, ni los caudales solicitados, por tal motivo hay que tener un mejor control, tanto en las solicitudes recibidas como en el agua entregada.

Indistintamente a cualquier método de distribución de agua, la medición de caudales, tanto en canales como en tomas, es la base primordial de la operación del sistema y del control del plan de riegos.

### Métodos de aforo

Los métodos de aforo se clasifican en: métodos por medición de sección y velocidad y métodos diversos.

Método de sección y velocidad: este método se basa en la ecuación general de gasto.

$$Q = A V \quad (3.26)$$

donde:

Q = caudal

A = área de la sección

V = velocidad media del agua en la sección

Por la forma de medir la velocidad se tiene lo siguiente:

Molinetes. Es un método muy usado en los sistemas de riego; tiene como desventaja que es muy laborioso y tardado, pero se usa para calibrar otros métodos.

Existen dos tipos de molinetes: el de copas con eje vertical y el tipo hélice con eje horizontal, los cuales vienen calibrados de fábrica, por lo que traen la ecuación que relaciona las revoluciones por minuto con la velocidad del agua.

El método consiste en determinar el área de la sección por medio de sondeos de profundidad y medidas horizontales; por lo general la sección se divide estimando áreas parciales y midiendo la velocidad media del agua con el molinete en cada área parcial.

La velocidad media se obtiene de tres formas: midiéndola superficialmente y afectándola por un factor; midiéndola a 0.2 y 0.8 de la profundidad y promediando los valores; y midiéndola a 0.6 de la profundidad.

El producto del área parcial por la velocidad media da el caudal parcial y, sumando los caudales parciales, se obtiene el caudal total de la sección.

El método usado por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos para estimar las áreas parciales es el siguiente: se suman las profundidades de los sondeos de los extremos al doble de la profundidad del sondeo del centro y se divide entre cuatro obteniéndose así la profundidad media, que al multiplicarla por el ancho permite obtener el área parcial.

$$\text{Prof media} = \frac{y_1 + 2y_2 + y_3}{4} \quad (3.27)$$

Flotadores. Para medir la velocidad del agua en un cauce pueden utilizarse flotadores superficiales o un poco sumergidos que permiten obtener buenos resultados en canales pequeños o regaderas.

La velocidad se obtiene por la relación entre la distancia medida a lo largo de la orilla del canal y el tiempo que tarde en llegar de un punto al otro el flotador. Se recomienda escoger un tramo recto y sección uniforme.

El área de la sección se puede obtener por sondeos o bien en forma rápida, asumiendo que se trata de una sección parabólica, hacer un sondeo en el medio y multiplicar su valor por el ancho de la sección y por 2/3.

Por sección y pendiente

Se calcula la velocidad por la ecuación de Manning:

$$Q = A V = \frac{1}{n} R_h^{2/3} S^{1/2} A \quad (3.28)$$

donde:

V = velocidad media del cauce

n = coeficiente de rugosidad del cauce (canales de concreto 0.014 - 0.018, canales de tierra 0.030 - 0.036)

A = Area de la sección

$R_h$  = radio hidráulico, es la relación entre el área de la sección y su perímetro mojado.

S = pendiente del terreno o nivel del agua

Esta ecuación es utilizada para calibrar canales a través de relaciones escala - gasto; se debe tener cuidado en que no exista influencia de represas, ya que esta fórmula es para régimen uniforme.

### Control de caudales entregados

El objetivo básico es suministrar el caudal solicitado por los usuarios; para eso se tiene que medir el agua que se entrega a nivel de punto de control y medir el agua que se le distribuye a cada usuario; con esto se puede determinar si se entrega más o menos cantidad de agua que la solicitada, y se puede estimar si a los usuarios se les da el caudal programado, si no es así, habrá que hacer movimientos para ajustar caudales.

Para llevar un mejor control es necesario usar formatos, de los cuales se mencionan algunos, que utiliza la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH).

a. Relación de solicitudes de riego: en este formato, se anota el número de padrón de usuarios, el nombre del usuario, superficie total, superficie a regarse, cultivo, caudal solicitado, fecha de entrega y la firma.

b. Control de riegos: aquí se anota, el número de padrón de usuarios, nombre del canal, nombre del usuario, fecha y hora de entrega, fecha y hora de cierre, número total de horas, caudal entregado, volumen neto, número de riego, cultivo y superficie regada.

c. Control hidráulico del sistema: aquí aparece el número de sección, el nombre de los canales, fecha y hora de cuando se derivó el agua, fecha y hora cuando se cerró la toma del canal, número de horas funcionando, caudal, volumen bruto, volumen neto, superficie regada diaria y acumulada, número de riegos establecidos y solicitados, número de solicitudes del día y total, caudal solicitado, superficie comprometida para riego.

#### Gráficas de eficiencias de canales

Para controlar la eficiencia de conducción en canales es necesario llevar gráficos, que permitan determinar rápidamente el comportamiento de los canales y del funcionamiento del sistema.

Una de las gráficas más importantes es la gráfica eficiencia-tiempo; esta gráfica se construye representando la eficiencia de conducción respecto al número de días; en otro eje paralelo al de eficiencias se colocan las láminas brutas y netas que tiene el canal. La eficiencia se calcula con la ecuación (3.12) y la lámina bruta en la toma del predio  $d_T$ , y la lámina bruta en el punto de control  $d_{pc}$ , resulta:

$$d_T = \frac{q}{S_r} \times 10^4 \quad (3.29)$$

donde:

$q$  es el caudal entregado en la toma ( $m^3/s$ )



$S_r$  es la superficie regada en hectáreas

$d_T$  es la lámina bruta en la toma del predio

Lámina bruta:

$$d_{pc} = \frac{Q_d \cdot 86400}{S_r \times 10^4} \quad (3.30)$$

donde:

$Q_d$  es el caudal recibido en el punto de control ( $m^3/s$ )

$S_r$  es la superficie regada en hectáreas

$d_{pc}$  es la lámina bruta en el punto de control

Palacios (1979), presenta la siguiente variación de eficiencias y lámina en función del tiempo:

a. Al inicio de la operación, la eficiencia será mínima y la lámina bruta será máxima (Llenado de canales).

b. Después comienza a aumentar la eficiencia y a disminuir la lámina bruta.

c. Una vez estabilizados los riegos se normaliza la operación del canal, y si se opera adecuadamente la eficiencia y la lámina bruta permanecen constantes o variarán poco.

d. Cuando se seca el canal, si se calcula el volumen almacenado y la superficie regable, la eficiencia puede aumentar más del 100% y la lámina bruta tenderá a cero.

### Control del Plan de Riegos

Si se lleva un cuidadoso registro de datos con los formatos mencionados anteriormente, se puede realizar un informe de distribución de aguas, que viene siendo casi una réplica del plan de riegos, sólo que ahora es lo ejecutado. Este cuadro contiene para cada mes: en la primera columna los cultivos establecidos y otros usos de agua que no sean riego, en la segunda columna las superficies regadas y las físicas, en la tercera los volúmenes servidos, en la cuarta los volúmenes derivados, en la quinta las láminas neta y bruta y finalmente la eficiencia.

Con los datos del informe de distribución de agua se puede construir un gráfico del control de plan de riegos, en el cual representan con respecto al riego almacenamientos y extracciones del embalse, la superficie regada, y las láminas brutas de riego.

Conociendo la lámina bruta total del sistema de riego y la lámina neta media ponderada de los cultivos, se puede conocer la eficiencia global del sistema, lo cual será:

$$E_{fg} = \frac{\bar{d}_n}{d_{bt}} \cdot 100 \quad (3.31)$$

donde:

- $E_{fg}$  es la eficiencia global del sistema
- $\bar{d}_n$  es la lámina neta de reposición ponderada
- $d_{bt}$  es la lámina bruta total del sistema

## CAPITULO IV

### MATERIALES Y METODOS

#### Análisis de la Situación General del Sistema de Riego

Para el diagnóstico de la situación general del sistema, se hizo un recorrido antes de la época de riego, los días 9 y 10 de marzo; se observó la infraestructura que lo componen, su forma de operar y su estado de conservación.

Se analizó la información del sistema y del cultivo, y los días 15 y 18 de marzo se tuvo reuniones con los usuarios y se intercambiaron opiniones con los mismos.

De acuerdo a la información obtenida, el sistema de riego funciona una vez al año, con la aplicación de un solo riego en el primer trimestre, aunque en algunas ocasiones se aplica otro riego en el tercer trimestre del año. El método de riego es por inundación, aplicando grandes volúmenes de agua que elevan el nivel freático hasta unos pocos centímetros de la superficie.

En base a lo anterior y debido a la inexistencia de pozos de observación de los niveles freáticos, se procedió a la construcción de 7 de ellos y los días 17, 18 y 19 de marzo se midieron los niveles de agua y se tomaron muestras para analizar su calidad; se hicieron además 4 calicatas para observar el perfil del suelo, medir la profundidad radicular y tomar muestras de éste. (Ver Figura 2).

En la Figura 3 se encuentra la ubicación de los pozos de observación y en la Figura 4 el plano de isobatas para el 19 de marzo de 1988.



Figura 2 . Perfil del suelo en una calicata .

En el perfil del suelo se observó una capa de arena cementada de color gris, de gran dureza y nivel de humedad elevado, a pocos centímetros se encontraba el nivel freático y la profundidad radicular máxima llegaba hasta 2 cm por encima de la capa endurecida; en la Tabla 2 se muestra la profundidad radicular, la profundidad del estrato endurecido y la profundidad del nivel freático.

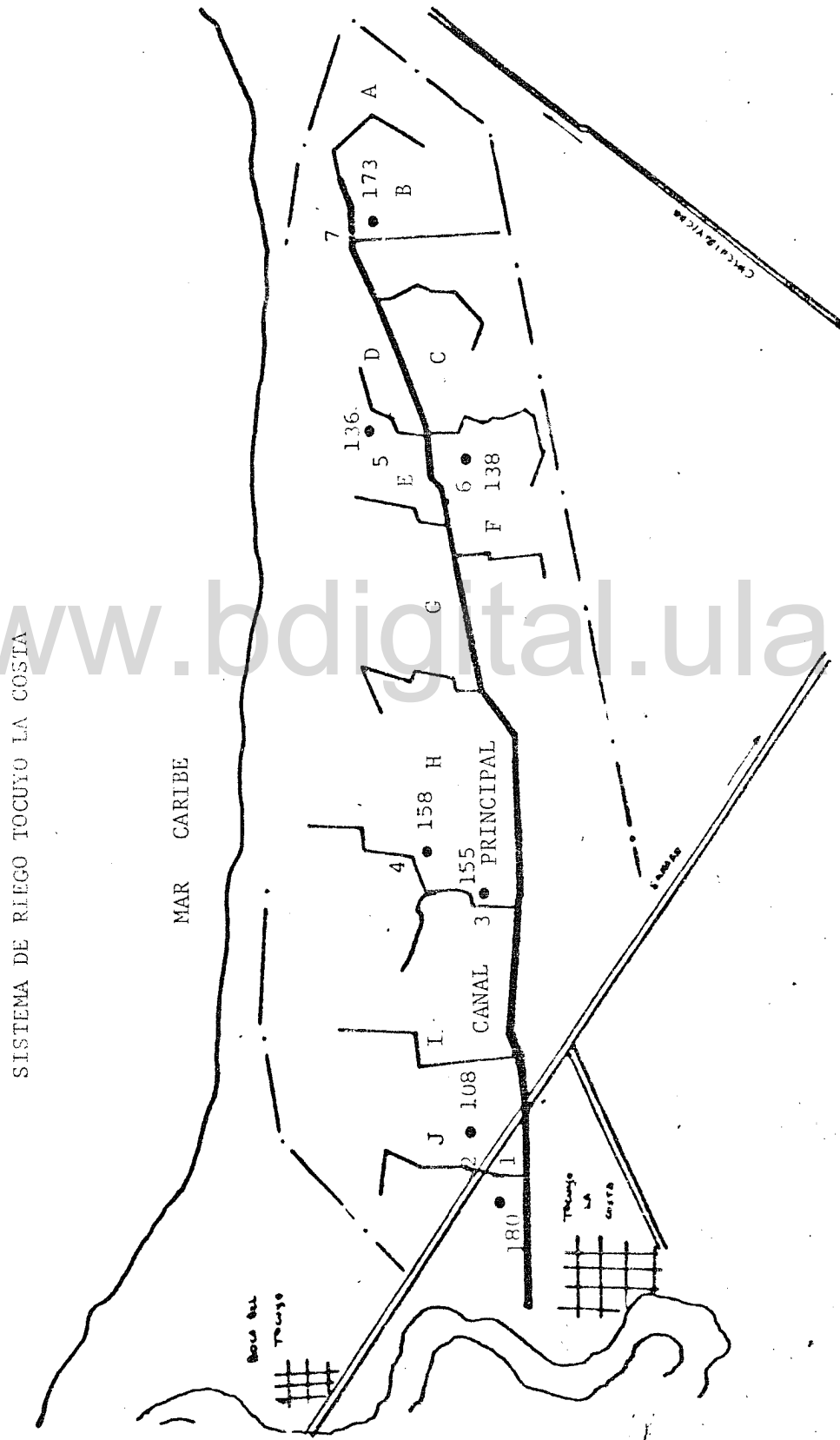


Figura 3. Ubicación de los pozos de observación.

ESTUDIO DEL RIEGO EN LA COSTA

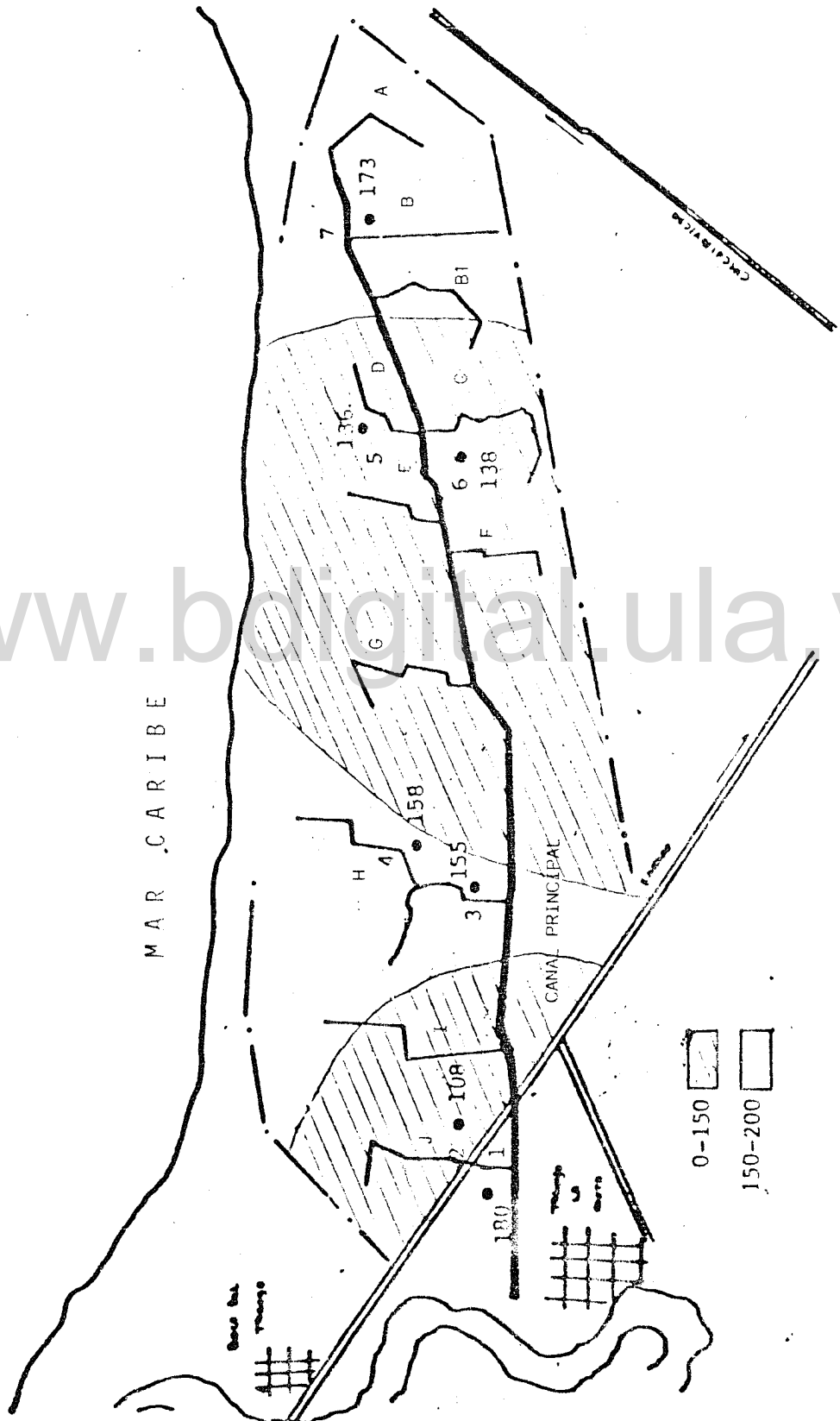


Figura 4. Isobatas mes de marzo.

Tabla 2. Profundidad radicular, del nivel freático y de la capa endurecida

N° de pozo	Profundidad radicular (cm)	Prof. capa endurecida (cm)	Prof. nivel freát. (cm)
1	144	146	180
2	100	-	108
3	145	153	155
4	108	110	158
5	102	116	136
6	120	-	130
7	116	152	173
$\bar{X}$	119.29	135.40	149.71
S	18.62	20.73	24.51

Los resultados del análisis de suelo indican que el mismo es de textura gruesa con 94% de arena, con baja capacidad de retención de humedad, pobre en materia orgánica y nutrientes. (Ver Apéndice 1).

El estado del cultivo era regular y en algunos casos se observó síntomas de sequía.

#### Estimación de las demandas netas de riego

Estimar la demanda neta de riego fue algo difícil, ya que el cultivo tiene aportes de agua provenientes de la precipitación, y de la napa freática, y no se cuenta con suficiente información. Por esto último, se tuvo que usar un modelo de simulación de drenaje, que permitiera estimar la fluctuación de los niveles freáticos a través del tiempo y, por ende, el aporte de la freática.

#### Estimación de la Evapotranspiración

Para calcular la evapotranspiración potencial se usaron datos climato

lógicos de la estación Tocuyo de La Costa (0396), que aparecen en la Tabla 3; se usó el método de radiación de la FAO, con los gráficos de Doorembos y Pruitt, tomados de Grassi (1987).

Debido a la falta de información específica del cocotero, la evapotranspiración real fue calculada con coeficientes de cultivo del banano, ya que tiene un parecido mayor al cocotero que otro cultivo, y sus condiciones climatológicas de desarrollo son similares. Como el cocotero sufre de "estrés" hídrico en algunos meses se tomó como promedio  $k = 0.85$  de enero a septiembre y  $k = 0.90$  de octubre a diciembre en la época de lluvias.

La evapotranspiración potencial promedio anual fue de 5.22 mm/día con un C.v. = 15.13% y la evapotranspiración real de 4.35 mm/día con un C.v. = 14.49%.

#### Necesidades de Riego del Cultivo

Para estimar las necesidades de riego del cultivo, se hizo el balance hídrico de Tocuyo La Costa (0396) para un almacenamiento en el suelo de 75 mm, y la evapotranspiración potencial calculada por el método de la FAO para cada mes. En cuanto a la precipitación media mensual, se tomó la real en lugar de la efectiva, debido a la alta velocidad de infiltración del suelo y a la poca pendiente del terreno.

El resultado del balance hídrico del suelo, en equilibrio con el clima (Ver Tabla 4), fue de que había necesidad de riego en 8 meses del año, de febrero a septiembre, lo cual no es cierto, ya que existe un aporte de la napa freática al proceso evapotranspiratorio, por lo que se procedió a estimar su influencia a través de un modelo de simulación, a fin de determinar la necesidad real de riego del cultivo.

#### Modelo de simulación de drenaje subterráneo (DRPR)

El modelo fue desarrollado por Jean Payen (1985), y permite simular de manera continua las variaciones del nivel freático en un campo con drenaje o sin él, a través del tiempo.



Tabla 3. Datos climatológicos de la estación Tocuyo de la Costa (0396)

	ENE.	FEB.	MAR.	ABRIL	MAYO	JUN.	JUL.	AGOST.	SEPT.	OCTUB	NOVIEN	DICIEM.
Precipitación (mm)	55.2	29.6	23.1	74.1	56.5	49.5	61.3	59.6	83.5	142.3	203.6	179.0
Evaporación (mm/día)	5.3	5.9	6.2	6.2	6.0	6.4	6.7	6.9	6.8	6.1	5.4	5.4
(mm)	163.6	166.4	192.9	186.1	186.7	192.8	206.3	213.7	204.9	189.4	161.1	160.8
Temperatura (°C)	25.3	25.7	26.1	26.1	27.0	27.0	27.0	27.0	27.3	27.3	26.1	25.5
Radiación Solar (Cal/cm <sup>2</sup> /día)	400	440	480	51.0	53.0	52.0	56.0	54.0	53.0	440	46.0	44.0
ETP (mm/día)	4.1	4.3	5.9	5.3	5.6	6.5	6.0	5.7	5.6	4.4	5.0	4.3
(mm)	127.1	120.0	182.9	159.0	173.6	165.0	186.0	176.7	168.0	136.4	150.0	138.3
K	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.9	0.9	0.9
(Cocotero en producción)	3.49	3.66	5.02	4.51	4.76	4.68	5.10	4.85	4.51	3.96	4.50	3.17
ET (mm/día)	108.04	102.34	155.47	135.15	147.56	140.21	158.10	150.20	142.80	122.76	135.0	119.97
(mm)												

Tabla 4. Balance hídrico (sin aporte freático).

	ENE.	FEB.	MAR.	ABRIL	MAYO	JUN.	JUL.	AGOST.	SEPT.	OCT.	NOV.	DICIEM.
Precipitación (mm)	55.2	29.6	23.1	74.4	56.5	49.5	61.3	59.6	83.5	142.3	203.6	179.0
ETP (mm)	127.1	120.0	182.9	159.0	173.6	165.0	186.0	176.7	168.0	136.4	150.0	133.3
ALN. del Suelo (mm)	3.1	0	0	0	0	0	0	0	0	5.9	59.5	75.0
Exceso (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30.2
Déficit (mm)	0	87.3	159.2	84.6	117.1	115.5	124.7	117.1	84.5	0	0	0

En un modelo determinístico basado en el balance hídrico del perfil del suelo se toma en cuenta la infiltración de la lluvia usando el método del SCS, el abatimiento del nivel freático por drenaje usando la teoría de Guyón, la evapotranspiración del cultivo con coeficientes de desarrollo y patrón de extracción de agua variable y, el perfil del suelo dividido en tres estratos con sus respectivos espesores y capacidades de almacenamiento de agua; la porosidad drenable y la conductividad hidráulica no cambian en el perfil. .

### Estructura del Modelo

El modelo trabaja con datos del suelo, del cultivo y climatológicos.

Datos del suelo. Número de curvas del SCS condición I, profundidad de drenes, profundidad de la barrera, porosidad drenable, conductividad hidráulica, agua aprovechable por estrato, profundidad del nivel freático y espaciamiento entre drenes.

Datos del cultivo. Profundidad máxima alcanzada por las raíces, nivel crítico para el índice de exceso de agua, punto de marchitamiento incipiente para cada estrato, duración de cada estadio de crecimiento, fracción de extracción de agua por estrato, coeficiente de cultivo para cada período, coeficiente de tina o tanque de evaporación y factor de susceptibilidad al encharcamiento.

Datos climatológicos. Precipitación y evaporación diaria medida en el tanque tipo A.

La estructura del modelo es la siguiente:

1. Lee los datos de los archivos de suelo, de cultivo y meteorológicos.

2. Calcula la precipitación efectiva.
3. Calcula el abatimiento del nivel freático debido al drenaje y el caudal drenado.
4. Calcula la evapotranspiración del cultivo.
5. Determina los componentes del balance hídrico y después efectúa el balance.
6. En base a los cálculos anteriores ubica la posición del nivel freático.
7. De acuerdo a la humedad en el suelo, calcula los índices de "estrés", tanto por exceso como por déficit de humedad.
8. Si han sido procesados todos los días del período, calcula la productividad del cultivo (Ver Apéndice 4).

#### Calibración del Modelo

Para calibrar el modelo se tuvieron que hacer ajustes en los archivos de entrada, debido a las condiciones del cultivo y al tipo de datos meteorológicos usados.

El modelo fue construido para el cultivo de maíz, con un patrón de extracción de agua en función del desarrollo radicular, por lo que se asume una profundización lineal de las raíces, desde cero en la siembra hasta un crecimiento máximo en la tercera etapa (se toman en cuenta 5 etapas). Para este caso se tiene un cultivo perenne con el sistema radicular ya desarrollado, de modo que, a fin de resolver este problema, se hicieron transcurrir las primeras tres etapas con un día de duración.

Otro problema para el uso del modelo fue con los archivos de precipitación y evaporación. En efecto, el modelo lee datos diarios y, en cambio se tenían promedios mensuales de 22 años; como se contaba con datos diarios de 1987, que fue un año cercano a la media, la precipitación mensual se distribuyó diariamente en forma igual.

La infiltración básica se usó para estimar la conductividad hidráulica, la separación entre drenes fue de 2000 m, ya que con separaciones mayores a 1000 m el modelo funciona como si no existieran éstos; la porosidad drenable usada fue de 0.2.

Uso del Modelo. Se simuló para cuando después del riego, el nivel freático quedaba a 400, 600, 800 y 1200 mm, de la superficie desde el 1º de mayo hasta el 31 de octubre, que es cuando comienza el período de lluvias más importante. También se simuló del 1º del noviembre al 30 de abril con nivel freático a 800 y 1200 mm, sin riego en abril y con un riego en abril, usando una lámina de 18 cm, que permitiera llevar el nivel freático casi a la superficie.

### Influencia de Los Niveles Freáticos

Según Aguirre y Norero (1982) la influencia del nivel freático en la productividad de los cultivos puede estudiarse analizando separadamente los efectos positivos y los efectos negativos.

En la Figura 5, se ilustran tres situaciones, según la profundidad relativa entre el nivel freático  $W$ , y el sistema radicular del cultivo,  $D$ . En (a) el nivel freático  $W_a$  está muy profundo en relación a la zona radicular por lo que el flujo capilar ascendente,  $F_a$ , es escaso y su aporte al proceso evapotranspiratorio es insignificante. Si no existen aportes adicionales de agua y la capacidad de retención es baja, el cultivo sufrirá "estrés" hídrico y se desarrollará en forma deficiente. Si el nivel freático asciende paulatinamente, el flujo capilar ascendente aumentará también hasta llegar a una profundidad  $W_b$ , (caso b) en la cual el flujo capilar suma

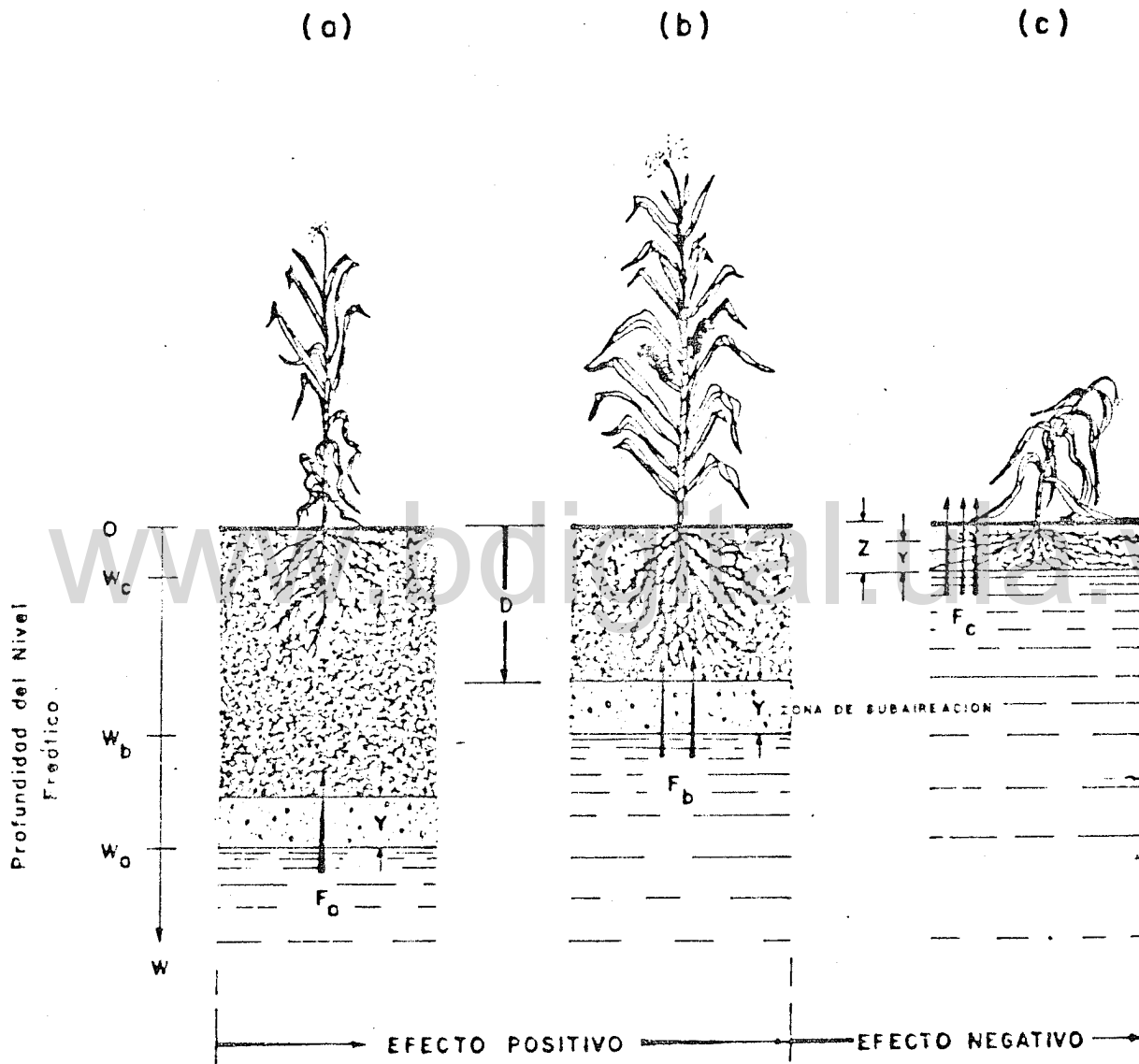


Figura 5. Esquema general para la interpretación de la influencia del nivel freático en la productividad de los cultivos (Tomado de Aguirre y Norero, 1982).

do a los aportes externos de agua suplirá totalmente la demanda evapotranspirativa del cultivo. La fluctuación del nivel freático de  $W_a$  a  $W_b$  redundará en un efecto positivo en la producción del cultivo.

Si el nivel freático continúa ascendiendo de  $W_b$  a  $W_a$ , el sistema radicular se irá restringiendo por asfixia, a las capas más superficiales del suelo. (Caso c). Bajo estas condiciones el aporte de agua de la napa freática,  $F_c$ , será abundante, pero perjudicará la absorción mineral necesaria y la oxigenación de las raíces será deficiente. La fluctuación del nivel freático de  $W_b$  a  $W_c$ , tendrá un efecto negativo en la productividad del cultivo.

Una vez determinados los niveles freáticos, se obtuvieron datos referentes a la influencia de éstos en una forma positiva, por su contribución al proceso de evapotranspiración y en una forma negativa, por la restricción del intercambio gaseoso y de la absorción de nutrientes. Se siguió la metodología propuesta por Aguirre y Norero (1982).

A través de la ecuación 3.8, se calculó el flujo máximo de ascenso capilar para diferentes profundidades del nivel freático, que se muestran en la Tabla 5 para una evapotranspiración potencial máxima de 6.5 mm/día en el mes de junio. Analizando la Tabla 5 se tiene que estando el nivel freático a 55 cm del extremo de las raíces, el ascenso capilar es de 6.6 m/día, que satisface a la evapotranspiración potencial máxima.

Con esta información se puede estimar hasta qué profundidad del nivel freático el cultivo no tiene restricciones de agua. Si se tiene una profundidad radicular de 80 cm, entonces, hasta 135 cm de profundidad a partir de la superficie del nivel freático, aportará el agua necesaria; si baja el nivel, entonces habrá restricciones. Para 100 cm de profundidad radicular será de 155, para 120 de 175 y para 140 será de 195, respectivamente.

Para hacer el balance hídrico con aporte del nivel freático, se utilizó como nivel crítico 135 cm a partir de la superficie, y del modelo de si

Tabla 5. Flujo de ascenso capilar máximo. Suelo arenoso.

WD (cm)	FLim (mm / día)
50	9,60
55	6,60
60	4,60
65	3,40
70	2,50
75	1,90
80	1,50
85	1,10
90	0,90
95	0,70
100	0,60
105	0,50
110	0,40

WD = Profundidad del nivel freático desde el plano donde terminan las raíces.

$F_{Lim}$  = Flujo de ascenso capilar máximo.



mulación se obtiene que la profundidad del nivel freático en enero es de 45 cm; con estos datos se realizó el balance, que aparece en la Tabla 6.

El balance indica que con la precipitación y el aporte del ascenso capilar, la evapotranspiración potencial se satisface adecuadamente, llegando a existir exceso en el mes de diciembre; cabe resaltar que en el modelo no se toma en cuenta las salidas o ajustes laterales por falta de información, por lo que el resultado del balance hay que tomarlo con cierta reserva.

El aspecto negativo fue estimado con la ecuación propuesta por Aguirre y Norero (1982), siendo ésta la siguiente:

$$\frac{P}{P_p} = 1 - \exp \left[ \left( \frac{3.44}{D_p} \right) y - \left( \frac{3.44}{D_p} \right) w \right] \quad (4.1)$$

en donde:

$\frac{P}{P_p}$  = Producción relativa

$D_p$  = profundidad radicular

$y$  = zona de subaereación

$w$  = profundidad del nivel freático a partir de la superficie del terreno.

Se determinaron producciones relativas para diferentes niveles de la napa freática y 3 profundidades radiculares, los cuales se pueden apreciar en la Tabla 7.

Tabla 6. Balance hídrico (con aporte freático).

	ENE.	FEB.	MAR.	ABRIL	MAYO	JUN.	JUL	AGOST.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
Precipitación (mm)	55,2	29,6	23,1	74,4	56,5	49,5	61,3	59,6	83,5	142,3	203,6	179,0
EIP (mm)	127,1	120,0	182,9	159,0	173,6	165,0	186,0	176,7	168,0	136,4	150,0	133,3
Alm. del suelo (mm)	75	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,9	59,5	75,0
Profun. del nivel freát. (cm)	45	66	73	77	81	84	85	88	90	91	50	28
Ascenso ca- pilar. (mm)	0,0	87,3	159,8	84,6	117,1	115,5	124,7	117,1	84,5	0,0	0,0	0,0
Exceso (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	30,2
Déficit (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 7. Producción relativa para diferentes profundidades radiculares y diferentes profundidades del nivel freático.

Profund. del nivel freático (cm)	Profund. radicular 100 cm Produc. relativa (%)	Profund. radicular 120 cm Produc. relativa (%)	Profund. radicular 140 cm Produc. relativa (%)
5	3,38	2,84	2,43
10	13,65	15,83	13,71
15	31,50	27,08	23,68
20	42,33	36,83	32,51
25	51,44	46,27	40,31
30	59,11	52,59	47,21
35	65,58	58,93	53,31
40	71,02	64,42	58,71
45	75,60	69,17	63,48
50	79,45	73,30	67,71
55	82,70	76,87	71,44
60	85,43	79,96	74,74
65	87,73	82,64	77,66
70	89,67	84,96	80,24
75	91,30	86,97	82,53
80	92,68	88,71	84,55
85	93,84	90,22	86,43
90	94,81	91,53	87,91
95	95,63	92,66	89,21
100	100,00	93,64	90,31
109	-	94,49	91,64
110	-	95,23	92,61
115	-	95,87	93,46
120	-	100,00	94,22
125	-	-	94,89
130	-	-	95,48
135	-	-	96,00
140	-	-	100,00

### Determinación de la Eficiencia de Conducción

Para determinar la eficiencia de conducción, se usó el método de diferencias de caudales, y en el canal principal solamente, debido a que los laterales prácticamente no tienen pérdidas y desde su inicio empieza el riego a nivel parcelario, de modo que funcionan como laterales distribuidores.

El canal principal fue dividido en 4 tramos. El primer tramo comenzaba en la salida del tubo de aducción del embalse en el canal de tierra y terminaba al inicio del canal rectangular de concreto; el siguiente tramo comenzaba en el inicio del canal rectangular y terminaba después del canal H, el tercer tramo comenzaba donde terminaba el anterior y acababa después del canal E, finalmente, el último tramo se iniciaba después del E y terminaba al inicio del canal A. (Ver Figura 6).

También se midió la eficiencia de conducción total en el canal rectangular y en el canal de tierra; para el canal de tierra se utilizó la ecuación (3.25) y para los otros tramos y en el rectangular la ecuación (3.24) (Ver Figuras 7 y 8).

Para el canal de tierra, la sección fue calculada con el método de la SARH a través de la ecuación (3.27), y la velocidad se midió con molinete de copas previamente calibrado en el Laboratorio de Hidráulico de la Universidad de Los Andes; los métodos usados fueron los de 0.6 de la profundidad y con flotador. En el Apéndice 2 aparecen todos los cálculos relacionados con los aforos.

En el canal rectangular, como su sección era conocida, sólo se midió la velocidad; aquí se usaron tres métodos: con molinete a 0.6 de la profundidad, con aflorador y usando la ecuación (3.28) de Manning. En el Apéndice 3 se encuentran los resultados que muestran que no hubo mucha diferencia entre los tres métodos, por lo que se usó la ecuación (3.28) para estimar el caudal en función del tirante y se calibró el inicio del canal rectangular; los resultados aparecen en el Apéndice 3.

SISTEMA DE RIEGO TOCUYO LA COSTA

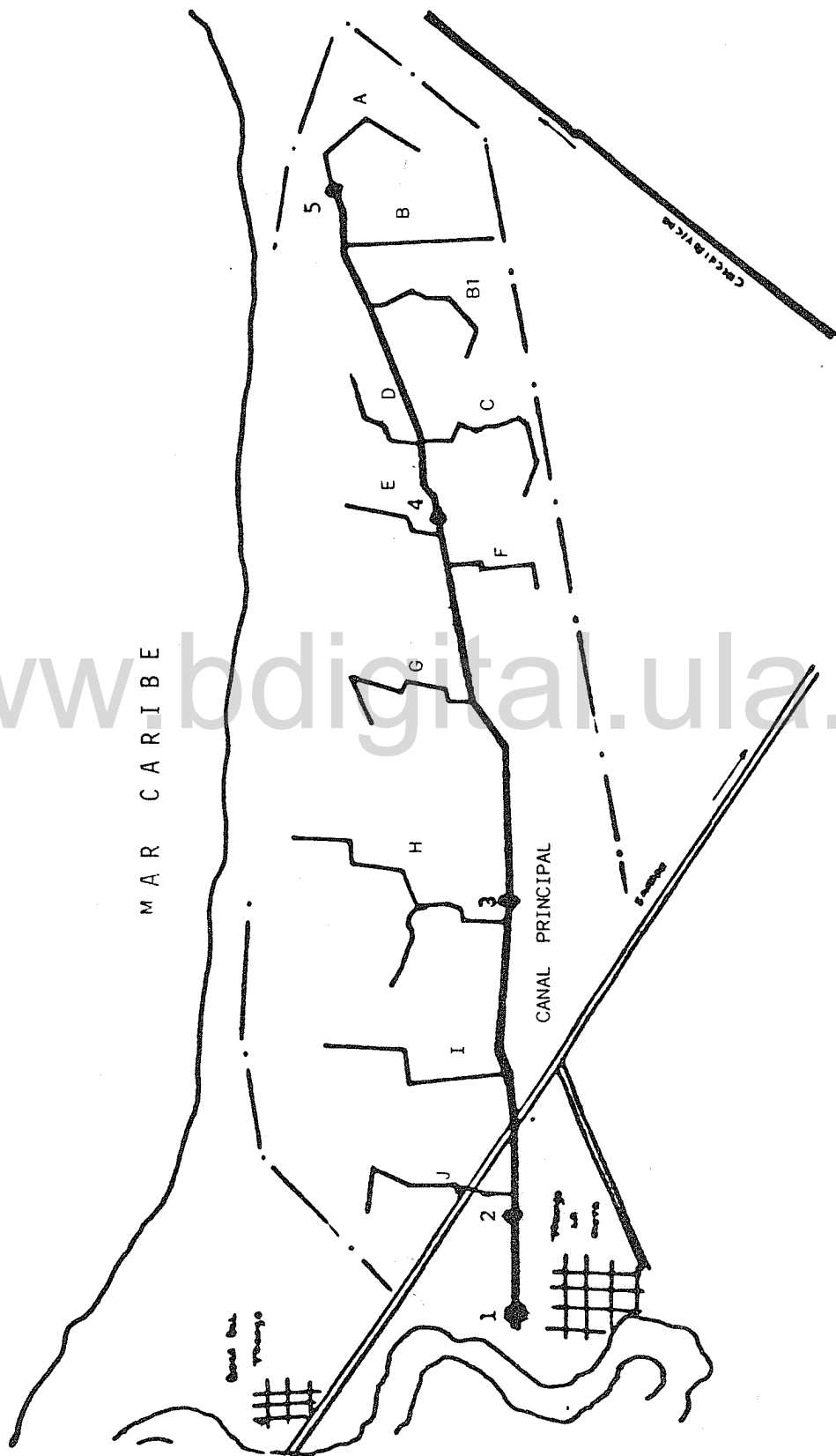


Figura 6. Puntos de control



Figura 7. Aforo en el canal trapezoidal de tierra.



Figura 8. Aforo en el canal rectangular de concreto.

Para los canales laterales y todas las tomas y sifones se usó el método del flotador, tomándose la velocidad media como 0.8 de la velocidad superficial.

Los aforos se realizaron los días 26 y 27 de abril y los días 16, 17 y 18 de mayo.

### Estimación de aportaciones

Las aportaciones son los volúmenes de agua que entran al embalse en forma de escurrimientos superficiales, o como precipitación directa sobre el área del vaso.

Para estimar los volúmenes que entran al embalse en forma de precipitación se tomaron los datos de la estación de Tocuyo La Costa (0396), la cual queda aproximadamente a 2 km.

Debido a que no se cuenta con registros de los caudales que entran al embalse, el MARNR (1984) generó datos de esorrentía, los cuales fueron usados para calibrar un modelo de simulación hidrológica mensual y generar escurrimientos para hacer el funcionamiento del embalse.

### Modelo de simulación hidrológica mensual (SIHIM)

La simulación hidrológica es la técnica en la cual se aplica un modelo a una cuenca hidrológica, para evaluar indirectamente su comportamiento ante ciertas funciones de entrada.

Los modelos de simulación hidrológica se pueden clasificar en paramétricos y estocásticos. En los primeros, el sistema hidrológico está representado por una serie de formulaciones que describen la respuesta del sistema a ciertas funciones de entrada; los segundos se basan en los conceptos de análisis estadístico, en donde el fenómeno se considera como una variable estadística (Duque y Barrios, 1986).

Este modelo fue desarrollado para pequeños incrementos de espacio y grandes intervalos de tiempo. Como el intervalo de tiempo es de un mes, se consideran solamente los procesos de larga duración, como la evapotranspiración, la infiltración, la percolación, el escurrimiento y el flujo base.

### Estructura del modelo

La estructura del modelo es el orden o secuencia en que se calculan los diferentes procesos que forman el sistema hidrológico y, en este modelo, está dado por los siguientes pasos:

1. Se calcula la precipitación media, la evaporación media y la evaporación potencial.
2. Se determina la fracción del almacenamiento en la vertiente que pasa por infiltración al interior del suelo, y el almacenamiento superficial que posteriormente saldrá como escurrimiento.
3. Se determina la fracción de la infiltración que percola hacia el almacenamiento del agua subterránea y la fracción que es retenida como el almacenamiento de humedad del suelo.
4. Se calcula, tanto la fracción de la humedad que sale del almacenamiento de humedad del suelo en forma de evapotranspiración, como el contenido final de este almacenamiento.
5. Considerando la percolación, el flujo subterráneo afluente y el almacenamiento inicial del agua subterránea, se calcula el caudal base, el flujo subterráneo efluente y el contenido final del almacenamiento del agua subterránea.
6. A partir del almacenamiento superficial, se determina el escurrimiento que sumado al caudal base formará la esorrentía total.



## Calibración del modelo

Como dentro de la cuenca no existe ningún registro hidrométrico, se usaron datos de escurrimientos generados por el MARNR (1984). Las estaciones de precipitación escogidas fueron: el Mene (0218), Santa Rosa (0219), Tocuyo La Costa (0396) y Araurima (1307).

Para la calibración se tomaron valores iniciales de los parámetros y estos fueron optimizados por el mismo modelo, a través del método unidimensional de búsqueda de la "Sección de Oro".

El modelo se ajustó bien, obteniendo sólo diferencias del 1.18% y un coeficiente de correlación lineal de 0.976. (Ver Apéndice 5).

## Generación de datos de escorrentía

Usando un modelo de simulación estocástica autoregresivo mensual, se generaron trazas sintéticas de 25 años para las estaciones escogidas (Ver Apéndice 6). Posteriormente, estos datos se usaron en el modelo de simulación hidrológica mensual y se generaron 2 trazas de 25 años de escorrentía. (Ver Apéndice 5), las cuales se utilizaron después en el movimiento del embalse.

## Funcionamiento del embalse

Para analizar el funcionamiento del embalse se usaron las demandas máximas. Para el caso de riego, se usaron los volúmenes derivados en 1987 por este concepto y, en el caso de demanda urbana, se usó 200 l/s que es la proyección que tiene el INOS para el futuro, aunque sólo se usan 30 l/s. Las aportaciones utilizadas fueron las generadas por el modelo de simulación hidrológica mensual, usando 2 trazas sintéticas de 25 años obtenidas del modelo estocástico autoregresivo.

La simulación del movimiento del embalse se hizo con un modelo que utiliza el método de la curva de masa, creado por Amisial y Barrios (1986).

## Modelo de la simulación de la operación de un embalse (S130E)

Smith y Amisial, citados por Amisial y Barrios (1986), presentaron en 1984 este método, desarrollado como una técnica de simulación para el caso genérico de una regla de operación, acorde con el manejo de sistemas reales de un embalse, y considerándose por separado la demanda de los diferentes usuarios del sistema.

En forma general la regla genérica de operación de embalses, consiste en dividir el volumen útil del embalse en zonas, a las cuales se asignan niveles diferentes de racionamiento de las demandas de cada tipo de usuario. Adicionalmente, se define una zona de seguridad correspondiente a un nivel de almacenamiento cercano al embalse vacío ó de cero volumen útil, cuyo objetivo es amortiguar el descenso del nivel en el embalse, evitando que se vacíe del todo.

### Estructura del modelo

A continuación se detalla la estructura general del modelo:

1. Se calculan las curvas masas de los aportes que se necesiten utilizar.
2. Se inicializa la curva masa de las entregas y se determinan las demandas del embalse de acuerdo a las políticas de racionamiento de la regla de operación.
3. Luego se aplica la regla de operación para determinar la curva masa de las entregas en un tiempo dado.
4. Por último se determinan y calculan los valores correspondientes a los puntos donde ocurren los alivios, déficits, las entregas y volúmenes almacenados en el embalse.

## Calibración del modelo

Debido a que sólo se iba a simular el comportamiento del embalse, y no se tomaron en cuenta restricciones de ningún tipo, no fue necesario calibrarlo, simplemente se corrió en el computador con los datos del embalse y de las demandas. (Ver Apéndice 7).

Los resultados aparecen en el Apéndice 7 y en la Tabla 16 donde se resumen para una mejor interpretación.

Todos los modelos utilizados existen en el banco de programas del CIDIAT, en lenguaje FORTRAN 77 e implementados para un Computador Hp-1000 con Sistema RTE - G6V m.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## CAPITULO V

### RESULTADOS Y DISCUSION

#### Diagnóstico de la situación actual del sistema de riego

##### Estado de conservación de las obras

El manejo y operación eficiente de un sistema de riego requiere de un buen mantenimiento y conservación de las obras que lo componen. Por tal motivo, el diagnóstico se comenzó con un recorrido por el sistema antes de la época de riego, los días 9 y 10 de marzo, haciendo una evaluación del estado de conservación y mantenimiento del sistema.

Durante el recorrido se observó que el estado del sistema de riego era deficiente, aunque éste tenía aproximadamente 10 meses de no usarse. Se estimó que las actividades básicas necesarias para resolver este problema son:

1. Hacer un inventario de las obras, que comprenda el número de tomas, alcantarillas, sifones, compuertas y su ubicación, ya que no se tiene en la actualidad.
2. Hacer un programa de las necesidades de conservación del sistema, determinando prioridades, su ciclo óptimo y costo total.

El análisis permitió determinar que las prioridades básicas de conservación son las siguientes:

- a. Deshierbe y desmonte en canales
- b. Extracción de azolves y sedimentos en canales, sifones y alcantarillas.
- c. Arreglo de bordes y bermas del canal principal en el tramo de tierra y rectificación de su sección.

d. Reparación del revestimiento en el canal de concreto.

e. Arreglo de estructuras, como tomas, alcantarillas, vertederos Neyrpic y compuertas AMIL.

f. Conformación y extendido de material en caminos.

Posteriormente se podría pensar en un mejoramiento del sistema a través de la contratación de diversas obras, como un puente de aforo al inicio del canal principal, varias tomas y canales nuevos de concreto.

La falta de conservación, trae como resultado el deficiente manejo del sistema, ya que la capacidad del canal principal se ha visto reducido por los azolves y sedimentos y no alcanza a satisfacer la demanda de los canales laterales y tomas directas. Además, en muchas parcelas no existen tomas y se tiene que derivar el agua a través de sifones que necesitan de carga para funcionar adecuadamente, o se usan canales de tierras que nacen de otras tomas cercanas atravesando otras parcelas, aumentando el recorrido del agua y por ende de las pérdidas de conducción (Ver Figuras 9 y 13).

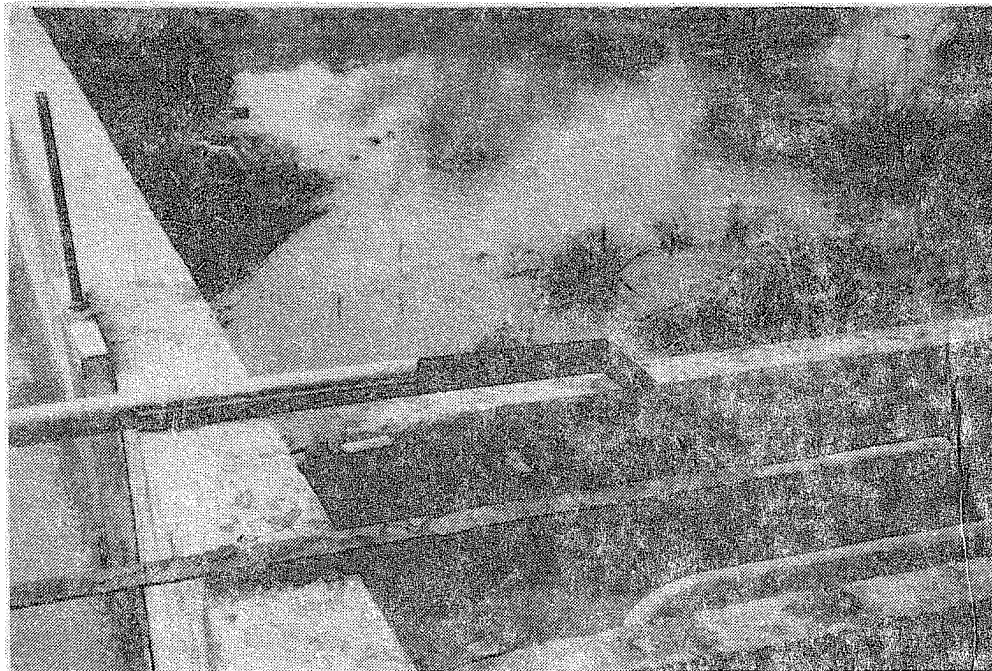


Figura 9. Conservación deficiente en la toma de un lateral.

También el inicio de la temporada de riego fue retrasado por más de dos meses, debido a la reparación del mecanismo de la compuerta del inicio del canal principal, y del desmonte y deshierbe de éste, trayendo como consecuencia un efecto negativo al cultivo por falta de agua.

Otro aspecto importante de la falta de conservación, es que el sistema de riego fue diseñado para operar con un control desde aguas arriba, a través de compuertas de control automático Neyrpic, tipo AMIL, que mantienen constante el nivel del tirante en el lado de aguas arriba; y como éstas están fuera de uso, no existe un control en el tirante de operación lo que afecta el gasto en los canales laterales y tomas directas. Por otro lado, la mayoría de los canales laterales tienen dos tomas directas al inicio, controladas por un vertedor "pico de pato" Neyrpic de carga constante de las cuales en todo el sistema sólo sirve uno, no pudiéndose por lo tanto controlar la carga sobre las compuertas, lo que afecta los caudales, tanto en los tramos como en el canal. (Ver Figuras 10 y 11).

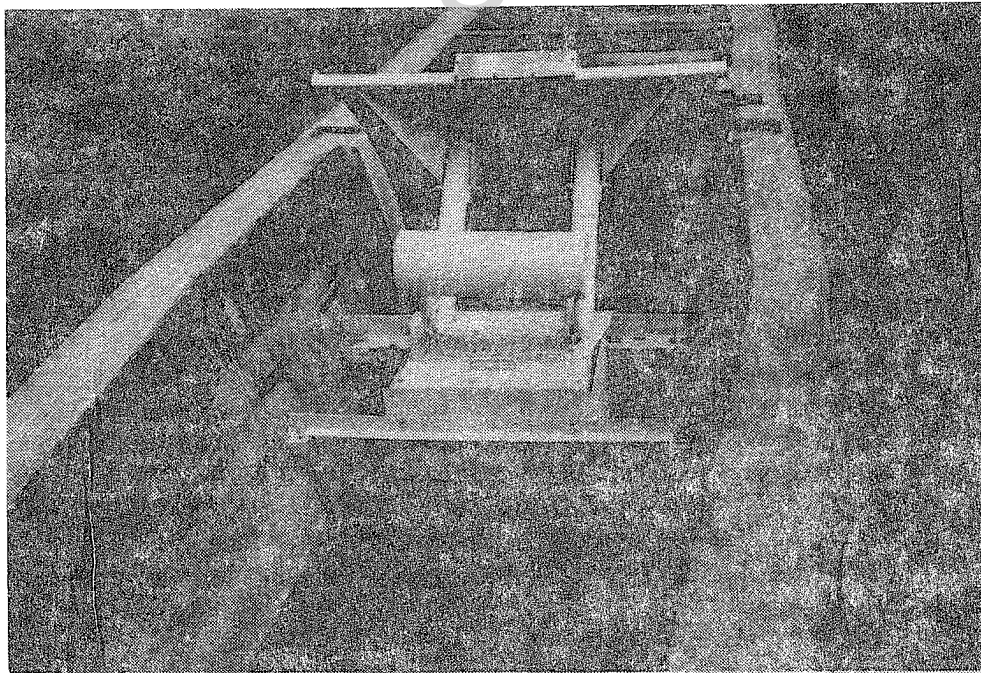


Figura 10. Compuerta tipo AMIL

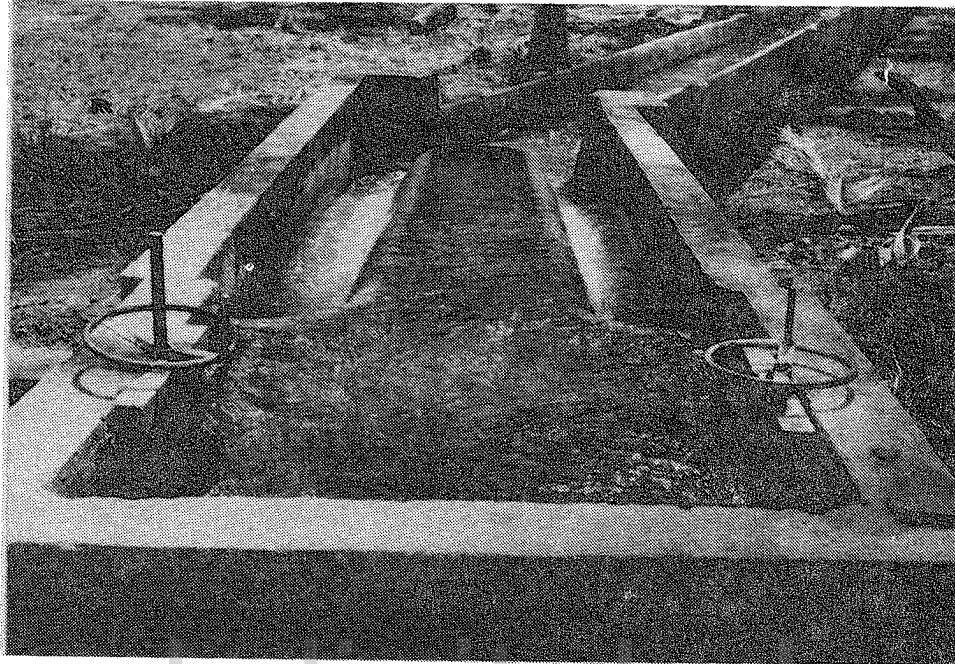


Figura 11. Vertedor "Pico de pato" de Neyrpic.

### Operación y manejo del sistema

El objetivo básico de la operación de un sistema de riego es el de llevar el agua desde la fuente de abastecimiento a la parcela de los usuarios y entregarla en cantidad necesaria y en el momento oportuno, con la máxima eficiencia posible.

Para hacer un diagnóstico de la operación y del manejo del sistema, fue necesario dividirlo en tres partes. Primero se analizó la forma en que fue diseñado el sistema y de cómo se debería operar y manejar, después se evaluó la forma actual de operación y, posteriormente, se hizo un análisis del manejo del embalse.



## Diseño del sistema de riego

El sistema de riego fue diseñado para regar 3054 ha, aunque sólo se riegan 2123 ha (MAC, 1987); el agua es conducida de la toma del embalse por una tubería de aducción hasta un sifón que cruza el río Tocuyo y descarga en el inicio del canal principal, aquí existe una compuerta radial que permite controlar el caudal de salida. El canal principal en sus primeros 4 km es de tierra, de sección trapezoidal, después tiene un tramo revestido de 300 m y en un puente cambia de sección a una de forma rectangular hasta el fin del canal 8.5 km adelante. (Ver Figura 12).



Figura 12. Inicio del canal principal.

El caudal de diseño del canal rectangular en su inicio es de 3060 l/s (1.01 l/s/ha), comienza con un ancho de 3 m y termina en 1 m.

Los canales laterales fueron construidos con canaletas de concreto de forma parabólica, de diferentes tamaños y longitudes (Ver Tabla 1) y en total son 11.

Se deriva un caudal al canal principal y se hace la distribución de forma continua a todos los laterales. La manera de controlar los niveles de agua y, por lo tanto, la carga sobre las tomas de los laterales y las tomas directas, se hace desde aguas abajo a través de compuertas de control automático que mantiene constante el tirante en el lado de aguas arriba, independiente del valor del gasto que esté circulando por el canal; esto trae como consecuencia que el caudal de los laterales y las tomas serán constantes para una abertura dada.

Este tipo de compuerta facilita mucho la operación del sistema, ya que si se abre o se cierra alguna toma del canal principal no afecta el nivel del agua, debido a que la cámara flotante de la compuerta hace que ésta se abra o se cierre manteniendo el mismo tirante; por lo que una red equipada con este tipo de compuertas se ajustará automáticamente a los cambios de gasto, en todo el canal, hasta el inicio de éste. De esta forma, con sólo manejar el caudal del canal principal, se tiene un control, en toda la red, de los niveles de operación y de los gastos derivados.

El control de los gastos derivados se hace a través de vertederos "pico de pato" de Neyrpic, los cuales son calibrados previamente. Estos vertederos permiten una carga constante a las dos tomas que se encuentran en el inicio de los laterales y permiten conocer el caudal que pasa aguas abajo con sólo leer las escalas; además, las secciones parabólicas de los canales laterales han sido calibrados por el fabricante, por lo que conociendo sólo el tirante y la pendiente se conoce el gasto que lleva el canal, lo que permite producir tablas que relacionen el tirante y el caudal.

La forma de entrega del agua al usuario es por rotación, pues el caudal derivado del embalse no alcanza a satisfacer a los 298 regantes al mismo tiempo, ya que como el tipo de suelo y cultivo es el mismo, todos quisieran regar simultáneamente; esto se resuelve con un programa de rotación de entrega de agua al usuario.

## Operación y manejo actual del sistema de riego

Al hacer el recorrido por el sistema de riego se comprobó que no se opera de acuerdo a como fue diseñado; las compuertas automáticas y los vertedores "pico de pato" Neyrpic no funcionan y el estado de conservación no es el adecuado en la mayoría de las estructuras, canales y caminos.

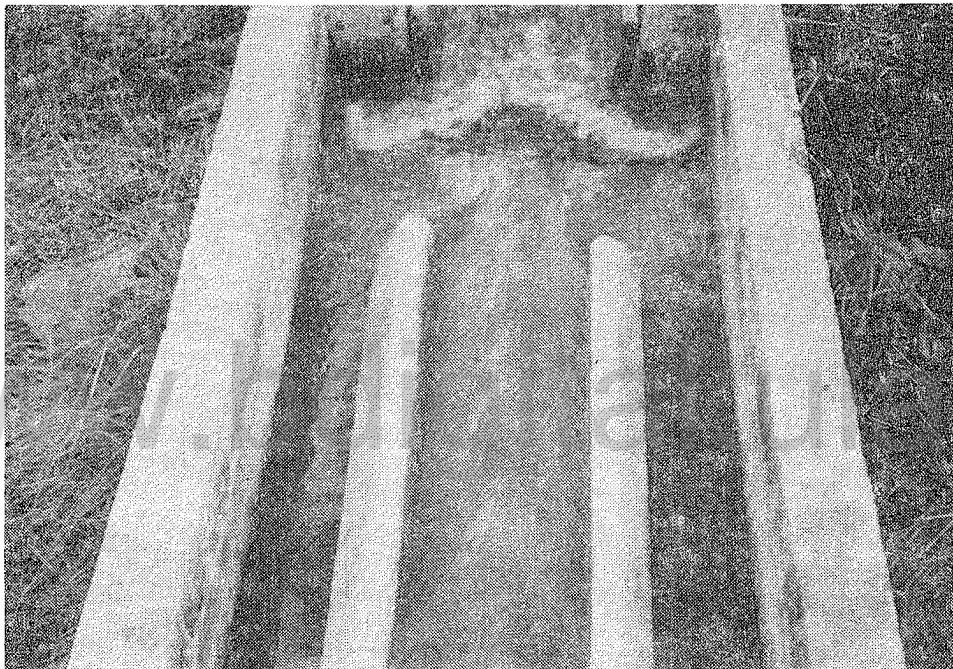


Figura 13. Vertedor "Pico de pato" dañado.

Antes del inicio de la temporada de riego se formó una junta de usuarios con la finalidad de limpiar el canal principal, ya que se encontraba en pésimas condiciones y el MAC no contaba con presupuesto para ello. Con la ayuda de FONCOPAL, el canal principal fue limpiado, pero no se extrajeron los azolves y sedimentos, por lo que su capacidad no aumentó significativamente.

Se hizo un análisis de la temporada de riego del año anterior, se calculó la lámina bruta promedio del sistema, siendo ésta de 53,57 cm (Ver Tabla 8) y, como el suelo tiene una capacidad de almacenamiento de 6 cm/m de profundidad (Ver Apéndice 1) y el promedio de profundidad radicular obtenido fue de 120 cm (Ver Tabla 2), se tomó 7,2 cm como lámina de reposición; y, aplicando la ecuación (3.11), se obtuvo una eficiencia global del sistema de 13,44%, la cual es muy baja. Haciendo lo mismo con Cadillal, se observa que las pérdidas son aún mayores, esto es debido a que no hay canales revestidos, se conduce el agua por un canal de tierra hasta los caños y de ahí los productores la bombean. Haciendo un promedio en las 3123 ha se tiene que de los 19.278 Hm<sup>3</sup> sólo se aprovecha el 11,66%, ó sea 2.248 Hm<sup>3</sup> y se pierden 17.030 Hm<sup>3</sup>.

Tabla 8. Eficiencia global de riego en el año de 1987.

Zona de riego	Nº de productores	Superf. regada (ha)	Caudal promed. (m <sup>3</sup> /seg)	Volum. total (Hm <sup>3</sup> )	Lámina (cm)	Eficiencia (%)
Sistema de riego Tocu yo La Costa.	298	2123	1,755	11,3724	53,57	13,44
Cadillal	106	1000	1,220	7,9056	79,06	9,11
Total	404	3123	-	19,278	61,73	11,66

Fuente: (MAC 1987)

Analizando la situación en la que se encuentran los productores, con un suelo de muy baja capacidad de retención de humedad, poca disponibilidad de agua para riego, suelos muy permeables y desnivelados y un nivel freático elevado, la única solución que han encontrado es aplicar grandes volúmenes de agua al suelo y elevar así la napa freática hasta la proximidad del sistema radicular, lo que permite el aporte capilar al proceso evapotranspiratorio.

Esta forma de manejar el riego permite proporcionar a la planta humedad necesaria por un tiempo, hasta que llegan las lluvias, a través de una subirrigación informal. (Ver Figura 14).



Figura 14. Riego a nivel parcelario

Sin embargo, el nivel freático elevado ocasiona problemas al cultivo, por exceso de humedad en la zona radicular, provocando asfixia a las raíces, pues al estar impedido el intercambio gaseoso las raíces mueren; además, se origina un incremento notable en las enfermedades fungosas (Ver Tabla 17) lo que trae como consecuencia una reducción del rendimiento del cultivo.

Una parte importante del diagnóstico de la operación del sistema de riego fue estimar la eficiencia de conducción en canales; en el Apéndice 2 aparecen todos los cálculos y en la Tabla 9 las eficiencias estimadas por tramo. Analizando esta tabla, se puede apreciar que el tramo que más pérdidas tiene, es el comprendido entre la salida del conducto de aducción y el inicio del canal rectangular, lo cual es lógico ya que el canal es de tierra; la eficiencia de conducción varía del 62.42% para el día 26 de abril,

hasta el 76.70% para el día 17 de mayo. Esto es debido a que al inicio del riego, el canal se encuentra seco y la infiltración es mayor que cuando está saturado, después de varios días de conducir agua.

Los demás tramos revestidos, presentan eficiencias de conducción similares que varían del 96 al 97%, lo que indica que las pérdidas son pequeñas, principalmente debido a grietas o fracturas de las losas de concreto armado, las cuales tienen aproximadamente de 20 a 30 cm de espesor.

La eficiencia de conducción total, calculada con la fórmula (3.24), varía desde el 60.56% hasta el 75.92%, teniendo como promedio el 68.4%; esta diferencia es debido a la variación de la eficiencia en el canal de tierra a través del tiempo.

Cabe destacar, respecto de la eficiencia de conducción, que por medición directa, en tramos parciales de canal, se midió la eficiencia intrínseca (ecuación 3.14). La eficiencia de operación también componente de la eficiencia de conducción, no fue posible determinarla por falta de información histórica sobre caudales derivados de la fuente de abastecimiento y el caudal entregado a las parcelas.

Como se podrá apreciar, el problema no es la conducción del agua por el canal principal, sino su manejo. Al inicio de la temporada de riego todos los productores quieren regar al mismo tiempo, no existe un orden de riegos, ni un control adecuado del agua, lo que ocasiona que los que están cerca o tienen toma del canal principal, son los que riegan primero.

Al aumentar el número de usuarios que están regando el caudal disponible para cada uno disminuye, siendo el promedio en 51 tomas aforadas de 30.7 l/s, pero la mayoría tiene de 15 a 20 l/s y, unos pocos, caudales superiores a los 50 l/s. (Ver Apéndice 2). Esto tiene como consecuencia que el avance del riego en las fincas sea muy bajo, al perderse gran cantidad de agua en la conducción de las regaderas y canales terciarios, bajando nota -

blemente la eficiencia de riego; en otro tipo de suelo no sería tan problemático, pero aquí las altas tasas de infiltración de los suelos complican la situación.

Tabla 9. Eficiencias de conducción por tramo de canal.

Fecha	Tramo del canal	$\Sigma q$ (m /seg)	Q (m /seg)	Efc parcial (%)
26 de Abril	Salida del conducto de aducción (Pto. control N° 1)	-	3.119	-
	Inicio del canal rectangular (Pto. control N° 2)	0	1.947	62.42
	Después del canal H (Pto. de control N° 3)	0.744	1.167	97.01
	Efc total Después del canal E (Pto. de control N° 4)	0.514	0.635	97.24
	60.56% Inicio del canal A (Pto. de control N° 5)	0.434	0.197	98.0
27 de Abril	Salida del conducto de aducción	-	3.060	-
	Inicio del canal rectangular.	0	1.917	62.65
	Después del canal H	0.721	1.160	96.90
	Efc total Después del canal E	0.520	0.622	97.19
	60.25% Inicio del canal A	0.442	0.176	97.78
14 de Mayo	Salida del conducto de aducción.	-	2.566	-
	Inicio del canal rectangular.	0	2.032	79.19
	Después del canal H	0.734	1.259	97.0
	Efc total Después del canal E	0.869	0.352	96.98
	75.92% Inicio del canal A	0.294	0.051	98.01

Tabla 9. Eficiencias de conducción por tramo de canal (Continuación)

Fecha	Tramo del canal	$\Sigma q$ (m /seg)	Q (m /seg)	Efc parcial (%)
17 de Mayo	Salida del conducto de adu <u>cción.</u>	-	2.682	-
	Inicio del canal rectangul.	0.018	2.039	76.70
	Después del canal H	0.641	1.335	96.91
	Efc total Después del canal E	0.977	0.320	97.15
72.67%	Inicio del canal A	0.277	0.036	97.80
18 de Mayo	Salida del conducto de adu <u>cción.</u>	-	2.825	-
	Inicio del canal rectangul.	0	2.154	76.26
	Después del canal H	0.788	1.297	96.8
	Después del canal E	0.911	0.348	97.12
	Efc total 72,14% Inicio del canal A	0.317	0.022	97.41

Efc tramo 1 = 71.44% , S = 8.20 , CV = 11.48%

Efc tramo 2 = 96.94% , S = 0.088 , CV = 0.09%

Efc tramo 3 = 96.13% , S = 0.098 , CV = 0.10%

Efc tramo 4 = 97.10% , S = 0.243 , CV = 0.25%

Efc total = 68.41% , S = 7,22 , CV = 10.56%

La distribución del agua consiste en colocar en los canales y dejar que los propios productores la tomen, si acaso controlando un poco la abertura de las compuertas con cadenas. Como hay muchas tomas clandestinas, los niveles de los canales varían mucho, al igual que los caudales. (Ver Figura 15).



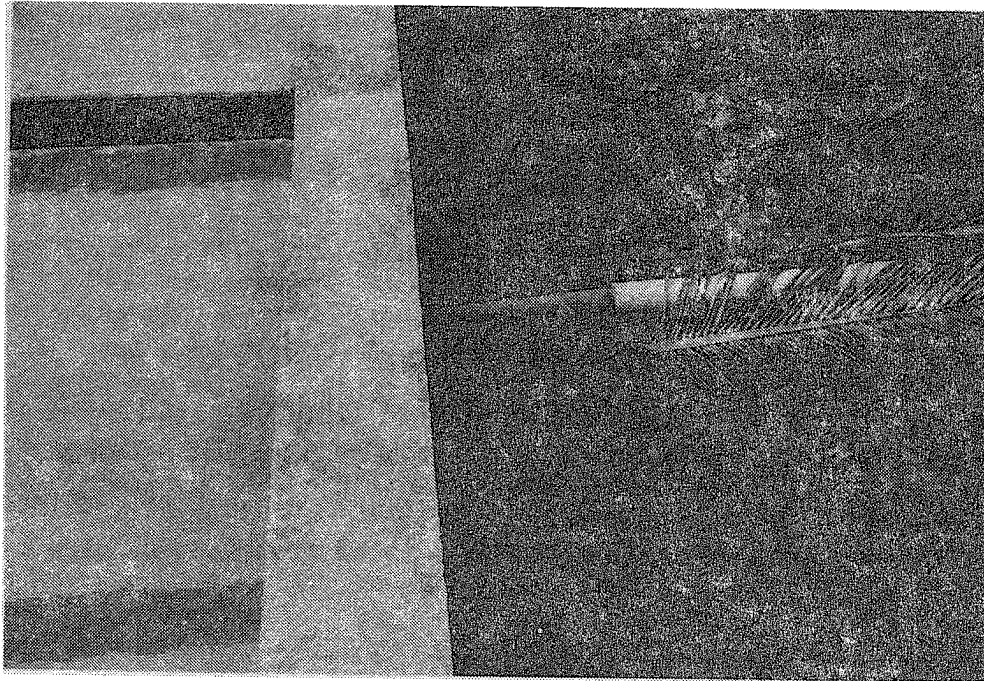


Figura 15. Toma clandestina en el canal principal

Este mal manejo del sistema resulta en una deficiente distribución del agua, al no existir equidad ni flexibilidad en la entrega al usuario. Se puede decir que la operación de este sistema de riego no cumple con los objetivos básicos de entregar el agua en cantidad necesaria y en el momento oportuno al agricultor, aunque sí ocurre, parcialmente, por la subirrigación informal a que conduce el ascenso capilar.

La solución a este problema es difícil, ya que implica la colaboración directa del usuario, tanto física como económicamente.

En primer lugar, es necesario organizar al sistema de riego, ya que el MAC sólo asigna a un técnico para supervisar el riego una vez al año, que además no cuenta con el presupuesto necesario para administrarlo adecuadamente. Y como existe un evidente interés por parte de los usuarios en mejorar la situación, es conveniente que los mismos usuarios operen el sistema de riego, a través de una junta de riego integrada por usuarios elegidos por voto directo, en asamblea de regantes.

La función de la junta de riego será básicamente operar y conservar el sistema de riego en forma eficiente; para ello se requerirá un presupuesto y los gastos serán financiados por medio de una cuota que todos los usuarios del sistema tendrán que pagar. La junta tendrá la responsabilidad de vigilar que la distribución del agua sea en forma equitativa y oportuna para todos los usuarios, respetando el orden de riegos.

Para mejorar la distribución del agua, es necesario operar el sistema de acuerdo a como fue diseñado, controlándola con las compuertas AMIL aguas arriba, y manteniendo los tirantes en el mismo nivel de operación. Se deberá hacer un padrón de usuarios que permita conocer por cual canal riega cada productor y qué superficie bajo riego tiene, lo que permitirá hacer un plan de riego por canal y un programa de rotación o turnos de riego.

La rotación deberá hacerse desde el inicio del canal principal hacia el final, dividiéndose de tal forma que permita a los productores manejar caudales grandes y disminuir el tiempo de riego para cada parcela. La división podrá ser en 2 tramos, la ventaja de concentrar el agua en una zona, es que es más fácil supervisar la distribución, además, el hecho de comenzar a regar desde el inicio hacia el final permite mantener el tramo final sin agua, por lo que los productores que quieran intentar regar antes, no podrán hacerlo, al no haber agua en el canal, evitándose de esta forma las tomas clandestinas.

#### Manejo de Riego a Nivel Parcelario

Debido a las condiciones tan especiales del manejo del riego a nivel parcelario, y que tiene una gran influencia en la operación del sistema, fue necesario establecer reglas prácticas que permitieran mejorarlo.

Los productores al regar su finca, no tienen un control del volumen que están aplicando, y terminan el riego una vez que el nivel freático se encuentra casi en la superficie, con las consecuencias anteriormente mencionadas.

Para solucionar este problema, se siguió la metodología propuesta por Aguirre y Norero (1982), descrita en el capítulo anterior. Con la evapotranspiración potencial máxima de 6.5 mm/día que se presenta en el mes de junio, obtenida de la Tabla 3, se entra a la Tabla 5 donde se determina que con una profundidad del nivel freático, a partir del plano de las raíces, de 55 cm, se satisface la demanda. Esto indica que la profundidad máxima del nivel freático deberá estar a 55 cm debajo de la profundidad radicular para satisfacer la evapotranspiración potencial, aunque la evapotranspiración real del cocotero quedará satisfecha a una profundidad mayor.

La profundidad radicular media fue de 120 cm, pero para este caso se usará una profundidad de 80 cm a fin de proteger a todas las plantas que no alcancen la media, lo cual indica que la profundidad máxima que podrá bajar el nivel freático será de 135 cm a partir de la superficie.

Para analizar el aspecto negativo de los niveles freáticos elevados, en la Tabla 7 se muestra que para una profundidad radicular máxima de 140 cm y aceptando una disminución del rendimiento del 25%, se obtiene la menor profundidad que podrá alcanzar el nivel freático, esto es 60 cm. Se tomó el 25% de reducción del rendimiento, ya que el análisis teórico de la fórmula 4.1 está hecho para cultivos que no son muy tolerantes a los excesos de humedad, pero el cocotero es un cultivo que resiste a períodos de tiempo bajo inundación. Además, para la profundidad radicular media (120 cm) la producción relativa será del 80%, permitiendo un rango mayor entre los dos límites de profundidad: 75 cm.

Para manejar el riego a nivel parcelario de una forma más eficiente, el procedimiento a seguir sería:

1. Tomar lecturas de los niveles freáticos; si se ve que la profundidad del plano freático es mayor de 135 cm. regar.

2. De acuerdo a la profundidad, se aplica una lámina para humedecer el suelo hasta capacidad de campo y otra para elevar el nivel freático hasta 60 cm de la superficie del terreno, siendo la lámina total la suma de las dos.

3. Usando un caudal módulo de 60 l/s, con el cual fue diseñado el sistema de riego, se podrá conocer el tiempo de riego por hectárea y de la superficie total de cada finca, pudiéndose establecer un orden de riegos.

4. Se podría establecer una "eficiencia de aplicación", conociendo la lámina que se debió aplicar y la que se aplicó en la realidad.

Por ejemplo, si se tiene que el nivel freático se encuentra a 140 cm, el procedimiento de riego sería: de la Tabla 10 se obtiene que para llevar al suelo a capacidad de campo se necesita una lámina de 8.4 cm y de la Tabla 11 se obtiene que la lámina para elevar el nivel freático a 60 cm es de 16.0 cm, por lo que la lámina total de riego sería de 24.4 cm. Si se tiene un caudal de 60 l/s, el tiempo de riego por hectárea será de 11.29 hr. Si a través de mediciones de caudal y de tiempo se observa que la lamina bruta empleada en el riego fue de 35 cm, entonces, usando la ecuación (3.11), se tiene una eficiencia de riego de 69.71%.

El manejo del riego, en esta forma, permitirá el ahorro de volúmenes de agua, se podrá establecer un orden de riegos y se evitarán los problemas de excesos de humedad y enfermedades fungosas que padece el cultivo después del riego.

Es necesario construir pozos de observación, cuando menos con una densidad de 1 cada 100 ha, y hacer un muestreo del agua freático; los pozos deberán referenciarse a un banco de nivel, para poder construir mapas de isobatas y de isohipsas, y obtener líneas de corriente y la dirección del flujo.

Tabla 10. Lámina de riego necesaria para elevar a capacidad de campo la humedad del suelo, a diferentes profundidades.

$$(d_r = 6 \text{ cm/m})$$

Profundidad (cm)	Lámina (cm)	Profundidad (cm)	Lámina (cm)
5	0,30	150	9,00
10	0,60	155	9,30
15	0,90	160	9,60
20	1,20	165	9,90
25	1,50	170	10,20
30	1,80	175	10,50
35	2,10	180	10,80
40	2,40	185	11,10
45	2,70	190	11,80
50	3,00	195	11,70
55	3,30	200	12,00
60	3,60	205	12,30
65	3,90	210	12,60
70	4,20	215	12,90
75	4,50	220	13,20
80	4,80	225	13,50
85	5,10	230	13,80
90	5,40	235	14,10
95	5,70	240	14,40
100	6,00	245	14,70
105	6,30	250	15,00
110	6,60		
115	6,90		
120	7,20		
125	7,50		
130	7,80		
135	8,10		
140	8,40		
145	8,70		

Tabla 11. Láminas de riego adicionales para elevar el nivel freático a 60 cm de profundidad (porosidad drenable 0.2).

Profundidad nivel freático (cm)	Lámina de riego (cm)	Profundidad nivel freático (cm)	Lámina de riego (cm)
250	38	130	14
245	37	125	13
240	36	120	12
235	35	115	11
230	34	110	10
225	33	105	9
220	32	100	8
215	31	95	7
210	30	90	6
205	29	85	5
200	28	80	4
195	27	75	3
190	26	70	2
185	25	65	1
180	24		
175	23		
170	22		
165	21		
160	20		
155	19		
150	18		
145	17		
140	16		
135	15		

Es importante establecer las áreas con aguas freáticas salinas y observar el comportamiento del cultivo cuando suben los niveles. En el muestreo realizado, de 7 pozos analizados sólo 2 resultaron con agua salina; en la Tabla 12 se aprecia la conductividad eléctrica y clasificación según el USDA.

Exceptuando los pozos 2 y 4, los cuales presentan altas concentraciones, los demás pozos no ocasionarían problemas ni al cultivo, ni al suelo, ya que se tiene un suelo de textura gruesa con buen drenaje y las lluvias y el riego evitarían el aumento de la concentración salina en la parte superficial del perfil del suelo; por otro lado, el cultivo es tolerante a la salinidad y la concentración promedio es de 651 ppm, lo que indica que la mayoría de los cultivos no tendrían problemas en desarrollarse en forma normal.

#### Operación del embalse

Usando el modelo de simulación de drenaje se aprecia que para un año promedio (Ver Tabla 6), normalmente no es necesario el riego, ya que las fluctuaciones del nivel freático rara vez bajan de 120 cm; aunque el modelo no toma en cuenta los aportes y salidas laterales las cuales pueden tener una influencia y hacer subir ó bajar el nivel freático. En el muestreo realizado se observa que de 7 pozos, sólo uno indica que no es necesario el riego, esto es debido en parte a que este año ha sido un año "seco" y ha llovido menos de lo normal.

Sin embargo, para fines del movimiento del embalse, se tomaron dos opciones, las cuales son las mismas que los usuarios llevan a cabo. La primera con un solo riego que comienza a mediados de febrero y termina a mediados de mayo, la otra opción con dos riegos, el primero, de marzo a mediados de mayo y el segundo de septiembre a octubre. Los volúmenes utilizados por cada período de riego fueron los mismos que se usaron en 1987, 19.278 Hm<sup>3</sup>.

Tabla 12. Calidad del agua freática.

Pozo N°	Prof. del nivel freát. (cm)	Conductividad eléct. (mmhos x 10 <sup>6</sup> /cm)	Clasificac. USDA
1	180	1156	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>
2	108	45965	C <sub>4</sub> S <sub>4</sub>
3	155	1015	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>
4	158	10000	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>
5	136	765	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>
6	138	940	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>
7	173	1210	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>

$$X = 1.49$$

$$S = 0.239$$

La otra demanda del embalse la constituye el caudal necesario para uso urbano que actualmente es de 30 l/s, pero dado que el INOS y el MARNR tienen una expectativa de 200 l/s para años posteriores, se usó este caudal para los fines del análisis.

La demanda total la constituyó la suma para cada mes, de los volúmenes para riego y de los volúmenes para demanda urbana.

Las aportaciones fueron generadas con el modelo de simulación hidrológica mensual (SIHIM), a través de 2 trazas sintéticas de 25 años de precipitación y evaporación, de las estaciones escogidas, mediante el modelo de simulación estocástica (LAPGM), las cuales aparecen en el Apéndice 6.

Ya que se tenían las demandas y las aportaciones, se procedió a simular la operación del embalse, para eso se utilizó la curva área-elevación-capacidad del embalse, en donde se destinó una zona para riego y otra para uso urbano; el límite entre las dos zonas fue de 49.5 Hm<sup>3</sup>, que corresponde a la cota 7.3 aproximadamente (Ver Tabla 13). No se usaron restricciones, ni factores de déficits.



Tabla 13. Curva elevación - área - capacidad del embalse Jatira - Tacarigua, Edo. Falcón.

Cota (m)	Area (ha)	Volumen (x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
2.0	237.8	8.29
2.5	270.4	9.67
3.0	303.0	11.06
3.5	343.8	12.67
4.0	384.6	14.49
4.5	569.6	17.34
5.0	754.6	20.19
5.5	1050.1	25.44
6.0	1345.6	30.69
6.5	1664.7	39.01
7.0	1983.8	47.34
7.5	2264.4	58.51
8.0	2545.1	69.68
8.5	2728.7	82.34
9.0	2912.3	95.00
9.5	3092.3	111.50
9.9	3268.7	127.67

Fuente: MARNR

Los resultados indican que el embalse está sobre protegido en su zona de uso urbano, ya que el MARNR y el INOS sólo proporcionan 20 Hm<sup>3</sup> para riego y 30 Hm<sup>3</sup> para uso urbano, lo cual trae como consecuencia que el embalse esté aliviando siempre. En cambio, con los resultados obtenidos en la simulación, para un solo riego, usando todo el volumen del embalse, el déficit en 50 años es de sólo el 0.5% con 0.12 Hm<sup>3</sup>; en cambio el alivio es de 1050.1 Hm<sup>3</sup> con 51 eventos y un 8.5% (Ver Tabla 14).

La situación cambia cuando se usan dos riegos en la simulación, ya que el déficit crece al 12.3% y 279.5 Hm<sup>3</sup> en 50 años, siendo el porcentaje de falla menor del 20% permitido; aún así, el alivio siguió siendo mayor, ya que es de 539.20 Hm<sup>3</sup> con un 6%.

Tabla 14. Resultados del movimiento del embalse en 50 años.

Déficit	Alivio
Un riego:	Un riego:
0,12 Hm <sup>3</sup>	1050,10 Hm <sup>3</sup>
3 eventos	51 eventos
0,5%	8,5%
0,04 Hm <sup>3</sup> /evento	20,59 Hm <sup>3</sup> /evento
Dos riegos:	Dos riegos:
279,5 Hm <sup>3</sup>	539,20 Hm <sup>3</sup>
74 eventos	36 eventos
12,3%	6%
3,77 Hm <sup>3</sup> /evento	14,98 Hm <sup>3</sup> /evento

Aquí se puede apreciar que con una sobre-elevación del embalse, se podría aumentar la superficie bajo riego en otras 3000 ha. Si se diera un solo riego al año y se mejorara su manejo a nivel parcelario, no habría necesidad de sobreelevar el embalse para aumentar la superficie en 2000 ha, lo que traería como consecuencia un uso más eficiente del embalse y se utilizaría el agua que ahora se desperdicia, lo que reeditaría en un mayor beneficio para la zona.

Se calcularon los diferentes volúmenes a extraer del embalse para diferentes profundidades del nivel freático, lo cual sería para este caso un plan de riegos ajustable de acuerdo a la ubicación de la napa freática (Ver Tabla 15).

#### Estado General del Cultivo

Un diagnóstico de un sistema de riego, sin tomar en cuenta el estado y productividad de los cultivos sembrados en él, estaría incompleto, ya que el objetivo real del sistema es proporcionar agua a los cultivos para aumentar su rendimiento.

En el caso del sistema de riego Tocuyo La Costa, el riego trae un incremento en la productividad y un beneficio económico a los productores, lo que se comprueba con una estimación que hizo FONCOPAL en 1987 (Ver Tabla 16); el hecho de proporcionar riego al cocotero incrementa la producción de 964 kg de copra/ha sin riego a 1909 kg de copra/ha con riego. El incremento del beneficio del riego por hectárea es de 5658 Bs., lo cual justifica el interés de los productores por aumentar el área bajo riego del sistema.

Si bien el riego causa beneficios al cultivo, también produce efectos nocivos, al subir el nivel freático y ocasionar asfixia a las raíces y aumento de las enfermedades fungosas. Esto se puede comprobar con el incremento de erradicación de plantas después de la temporada de riego, debido a complejos de hongos sobre el cocotero, siendo ésta la segunda causa de erradicación, después de la sequía, como se observa en la Tabla 17.

Tabla 15. Volúmenes a extraer del embalse, para diferentes niveles del manto freático.

Superficie de riego = 2123 ha

$E_{fc} = 68.41\%$

Profundidad del nivel freático (cm)	Lámina de riego (cm)	Lámina bruta (cm)	Volumen bruto (Hm <sup>3</sup> )
135	23,10	33,77	7.169
140	24,40	35,67	7.572
145	25,70	37,57	7.975
150	27,00	39,47	8.379
155	28,30	41,37	8.783
160	29,60	43,27	9.186
165	30,90	45,17	9.589
170	32,20	47,07	9.993
175	33,50	48,97	10.396
180	34,80	50,87	10.799
185	36,10	52,77	11.203
190	37,40	54,67	11.606
195	38,70	56,57	12.010
200	40,00	58,47	12.413
205	41,30	60,37	12.817
210	42,60	62,27	13.220
215	43,90	64,17	13.624
220	45,20	66,07	14.027
225	46,50	67,97	14.431
230	47,80	69,87	14.834
235	49,10	71,77	15.237
240	50,40	73,67	15.641
245	51,70	75,57	16.044
250	53,00	77,47	16.447
255	54,30	79,37	16.851
260	55,60	81,27	17.255
265	56,90	83,17	17.658
270	58,20	85,07	18.062
275	59,50	86,97	18.465

Tabla 16. Comparación entre plantación de cocoteros con riego y sin riego en el estado de Falcón.

Concepto	Sin riego	Con riego
Nueces por planta	45	70
Plantas por hectárea	150	150
Nueces por hectárea	6750	10 500
Nueces por ton. de copra	7000	5500
Kg de copra por hectárea	964	1909
Costos de producción por ha.	5084 Bs.	6522 Bs
Valor de la producción por ha.	7238 Bs.	14 334 Bs.
Beneficio por ha.	2151 Bs.	7 812 Bs.
Incremento del beneficio por el riego.	-	5658 Bs.

Fuente: FONCOPAL 1987

Tabla 17. Principales causas de erradicación de plantas

Causa	Porcentaje (%)
Sequía	46,54
Complejo de hongos	34,06
Anillo rojo	11,80

FUENTE: FONCOPAL, 1987.

Como se aprecia en la Tabla 17, el problema del cultivo es muy especial, porque mientras en una época del año sufre por sequía, en otra por exceso de agua, lo que trae como consecuencia que el cocotero no alcance una producción óptima. Esto es debido a que la humedad en el suelo no se regula adecuadamente, tal como se expuso al tratar el manejo del riego a nivel parcelario.

## CAPITULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### Conclusiones

1. El estado de conservación de las obras del sistema de riego no es el adecuado, trayendo como consecuencia problemas para la conducción del agua, así como para su distribución a los usuarios.

2. El sistema de riego no se opera de acuerdo a como fue diseñado; falta una planificación en el riego y control del agua en los canales, y su distribución no se ajusta a las demandas del cultivo, no siendo, además, equitativo ni flexible.

3. La operación del embalse es muy restrictiva para el riego y sobreprotege al uso urbano, por lo que se desperdicia mucha agua que podría utilizarse con beneficio de la región.

4. Tal como se aplica el riego, este no garantiza la regulación de la humedad en el suelo en forma adecuada, por lo que el cultivo sufre por sequía y por exceso de humedad, afectando sustancialmente su productividad.

5. Para mejorar la distribución del agua, es necesario operar el sistema de acuerdo a como fue diseñado, controlando los tirantes con las compuertas automáticas AMIL y estableciendo un programa de orden de riego por canal.

6. Las pérdidas de conducción están en un rango aceptable, pues la eficiencia de conducción de la red de riego es del 69.41%, por lo que, la excesivamente baja eficiencia global del sistema, se debe a la incidencia que en ella tiene la eficiencia de riego en el predio.

7. Para mejorar el manejo del riego a nivel parcelario, se propone utilizar como referencia, el regar de forma tal, que el nivel freático no suba más de 60 cm y no baje más de 135 cm a partir de la superficie del terreno.

8. Aunque proyectado para regar por superficie, la forma de aplicar el agua en uno o dos riegos, con grandes volúmenes, y las particulares condiciones edáficas y geohidrológicas del área, lo transforman en una sub-irrigación informal, ya que la freática satisface gran parte de las demandas evapotranspiratorias del cultivo durante el período de sequía.

9. Los métodos convencionales para calcular la eficiencia parcelaria de agua aplicada para elevar el plano freático debe considerarse en parte, como uso beneficioso de agua.

10. Dadas las características hidráulicas y agrícolas y del grado de desarrollo del sistema, y la escasa participación que en la administración del mismo tienen los organismos públicos, se considera pertinente responsabilizar de la operación y conservación a una junta de usuarios.

### Recomendaciones

Con el fin de mejorar la situación del sistema de riego se sugieren las siguientes recomendaciones:

1. Hacer un inventario de obras que componen el sistema de riego y ubicarlas en un plano.
2. Formular un programa con las necesidades de conservación, determinando prioridades, su ciclo óptimo y costo total.
3. Mejorar las obras del sistema de riego y reconstruir otras como las compuertas AMIL, vertederos Neyrpic, etc.



4. Elaborar un padrón de usuarios del sistema y ubicarlos por toma y canal con su nombre y superficie bajo riego.

5. Dividir el canal principal en dos secciones, regando primero una desde el inicio hasta la mitad y posteriormente la otra desde la mitad hasta el final.

6. Construir una batería de pozos de observación de los niveles freáticos, tomando lecturas mensualmente.

7. Llevar un control de la calidad de las aguas freáticas, muestreado cada 6 meses.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## BIBLIOGRAFIA

- Aguirre, M., y Norero, A. 1982. Estudio agrofísico de las relaciones entre la napa freática y la productividad de los cultivos. CIDIAT, Mérida, Venezuela.
- Amisial, R., y Barrios A. 1986. Modelos de simulación de la operación de un embalse de usos múltiples. CIDIAT-OEA. Mérida, Venezuela.
- Astorga, J. 1978. Funcionamiento de sistemas de riego. UCV-CIDIAT, Mérida, Venezuela.
- Colegio de Ingenieros de Venezuela. 1983. Jornadas venezolanas de riego y mejoramiento de tierras. Los sistemas de riego en Venezuela. Caracas, Venezuela.
- Chávez, J. 1977. Estimación de los coeficientes unitarios de requerimiento de riego mediante un modelo de simulación sintética. Tesis MC CP- Chapingo, México.
- Duque R., y Barrios A. 1986. Modelo de simulación hidrológica a escala mensual. CIDIAT, Mérida, Venezuela.
- Espinoza, V. 1962. Los distritos de riego. CECSA, México.
- Grassi, C. 1977. Operación y conservación de sistemas de riego. CIDIAT, Mérida, Venezuela.
- Grassi, C. 1987. Relaciones agua-suelo-planta. Apuntes de clase. CIDIAT, Mérida, Venezuela.
- MARNR. 1984. Estudio hidrológico y análisis de alternativas para el mejor aprovechamiento del sistema de riego Tocuyo La Costa. Informe Técnico. Caracas, Venezuela.
- \_\_\_\_\_ 1986. Diseño para el aprovechamiento óptimo del embalse Tocuyo La Costa. Informe Técnico. Caracas, Venezuela.
- MOP. 1966. Estudio agrológico del sistema de riego Tocuyo La Costa. Caracas, Venezuela.
- \_\_\_\_\_ 1975. Los sistemas de riego en Venezuela. Caracas, Venezuela.
- Palacios, E. 1972. Técnicas para la evaluación y mejoramiento de la operación de Distritos de riego. Tesis MC CP - Chapingo, México.
- \_\_\_\_\_. 1979. Manual de operación de distritos de riego. DI - UACH. Chapingo, México.

Payen, J. 1985. La simulación del drenaje subterráneo. CIDIAT, Mérida, Venezuela.

Zapata, F. 1977. Guía para la operación de distritos de riego. Memorandum Técnico 367, SARH, México.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

A P E N D I C E 1

ANALISIS DE SUELO

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

N° de muestra	PH	CE x 10 <sup>3</sup> (mmios/cm)	CC (%)	PMP (%)	M.O. (gr/cm <sup>3</sup> )	N (kg/ha)	P (kg/ha)	Agua aprov. (cm/m)	Textura
1	7,0	2,2	6	3	1,7	17	12	5,1	Arenoso
2	6,9	1,0	8	4	1,6	19	9	6,4	Arenoso
3	7,0	1,5	7	3	1,65	1	13	6,6	Arenoso
4	7,9	12,0	15	8	1,35	33	19	9,45	Franco
5	7,1	2,5	5	3	1,70	17	9	3,4	Arenoso
6	7,4	4,1	10	5	1,42	22	15	7,1	Franco-Aren.
7	7,0	2,3	7	4	1,65	21	17	4,95	Arenoso
8	7,2	3,2	7	3	1,6	19	11	6,4	Arenoso
9	7,1	2,2	7	4	1,6	17	13	4,2	Arenoso
10	7,0	1,8	9	5	1,55	10	10	6,2	Arenoso
11	6,9	1,0	8	4	1,6	20	11	6,4	Arenoso
$\bar{X}$	7,1	3,0	8,1	4,2	1,58	1,7		6,1	

Lámina aprovechable =  $(8,1 - 4,2) 1,58 = 6,1$  cm/m

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)



A P E N D I C E 2

AFOROS

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## Calibración del molinete

El molinete se calibró en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad de Los Andes, en un canal rectangular con 39 cm de ancho. Se correlacionaron valores de rpm del molinete con la velocidad obtenida a través de un vertedor.

$$\text{Ecuación del vertedor: } H = h - 27.85$$

$$Q = 1.166 H^{1.52}$$

N	T	RPM	v (m)	A (m <sup>3</sup> )	h (cm)	Q (l/s)	V (m/seg)
7	1'15"	5,6	0,3	0,117	38,82	44,44	0,3799
5	38"	7,29	0,3	0,117	39,57	49,14	0,4200
5	36"	8,33	0,3	0,117	40,38	54,398	0,4649
5	32"	9,375	0,3	0,117	40,90	57,866	0,4946
5	27"	11,11	0,3	0,117	42,07	65,933	0,5635
5	25"	12,0	0,3	0,117	42,16	71,581	0,6118
5	24"	12,5	0,3	0,117	43,34	75,089	0,6418

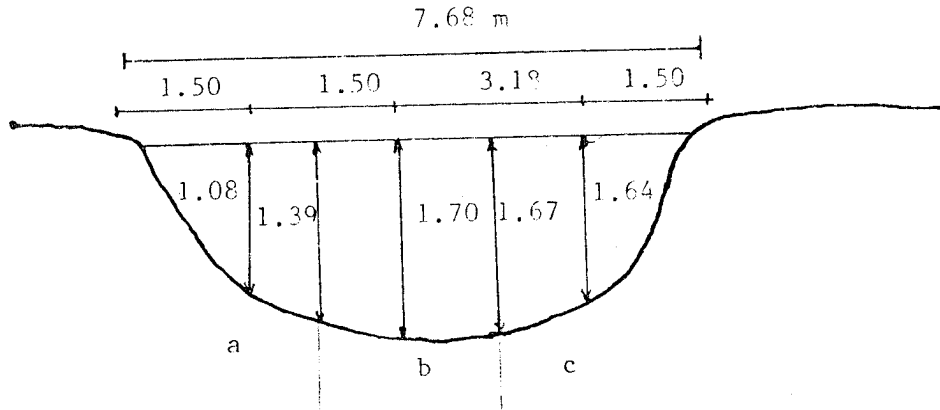
Ecuación de calibración:

$$V = 0,2391 e^{0,0779 \text{ RPM}}$$

$$r^2 = 0.983$$

Aforo canal Principal con molinete  
(Inicio canal de tierra)

Fecha: 26 de Abril de 1988



$$Q = 0.645 + 1.220406 + 1.2542 = 3.1198 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Calculo en a:

$$\text{Prof. media} = \frac{0 + 2(1.08) + 1.39}{4} = 0.8875 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} = 2.25 \text{ m}$$

$$\text{Area} = 1.9969 \text{ m}^2$$

$$N = 4, T = 1' 2'', \quad V = 0.323 \text{ m/seg}$$

$$q_a = 0.645 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Cálculo en b:

$$\text{Prof. media} = \frac{1.39 + 2(1.70) + 1.67}{4} = 1.615 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} = 2.34 \text{ m}$$

$$\text{Area} = 3.779 \text{ m}^2$$

$$N = 4, \quad T = 1'2'', \quad V = 0,323 \text{ m/seg}$$

$$q_b = 1,2206 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Cálculo en c:

$$\text{Prof. media} = \frac{1,67 + 2(1,64) + 0}{4} = 1,2375 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} = 3,09 \text{ m}$$

$$\text{Area} = 3,8239 \text{ m}^2$$

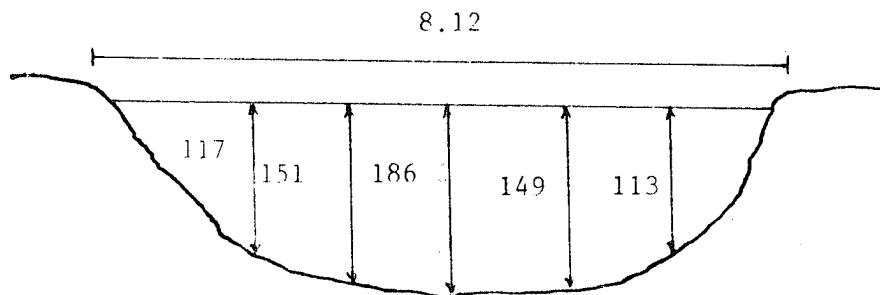
$$N = 4, \quad T = 59'', \quad V = 0,328 \text{ m/seg}$$

$$q_c = 1,2542 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Aforo canal principal con flotador

(Inicio canal de tierra)

Fecha: 16 de Mayo de 1988



$$\bar{V} = 0.350 \times 0.8 = 0.280 \text{ m/seg}$$

$$\text{Profundidad media} = 1,1238 \text{ m}$$

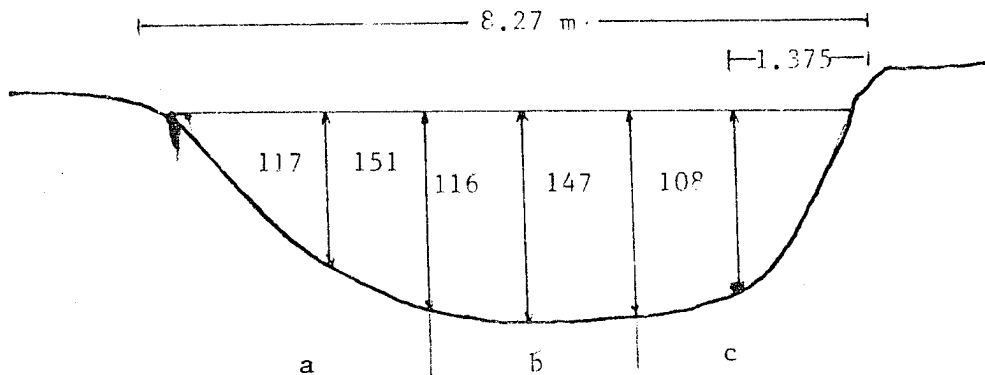
$$\text{Ancho} = 8,12 \text{ m}$$

$$\text{Area} = 9,1659 \text{ m}^2$$

$$Q = 2,566 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Aforo canal principal con molinete  
(Inicio canal de tierra)

Fecha: 18 de Mayo de 1988



$$C = 0.6829 + 1.4537 + 0.6887 = 2.825$$

Cálculo en a:

$$\text{Prof. media} = \frac{0 + 2(1.17) + 1.51}{4} = 0.963 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} = 2.75 \text{ m}$$

$$\text{Area} = 2.647 \text{ m}^2$$

$$N = 4, T = 1' 02^{1/2}'' , V = 0.3225 \text{ m/seg} \times 0.8 = 0.258 \text{ m/seg}$$

$$q_a = 0.6829 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Cálculo en b:

$$\text{Prof. media} = \frac{1.51 + 2(1.86) + 1.47}{4} = 1.675 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} = 2.75$$

$$\text{Area} = 4.606 \text{ m}^2$$

$$N = 3, T = 28'' , V = 0.3945 \text{ m/seg} \times 0.8 = 0.3156 \text{ m/seg}$$

$$q_b = 1.4537 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Cálculo en c:

$$\text{Prof. media} = \frac{1,47 + 2(1,02) + 0}{4} = 0,9075 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} = 2,75 \text{ m}$$

$$\text{Area} = 2,4956 \text{ m}^2$$

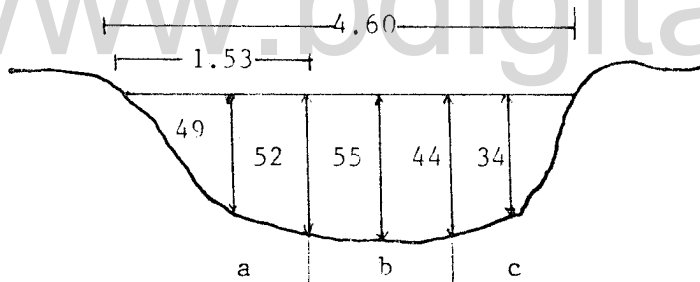
$$N = 4, T = 51'', V = 0,345 \times 0,8 = 0,276 \text{ m/seg}$$

$$q_c = 0,6887 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Aforo canal de Cadillal con molinete

(Inicio)

Fecha: 18 de Mayo de 1988



$$Q = 0,1864 + 0,280 + 0,1422 = 0,6086 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Cálculo en a:

$$\text{Prof. media} = \frac{0 + (49) 2 + 52}{4} = 37,5 \text{ cm}$$

$$\text{Ancho} = 1,53 \text{ m}$$

$$\text{Area} = 0,5738 \text{ m}^2$$

$$N = 4, T = 1' 01, V = 0,3249 \text{ m/seg}$$

$$q_a = 0,1864 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Cálculo en b:

$$\text{Prof. media} = \frac{52 + 2(55) + 44}{4} = 51.5 \text{ cms}$$

$$\text{Ancho} = 1,53 \text{ m}$$

$$\text{Area} = 0,788 \text{ m}^2$$

$$N = 5, T = 59'', V = 0,3553 \text{ m/seg}$$

$$q_b = 0,280 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Cálculo en c:

$$\text{Prof. media} = \frac{44 + 2(34) + 0}{4} = 28 \text{ cms}$$

$$\text{Ancho} = 1,53$$

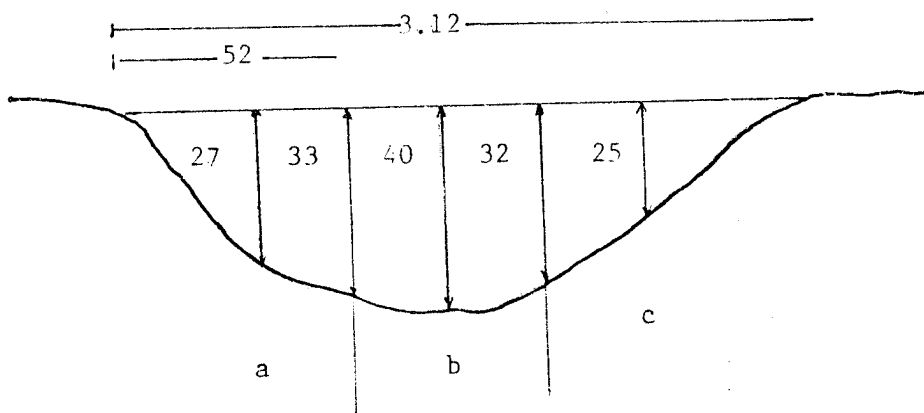
$$\text{Area} = 0,4284 \text{ m}^2$$

$$N = 4, T = 57'', V = 0,332 \text{ m/seg}$$

$$q_c = 0.1422 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Aforo canal Cadillal con moliente (Superficie)  
(Final)

Fecha: 18 de Mayo de 1988





Area en a:

$$\text{Prof. media} = \frac{0 + (27) 2 + 33}{4} = 21.75 \text{ cms}$$

$$\text{Ancho} = 1.04 \text{ m}$$

$$\text{Area} = 0.226 \text{ m}^2$$

Area en b:

$$\text{Prof. media} = \frac{33 + 2 (40) + 32}{4} = 36.25 \text{ cm}$$

$$\text{Ancho} = 1.04$$

$$\text{Area} = 0.377 \text{ m}^2$$

Area en c:

$$\text{Prof. media} = \frac{32 + 2 (25) + 0}{4} = 20.5 \text{ cms}$$

$$\text{Ancho} = 1.04 \text{ m}$$

$$\text{Area} = 0.213 \text{ m}^2$$

$$\text{Area total} = 0.816 \text{ m}^2$$

$$N = 6, T = 25, V = 0.734 \text{ m/seg} \times 0.8 = 0.587$$

$$Q = 0.479 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$(Q = 0.489 \text{ m}^3/\text{seg, flotador})$$

Aforo con molinete

Fecha: 16 de Mayo de 1988

Tramo	N	T (seg)	RPM	V (m/seg)	b (m)	y (m)	A (m <sup>2</sup> )	Q (m <sup>3</sup> /seg)
Inicio del rectangular (2)	5	31,53	9,515	0,5017	3,00	1,35	4,05	2,032
Después del canal H (3)	7	43,0	9,77	0,512	2,51	98	2,46	1,259
Después del canal E (4)	5	43,5	6,896	0,409	2,0	43	0,86	0,352

$$V = 0.2391 e^{0.0779 \text{ RPM}}$$

$$r^2 = 0.983$$

Aforo con flotador

Fecha: 16 de Mayo de 1988

Factor velocidad = 0,8			Factor área = 0,67				
Tramo	Nº de toma	V (m/seg)	$\bar{V}$ (0.8 V)	b (cm)	y (cm)	A (m <sup>2</sup> )	Q (l/s)
Inicio del							
rectangu-							
lar.							
(2)	1	5/35	0,114	93	28	0,174	20
	2	5/10	0,40	79	15	0,079	32
	3	3/9	0,267	68	15	0,068	18
	J	5/15	0,267	80,2	50,5	0,271	72
	4	3/10	0,24	117	24	0,188	45
	5	(orificio)	2,44	-	-	0,019	46
	6	3/10,5	0,228	117	23	0,180	41
	7	3/12	0,20	73	21	0,103	21
	8	3/8	0,30	96	21	0,135	40
	I	3/5	0,48	65	11	0,048	23
	10	3,51/8	0,351	85	11,5	0,078	27
	11	3,51/12	0,234	68	16,5	0,075	17
	12	3,51/13	0,216	72	18	0,087	19
	13	3,51/6	0,468	52	15	0,052	24
	14	3,51/15	0,187	38	9	0,023	4
	15	3,51/10	0,28	197	40,5	0,534	150
Después del	H	3,51/11,5	0,244	122	25	0,204	50
H							
(3)							

Aforo con flotador

Fecha: 16 de Mayo de 1988

Factor velocidad = 0,8

Factor área = 0,67

Tramo	Nº de toma	V(m/seg)	$\bar{V}$ (0.8 V)	b (cm)	y (cm)	A (m <sup>2</sup> )	Q (l/s)	
Después								
del H								
(3)	16	3,51/10	0,28	52	11	0,038	11	
	17	3,51/12	0,234	102	33	0,225	52	
	18	3,51/8	0,351	89	29	0,173	60	
	G	3,51/7	0,401	110	28	0,206	82	
	19	5/60	0,067	102	49	0,335	22	
	20	3,51/19	0,187	104	22	0,153	22	
	21	3,51/6	0,468	105	26	0,182	85	
	22	3,51/7	0,401	68	21,5	0,098	39	
	23	3,51/5	0,561	69	23	0,106	60	
	24	(orificio)	2,26	-	-	0,0078	15	
$\Sigma q = 0,869 \text{ m}^3/\text{seg}$	25	3,51/9	0,312	81,5	25,5	0,139	43	
	26	3,51/8	0,351	160	46	0,493	170	
	27	3,51/37	0,076	98	25	0,164	12	
	28	3,51/15	0,187	166	33	0,367	62	
	29	3,51/12	0,234	112,5	21	0,158	37	
	30	3,51/7,5	0,374	98	21	0,138	51	
		F	3,51/15	0,187	35	13	0,0305	5
		31	3,51/14	0,20	105	18,5	0,130	26
	Después							
	del E							
(4)	E	3,51/23	0,122	42	26	0,073	9	

Aforo con flotador

Fecha: 16 de Mayo de 1988

Factor velocidad = 0.8

Factor área = 0,67

Tramo	Nº de toma	V (m/seg)	$\bar{V}$ (0.8 V)	b (cm)	y (cm)	A (m <sup>2</sup> )	Q 1/s
Después							
del E (4)	32	3,51/17	0,165	45	9,5	0,0286	5
	33	3,51/8	0,351	131	24,5	0,215	75
	D	5/20	0,20	44	18	0,053	10
	34	3,51/5,5	0,515	66	14	0,0619	32
	C	5/30	0,133	66	23	0,1017	14
	35	5/20	0,2	36	22	0,053	10
	36	3,51/13	0,216	71	18	0,085	18
	B1	5/28	0,143	54	29	0,1049	15
	37	2/9	0,177	84	41	0,230	40
	B	5/28,2	0,1418	68	31	0,141	20
	38	3,51/15	0,187	81	18,5	0,100	19
39	3,51/27	0,104	62	10	0,0415	4	
Σ q = 0,294 m <sup>3</sup> /seg.	40	3,51/53	0,053	160	28	0,300	16
Inicio del	41	4,50/15	0,24	90	12	0,0764	17
A							
(5)	A	5/12,2	0,328	70	33	0,155	51

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

A P E N D I C E 3

CALIBRACION CANAL PRINCIPAL

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)



### Calibración del canal principal

Se aforó el canal principal por tres métodos, por Manning, por molinete y por flotador dando resultados muy similares.

#### a. Método usando Manning

Se supuso un coeficiente de  $n = 0.017$  ya que es de concreto, con crecimiento de plantas acuáticas, basura y sedimentos en el fondo.

De la memoria técnica de construcción se obtuvo la pendiente la cual es de 0.1%. ( $S = 0.0001$ ).

Se tomó la lectura de tirante que normalmente lleva el canal el cual fue de 1.33 mts, por un ancho de 3.00 mts.

Después se calculó la velocidad y el caudal por la ecuación de Manning,

$$V = \frac{1}{n} S^{1/2} \left( \frac{by}{b+2y} \right)^{2/3}$$

$$V = \frac{1}{0.017} (0.0001)^{1/2} \left( \frac{3 \times 1.33}{3 \times 2.66} \right)^{2/3} = 0.466 \text{ m/seg}$$

$$Q = 3 \times 1.33 \times 0.466 = 1.859 \text{ m}^3/\text{seg}$$

#### b. Método por molinete

Se calculó la velocidad en 0.488 m/seg

$$Q = 1.947 \text{ m}^3/\text{seg}$$

#### c. Método con flotador (se usó coeficiente = 0.8)

La velocidad calculada fue de 0.48 m/seg

$$Q = 1.915 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Tomando como correcta la velocidad calculada con molinete se aprecia que el método con flotador dá una diferencia de solo el 1.64% y la calculada con Manning fue de 4.73%.

Se calculó el nuevo coeficiente de Manning y fue de 0.0162, sustituyendo valores y poniendo el caudal en función del tirante.

$$Q = 1.848y \left( \frac{3y}{3+2y} \right)^{2/3}$$

Con esta ecuación construimos la siguiente tabla de valores:

Tabla de caudales en función de tirante.

y (cm)	Q (m <sup>3</sup> /seg)	y (m)	Q (m <sup>3</sup> /seg)
0,25	0,165	0,41	0,356
0,26	0,176	0,42	0,369
0,27	0,187	0,43	0,383
0,28	0,197	0,44	0,356
0,29	0,209	0,45	0,410
0,30	0,220	0,46	0,424
0,31	0,231	0,47	0,438
0,32	0,243	0,48	0,452
0,33	0,255	0,49	0,466
0,34	0,267	0,50	0,480
0,35	0,279	0,51	0,495
0,36	0,292	0,52	0,509
0,37	0,304	0,53	0,524
0,38	0,317	0,54	0,539
0,39	0,230	0,55	0,554
0,40	0,343	0,56	0,569

(Continuación)

y (cm)	Q (m <sup>3</sup> /seg)	y (m)	Q (m <sup>3</sup> /seg)
0,57	0,584	0,88	1,098
0,58	0,599	0,89	1,115
0,59	0,615	0,90	1,133
0,60	0,630	0,91	1,151
0,61	0,646	0,92	1,169
0,62	0,661	0,93	1,187
0,63	0,672	0,94	1,205
0,64	0,693	0,95	1,223
0,65	0,709	0,96	1,241
0,66	0,735	0,97	1,259
0,67	0,741	0,98	1,278
0,68	0,757	0,99	1,296
0,69	0,773	1,00	1,314
0,70	0,790	1,01	1,333
0,71	0,806	1,02	1,351
0,72	0,823	1,03	1,370
0,73	0,839	1,04	1,388
0,74	0,856	1,05	1,407
0,75	0,873	1,06	1,426
0,76	0,890	1,07	1,444
0,77	0,907	1,08	1,463
0,78	0,924	1,09	1,482
0,79	0,941	1,10	1,501
0,80	0,958	1,11	1,520
0,81	0,975	1,12	1,539
0,82	0,992	1,13	1,558
0,83	1,010	1,14	1,577
0,84	1,027	1,15	1,596
0,85	1,045	1,16	1,615
0,86	1,062	1,17	1,634
0,87	1,080	1,18	1,654

(Continuación)

y (cm)	Q (m <sup>3</sup> /seg)	y (m)	Q (m <sup>3</sup> /seg)
1,19	1,673	1,50	2,288
1,20	1,692	1,51	2,308
1,21	1,711	1,52	2,329
1,22	1,731	1,53	2,349
1,23	1,750	1,54	2,370
1,24	1,770	1,55	2,390
1,25	1,789	1,56	2,411
1,26	1,809	1,57	2,431
1,27	1,828	1,58	2,452
1,28	1,848	1,59	2,472
1,29	1,868	1,60	2,493
1,30	1,887	1,61	2,513
1,31	1,907	1,62	2,534
1,32	1,927	1,63	2,555
1,33	1,947	1,64	2,575
1,34	1,966	1,65	2,596
1,35	1,986	1,66	2,617
1,36	2,006	1,67	2,637
1,37	2,026	1,68	2,658
1,38	2,046	1,69	2,679
1,39	2,066	1,70	2,700
1,40	2,086	1,71	2,721
1,41	2,106	1,72	2,742
1,42	2,126	1,93	2,763
1,43	2,146	1,74	2,784
1,44	2,167	1,75	2,805
1,45	2,187	1,76	2,826
1,46	2,207	1,77	2,847
1,47	2,227	1,78	2,868
1,48	2,247	1,79	2,889
1,49	2,262	1,80	2,910

(Continuación)

y (m)	Q (m <sup>3</sup> /seg)
1,81	2,931
1,82	2,952
1,83	2,973
1,84	2,994
1,85	3,015

www.bdigital.ula.ve

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)