

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMIA

**"ALGUNOS CRITERIOS TECNICOS SOBRE LA OPERACION  
DE LA UNIDAD DE RIEGO LAGUNA DEL HOYO"**

TESIS

Presentada a la Junta Directiva de la Facultad  
de Agronomía de la  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Por

**CARLOS ROBERTO MOTTA DE PAZ**

Al conferírsele el Título de

**INGENIERO AGRONOMO**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 1977

01

T(310)

03

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
RECTOR:**

**Dr. Roberto Valdeavellano Pinot**

**JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA**

Decano en funciones:	Ing. Agr. Rodolfo Estrada G.
Vocal Primero:	Ing. Agr. Rodolfo Estrada G.
Vocal Segundo:	Dr. Antonio Sandoval S.
Vocal Tercero:	Ing. Agr. Sergio Mollinedo B.
Vocal Cuarto:	P. A. Laureano Figueroa Q.
Vocal Quinto:	P. A. Carlos Leonardo L.
Secretario:	Ing. Agr. Leonel Coronado C.

**TRIBUNAL QUE PRACTICA EL EXAMEN  
GENERAL PRIVADO**

Decano:	Ing. Agr. Edgar Ibarra
Examinador:	Ing. Agr. Darío Rivera
Examinador:	Ing. Agr. Leonel Coronado C.
Examinador:	Ing. Agr. Carlos Aldana
Secretario:	Ing. Agr. Oswaldo Porres.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia	DIA-161-77
Asunto	

Guatemala,  
19 de septiembre de 1977

Ing. Rodolfo Estrada G.  
Decano de Funciones de la  
Facultad de Agronomía  
Presenté.

Señor Decano:

Por este medio me permito informar a usted, que de acuerdo al nombramiento recibido para el efecto, he asesorado y revisado el trabajo de tesis titulado "ALGUNOS CRITERIOS TECNICOS SOBRE LAS OPERACIONES DE LA UNIDAD DE RIEGO LAGUNA DEL HOYO" elaborado por el Profesor Carlos Roberto Motta de Paz, el cual llena los requisitos para ser presentado como trabajo de tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo, de acuerdo a lo que establece la Universidad de San Carlos.

Dicho trabajo constituye un valioso aporte para la toma de decisiones e implementación en la operación de la unidad de riego estudiada.

Sin otro particular,

"D Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Agr. M.C. Oscar A. Gonzalez H.  
Asesor.

## **ACTO QUE DEDICO**

**A mis Padres :** José Luis Motta Oliveros  
Rosario de Paz de Motta

**A mi esposa:** Lety Bonilla de Motta

**A mis hijos:** Igor y Roberto Antonio

**A mi abuelita:** Emilia Oliveros Vela vda.  
de Motta.

**A mis hermanos:**

**A mis familiares en general:**

## TESIS QUE DEDICO

A Dios Nuestro Señor

A mi Patria Guatemala.

A la Facultad de Agronomía.

A mis Ex-Catedráticos y Compañeros.

A la División de Recursos Hidráulicos  
DIRENARE-DIGESA.

A mi Asesor de Tesis Ing. Agr. M.C. Oscar A. González H.; ya que su orientación, fué factor determinante, para la realización del presente trabajo.

**HONORABLE JUNTA DIRECTIVA  
HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

De acuerdo a las normas establecidas por la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de presentar a vuestra consideración el trabajo de Tesis titulado "ALGUNOS CRITERIOS TECNICOS SOBRE LA OPERACION DE LA UNIDAD DE RIEGO LAGUNA DEL HOYO", tema que me fuera asignado por la honorable junta Directiva de la Facultad de Agronomía previo a optar al título de Ingeniero Agronomo.

Sin otro particular aprovecho la oportunidad para reiterarles el testimonio de mi consideración y respeto.

Atentamente,

Carlos Roberto Motta de Paz

## AGRADECIMIENTO

A todas las personas que en forma desinteresada, colaboraron en la realización de este trabajo, en especial.

Al Ing. Agr. M.C. Oscar A. González H., Asesor de Tesis.

Al Ing. Agr. Francisco José Mazariegos Valdez, Jefe de la Unidad de Riego "Laguna del Hoyo".

A los Ing. Agrónomos, Oslec Rojas Pineda y Ricardo Masaya Andrade.

Quiero dejarles constancia de mi agradecimiento, pues gracias a ellos fué posible la realización del presente trabajo.

## INDICE

	Pág.
Lista de cuadros .....	
Lista de gráficas .....	
1. INTRODUCCION .....	1
2. DESCRIPCION GENERAL DE LA UNIDAD DE RIEG RIEGO "LAGUNA DEL HOYO" .....	3
2.1 Localización Geográfica .....	3
2.2 Recursos Naturales .....	3
2.2.1 Agua .....	3
2.2.2 Suelos .....	4
2.2.3 Clima .....	5
2.3 Recursos Humanos .....	5
2.3.1 A nivel de usuarios de la Unidad .....	5
2.3.2 A nivel técnico administrativo .....	7
2.4 Tenencia de la Tierra .....	8
3. OBJETIVOS DEL TRABAJO .....	9
4. REVISION DE LITERATURA .....	11
4.1 Predicción de la disponibilidad de agua .....	11
4.2 Predicción de las disponibilidades mínimas de agua .....	12
4.2.1 Curvas de frecuencia de los estiajes .....	12
4.3 Balance Hídrico .....	12
4.3.1 Evapotranspiración Potencial .....	13
4.4 Elaboración de planes de cultivo .....	16
4.5 Métodos de distribución de agua y calendario de riego .....	17
4.5.1 Método de demanda libre .....	18
4.5.2 Método de turnos .....	19
4.5.3 Método de entrega continua .....	21
4.5.4 Método combinado o mixto .....	22

	Pág.	
4.6	Planeación y programación de la distribución de aguas.....	25
4.6.1	Formulación de los planes de distribución de agua.....	27
5.	<b>MATERIALES Y METODOS</b> .....	<b>33</b>
5.1	Disponibilidad de agua para riego en la Unidad Laguna del Hoyo.....	33
5.2	Estimación de requerimientos potenciales de riego .....	41
5.2.1	Estimación de la Evopotranspiración potencial ..	41
5.2.2	Estimación de la Precipitación probable .....	47
5.2.3	Estimación de la Precipitación efectiva .....	57
5.2.4	Balance Hidrológico de la zona de riego .....	57
5.2.5	Estimación del consumo de agua de los cultivos .	57
6.	<b>RESULTADOS Y DISCUSION</b> .....	<b>71</b>
6.1	Análisis de volúmenes disponibles .....	71
6.2	Area potencial de riego .....	72
6.3	Plan de cultivos .....	62
6.4	Area real de riego .....	73
7.	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>75</b>
8.	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>77</b>
9.	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>79</b>
10.	<b>APENDICE</b> .....	<b>83</b>

## LISTA DE CUADROS

		Pág.
CUADRO No. 1	Análisis de la calidad de agua para riego ...	4
CUADRO No. 2	Registros climatológicos de la Estación 9.3.3 La Ceibita.....	6
CUADRO No. 3	Número de usuarios según extensión cultivada.....	7
CUADRO No. 4	Balance Hídrico de la Laguna del Hoyo. ...	37
CUADRO No. 5	Evapotranspiración potencial, método de CHRISTIANSEN.....	43
CUADRO No. 6	Cálculo de Etp, método de Evaporímetro..	46
CUADRO No. 7	Cálculo de Etp, método de Blaney-Criddle .	48
CUADRO No. 8	Comparación de métodos para cálculo de Etp.....	49
CUADRO No. 9	Precipitación pluvial de la Unidad de Riego "Laguna del Hoyo" años de 1965 a 1970 ..	58
CUADRO No. 10	Precipitación pluvial de la Unidad de Riego "Laguna del Hoyo" años de 1971 a 1975 ..	59

CUADRO No. 11	Logaritmo de las precipitaciones promedio mensuales Laguna del Hoyo . . . . .	60
CUADRO No. 12	Coefficiente de aprovechamiento . . . . .	61
CUADRO No. 13	Método de Blaney-Criddle, para cálculo de lluvia efectiva . . . . .	62
CUADRO No. 14	Requerimiento Potencial de riego (mm) . . .	63
CUADRO No. 15	Plan de cultivos de la Unidad de Riego "Laguna del Hoyo" . . . . .	67
CUADRO No. 16	Usos consultivos mensuales y requerimientos de riego bruto (mm) . . . . .	68
CUADRO No. 17	Requerimiento de riego bruto $M^3/Ha$ . . . . .	69
CUADRO No. 18	Balance hídrico promedio de la Laguna del Hoyo . . . . .	71

## LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
GRAFICA No. 1    Altura-volúmenes-Laguna del Hoyo. ....	35
GRAFICA No. 2    Altura-áreas-Laguna del Hoyo. ....	36
GRAFICA No. 3    Comparación de métodos para el cálculo de Evapotranspiración potencial. ....	50

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA No. 1	R = Radiación solar teórica para latitud norte . . . 51
TABLA No. 2	DL= Duración teórica de la luminosidad diaria en horas para latitud norte . . . . . 52
TABLA No. 3	Coefficiente del viento, insolación y elevación, para estimar la Etp en Guatemala . . . . . 53
TABLA No. 4	Coefficiente de temperatura, días de precipitación y humedad relativa, para estimar la Etp en Guatemala . . . . . 55
TABLA No. 5	Coefficientes de desarrollo Kc para uso en el cálculo de usos consuntivos. . . . . 66

## 1. INTRODUCCION

El agua utilizada para riego en la Unidad de Riego "Laguna del Hoyo" fluctua de acuerdo a las aportaciones de las presas Güirilá y Quintanilla como de la precipitación en la Laguna, la cual sirve de vaso de almacenamiento, por lo que es necesario saber cada año, el volumen disponible para riego, por lo que es necesario la optimización de dicho volumen de agua, tomando en cuenta no solo el beneficio social y poder desarrollar mejor esta zona.

El deseo de que los técnicos encargados de la operación de la Unidad de Riego, cuenten con criterios definidos, para la decisión de la extensión a regar de cada cultivo, año con año de acuerdo a la optimización de la disponibilidad de agua para riego, motivó el presente trabajo, el cual presenta la metodología a seguir para tales fines

Aún cuando al optimizar el volumen de agua disponible se restringió el cultivo del tabaco, ello obedeció a que uno de los aspectos principales que se pretende en las Unidades de Riego es obtener no solo beneficio económico para los usuarios, sino que también lograr un mayor número de usuarios beneficiados con el riego y que se dediquen a cultivos alimenticios, además de que el consumo de agua para tabaco es el doble del consumo de los otros cultivos a los que se dedican los usuarios de esta Unidad de Riego.

En consecuencia, el presente trabajo en su contenido plantea criterios para la selección de métodos a emplear en la optimización de la disponibilidad de agua en la Laguna del Hoyo.

## 2. DESCRIPCION GENERAL DE LA UNIDAD DE RIEGO "LAGUNA DEL HOYO"

### 2.1 Localización Geográfica :

La Unidad de Riego "LAGUNA DEL HOYO", se encuentra localizada en las Aldeas "Terrones", "Llano Grande", "La Campana" y "San Antonio" del Municipio de Monjas, del Departamento de Jalapa y geográficamente localizadas entre las coordenadas: Latitud  $14^{\circ} 28'$ , longitud  $89^{\circ} 53'$ , respecto del Meridiano de Greenwich; a una altura promedio de 970 metros sobre el nivel del mar; a una distancia aproximada de 26 Kms., de la cabecera departamental de Jalapa, y a 148 Kms., de la Capital de la República; conectada por la carretera asfaltada CA-1, que constituye la vía principal para el mercado de los productos agrícolas.

### 2.2 Recursos Naturales :

#### 2.2.1 Agua:

La disponibilidad de este recurso para riego, proviene de las áreas de captación de las quebradas; Güirilá y Quintanilla, donde se aprovecha el agua de encurrentía, que es derivada por medio de 3 presas: Güirilá I, Güirilá II y Quintanilla y conducida a través de un canal hacia la Laguna del Hoyo, que funciona como vaso de almacenamiento.

Estas aguas almacenadas son utilizadas en la época seca (verano) para el desarrollo de agricultura bajo riego y de acuerdo a los registros sobre disponibilidad de volúmenes de agua en el vaso de almacenamiento, se han tenido hasta 3.3 millones de metros cúbicos de agua en el mes de octubre y un mínimo de 0.3 millones de metros cúbicos en el mes de mayo, después de haberse usado el agua para riego. La calidad del agua para ser usada en riego es buena, de acuerdo a los análisis efectuados por el Laboratorio de suelos de la Unidad de Estudios y Proyectos de DIGESA, y clasificada como

C<sub>1</sub> S<sub>1</sub> según las normas de la clasificación de Riverside (Manual 60); los resultados del análisis se presentan en el cuadro No. 1.

CUADRO No. 1  
ANALISIS DE LA CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO(12)

No. de Muestras	75-143	75-144	75-145
Procedencia	Entrada Tunel	Canal E=P	Canal C-P-2
PH	7.58	7.62	7.52
C.E. X 106	95	90	95
Sólidos en solución	104	110	120
Cationes (mep/l)			
Ca	0.12	0.12	0.08
Mg	0.31	0.25	0.27
Na	0.28	0.27	0.29
K	0.11	0.07	0.10
ANIONES (mep/l)			
CO <sub>3</sub>	0.00	0.13	0.00
HCO <sub>3</sub>	0.59	0.40	0.48
Cl	0.17	0.18	0.22
NO <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00
SO	0.00	0.00	0.00
Suma	0.76	0.71	0.70
o/o sodio soluble	34.75	38.03	39.19
RAS	0.60	0.63	0.69
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> residual	0.16	0.16	0.13
Clasificación	C1S1	C1S1	C1S1

### 2.2.2 Suelos:

De acuerdo al Estudio semidetallado de suelos del área del Valle de Monjas, efectuado por la Unidad de Estudios y Proyectos de DIGESA (antes de DIRENARE) donde se encuentra ubicada la Unidad

de Riego Laguna del Hoyo, predominan en esta Unidad las clases agrológicas I. Con 302 Has., y clase agrológica III con 147.5 Has.

### 2.2.3 Clima:

De acuerdo a la "Clasificación preliminar climatológica de la República de Guatemala"(14) el Valle de Monjas posee un clima semicálido, de temperatura media de 18.7° C, con invierno benigno, jerarquía de humedad semiseca, vegetación natural características de Patizal, con un régimen de distribución de lluvias en invierno seco.

Según registros metereológicos existentes en la estación No. 9.3.3 La Ceibita ubicada en el Departamento de Jalapa, durante 10 años, se tiene un promedio anual de días de lluvia de 95 días con una precipitación de 1,228 mm; temperatura media mensual de 23.7°C; humedad relativa mensual 75o/o; insolación anual de 2,401.9 horas y velocidad viento mensual 7.6 Km/h.

Las variaciones promedios de estos parámetros a través del año se presentan en el Cuadro No. 2

## 2.3 Recurso Humano

### 2.3.1 A nivel de usuarios de la Unidad.

Conforme el Patrón de Usuarios de la Unidad de Riego actualizado en el año 1976, se cuenta con un total de 148 agricultores que siembran cultivos bajo riego. En el cuadro No. 3 se presenta el número de usuarios agrupados según rangos de extensión cultivada:

**CUADRO No. 2:**  
**REGISTROS CLIMATOLÓGICOS DE LA ESTACION**  
**9.3.3 LA CEIBITA**

Departamento: JALAPA  
Resumen de Datos.

Latitud: 14<sup>o</sup>. -30'  
Municipio: Monjas

Longitud: 89<sup>o</sup> - 52'  
Elevación: 961 m.  
Fecha: Febrero 1976

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
D de LL	01	01	01	04	09	18	15	17	17	13	04	01
P mm	0.7	1.3	3.4	22.2	72.1	178.3	172.4	183.8	155.6	87.1	17.3	1.0
T <sup>o</sup> C	20.0	20.5	22.6	23.8	23.9	22.6	22.4	22.1	22.2	22.3	20.9	20.6
H.R	65	62	62	64	64	74	73	75	78	76	72	68
E.V	5.0	6.3	6.3	7.2	5.9	3.8	4.6	4.1	3.8	4.1	4.5	5.1
IN	244.1	244.7	274.1	257.0	199.0	178.6	198.7	169.4	150.5	160.4	150.4	175.0
V	8.9	8.9	7.8	7.0	7.2	6.2	6.3	5.8	5.1	5.5	7.3	7.7

Tiempo de registro: 10 años

D de LL = Días de lluvia  
P = Precipitación mm/mes (media)  
T<sup>o</sup>C = Temperatura <sup>o</sup>C (media)  
HR = Humedad relativa (media)  
EV = Evaporación promedio diario (tiempo de registro 4 años)  
IN = Horas de luz solar (mensuales)  
V = Viento Kms./hora altura 6 Mts.

**CUADRO No. 3**  
**NUMERO DE USUARIOS SEGUN EXTENSION CULTIVADA**

No. de Usuarios	Rango de		Area total	o/o Area T.
	Ext.	Has		
45	01 -	0.7	28.43 Has	8.27
36	07 -	1.4	46.80 "	13.62
15	1.4 -	2.1	29.75 "	8.66
31	2.1 -	2.8	80.85 "	23.52
6	2.8 -	3.5	14.46 "	4.21
11	3.5 -	7.0	56.00 "	16.29
2	7.0 -	14.0	17.50 "	5.09
2	14.0 -	--	69.90 "	20.34
<b>148 Total</b>			<b>343.69</b>	

**2.3.2 A nivel técnico-administrativo.**

La Unidad de riego cuenta con el siguiente personal:

- a) 1 Ingeniero Agrónomo (Jefe del Proyecto).
- b) 1 Secretario
- c) Trabajadores por planilla distribuidos en la siguiente forma:
  - 1. Jefe de canaleros
  - 1. Encargado de Estadísticas.
  - 1. Operador de bombas.
  - 1. Vigilante de canaleros.
  - 1. Caporal.
  - 10. Canaleros.
  - 2. Albañines
  - 8. Peones.
  - 4. Guardianes: 2 en la laguna y 2 en el campamento.
  - 1. Piloto para el acarreo de materiales y servicios varios.

#### 2.4 Tenencia de la tierra:

Un 90o/o de la tierra es explotada por los propietarios y 10o/o se da en arrendamiento, el costo del arrendamiento es aproximadamente Q. 150.00 por hectárea, por temporada de riego.

### 3. OBJETIVOS

1. Hacer un análisis de la información en cuanto a volúmenes disponibles para riego, en base a registro existentes.
2. Hacer el balance hídrico del área, para determinar requerimientos potenciales de riego.
3. Determinar que extensión se puede regar en base a volúmenes disponibles y a requerimientos de riego.
4. Establecer normas para elaborar planes de cultivo.
5. Establecer normas para la operación del sistema de riego en la Laguna del Hoyo.

#### 4. REVISION DE LITERATURA:

En base a los objetivos del presente estudio, y para orientar y definir la metodología a seguir se efectuó una revisión de trabajos relacionados con el tema.

##### 4.1. Predicción de la disponibilidad de agua:

Para la predicción de la disponibilidad del agua y su variabilidad, la hidrología hace uso de técnicos que se apoyan en la estadística; Amisial(3), presenta una de éstas técnicas que pueden ser de interés en el manejo de agua en los proyectos de riego.

Este método se desarrolla con antecedentes hidrometereológicos y se apoyan sobre el principio de lo que ha ocurrido en el pasado puede esperarse en un futuro, permaneciendo las condiciones iguales, pero indica que es necesario elaborar la curva de duración; esta curva de duración se debe construir en gráficos de probabilidades, con las razones de las magnitudes de caudal promedio en la escala logarítmica y los porcentajes de tiempo, en la escala de probabilidades. La curva así diagramada se aproxima a una línea recta; de esta curva, se pueden obtener los caudales correspondientes a una probabilidad deseada (5 al 95o/o).

El índice de variabilidad de la escorrentía se define como la desviación standard de estos caudales (Lone y Leoi, 1950). La fórmula del índice de variabilidad está dada por la siguiente expresión:

$$\sqrt{v} = \sqrt{\frac{x - \bar{x}}{x}}$$

Donde:

- $\sqrt{v}$  = Índice de variabilidad
- X = Evento
- $\bar{X}$  = Media

N = Número de evento

La curva de duración de caudales puede ser usada en el análisis económico de un sistema de riego, para ayudar en la toma de decisión en lo concerniente al hectareaje por regar, haciendo un uso eficiente de los caudales o volúmenes disponibles.

#### 4.2 Predicción de las Disponibilidades Mínimas de Agua:

##### 4.2.1 Curva de frecuencia de los estiajes:

En el abastecimiento de los recursos hídricos se requiere investigaciones sobre períodos de estiaje o sequía y se puede obtener información acerca de la época en que suceden los períodos de sequía, mediante un análisis se usan los años climatológicos, cuyo comienzo se fija en pleno invierno o período lluvioso.

#### 4.3 Balance Hídrico:

Búcaro(4), dice que el balance hídrico constituye un aspecto necesario para la determinación de las cantidades necesarias a suplementar en áreas irrigadas y asimismo, proporciona valiosa información sobre los procesos de agotamiento de la humedad del suelo, almacenamiento del agua precipitada, variación de la precipitación y de la evapotranspiración, elemento de juicio que son de suma utilidad para el manejo adecuado del agua disponible con fines de irrigación.

Básicamente el balance hídrico es usado para determinar disponibilidades o déficit de humedad en una región, zona o parcela.

En el caso de un área donde se desarrolla agricultura bajo riego, lo importante es determinar el requerimiento de riego.

González(7) indica que para efectuar el balance hídrico y estimar los requerimientos potenciales de riego y requerimientos de riego por cultivo, se hace a través de la estimación de la

evapotranspiración potencial, y la precipitación efectiva.

Búcaro(4) en sus recomendaciones dice "Se recomienda a los técnicos que trabajan en distritos de riego, utilizar los datos que proporciona el balance hídrico diario".

El balance hídrico diario segun Wohlers(17) consiste en la utilización de datos metereológicos que sus autores denominan.

"Balance versátil de humedad de suelo" (Bair y Roberson) y puede utilizarse en cualquier cultivo, tipo de suelo y condiciones metereológicas.

#### 4.3.1 Evapotranspiración Potencial

LINSLEY et al(9) lo define como la evapotranspiración que tendría lugar si hubiera siempre un suministro adecuado de humedad.

BASSO mencionado por Búcaro(4) la define como la cantidad de agua que se evaporan, las superficies de agua y al de suelos húmedos más aquella transpiración de las plantas y la usada para su crecimiento, constituyendo la pérdida de humedad que ocurriría al no existir deficiencia de agua.

(7) La Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo define como evapotranspiración potencial a la cantidad de agua evapotranspirada por un cultivo de poca altura y uniforme, que cubre totalmente el terreno en un suelo que se encuentra cercano a la capacidad de campo permanentemente.

La Metodología para su determinación, puede agruparse en dos tipos de métodos.

- a) Métodos Directos:
  - a) Método lisimétrico

- b) Método de integración
- c) Método de gravimétrico en parcelas experimentales.
- d) Método de entradas y consumo de agua.
- e) Métodos micrometereológicos

e.1 Método aerodinámico

e.2 Método de balance de energía

e.3 Método combinado.

b) Métodos Indirectos:

- a) Método de Pennan
- b) Método de Thornthwaite
- c) Método de Blaney-Criddle
- d) Método de Turc
- e) Método de Hargreaves
- f) Método de Jensen y Haise  
Luque(10) menciona además el:
- g) Método de Papedakis.
- h) Grassi-Cristiansen, los métodos indirectos requieren para su cálculo de datos climáticos y por lo tanto, para poder trabajar se debe contar con series estadísticas metereológicas.

Por creerlo de interés y existir estudios para Guatemala, describiremos los más importantes; de acuerdo a los estudios hechos por Minera(13), Búcaro(4) y González(7).

a) Método de Blaney y Criddle :

Fue desarrollado para las condiciones del Valle Central de los Estados Unidos y ajustado después por la Secretaría de Recursos Hidráulicos de México(11) con valores de coeficientes K.

$$UC = K.F.$$

Donde : UC = Uso consuntivo en m m

K = Coeficiente del cultivo para el ciclo vegetativo variable con la especie.

F = Suma de factores mensuales

f) =  $(0.457 t + 8.13) P$ .

f = Factor de uso consuntivo mensual

t = Temperatura media mensual en °C

P = o/o de luz solar, calculado de acuerdo a la latitud.

b) Método de Thornthwaite

$$E_{tp} = 16 \frac{(10t)^a}{I} \quad (3)$$

Donde:

$E_{tp}$  = Evapotranspiración potencial en mm/mes.

t = Temperatura media mensual en °C

I = ~~La~~ Suma de los doce valores correspondientes, a los meses del año.

Siendo i = índice anual del calor o temperatura.

$$i = \frac{(t)}{5} 1.514$$

c) Fórmula de CHRISTIANSEN:

Esta fórmula fue modificada para la República de Guatemala por el Dr. J. F. Alfaro(1) (2). Para establecer una ecuación de predicción de la evapotranspiración potencial en función de factores climáticos.

Dicha ecuación general se expresa de la siguiente manera:

$$Etp = 0.235 \times R \times CWV \times CHM \times CE \times CT \times CDP \times CSP$$

Donde:

Etp = Evapotranspiración potencial expresada en mm/mes

R = Radiación extraterrestre expresada en unidades de Etp (mm/mes) calculado en la tabla No. 1

CT = Coeficiente de temperatura adimensional (tabla No. 4)

CHM = Coeficiente de humedad relativa (tabla No. 4)

CSP = Coeficiente de insolación (tabla No. 3)

CWV = Coeficiente de viento (tabla No. 3)

CE = Coeficiente de elevación (tabla No. 3)

CDP = Coeficiente de días de precipitación (tabla No. 4)

Fórmulas auxiliares:

$$CWV = 0.770 + 0.230 \frac{WV}{70} \quad (5)$$

#### 4.4 Elaboración de Planes de Cultivo:

En cuanto a la elaboración de planes de cultivo es necesario el conocimiento y la evolución de los cultivos del área, por lo que es conveniente hacer una encuesta agrícola.(11)

Se analiza los cultivos o explotaciones presentes y se considera en función del desarrollo de la zona, los cultivos recomendados para

áreas en expansión, según criterios ecológicos, económicos y de mercado.

Arteaga(2) elaboró para una sección de riego, que comprende 120 Has., aproximadamente bajo riego, en la Unidad de riego San Jerónimo, un plan de cultivos, habiendo tomado la textura del suelo la eficiencia de riego, longitud de surcos, pendiente del terreno, los cultivos, la fecha de siembra, el ciclo vegetativo, e hizo el cálculo de la lámina de riego para cada cultivo, como también el intervalo de riego para cada cultivo.

#### 4.5 Métodos de Distribución de agua y calendario de riego:

Gündersen(5) al referirse a los métodos de distribución de agua dice que existen 3 métodos de distribución de agua, siendo estos:

a) Flujo continuo: En el sistema de canales, un volumen fijo de agua fluye constantemente.

b) Rotación: Implica riego por turnos, siguiendo un calendario fijo, preparado con anticipación a la época de riego, en base a la frecuencia exigida por los cultivos, el clima y los suelos. La entrega de grandes volúmenes de agua permite cubrir las necesidades de riego de una área determinada en un período corto de tiempo.

c) Demanda: Implica la entrega de agua en el tiempo y cantidades deseadas por los usuarios. Este sistema es el ideal desde el punto de vista del usuario, porque le permite regar sus cultivos cuando lo necesiten y hacer uso de una mano de agua (caudal, flujo o volumen de agua con el que se riega) eficientemente manejada y económica en costo. Desafortunadamente cuando la operación del sistema sufre alguna modificación se crean una serie de dificultades en su funcionalidad, difíciles de resolver.

En el tercer curso nacional de operación, mantenimiento y administración de Distrito de riego celebrado en el Perú(16), se

mencionó 5 métodos de Distribución de aguas en Distritos de Riego, los cuales se detallan a continuación :

#### 4.5.1 Método de Demanda Libre.

Este método también conocido como entrega de agua a petición se basa en el principio de que el usuario pueda disponer a cualquier hora del día de un cierto caudal bien sea solicitando la apertura o cierre de sus compuertas, o bien que ellos mismos estén autorizados a hacerlo. Es por tanto, un sistema análogo al de las distribuciones de agua potable o de la electricidad.

El agricultor es el único que decide la fecha y la duración de los riegos, por lo tanto dirige racionalmente una agricultura de regadío, es decir dá las dosis convenientes en las épocas oportunas en función del estado del suelo, de las plantas, de los otros aspectos culturales y de las condiciones climatológicas.

La concepción de esta metodología encuentra su repercusión práctica en los consumos de agua; la demanda unida al cobro de agua por volumen gastado, estimula al agricultor a no utilizar más agua de la que las plantas necesitan realmente; los despilfarros de agua se reducen al máximo así como los problemas que trae consigo (erosión, lixiviación, etc).

Este método que aparentemente resulta ser el ideal, tiene sus implicaciones que limitan su aplicación.

#### Requisitos para su aplicación.

Los requisitos que a continuación se enumeran, necesariamente deben darse para una correcta distribución de las agua mediante este método y por ningún motivo son excluyentes entre sí.

- a. Debe existir abundancia del recurso tanto en cantidad como en oportunidad.

- b. La infraestructura de riego debe estar en muy buenas condiciones, y además tener la capacidad suficiente para conducir caudales que cubran máximas demandas.
- c. Que exista dentro del distrito, usuarios altamente tecnificados.
- d. La planeación de la campaña agrícola parte del usuario en particular y de la Administración Técnica en general, debe ser lo más ajustada posible.

#### Implicaciones de la aplicación del método.

- a. La medición de los volúmenes de agua suministrados, exige la instalación de medidores totalizadores delicados y costosos.
- b. Necesita una vigilancia muy estrecha por parte de la Administración técnica y es prácticamente imposible aforar por métodos convencionales, debido a los continuos cambios que se puedan dar en el sistema de distribución.
- c. En canales abiertos y en métodos de riego por gravedad, la eficiencia del sistema es sumamente baja.
- d. Puede crear vicios en el usuario, tales como el no regar de noche ni en los días de feriado, así como la tendencia a usar láminas altas de riego si éste no ha comprendido a plenitud la importancia del buen uso del agua.

En consecuencia, la aplicación de este método de distribución sólo es recomendable cuando se disponga de sistemas de conducción entubados y en la aplicación de los métodos de riego por aspersión y goteo.

#### 4.5.2 Método de turnos.

Este método también conocido como de entrega de agua por

tandeos o de rotación, se basa en que el usuario recibe periódicamente un volumen de agua que está en función del causal y tiempo de dotación que se calcula en base a la superficie ocupada y por los cultivos a regar. El agua de riego se entrega a un determinado grupo de usuarios los que reciben la dotación mediante un orden preestablecido en un tiempo determinado, al cual se le denomina Turno de Riego, durante este turno, cada uno de los usuarios recibe integramente el caudal asignado durante un intervalo de tiempo denominado Tiempo de Dotación; resulta así mientras un usuario recibe su dotación los demás están privados de ella y a la espera de su turno que debe estar fijado de antemano.

El grupo de usuarios comprendidos en cada turno deben recibir el agua por el canal, debiendo la Administración Técnica del Distrito de Riego, establecer un calendario de apertura y cierre de las tomas, al comienzo de la época de riego, estipulando los días y las horas durante las cuales cada grupo y dentro del grupo cada usuario, podrá disponer el agua.

El orden que se establece para los turnos debe ser progresivo y puede ser de arriba hacia abajo o viceversa, dentro del mismo canal generalmente. El orden se pierde cuando existe la necesidad de regar terrenos altos, para lo cual se requiere mantener tirantes altos en los canales, lo que implica elevar sus taludes y las consiguientes pérdidas por infiltración; asimismo, el orden se altera cuando es necesario riegos "desmanche" debido a la naturaleza de los suelos y/o de los cultivos dentro del mismo grupo o entre los grupos de cada turno.

Requisitos para su aplicación.

Los requisitos que a continuación se enumera, deben ser considerados por el Administrador del Distrito de Riego para decidir la aplicación del método.

- a. Disponer con la debida anticipación a la campaña del año agrícola del Plan de Cultivos y Riego debidamente aprobado.

- b. Establecer áreas con manocultivo o con cultivos con recubrimientos de riego similares.
- c. La capacidad de los canales debe ser tal que permita conducir el máximo caudal requerido por la demanda pico de los cultivos establecidos en el grupo.
- d. El área a considerar en el turno no debe tener cultivo de arroz o cultivos que requieren riego continuo.
- e. La Topografía del terreno debe permitir aplicar gastos unitarios uniformes en las tomas de los predios.
- f. Existencia de ciertas épocas del año con deficiencia manifiesta de agua para el riego.

#### Implicaciones de la aplicación del método.

- a. El método lleva consigo en la práctica del riego, utilizar caudales fijos o intervalos fijos y regulares.
- b. Establecer cultivos cuyo ciclo vegetativo se adopte bien al régimen periódico y predeterminado de los riegos.
- c. No cubre la variabilidad en el tiempo de las necesidades de agua de los cultivos según se desarrolle su período vegetativo, las características de los suelos y las condiciones climáticas.

#### 4.5.3 Método de Entrega Continua.

El método consiste en que el agua se suministra sin interrupción y el usuario recibe continuamente un caudal fijo en relación con el módulo de riego y la superficie regable o declarado para la campaña agrícola. Este método sólo es aplicable para el riego de cultivos de arroz y en los distritos de riego que dispongan de un caudal de distribución que iguale o supere el valor del módulo de

riego; en caso de que las variaciones estacionales de las disponibilidades del agua arrojen caudales inferiores al módulo de riego, los predios indefectiblemente sufrirán las consecuencias debido a las pérdidas por infiltración al tamaño de las parcelas y a las dimensiones de los canales.

Debido a que el usuario (regante), generalmente tiene la tendencia a usar láminas altas de riego, con el consiguiente despilfarro de agua la erosión del suelo, lixiviación, problemas de drenaje, etc., y siendo el agua el elemento limitante para el desarrollo de la agricultura del país, este método, sólo es recomendable para el cultivo de arroz como se ha indicado anteriormente y/o a nivel de los grandes canales.

#### 4.5.4 Método combinado o Mixta.

Debido a que en la práctica, en los Distritos de Riego no es posible aplicar un solo método de distribución de aguas por las diferentes condiciones de disponibilidad de agua, diversidad de cultivos, grado de implementación en estructuras hidráulicas en personal y equipo se plantea el método combinado, que conjuga los tres métodos anteriormente descritos.

El método consiste fundamentalmente en establecer las áreas que debido al tipo de cultivos, a la extensión del área y a la capacidad de los canales van a tener dotación de agua continua, y las áreas que deben tener dotación mediante turnos que la Administración Técnica del Distrito de Riego, programa de acuerdo al pedido que formulen los usuarios.

El usuario tiene la opción de decidir las fechas de riego de acuerdo a las necesidades de agua de los cultivos y a su propia experiencia y plantear a la Administración Técnica del Distrito de riego, quien programa en base a las solicitudes, la entrega y dotación de agua a los usuarios dentro de un plan de mayor o mejor uso tanto del recurso como de la infraestructura de riego disponible; en base a

estos fundamentos se sustenta la importancia del método como el más adecuado y apropiado para su aplicación en los distritos de riego, debido a que facilita un mayor control de los predios y de la entrega de agua, reduce el movimiento que se tenga que hacer en las estructuras de control y facilita programar los aforos y efectuarlos con mayor precisión debido a que es posible mantener tirantes constantes.

Para establecer este método, es necesario que exista verdadero conocimiento de causa en los usuarios para formular sus pedidos y adecuada preparación del personal de la Administración Técnica.

En términos generales, para la aplicación del método se deben seguir los pasos que a continuación se indican:

1. El usuario, con la debida anticipación y en un tiempo determinado por la Administración Técnica del Distrito de Riego, realiza el pedido de riego, ya sea en volumen o simplemente consignado el hectareaje a regar por cultivo y en No., de riego que le corresponde a cada cultivo.
2. El Sectorista de Riego, realiza la consolidación de los pedidos de los usuarios, transformándolos a volúmenes de agua y adiciona el volumen de pérdidas por conducción determinadas para el tramo del canal en el que están comprendidos los usuarios.
3. El Jefe del Sector o Sub-Sector de Riego, consolida cada uno de los predios de los Sectoristas a su cargo, adicionándolos a su vez el volumen perdido por conducción en la parte del canal a su cargo.
4. Por último, el Jefe de Sector de Riego a la Jefatura del Sub-Distrito realiza la consolidación a nivel de canal, o canal de derivación, considerando asimismo las pérdidas a este nivel.

5. Posteriormente, la Jefatura del Sub-Distrito, siguiendo el proceso inverso al anteriormente señalado, fija el caudal así como el tiempo de dotación para cada canal de derivación, canales laterales, hasta nivel de usuario de la siguiente manera:
- a. El volumen bruto a derivar por cada bocatoma de canal de derivación se divide entre el número de segundos que tiene el tiempo considerado en el pedido (ejem. 604,800 seg. para una semana), para obtener el caudal continuo a derivar en cada pedido.
  - b. Este caudal continuo, menos el caudal que se pierde en el canal de derivación da como resultado el caudal neto a derivar por todas las tomas de canales laterales del canal de derivación.
  - c. El caudal neto a derivar por las tomas, dividido entre el caudal medio de entrega a las tomas, da como resultado la formación de grupos de tomas que pueden hacer uso simultáneo del servicio de riego.
  - d. El caudal de entrega en la cabecera de un grupo N es igual al caudal a entregar a este grupo más el caudal que se debe entregar a los grupos ubicados aguas abajo y el caudal resultante del volumen perdido desde el último tramo hasta el tramo del canal que abastece el grupo N.
  - e. En base a la suma de los volúmenes a derivar por todas las tomas ubicadas dentro de cada grupo y al tiempo de entrega de agua al canal de derivación se determina el caudal a derivar por cada una de las tomas.
  - f. En base a los volúmenes a derivar por cada una de las tomas ubicadas dentro de cada grupo y al tiempo total de entrega de agua al canal de derivación, se determinará al tiempo total de riego para cada una de las tomas.

El procedimiento indicado en los puntos (e) y (f), se realiza a nivel de usuario para determinar el caudal y el tiempo de entrega. En la figura No. 1, se muestra el proceso de pedido de agua de riego y la entrega de esto a los usuarios, así como los niveles de ejecución dentro de la organización técnico-administrativa de un distrito de riego tipo.

#### 4.6 Planeación y Programación

La planeación de la distribución del agua de riego exige una amplitud de conocimientos en conjunto que deben conjugarse armónicamente con todos los elementos que se dan en el Distrito de Riego. La importancia de planear la Distribución del agua de riego, conlleva la necesidad de conservar el recurso y adquiere mayor relieve en los distritos de riego donde el recurso agua es el factor limitante para el desarrollo de la agricultura, por lo que se hace indispensable premeditar concienzudamente, en qué medida, en que forma, en que tiempo y donde debe utilizarse preferentemente el agua para proporcionar la mayor y más equilibrada satisfacción de los usuarios.

En la medida de la información disponible en el distrito de riego sea mayor y más coherente será posible planificar y programar la distribución del agua usando la tecnología moderna de sistemas, computación, modelos matemáticas y otros, considerando en forma detallada la oferta y demanda en planes dinámicos que integren los aspectos económicos, sociales y ecológicos.

En la programación de la distribución del agua, se contempla la formulación de los planes de cultivo y riego, y en función de éstos la formulación de los planes de distribución de aguas. Dentro de la formulación de los planes de cultivo y riego, la parte correspondiente a los planes de riego es la que tiene mayor incidencia en la elaboración de los planes de distribución de agua; es por ello que es imprescindible una correcta formulación de los planes de cultivo y riego, para facilitar la formulación de planes de distribución viables; bajo esta premisa, la formulación del plan de riego y de los planes de distribución, supone una sólida preparación técnica y en conocimiento

cabal no solamente las denominadas constantes del distrito de riego, tales como: Volúmenes Medios Mensuales que aportan las fuentes de agua, evaporación media mensual, precipitación media mensual, coeficiente de riego, épocas de riego, números de riegos, necesidades de agua de los distintos cultivos, etc.; sino también conocer a fondo la forma en que debe operarse el distrito de riego. Es por esto, que a continuación se describen algunas consideraciones que es necesario recordar respecto a los planes de riego, que deben ser tomadas en cuenta para los efectos de la distribución de las aguas.

- a. Nivel de consolidación de los planes de riego. Para lograr que el plan de cultivos y riegos sea un documento aplicable, es necesario que la formulación tanto del plan de cultivo como el plan de riego, se realice en función a la red de distribución de las aguas y cuyos niveles de consolidación dependerán exclusivamente de los niveles a los que se plantea la distribución de las mismas; es decir, en la formulación de los planes de riego se debe tener en cuenta la cédula de cultivos tipo al menor nivel posible, que puede ser de lateral de 1er, 2do., o 3er orden, etc. Ejemplo si se tiene el área servida por un canal de derivación con una cédula de cultivos similar a lo largo de la misma, se desprende que existe una relación directa entre el volumen a derivar por el canal de derivación y el área abastecida por cada lateral, y por lo tanto, la consolidación de los planes de riego podrá hacerse a nivel de canal de derivación, realizándose la distribución de las aguas o al respecto de las mismas por área servida.
- b. Factor de demanda. El factor de demandas es un parámetro de operación que permite determinar directamente los volúmenes o caudales brutos al nivel en que se desee consolidar el plan de riegos; este factor es el resultante de la inversa de la eficiencia de conducción del canal y se calcula mediante la siguiente fórmula.

$$F. D. = 1/E$$

En donde:

FD = Factor de Demanda.

E = Eficiencia de Conducción del canal en decimales.

#### 4.6.1 Formulación de los planes de distribución de aguas.

Formulados los Planes de Cultivo y Riego, y seleccionado el método de distribución a aplicar se procede a la formulación de los planes de distribución de aguas.

El plan de riegos desconsolidado a los niveles en los que se ejercerá el control hidráulico, combinado con los parámetros de operación (Tiempos de demora, adicionales, caudales medios de manejo por usuarios, etc.), son la base sobre la que se sustenta el plan de distribución de aguas.

##### a) Método de Distribución de Turnos.

Para el método de distribución por turnos es necesario con las siguientes variables:

- Plan de Riegos.
- Tiempos muertos (perdidos o de demoras).
- Tiempos adicionales.
- Caudal medio de manejo de los usuarios.
- Capacidad de conducción del canal.

Las relaciones que se aplican son las siguientes:

$$D = \frac{V}{T} \quad (6)$$

En donde:

D = Dotación o caudal continuo de riego.

V = Volumen calculado según planes de riego,  
generalmente en m<sup>3</sup>/Mes.

T = Tiempo en segundos en el que se debe distribuir el  
volumen calculado mediante plan de riegos.

$$TE = T - t - a \quad (7)$$

En donde:

TE = Turno efectivo en días.

T = Turno de riego en días.

t = Tiempos muertos o pérdidas en el canal donde se hace  
el turnado en días.

a = Tiempos adicionales en el mismo canal en días.

$$\frac{Te \times 24 \times D}{Q} \quad (8)$$

En donde:

H = Tiempo total de riego en horas.

D = Caudal o dotación continua en lt/seg., calculado según  
planes de riego.

Te = Turno efectivo de riego en días.

Q = Caudal de entrega que debe ser aproximadamente igual  
al caudal de manejo del usuario, en lt/seg.

24 = Factor de corrección.

Los planes de distribución de aguas basadas en el método de distribución por turnos, deben ser consignados en formatos especialmente diseñadas para este fin, y comunmente debe ser presentados en forma de foles de riego o diagramas de barras que permitan visualizar rápidamente el inicio y fin de cada riego, así como el caudal a derivar.

b) Método de Distribución combinado.

Para el método de distribución combinado es necesario contar con las siguientes variables:

- Plan de riegos (del mes).
- Tiempos muertos (pérdidas o de demoras).
- Tiempos adicionales.
- Caudal medio de manejo de los usuarios.
- Capacidad de conducción del canal comunal.
- Factor de demandas por tramos controlados.
- Coeficientes de riego de los cultivos.

Las relaciones que se aplican son :

$$V_m = A \times C.R. \quad (9)$$

En donde:

$V_m$  = Volumen total a entregar en el mes (m<sup>3</sup>).

$A$  = Area del cultivo para el que solicita riego (Has).

$C.R.$  = Coeficiente de riego del cultivo para el mes de riego solicitado (me/Ha.)

$$V_s = \frac{V_m}{N R} \quad (10)$$

En donde:

$V_s$  = Volumen parcial por cultivo a entregar durante el mes de acuerdo a la periodicidad de entrega determinada.

NR = Número de riegos que se solicitan durante el mes para determinado cultivo en función de la periodicidad de entrega.

$$V_{sv} = \sum V_{si} \quad (11)$$

En donde:

$V_{sv}$  = Volumen total solicitado por usuario o lateral una entrega dentro del mes.

$V_s$  = Suma de cada uno de los volúmenes parciales por cultivos a entregar durante el mes de acuerdo a la periodicidad de entrega determinada.

$$VSL = V_{su} \times F_{Du} \quad (12)$$

En donde:

VSL = Volumen Bruto por usuario o lateral durante una entrega dentro del mes puesto en un punto de control consideran las pérdidas que se suceden desde el punto de control hasta su toma.

$F_{Du}$  = Factor de Demandas calculado en función de la eficiencia del canal en el tramo considerado.

$$QEC = \frac{VST}{T} \quad (13)$$

En donde:

QEC = Caudal de entrega continua a derivar por la bocatoma

del canal de derivación o toma de lateral de aquellos canales y/o laterales que deben trabajar a caudal continuo (m<sup>3</sup>/seg. o lps).

VST = Volumen total a ser puesto en la bocatoma del canal de derivación o toma de lateral, durante una entrega de agua durante el mes (m<sup>3</sup>).

T = Lapso o intervalo de duración de cada entrega de agua durante el mes (seg).

$$T_n = T - t - a \quad (14)$$

En donde:

T<sub>n</sub> = Tiempo neto de riego que puede ser utilizado para regar todas las tomas de un grupo durante un intervalo de duración de cada entrega.

t = Tiempos muertos para el grupo.

a = Tiempos adicionales para el grupo.

$$Q_e = Q_{EC} \times \frac{VSL}{VST} \quad (15)$$

En donde:

Q<sub>E</sub> = Caudal continuo requerido por una toma durante una entrega de agua.

$$H = \frac{T_n \times Q_e}{Q} \quad (16)$$

En donde:

H = Tiempo total de riego por lateral o usuarios (horas)

Q = Caudal de entrega al lateral o al usuario y que debe ser aproximadamente igual a la capacidad de conducción del lateral o al caudal de manejo del usuario.

$$H_n = H - T - a \quad (17)$$

En donde:

H<sub>n</sub> = Horario neto o tiempo neto de entrega de riego.

t = Tiempo muerto del canal que abastece al lateral o al predio.

a = Tiempo adicional a considerar para el mismo canal cuando se corta el suministro, aguas arriba.

Al igual que en el método de distribución por turnos se deben diseñar formatos especiales para la programación del riego y en lo posible al Sectorista de Riego debe llegarse la orden de riego en forma de roles o diagrama de barras que la permitan visualizar rápidamente el inicio y fin de cada riego así como el caudal a derivar.

## 5. MATERIALES Y METODOS

De acuerdo a los objetivos del presente trabajo, se procedió a recopilar toda la información disponible de la Unidad de Riego "LAGUNA DEL HOYO". Se ordenó de manera que permitiera desarrollar un análisis.

### 5.1 Disponibilidad de agua para riego:

Para estimar el volumen de agua disponible se realizó un balance hídrico de la Laguna del Hoyo utilizando los datos de variación del escalímetro localizado en la Laguna, registrados a partir de noviembre de 1971 a diciembre de 1975.

Con el auxilio de la gráfica No. 1 (Altura-Volúmenes) y la gráfica No 2 (altura-áreas), se tabularon los datos necesarios para efectuar el Balance Hídrico de la Laguna del Hoyo, el cual se presenta en el cuadro No. 4, cuya descripción es la siguiente:

Columna No. 1	año de registro.
Columna No. 2	mes de registro
Columna No. 3	almacenamiento inicial en miles de m <sup>3</sup> .
Columna No. 4	altura de escala en metros.
Columna No. 5	superficie del embalse en m <sup>3</sup> (determinada con el auxilio de la gráfica No. 3.
Columna No. 6	precipitación media en metros.

A partir de la columna No.7 a la columna No. 9 se tabularon lo que constituyen las entradas a aportaciones de agua al vaso.

Columna No. 7 Lluvia en miles de m<sup>3</sup> la cual es el resultado de multiplicar la superficie de él embalse (columna No. 5) por la precipitación media (columna No. 6).

Columna No. 8 Volumen de entrada por derivación (este dato fue estimado por diferencia en el Balance, por no contar con registros de aportaciones por derivación).

Columna No. 9 Total de miles de m<sup>3</sup> constituye la suma de las aportaciones (por lluvia y derivación).

Columna No 10 Evaporación registrada en tanque de evaporímetro tipo "A".

Columna No. 11 Volumen Evaporado; en esta columna se registran los datos de evaporación multiplicada por un factor de 0.8, para estimar la EV en la superficie libre del vaso y luego multiplicado por el área (columna No. 5).

A partir de la columna No. 11 a la No. 13 se calcularon los volúmenes de salidas del vaso.

Columna No. 12 Volumen extraído en miles de m<sup>3</sup>, se anotaron de acuerdo a los registros de bombeo existentes en la Unidad de Riego bajo estudio.

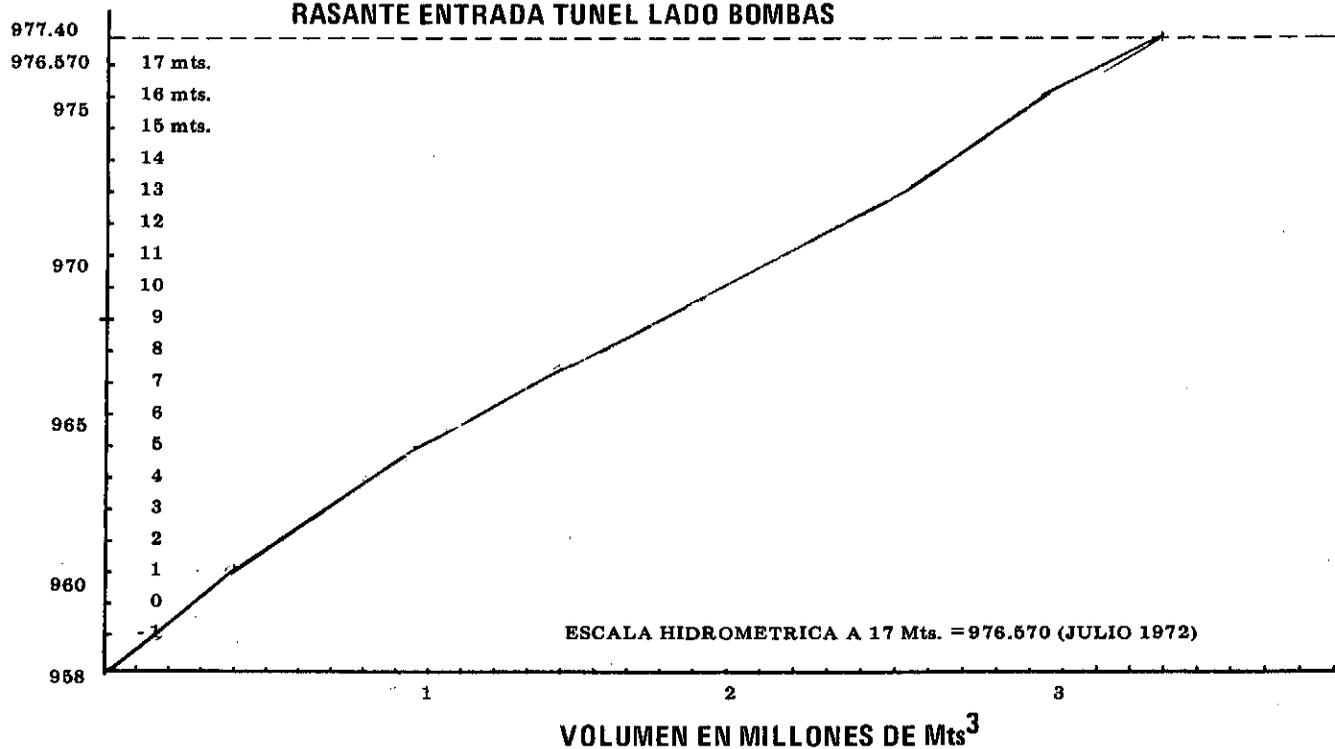
Columna No. 13 Total de salidas en miles de m<sup>3</sup> (es la suma de las columnas No. 11 y 12).

Columna No. 14 Almacenamiento Final (esta columna se determinó utilizando la lectura del escalímetro al final del mes y la superficie de embalse). Este volumen final constituye el volumen inicial del siguiente mes.

# GRAFICA No. 1

## GRAFICA ALTURA-VOLUMENES LAGUNA DEL HOYO

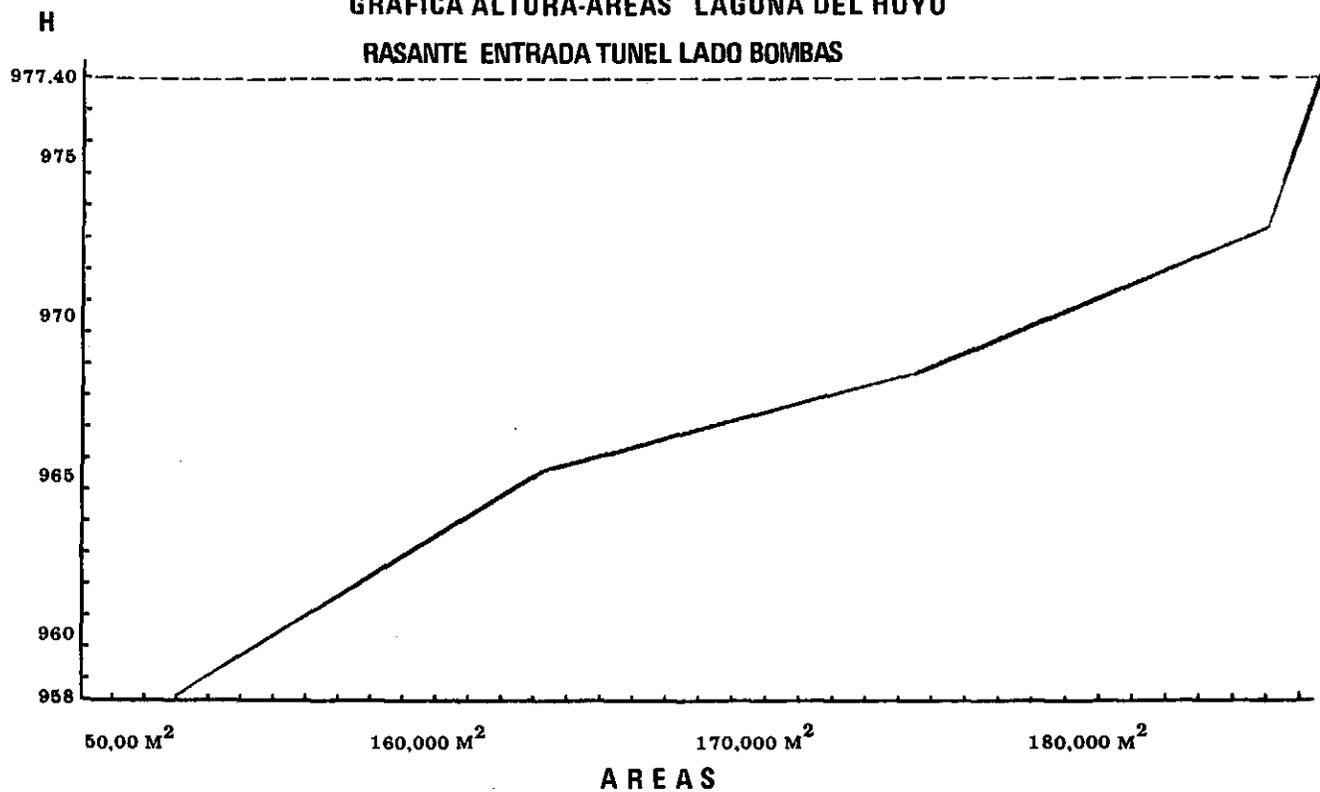
### RASANTE ENTRADA TUNEL LADO BOMBAS



## GRAFICA No. 2

## GRAFICA ALTURA-AREAS LAGUNA DEL HOYO

## RASANTE ENTRADA TUNEL LADO BOMBAS



Cuadro No. 4

## BALANCE HIDRICO DE LA LAGUNA DEL HCYC

						ENTRADAS			SALIDAS				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Año de Registro.	Mes de Registro.	Almacén de registro en metros.	Altura de escala en metros.	Superficie de embalse en m <sup>2</sup> .	Precipitación media en metros.	Lluvia en el vaso en m <sup>3</sup> .	Volumen de entrada por derivación en m <sup>3</sup> .	Total en miles de m <sup>3</sup> .	Evaporación registrada en evaporímetro tipo A en metros.	Volumen evaporado en la Laguna en m <sup>3</sup> .	Volumen extraído en miles de m <sup>3</sup> .	Total de salidas en miles de m <sup>3</sup> .	Almacén de registro en miles de m <sup>3</sup> .
1972	Mayo	1102	5.8	105,800	49.4x10 <sup>3</sup>	8.190	-- --	8.190	5.9x10 <sup>3</sup>	0.783	189.41	190.19	920
1972	Jun.	920	4.6	163,100	185.9x10 <sup>3</sup>	30.320	-- --	30.320	3.8x10 <sup>3</sup>	0.496	71.824	72.320	880
1972	Jul.	880	4.4	162,800	86.8x10 <sup>3</sup>	14.131	87.928	102.059	4.6x10 <sup>3</sup>	0.599	71.46	72.059	910
1972	Ag.	910	4.5	162,900	74.2x10 <sup>3</sup>	12.087	38.967	51.054	4.1x10 <sup>3</sup>	0.534	20.52	21.054	940
1972	Sep.	940	4.7	163,300	82.1x10 <sup>3</sup>	13.391	248.585	261.976	3.8x10 <sup>3</sup>	0.496	1.48	1.976	1200
1972	Oct.	1200	6.3	167,400	12.5x10 <sup>3</sup>	2.093	226.936	229.029	4.1x10 <sup>3</sup>	0.549	28.98	29.029	1400
1972	Nov.	1400	7.4	170,800	32.8x10 <sup>3</sup>	5.062	-- --	5.062	4.5x10 <sup>3</sup>	0.615	147.447	148.062	1257
1972	Dic.	1257	6.8	168,500	00.0	00.0	-- --	00.0	5.1x10 <sup>3</sup>	0.667	106.313	107.00	1150
1973	Enero	1150	6.0	166,500	00.0	00.0	-- --	00.0	5.8x10 <sup>3</sup>	0.773	199.227	200	950
1973	Feb.	950	4.8	163,500	00.00	00.00	00.00	00.0	6.6x10 <sup>3</sup>	0.863	264.06	264.923	685
1973	Marzo	685	3.2	160,700	1.4x10 <sup>3</sup>	0.225	39.498	39.723	7.8x10 <sup>3</sup>	1.003	253.80	254.803	470
1973	Abril	470	1.7	158,200	1.9x10 <sup>3</sup>	0.301	-- --	0.301	7.2x10 <sup>3</sup>	0.911	99.390	100.301	370
						85.829	641.914	727.743		8.996	1453.911	1462.907	

(Continuación Cuadro No. 4)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1973	Mayo	370	1.2	157,300	49.5x10 <sup>3</sup>	7.786	-- ---	7.786	6.0x10 <sup>-3</sup>	0.755	117.031	117.031	260
1973	Jun.	260	0.5	154,100	251x10 <sup>3</sup>	3.918	16.599	20.477	3.9x10 <sup>-3</sup>	0.477	0.000	0.477	280
1973	Jul.	280	0.2	154,800	127.9x10 <sup>3</sup>	20.054	1540.498	1560.552	4.4x10 <sup>-3</sup>	0.552	-- ---	0.552	1840
1973	Ag.	1840	10	178,200	184.2x10 <sup>3</sup>	32.824	927.717	960.541	3.8x10 <sup>-3</sup>	0.541	-- ---	0.541	2800
1973	Sep.	2840	14.7	186,550	180.4x10 <sup>3</sup>	33.579	31.593	65.172	3.9x10 <sup>-3</sup>	0.582	4.59	5.172	2900
1973	Oct.	2900	15.7	186,750	193.7x10 <sup>3</sup>	36.173	14.439	50.612	4.1x10 <sup>-3</sup>	0.612	-- ---	0.612	2950
1973	Nov.	2950	15.7	186,750	20.9x10 <sup>3</sup>	3.903	207.849	211.752	4.5x10 <sup>-3</sup>	0.672	1.08	1.752	3160
1973	Dic.	3160	17.2	187,000	1.7x10 <sup>3</sup>	0.318	-- ---	0.318	5.4x10 <sup>-3</sup>	1.010	359.308	360.318	2800
1974	Enero	2800	15.2	186,600	3.3x10 <sup>3</sup>	0.616	-- ---	0.616	4.6x10 <sup>-3</sup>	0.687	238.697	239.384	2560
1974	Feb.	2560	13.8	186,350	00.0	00.0	-- ---	0.000	6.1x10 <sup>-3</sup>	0.895	719.105	720	1840
1974	Marzo	1840	9.5	177,000	49.8x10 <sup>3</sup>	8.673	-- ---	8.673	5.8x10 <sup>-3</sup>	0.821	500.506	501.327	1330
1974	Abril	1330	7.0	169,450	2.4x10 <sup>3</sup>	0.407	-- ---	0.407	7.2x10 <sup>-3</sup>	0.976	279.431	280.407	1050
						148.251	2738.188	2886.439		8.590	2219.748	2226.336	

(Continuación Cuadro No. 4)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1974	Mayo	1050	5.4	164,500	$274.7 \times 10^3$	45.188	-- ---	45.188	$5.7 \times 10^3$	0.750	254.438	255.188	840
1974	Junio	840	4.1	162,200	$248.3 \times 10^3$	40.270	140.360	180.616	$3.8 \times 10^3$	0.616	-- ---	0.616	1020
1974	Julio	1020	5.2	164,100	$71.6 \times 10^3$	11.750	1378.600	1390.350	$4.1 \times 10^3$	0.538	-- ---	0.538	2410
1974	Ag.	2410	13.3	186,200	$194.6 \times 10^3$	36.230	638.080	674.310	$4.2 \times 10^3$	0.626	3.78	4.318	3080
1974	Sep.	3080	16.7	186,800	$136.2 \times 10^3$	25.440	6.090	31.530	$3.7 \times 10^3$	0.553	-- ---	0.553	3111
1974	Oct.	3111	16.8	186,900	$8.4 \times 10^3$	1.570	13.120	14.690	$4.6 \times 10^3$	0.687	-- ---	0.687	3125
1974	Nov.	3125	16.9	186,900	$0.5 \times 10^3$	0.090	14.00	14.090	$4.9 \times 10^3$	0.732	244.36	245.090	2880
1974	Dic.	2880	15.6	186,800	$0.0 \times 10^3$	-- ---	-- ---	-- ---	$4.9 \times 10^3$	0.732	489.27	490.000	2390
1975	Enero	2390	12.9	185,200	$1.8 \times 10^3$	0.350	-- ---	0.330	$4.9 \times 10^3$	0.907	574.42	580.330	1810
1975	Feb.	1810	9.8	177,800	$3.1 \times 10^3$	0.550	-- ---	00.550	$6.3 \times 10^3$	1.120	509.430	510.550	1300
1975	Marzo	1300	6.8	180,900	$0.0 \times 10^3$	0.000	-- ---	0.000	$7.2 \times 10^3$	0.973	359.027	360.000	940
1975	Abril	940	4.7	163,200	$4.8 \times 10^3$	0.780	-- ---	0.780	$7.5 \times 10^3$	0.979	319.020	320.780	620
						162.218	2203.370	2365.588		9.213	3113.175	3122.388	

(Continuación Cuadro No. 4)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1975	Mayo	620	2.7	159,800	$52.6 \times 10^3$	8.405	-- --	8.405	$6 \times 10^3$	0.959	119.990	128.405	500
1975	Junio	500	2.0	158,700	$75.9 \times 10^3$	12.045	-- --	12.045	$3.8 \times 10^3$	0.603	214.42	22.045	490
1975	Julio	490	1.9	158,500	$129.6 \times 10^3$	20.540	-- --	20.540	$4.7 \times 10^3$	0.596	109.940	110.540	400
1975	Ag.	400	1.4	157,500	$133.1 \times 10^3$	20.960	-- --	20.960	$4.0 \times 10^3$	0.504	50.456	50.960	370
1975	3ep.	370	1.3	157,400	$228.5 \times 10^3$	35.960	448.51	484.470	$3.4 \times 10^3$	0.428	-- --	000.428	890
1975	Oct.	890	4.4	162,800	$245.4 \times 10^3$	39.950	1940.49	1980.440	$3.4 \times 10^3$	0.442	-- --	0.442	2870
1975	Nov.	2870	15.5	186,800	$54.5 \times 10^3$	10.180	235.20	245.38	$3.8 \times 10^3$	0.568	2.120	2.688	3110
1975	Dic.	3110	16.8	186,850	$00.0 \times 10^3$	-- --	-- --	-- --	$5.1 \times 10^3$	0.762	339.240	340.000	2770
1976	Enero	2770	13.8	186,400	$0.7 \times 10^3$	0.130	-- --	0.130	$4.7 \times 10^3$	0.701	379.268	379.969	2390
1976	Feb.	2390	13.3	186,200	$1.3 \times 10^3$	0.242	-- --	0.242	$6.2 \times 10^3$	0.923	381.521	382.444	2008
1976	Marzo	2008	11.3	182,300	$3.4 \times 10^3$	0.619	-- --	0.619	$7.1 \times 10^3$	1.035	381.584	382.419	1626
1976	Abril	1626	8.8	174,800	$22.2 \times 10^3$	3.898	14.280	18.178	$6.7 \times 10^3$	0.934	220.244	221.178	1405
						153.011	2638.480	2791.491		8.455	2005.805	2014.260	

Tal como se anotó anteriormente, para poder efectuar el balance hídrico de la Laguna, se determinó el volumen de aportaciones por derivación y otros no considerados, mediante las siguientes operaciones:

Volumen final (col 15) - Volumen inicial (col 3) - total de salidas (col. 14) + Entradas por lluvia (col. 7) = a volumen de entrada por derivación (col. 8) en miles de m<sup>3</sup>.

Los resultados de este balance hídrico se presentan en el cuadro No. 4.

## 5.2 Estimación de Requerimientos Potenciales de Riego:

Para la determinación de los requerimientos potenciales de riego, se efectuó un balance hídrico de la zona de riego, para lo cual se estimó la evapotranspiración potencial (ETP), la precipitación probable y la precipitación efectiva.

### 5.2.1 Estimación de la evapotranspiración potencial (ETP).

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial se utilizaron 3 métodos, de acuerdo a los Estudios hechos por Minera(23) y González(15); con el objeto de determinar el método más consistente a usar en esta Unidad de Riego, siendo estos:

- a) Método de CHRISTIANSEN modificado(2) por el Dr. ALFARO et al(1).
- b) Método de evaporímetro.
- c) Método de BLANEY-CRIDDLE modificado.

a) **METODO DE CRISTIENSEN:**

El procedimiento fué el siguiente: Se tomaron los datos climatológicos de registro de 10 años de la estación 9.3.3. "La Ceibita", ubicada en Monjas del Depto. de Jalapa (Cuadro No. 2).

$$Etp = K \times R \times CWV \times CSP \times CHM \times CE \times CT \times CDP.$$

En donde:

$$K = 0.235$$

R = Radiación extraterrestre expresada en unidades de Et (mm/mes) (tabla No. 1), habiendo tenido que interpolar para latitud:  $14^{\circ}$  - y  $15^{\circ}$  -.

CWV = Coeficiente de viento.

Se calculó de acuerdo a la fórmula:  $CWV = 0.770 + 0.320 WV$ .

WV = Velocidad del viento en kms./hora a 6 mts. de altura. (tabla No. 3).

CSP = El coeficiente de insolación calculado por medio de la fórmula  $CSP = 0.700 + 0.300 \frac{SP}{50}$

Donde:

SP = porcentaje de insolación basado en la duración técnica de horas luz del día. El SP: Fué calculado así:

$$\frac{SP = \text{horas luz} \times 100}{\text{No. de día/mes} \times DL}$$

DL = Duración de luz con el dato de latitud  $14^{\circ} - 30'$  inter-

Cuadro No. 5

EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL Método de CHRISTIANSEN.

COEFICIENTE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
K	0.235	0.235	0.235	0.235	0.235	0.235	0.235	0.235	0.235	0.235	0.235	0.235
R	386.5	382.3	464.7	475.3	497.7	480.5	496.9	495.8	462.8	440.3	384.6	374.3
CWV	1.063	1.063	1.025	1.000	1.006	0.973	0.976	0.961	0.937	0.951	1.009	1.022
CSP	1.120	1.156	1.146	1.117	1.006	0.978	1.000	0.963	0.949	0.966	0.966	1.003
CHM	1.282	1.528	1.528	1.398	1.398	0.720	0.806	0.745	0.693	0.735	0.84	1.071
CE	0.906	0.906	0.906	0.906	0.906	0.906	0.906	0.906	0.906	0.906	0.906	0.906
CT	1.000	1.017	1.091	1.133	1.136	1.091	1.084	1.073	1.077	1.080	1.031	1.021
CDP	1.557	1.557	14.562	1.429	1.214	0.829	0.957	0.871	0.871	1.043	1.429	1.557
Etp mm	195.557	242.00	301.657	255.850	203.47	63.395	85.904	68.018	56.958	71.301	98.774	139.082
Etp mm día	6.308	8.643	9.73	8.528	6.563	2.113	2.771	2.194	1.899	2.30	3.292	4.486

FORMULA GENERAL:  $Etp = K \times R \times CWV \times CSP \times CHM \times CE \times CT \times CDP$ .-

polado de los valores 14° y 15° de latitud norte (tabla No. 3).

El coeficiente de humedad relativa: CHM se calculó en base a la fórmula:

$$\text{CHM} = 18.200 - 39.700 \frac{(\text{HM})}{90} + 22.500 \frac{(\text{HM})^2}{90}$$

HM = o/o humedad relativa mensual.

CE = El coeficiente de elevación, se calculó en base a la fórmula

$$\text{CE} = 0.540 + 0.460 \frac{\text{EL}}{1208}$$

En donde:

EL = Elevación en metros sobre el nivel del mar.

CT = Coeficiente de temperatura adimensional, se calculó en base a la fórmula  $\text{CT} = 0.300 + 0.700 \frac{T}{20}$   
(tabla No. 4)

En donde:

T = temperatura media mensual en °C.

El coeficiente de días de precipitación (tabla No. 4), se sacó de la fórmula:

$$\text{CDP} = 1.600 - 0.600 \frac{\text{DP}}{14}$$

En donde:

DP = Días de lluvia mensual

Ya con los datos mensuales de R - K - CWV - CSP - CHM - CE CT - CDP, se tabularon los datos y se sacó la Etp para cada mes: La Etp así calculada para cada mes se dividió entre los días que tiene cada uno de dichos meses y se sacó la Etp diaria (cuadro No. 5).

#### 6) Métodos de Evaporímetro.

Este método se basa en que la evaporación medida en tanque evaporímetro tipo "A" que integra la acción de los factores que influyen en la ETP, siendo la evaporación mayor por tratarse de una superficie libre de agua.

De acuerdo a investigaciones efectuadas en áreas tropicales se ha determinado un factor K para corregir la EV y estimar la ETP. Este factor K oscila entre 0.8 y 0.7. Para condiciones promedios se toma  $K = 0.75$  de ése modo la  $ETP = 0.75 EV$

EV = Evaporación promedio mensual a la interperie medido en tanque tipo "A" (Sacada del cuadro No. 2).

Los resultados se presentan en el cuadro No. 6

#### c) Método de Blaney - Criddle, modificada por O. González.

(15) para calcular la Etp por este método primero se estimó la EV mensual de acuerdo a las fórmulas propuestas por González (15).

##### i) Epoca Seca;

$$EV = 9.965 + 0.86 f \text{ (noviembre-abril)}$$

##### ii) Epoca húmeda:

$$EV = 39.56 + 0.35 f \text{ (mayo-octubre)}$$

En donde:

**CUADRO No. 6**  
**CALCULO DE Etp METODO DEL EVAPORIMETRO (mm)**

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
EV	5.0	6.3	6.9	7.2	5.9	3.8	4.6	4.1	3.8	4.1	4.5	5.1
Etp Diaria	3.75	4.72	5.18	5.40	4.43	2.85	3.45	3.08	2.85	3.08	3.38	3.83
Etp Mensual	116.3	132.2	160.6	162.0	137.3	85.5	106.9	95.5	85.5	95.5	101.5	118.7

EV = Evaporación mensual estimada.

f = Factor mensual, el cual se determina así:

$$f = (0.457 t + 8.13) P$$

En donde:

t = temperatura media mensual.

P = o/o de horas de luz solar medida en heliógrafo.

Con la EV así encontrada se determinó la Etp mensual por medio de la fórmula:

$$Etp = 0.75 EV \text{ (cuadro No. 7)}$$

Determinación del método más consistente para el cálculo de Etp.

Con los datos encontrados en los 3 métodos estudiados para cálculo de Etp se compararon para definir el método más consistente (cuadro No. 8) y gráfica No. 4.

Considerando que la Evaporación en tanque tipo "A", constituye un parámetro que integra los factores que influyen en la Etp se seleccionó el método del Evaporímetro.

### 5.2.2 Estimación de la precipitación probable:

Para poder predecir que precipitación es esperada en la región se calculó la precipitación probable por el método de la distribución logaritmo normal(15), el procedimiento fué el siguiente:

- a) Se tabularon las precipitaciones mensuales de 10 años de registro de 1965 a 1974 (cuadros Nos 9 y 10).

**CUADRO No. 7**  
**CALCULO DE ETP. METODO DE BLANEY-CRIDDLE**

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
IN	244.1	244.7	274.1	257.0	199.0	178.6	198.6	169.4	150.5	160.4	150.4	175.0
P	10.1	10.2	11.4	10.7	8.3	7.4	8.3	7.0	6.3	6.8	6.2	7.3
t	20.0	20.5	22.6	23.8	23.9	22.6	22.4	22.1	22.2	22.3	20.9	20.6
0.457 t	9.14	9.37	10.33	10.88	10.32	10.32	10.23	10.10	10.15	10.19	9.55	9.41
0.457 t+8.13	17.27	17.50	18.46	19.01	19.05	18.45	18.36	18.23	18.28	18.32	17.68	17.54
f	174.43	178.5	210.44	203.41	158.12	136.53	152.39	127.61	115.16	124.58	109.62	128.04
EV (mensual)	140.04	143.5	171.01	164.97	94.90	87.35	92.90	84.22	79.87	83.16	84.31	100.15
EV (diaria)	4.52	5.12	5.57	5.50	3.06	2.91	3.00	2.72	2.66	2.68	2.81	3.23
Etp	105.3	107.6	128.3	123.7	146.2	65.6	69.8	63.2	59.9	62.4	63.2	75.1

**CUADRO No. 8**  
**COMPARACION DE METODOS PARA CALCULO DE Etp.**

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Método de CHRISTIANSEN	195.6	242	301.7	225.8	203.5	63.4	85.9	68	5.7	71.3	98.8	139
Método de EVAPOROMETRO	116.3	132.2	160.6	162	137.3	85.5	106.9	95.5	85.5	95.5	101.5	118.7
Método de BLANEY-CRIDDLE	105.3	143.5	128.3	123.7	146.2	65.6	69.8	63.2	59.9	62.4	63.2	75.1

GRAFICA Nº 3 COMPARACION DE METODOS PARA  
EL CALCULO DE EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL

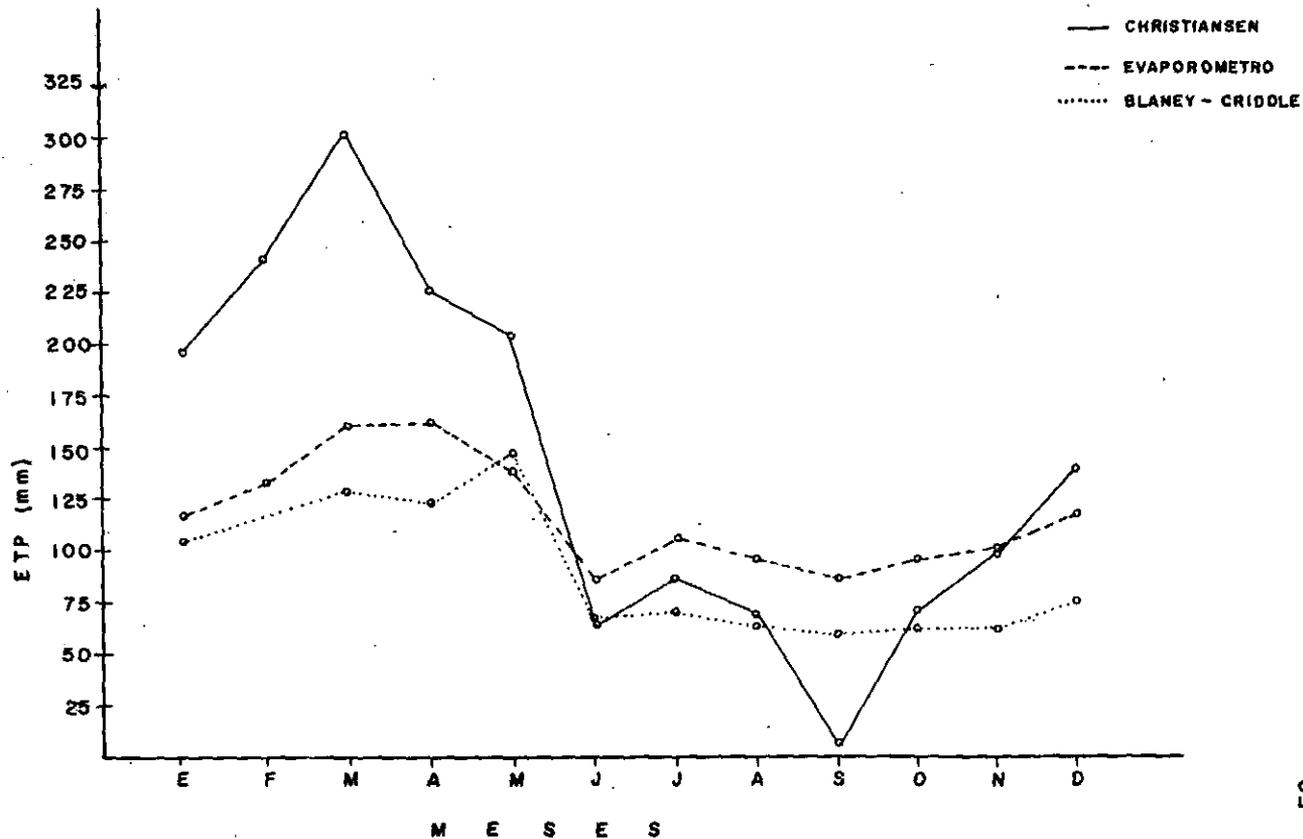


TABLA 1. R = Radiación Solar Teórica expresada en unidades equivalentes de evaporación en mm/mes para latitudes Norte de 1° 00. a 30° 00'. (\*)

Lat.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Oct.	Nov.	Dic
30.0	275.4	299.2	405.9	459.0	517.0	516.3	527.0	455.2	422.3	359.9	282.2	259.0
29.0	283.0	305.3	410.7	461.0	516.8	514.9	526.0	496.2	425.8	285.9	289.2	266.9
28.0	290.6	311.2	415.3	462.9	516.4	513.3	524.9	497.2	429.2	371.8	296.5	274.7
27.0	298.1	317.0	419.8	464.7	515.7	511.7	523.7	497.9	432.6	377.6	303.5	282.5
26.0	305.6	322.8	424.1	466.4	515.2	509.9	522.4	498.6	435.8	383.3	310.5	290.2
25.0	313.0	328.5	428.0	467.9	514.4	508.0	520.9	499.1	438.9	388.9	317.3	297.8
24.0	320.3	334.1	432.5	469.3	513.4	506.0	519.3	499.4	441.8	394.3	324.1	305.4
23.0	327.6	339.5	436.4	470.5	512.4	503.8	517.5	499.7	444.6	399.7	330.9	313.0
22.0	334.8	344.9	440.3	471.6	511.2	501.5	515.6	499.7	447.3	404.9	337.5	320.5
21.0	341.9	350.3	444.0	472.5	509.8	499.1	513.6	499.7	449.8	410.0	344.1	327.9
20.0	348.9	355.5	447.6	473.4	508.4	496.6	511.5	499.5	452.2	415.0	350.6	335.2
19.0	355.9	360.6	451.0	474.0	506.7	494.0	509.2	499.1	454.4	419.9	357.0	342.5
18.0	362.7	365.6	454.3	474.6	505.0	491.2	506.8	498.6	456.6	424.7	363.3	349.7
17.0	369.5	370.5	457.5	475.0	503.1	488.3	504.3	498.0	458.5	429.3	369.5	356.9
16.0	376.2	375.3	460.5	475.2	501.1	485.3	501.7	497.2	460.4	433.8	375.6	363.9
15.0	382.8	380.0	463.4	475.4	498.9	482.2	498.9	496.3	462.1	438.2	381.6	370.9
14.0	389.3	384.6	466.1	475.3	496.6	478.9	495.0	495.3	463.6	442.5	387.5	377.8
13.0	395.7	389.0	468.7	475.2	494.2	475.6	492.9	494.0	465.0	446.6	393.4	384.6
12.0	402.1	393.4	471.2	474.9	491.7	472.1	489.7	492.7	468.3	450.6	399.1	391.3
11.0	408.3	397.7	473.5	474.4	489.0	468.5	486.4	491.2	467.4	454.4	404.7	397.9
10.0	414.4	401.8	475.7	473.8	486.1	464.7	483.0	489.6	468.4	458.1	410.2	404.4
9.0	420.4	405.9	477.7	473.1	483.2	460.9	479.4	487.7	469.2	461.7	415.6	410.9
8.0	426.3	409.8	479.6	472.2	480.1	458.9	475.8	485.9	469.9	465.2	420.9	417.2
7.0	432.1	413.6	481.3	471.2	476.9	452.8	472.9	483.9	470.5	468.5	426.1	423.4
6.0	437.8	417.2	482.9	470.1	473.5	448.5	468.0	481.7	470.9	471.7	431.2	429.5
5.0	443.4	420.8	484.3	468.8	470.1	444.3	464.0	479.4	471.2	474.7	436.1	435.6
4.0	448.8	424.2	485.6	467.4	466.5	439.9	459.8	476.9	471.3	477.6	441.0	441.6
3.0	454.2	427.6	486.8	465.8	462.7	435.4	455.5	474.8	471.3	480.3	445.7	447.3
2.0	459.4	430.8	487.8	464.1	458.9	430.8	451.1	471.6	471.2	483.0	450.3	453.0
1.0	464.5	433.8	488.8	462.3	454.9	426.0	446.6	468.7	470.9	485.4	454.8	458.6

(\*) Determinada por Christianse y colaboradores. Utah University.

TABLA 2. DL =Duración Teórica de la luminosidad diaria en horas para latitudes Norte de 1 00 a 30 00 (\*)

Lat.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May	Junio	Julio	Agosto	Sep.	Oct.	Nov.	Dic
30.0	10.30	10.98	11.79	12.72	13.49	13.89	13.73	13.06	12.18	11.26	10.48	10.10
29.0	10.37	10.98	11.80	12.69	13.43	13.82	13.66	13.02	12.17	11.29	10.55	10.18
28.0	10.43	11.02	11.81	12.66	13.37	13.74	13.59	12.98	12.16	11.31	10.61	10.26
27.0	10.50	11.06	11.82	12.63	13.32	13.67	13.52	12.94	12.16	11.34	10.66	10.33
26.0	10.57	11.10	11.83	12.60	13.26	13.59	13.45	12.90	12.16	11.37	10.72	10.40
25.0	10.63	11.14	11.83	12.58	13.20	13.52	13.39	12.86	12.14	11.40	10.75	10.47
24.0	10.69	11.18	11.84	12.55	13.15	13.45	13.35	12.82	12.14	11.43	10.83	10.54
23.0	10.75	11.22	11.85	12.53	13.10	13.39	13.26	12.78	12.13	11.45	10.89	10.61
22.0	10.81	11.25	11.86	12.50	13.04	13.32	13.20	12.74	12.12	11.48	10.94	10.68
21.0	10.87	11.29	11.86	12.48	12.99	13.25	13.14	12.71	12.12	11.51	11.00	10.75
20.0	10.93	11.33	11.87	12.45	12.94	13.19	13.08	12.67	12.11	11.53	11.05	10.81
19.0	10.99	11.37	11.88	12.43	12.89	13.12	13.02	12.63	12.11	11.56	11.10	10.88
18.0	11.05	11.40	11.88	12.40	12.84	13.06	12.97	12.60	12.10	11.58	11.15	10.94
17.0	11.10	11.44	11.89	12.38	12.79	13.00	12.91	12.56	12.09	11.61	11.20	11.00
16.0	11.16	11.47	11.90	12.36	12.74	12.93	12.85	12.53	12.09	11.63	11.25	11.07
15.0	11.21	11.51	11.90	12.33	12.69	12.87	12.80	12.49	12.08	11.65	11.30	11.13
14.0	11.27	11.54	11.91	12.31	12.64	12.81	12.74	12.46	12.08	11.68	11.35	11.19
13.0	11.32	11.57	11.92	12.29	12.59	12.75	12.68	12.42	12.07	11.70	11.40	11.25
12.0	11.38	11.61	11.92	12.26	12.55	12.69	12.63	12.39	12.06	11.73	11.44	11.31
11.0	11.43	11.64	11.93	12.24	12.50	12.63	12.58	12.36	12.06	11.75	11.49	11.37
10.0	11.48	11.68	11.94	12.22	12.45	12.57	12.52	12.32	12.05	11.77	11.54	11.43
9.0	11.54	11.71	11.94	12.20	12.41	12.51	12.47	12.29	12.05	11.80	11.59	11.48
8.0	11.59	11.74	11.95	12.17	12.36	12.46	12.42	12.26	12.04	11.82	11.63	11.54
7.0	11.64	11.77	11.96	12.15	12.32	12.40	12.36	12.20	12.04	11.84	11.68	11.60
6.0	11.69	11.81	11.96	12.13	12.27	12.34	12.31	12.19	12.03	11.86	11.73	11.66
5.0	11.74	11.84	11.97	12.11	12.23	12.28	12.26	12.16	12.03	11.89	11.77	11.72
4.0	11.80	11.87	11.97	12.09	12.18	12.23	12.21	12.13	12.02	11.91	11.82	11.77
3.0	11.85	11.90	11.98	12.06	12.13	12.17	12.16	12.10	12.02	11.93	11.88	11.83
2.0	11.90	11.94	11.99	12.04	12.09	12.11	12.10	12.08	12.01	11.96	11.91	11.89
1.0	11.95	11.97	11.99	12.02	12.04	12.06	12.05	12.03	12.01	11.98	11.95	11.94

(\*) Determinadas por Christiansen y colaboradores Utah State University. Tomado de Estimating Potential evapotranspiration from Climatological Data. Para Guatemala J.F. Alfaro. Utah University. 1974.

**TABLA No. 3**

**COEFICIENTE DEL VIENTO, INSOLACION Y ELEVACION PARA ESTIMAR  
LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL EN GUATEMALA(\*)**

Viento,	kph	CWV	o/o insolación	CSP	Elevación, m	CE
0.5	—	0.786	2.0	— 0.712	50	— 0.559
1.0	—	0.803	4.0	— 0.724	100	— 0.578
1.5	—	0.819	6.0	— 0.736	150	— 0.597
2.0	—	0.836	8.0	— 0.748	200	— 0.616
2.5	—	0.852	10.0	— 0.760	250	— 0.635
3.0	—	0.869	12.0	— 0.772	300	— 0.654
3.5	—	0.885	14.0	— 0.784	350	— 0.673
4.0	—	0.901	16.0	— 0.796	400	— 0.692
4.5	—	0.918	18.0	— 0.803	450	— 0.711
5.0	—	0.934	20.0	— 0.820	500	— 0.730
5.5	—	0.951	22.0	— 0.832	550	— 0.749
6.0	—	0.967	24.0	— 0.844	600	— 0.768
6.5	—	0.984	26.0	— 0.856	650	— 0.788
7.0	—	1.000	28.0	— 0.868	700	— 0.807
7.5	—	1.016	30.0	— 0.880	750	— 0.826
8.0	—	1.033	32.0	— 0.892	800	— 0.845
8.5	—	1.049	34.0	— 0.904	850	— 0.864
9.0	—	1.066	36.0	— 0.916	900	— 0.883
9.5	—	1.082	38.0	— 0.928	950	— 0.902
10.0	—	1.099	40.0	— 0.940	1000	— 0.922
10.5	—	1.115	42.0	— 0.952	1050	— 0.940
11.0	—	1.131	44.0	— 0.964	1100	— 0.959
11.5	—	1.148	46.0	— 0.976	1150	— 0.978
12.0	—	1.164	48.0	— 0.988	1200	— 0.997
12.5	—	1.181	50.0	— 1.000	1250	— 1.016

Viento,	kph	CWV	o/o insolación	CSP	Elevación, m	CE
13.0	—	1.197	52.0	— 1.012	1300	— 1.035
13.5	—	1.214	54.0	— 1.024	1350	— 1.054
14.0	—	1.230	56.0	— 1.036	1400	— 1.073
14.5	—	1.246	58.0	— 1.048	1450	— 1.092
15.0	—	1.263	60.0	— 1.060	1500	— 1.111
15.5	—	1.279	62.0	— 1.072	1550	— 1.130
16.0	—	1.296	64.0	— 1.084	1600	— 1.149
16.5	—	1.312	66.0	— 1.096	1650	— 1.168
17.0	—	1.329	68.0	— 1.108	1700	— 1.187
17.5	—	1.345	70.0	— 1.120	1750	— 1.206
18.0	—	1.361	72.0	— 1.132	1800	— 1.225
18.5	—	1.378	74.0	— 1.144	1850	— 1.244
19.0	—	1.394	76.0	— 1.156	1900	— 1.264
19.5	—	1.411	78.0	— 1.168	1950	— 1.283
20.0	—	1.427	80.0	— 1.180	2000	— 1.302

Determinada por J.F. Alfaro y colaboradores. Utah State University.

**TABLA No. 4**

**COEFICIENTE DE TEMPERATURA DIAS DE PRECIPITACION Y HUMEDAD  
RELATIVA PARA ESTIMAR LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL  
EN GUATEMALA(\*)**

Temp. C°	CT	D-o-Precip	CDP	o/o Humedad	CHM
1.0	0.335	1	1.557	50	3.089
2.0	0.370	2	1.514	51	2.928
3.0	0.405	3	1.471	52	2.773
4.0	0.440	4	1.429	53	2.624
5.0	0.475	5	1.386	54	2.480
6.0	0.510	6	1.343	55	2.342
7.0	0.545	7	1.300	56	2.209
8.0	0.580	8	1.257	57	2.082
9.0	0.615	9	1.214	58	1.960
10.0	0.650	10	1.171	59	1.844
11.0	0.685	11	1.129	60	1.733
12.0	0.720	12	1.086	61	1.628
13.0	0.755	13	1.043	62	1.529
14.0	0.790	14	1.000	63	1.435
15.0	0.825	15	0.957	65	1.347
16.0	0.860	16	0.914	65	1.264
17.0	0.895	17	0.871	66	1.187
18.0	0.930	18	0.829	67	1.115
19.0	0.965	19	0.786	68	1.049
20.0	1.000	20	0.743	69	0.988

Temp. C°	CT	D-o-Precip	CDP	o/o Humedad	CHM
21.0	- 1.035	21	- 0.700	70	- 0.933
22.0	- 1.070	22	- 0.657	71	- 0.884
23.0	- 1.105	23	- 0.614	72	- 0.840
24.0	- 1.140	24	- 0.571	73	- 0.802
25.0	- 1.175	25	- 0.529	74	- 0.769
26.0	- 1.210	26	- 0.486	75	- 0.742
27.0	- 1.245	27	- 0.443	76	- 0.720
28.0	- 1.280	28	- 0.400	77	- 0.704
29.0	- 1.315	29	- 0.357	78	- 0.693
30.0	- 1.350	30	- 0.314	79	- 0.688
31.0	- 1.385			80	- 0.690
32.0	- 1.420			81	- 0.695
33.0	- 1.455			82	- 0.707
34.0	- 1.490			83	- 0.724
35.0	- 1.525			84	- 0.747
36.0	- 1.560			85	- 0.775
37.0	- 1.595				
38.0	- 1.630				
39.0	- 1.665				
40.0	- 1.700				

(\*) Determinado por J.F. Alfaro y colaboradores, Utah University.

- b) Cada dato de precipitación mensual de los cuadros mencionados en el inciso anterior se convirtieron a logaritmo de base 10 (cuadro No. 11).
- c) Se sumaron para cada mes dichos logaritmos de los 10 años de registro, y se calculó la medida logarítmica y se encontró su respectivo antilogaritmo y el resultado es la precipitación probable aproximadamente al 50o/o de probabilidad.

#### 5.2.3 Estimación de la precipitación efectiva:

Tomando como base la metodología establecida en el inciso anterior se procedió a calcular la precipitación efectiva, por el método de Blaney-Criddle, para lo cual se aplicaron coeficiente de aprovechamiento (cuadro No. 12).

#### 5.2.4 Balance Hidrológico de la zona de riego:

Efectuadas las estimaciones de Etp y Pe se determinaron los requerimientos potenciales de riego a través de la siguiente ecuación.

$$Etp - Pe = Rprn$$

En donde:

Etp = Evapotranspiración potencial en mm.

Pe = Precipitación efectiva en mm.

Rprn = Requerimiento potencial de riego neto.

Los resultados se presentan en el cuadro No. 14.

#### 5.2.5 Estimación del consumo de agua de los cultivos:

Tomando como base la Etp estimada mediante la

**CUADRO No. 9**  
**PRECIPITACION PLUVIAL DE LA UNIDAD DE RIEGO**  
**LAGUNA DEL HOYO--REGISTRADA EN LA ESTACION "LA CEIBITA"**  
**LOCALIZADA EN EL MUNICIPIO DE MONJAS-JALAPA**

AÑO	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	
1965	02.6	08.1	00.0	09.5	123.2	296.3	145.9	155.5	139.1	95.4	01.3	00.0	976.9
	00	00	01	02	16	23	15	16	17	12	01	00.0	103
1966	00.0	00.0	10.6	31.2	114.7	328.7	223.0	302.0	108.9	88.6	01.7	0.00	1209.4
	00	00	02	10	03	13	08	13	10	09	02	03	073
1967	00.0	00.0	52.5	70.4	14.4	153.7	082.3	234.1	136.9	47.4	39.2	01.8	0832.7
	00	00	00	03	16	24	14	11	23	21	08	01	121
1968	00.0	00.0	00.0	22.6	143.4	191.5	061.8	098.0	163.1	224.8	35.2	00.2	0940.6
	00	00	04	04	15	19	20	26	23	12	04	00	127
1969	00.0	00.0	26.8	34.5	123.9	299.6	215.7	218.4	324.9	101.2	07.2	0.00	1352.2
	01	01	01	14	10	19	15	15	17	12	3	1	98
1970	0.4	01.3	15.0	32.1	90.1	234	170.2	184.9	170.3	96.0	14.1	0.5	1009.4

**CUADRO No. 10**

**PRECIPITACION PLUVIAL DE LA UNIDAD DE RIEGO  
LAGUNA DEL HOYO-REGISTRADA EN LA ESTACION "LA CEIBITA"  
LOCALIZADA EN EL MUNICIPIO DE MONJAS-JALAPA**

<b>AÑO</b>	<b>Enero</b>	<b>Feb.</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Ago.</b>	<b>Sept.</b>	<b>Oct.</b>	<b>Nov.</b>	<b>Dic.</b>	
1971	01	01	02	02	08	18	11	20	13	18	05	01	101
	00.6	01.0	05.0	08.0	111.5	136.8	135.3	301.8	194.4	234.9	20.9	01.2	1152.2
1972	01	00	01	02	06	17	09	11	11	05	05	00	068
	01.2	00.0	05.0	21.4	049.4	185.9	086.8	074.2	082.1	012.5	32.8	00.0	0551.3
1973	00	00	01	03	09	20	17	21	21	20	05	02	119
	00.0	00.0	01.4	01.9	049.5	251.0	127.9	184.2	180.4	193.7	20.9	01.7	1012.6
1974	02	00	05	01	13	23	12	18	19	07	02	00	095
	03.3	00.0	49.8	02.4	274.7	248.3	071.6	194.4	136.2	008.4	00.5	00.0	0989.6
1975	02	02	00	01	12	01	09	16	18	15	09	00	093
	01.8	03.1	00.0	04.8	052.6	075.9	129.6	133.1	228.5	245.4	54.5	00.0	0929.3

Cuadro No. 11

LOGARITMO DE LAS PRECIPITACIONES PROMEDIO MENSUALES  
LAGUNA DEL HOYO-ESTACION "LA CEIBITA"

	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agto.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
1965	0.41497	0.90848		0.97772	2.12123	2.47173	2.16405	2.19173	2.14333	1.97954	0.11394	-----
1966	-----	-----	1.02530	1.49455	2.05956	2.51680	2.34830	2.48000	2.03702	1.94783	0.23045	-----
1967	-----	-----	1.72016	1.84757	1.15636	2.18667	1.915340	2.36940	2.13640	1.67578	1.5939	0.25527
1968	-----	-----	-----	1.35418	2.15654	2.28216	1.79099	1.99123	2.21245	2.35179	1.54654	-0.69897
1969	-----	-----	1.42813	1.53781	2.09307	2.47654	2.33385	2.33925	2.51174	2.00518	0.85733	-----
1970	-0.39794	0.11394	1.17609	1.50650	1.95472	2.36921	2.23095	2.26693	2.23121	1.98227	1.49219	-0.30103
1971	-0.27184	0.000	0.69897	0.90309	2.04727	2.13609	2.13129	2.47972	2.28869	2.37088	1.32014	0.070181
1972	0.07918	-----	0.14613	1.33041	1.69373	2.26928	1.93852	1.87040	1.91434	1.09691	1.51587	-----
1973	-----	-----	1.69722	0.27875	1.69460	2.39967	2.10687	2.26528	2.25624	2.28712	1.32014	0.23045
1974	0.51851	-----	-----	0.38021	2.43885	2.39497	1.85491	2.28869	2.13418	0.92427	-0.30103	-----
X	0.39288	1.02242	7.89200	11.61079	19.41793	23.50312	20.81507	22.54263	21.86560	18.62117	9.68947	-0.43510
X	0.07858	0.25561	0.9865	1.16108	1.94179	2.35031	2.018151	2.25426	2.18656	1.86212	0.96895	-0.08702
Antilog.	1.20	1.80	9.69	14.49	87.46	224.03	104.27	179.58	153.70	72.80	9.31	0.82

**CUADRO No. 12**  
**COEFICIENTE DE APROVECHAMIENTO**

<b>Lluvia esperada</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Lluvia efectiva (mm)</b>
25	0.95	24
50	0.90	46
75	0.82	66
100	0.65	82
125	0.45	93
150	0.25	99
150	0.10	

**CUADRO No. 13**  
**METODO DE BLANEY-CRIDDLE**

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Lluvia												
Probable	1.20	1.80	9.7	14.5	87.5	224	104.3	179.6	153.70	72.80	9.31	0.82
Lluvia												
Efectiva	---	---	--	--	74.1	106.4	94.9	101.9	99.4	64.7	--	--

**CUADRO No. 14**  
**REQUERIMIENTO POTENCIAL DE RIEGO (mm)**

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Etp	116.3	132.2	160.6	162.0	137.3	85.5	106.9	95.5	85.5	95.5	101.5	118.7	
Pe	.....	.....	.....	.....	74.1	106.4	94.9	101.9	99.4	64.7	.....	.....	
Rprn	116.3	132.2	160.6	162.0	.....	.....	.....	.....	.....	.....	101.5	118.3	790.9
Rprb	232.6	264.4	321.2	324.0	.....	.....	.....	.....	.....	.....	203.0	236.6	1581.8

Etp = Evapotranspiración potencial (mm)  
 De = Precipitación efectiva (mm)  
 Rprn = Requerimiento potencial de riego neto  
 Rprb = Requerimiento potencial de riego bruto

metodología establecida en el inciso anterior, se calculó el uso consuntivo de los cultivos en la siguiente forma:

$$UC_g = Etp \times Kg \quad (4.14)$$

$UC_g$  = Uso consuntivo global.

$Kg$  = Coeficiente global de desarrollo del cultivo.

$Etp$  = Evapotranspiración potencial durante el ciclo vegetativo del cultivo.

Para el cálculo del uso consuntivo mensual, se determinó el uso consuntivo mensual no corregido, utilizando los coeficientes de desarrollo mensual del cultivo de acuerdo a la tabla No. (5) tomada de (29) y mediante la siguiente expresión.

$$UC_m = UC' = (Etp_m \times Kc) \quad (4.15)$$

Donde:

$UC_m'$  = Uso consuntivo mensual no corregido

$UC'$  = Uso consuntivo total no corregido

$Etp_m$  = Evapotranspiración potencial mensual.

$Kc$  = Coeficiente de desarrollo mensual del cultivo.

Para el cálculo del uso consuntivo mensual corregido, se determinó un factor de corrección bajo la relación siguiente:

$$K' = UC_g / UC' \quad (4.16)$$

Luego multiplicando el valor obtenido de  $K'$  por el uso consuntivo mensual no corregido ( $UC_m'$ ) se obtuvo el uso consuntivo mensual corregido o sea:

$$UCo \cdot UCm = (Etp \times Kc \times K') \quad (4.17)$$

Donde:

UCo - Uso consuntivo total corregido o global

UCm - Uso consuntivo mensual corregido.

Etpm - Evapotranspiración potencial mensual.

Kc - Coeficiente de desarrollo mensual del cultivo.

K' - Coeficiente de corrección.

Para la estimación del uso consuntivo de los principales cultivos, se elaboró una lista de estos explotados por los usuarios en la Unidad de Riego.

COEFICIENTES DE DESARROLLO KC PARA USO EN EL CALCULO DE USOS CONSUNTIVOS Tabla No. 3.

Edad de desarrollo	C U L T I V O S   A N U A L E S																
	Maíz	Trigo	Algodón	Sorgo	Cártamo	Soya	Arroz	Frijol	Ajonjolí	Garbanzo	Cebada	Jitomate	Linaza	Chile	Papa	Cacahuete	Cucurbitáceas
0	0.42	0.15	0.20	0.30	0.14	0.51	0.45	0.50	0.30	0.30	0.15	0.43	0.30	0.48	0.30	0.15	0.45
5	0.45	0.20	0.22	0.35	0.16	0.45	0.50	0.54	0.35	0.35	0.20	0.43	0.35	0.50	0.35	0.17	0.47
10	0.48	0.30	0.25	0.40	0.18	0.41	0.55	0.60	0.40	0.40	0.30	0.43	0.40	0.55	0.40	0.20	0.50
15	0.51	0.40	0.28	0.48	0.22	0.45	0.65	0.65	0.50	0.50	0.40	0.45	0.50	0.65	0.45	0.25	0.53
20	0.60	0.55	0.32	0.60	0.27	0.51	0.72	0.73	0.60	0.55	0.55	0.45	0.55	0.75	0.50	0.29	0.55
25	0.65	0.70	0.40	0.70	0.35	0.51	0.80	0.80	0.70	0.65	0.70	0.50	0.70	0.80	0.60	0.36	0.60
30	0.70	0.90	0.50	0.80	0.44	0.51	0.85	0.90	0.80	0.70	0.90	0.55	0.90	0.90	0.70	0.43	0.65
35	0.80	1.10	0.62	0.90	0.54	0.52	0.90	0.97	0.97	0.75	1.10	0.65	1.00	0.95	0.82	0.52	0.70
40	0.90	1.25	0.80	1.00	0.64	0.55	0.92	1.05	0.95	0.78	1.25	0.75	1.10	0.98	0.97	0.61	0.75
45	1.00	1.40	0.90	1.08	0.76	0.57	0.93	1.10	1.00	1.80	1.40	0.85	1.15	1.03	1.05	0.61	0.80
50	1.05	1.50	0.98	1.07	0.83	0.60	0.93	1.12	1.10	0.82	1.50	0.95	1.20	1.05	1.16	0.80	0.81
55	1.07	1.57	0.00	1.05	0.97	0.63	0.93	1.12	1.20	0.85	1.57	1.00	1.28	1.05	1.25	0.90	0.82
60	1.08	1.62	1.02	1.00	1.07	0.66	0.92	1.10	1.28	0.85	1.62	1.05	1.30	1.05	1.30	1.00	0.80
65	1.07	1.61	1.00	0.95	1.07	0.68	0.90	1.05	1.30	0.82	1.61	1.02	1.35	1.03	1.35	1.01	0.70
70	1.05	1.55	0.95	0.90	1.08	0.70	0.85	1.02	1.32	0.80	1.55	0.98	1.30	1.00	1.33	1.02	0.77
75	1.02	1.45	0.87	0.82	1.02	0.70	0.80	0.95	1.28	0.75	1.45	0.95	1.28	0.97	1.38	0.91	0.75
80	1.00	1.30	0.80	0.75	0.96	0.69	0.68	0.87	1.25	0.70	1.30	0.90	1.25	0.90	1.35	0.80	0.72
85	0.95	1.10	0.75	0.70	0.86	0.63	0.63	0.80	1.10	0.65	1.10	0.85	1.10	0.85	1.33	0.60	0.71
90	0.90	0.95	0.65	0.65	0.76	0.56	0.58	0.72	1.00	0.60	0.95	0.80	0.95	0.80	1.30	0.41	0.70
95	0.87	0.80	0.55	0.60	0.60	0.43	0.55	0.70	0.90	0.50	0.80	0.75	0.80	0.70	1.25	0.25	0.67
100	0.85	0.62	0.50	0.55	0.45	0.31	0.47	0.62	0.80	0.40	0.62	0.70	0.60	0.60	1.20	0.11	0.65

**CUADRO No. 15**  
**PLAN DE CULTIVOS**  
**UNIDAD DE RIEGO "LAGUNA DEL HOYO"**

Cultivo	HAS.	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
Cebolla		XXXXXXXX	XXXXXXXXXX	XXXXXX									
Frijol				XXXXXXXX	XXXXXXXXXX	XXXXXXXXXX	XXXXXX						
Tomate				XXXXXXXXXX	XXXXXXXXXX	XXXXXXXXXX	XXXXXX						
Tabaco			XXXXXXXXXX	XXXXXX	XXXXXXXXXX	XXXXXX	XXXXXX						

**Nota:** La época de cultivo según el plan abarca los meses de noviembre-abril, en el cual **no** hay precipitación efectiva se considera.

**CUADRO No. 16**  
**USOS CONSUNTIVOS MENSUALES Y REQUERIMIENTOS DE RIEGO BRUTO (mm)**

<b>CULTIVO</b>	<b>NOV.</b>	<b>DIC.</b>	<b>ENERO</b>	<b>FEB.</b>	<b>MARZO</b>	<b>ABRIL</b>
<b>1. CEBOLLA</b>						
Uc (mm)	55.2	107.8	72.6			
Rrb neto (mm)	110.4	215.6	145.2			
<b>2. FRÍJOL</b>						
Uc (mm)			77.8	125.7	109.4	86.8
Rrb (mm)			155.6	251.4	218.4	173.6
<b>3. TOMATE</b>						
Uc (mm)			90.8	129.4	144.6	92.0
Rrb (mm)			181.6	258.8	289.2	184.00
<b>4. TABACO</b>						
Uc (mm)		57.1	95.0	150.6	205.4	181.7
Rrb (mm)		154.2	190.0	301.2	410.8	363.4

**CUADRO No. 17**  
**REQUERIMIENTO DE RIEGO BRUTO M<sup>3</sup>/Ha.**

	NOV.	DIC.	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	TOTAL
CEBOLLA	1104	2156	1452				4712
FRIJOL			1556	2514	2188	1736	7994
TOMATE			1816	2588	2892	1840	9136
TABACO		1542	1900	3012	4108	3634	14196
TOTALES	1104	3698	6724	8114	9188	7210	36038

## 6. RESULTADOS Y DISCUSION

### 6.1 Análisis de Volúmenes disponibles.

De acuerdo a los registros existentes en la Unidad de Riego, de la operación del sistema durante los ciclos de cultivo de 1972-73, 1973-74, 1974-75, y 1975-76, se efectuó el Balance Hídrico del vaso de almacenamiento de la Laguna del Hoyo, y que aparece en el cuadro No. 4. En base a este balance se estableció el balance promedio de los cuatro ciclos el cual se muestra en el cuadro No. (15)

**CUADRO No. 18**  
**BALANCE HIDRICO PROMEDIO DE LA LAGUNA DEL HOYO**

PERIODO	ENTRADAS (miles de m <sup>3</sup> )			SALIDAS (miles de m <sup>3</sup> )		
	Lluvia	Deriv.	Total	Evapora- ción	Estrac- ciones	TOTAL
1972-73	85.8	641.9	727.7	9.0	1453.9	1462.9
1973-74	148.3	2738.2	2886.5	8.6	2219.7	2228.3
1974-75	162.2	2203.4	2365.6	9.2	3113.2	3122.4
1975-76	153.0	2638.5	2791.5	8.5	2005.8	2014.3
$\bar{X}$	137.3	2055.5	2192.8	8.8	2198.2	2207.0

En el cuadro No. (15), se observa que es mayor el volumen de salida promedio (2.207 millones de m<sup>3</sup>) que el de entradas promedio (2.1928 millones de m<sup>3</sup>) en 14200 m<sup>3</sup>, lo cual se encuentra razonable debido a que en los meses de enero a abril del año 1976, estimaron los datos, por no contar con los registros correspondientes.

Al analizar el volumen de entradas a la Laguna del Hoyo se obtuvo una entrada total promedio de 2.1928 millones de metros cúbicos de agua, provenientes de las aportaciones de lluvia sobre la

Laguna y de la derivación de los quebrados de Güirilá y Quintanilla. Los volúmenes derivados fueron estimados por diferencia en el balance efectuado (cuadro No. 4) debido a no contar con registros hidrométricos de la misma. Este volumen de entradas promedio constituye en este caso el volumen util disponible para riego.

## 6.2 Area Potencial de riego.

En el cuadro No. 14 se muestran los resultados obtenidos de requerimientos potencial de riego de la zona estudiada, en el cual se establece un requerimiento potencial de riego neto (Rprn) de 790.9 milímetros equivalente a  $7,909 \text{ m}^3/\text{Ha}$ . Considerando una eficiencia total del sistema del 50o/o el requerimiento potencial de riego bruto (Rprb) es de 1581.8 milímetros equivalente a  $15,818 \text{ m}^3/\text{Ha}$ .

Una vez determinado el requerimiento potencial de riego por hectárea y el volumen disponible promedio, el área potencial de riego será:

Volumen disponible = Has.

Volumen requerido/Ha.

$$\text{O sea: } \frac{2192800}{15818} = 138.6 \text{ Has.}$$

Es decir que, con la disponibilidad de volumen de agua es posible, como mínimo, cubrir 138.6 Has., riego equivalentes a 198 manzanas durante un ciclo anual de cultivos.

Esta área potencial es posible aumentarla de acuerdo al plan y calendario de cultivos que se establezca en la Unidad y a la optimización del uso del agua.

#### 6.4 Area real de riego.

Con los resultados obtenidos de disponibilidad de volúmenes de agua, requerimientos de riego bruto por hectárea y utilidad del cultivo (Q/Ha.), se optimizó el uso de agua disponible aplicando para ello el método Simplex de programación lineal, bajo las siguientes restricciones:

- i)  $X_1 + X_2 + X_3 + X_4 \leq 350$  Has (Area disponible)
- ii)  $V_1 X_1 + V_2 X_2 + V_3 X_3 + V_4 X_4 \leq V_T$
- iii)  $V_4 X_4 \leq 0.4 V_T$

En donde:

- $X_1$  = Area a sembrar de cebolla
- $X_2$  = Area a sembrar de frijol.
- $X_3$  = Area a sembrar de tomate.
- $X_4$  = Area a sembrar de tabaco.
- $V_1$  = Requerimiento de riego bruto en  $m^3$ /Ha de cebolla.
- $V_3$  = " " " " " " " tomate
- $V_4$  = " " " " " " " tabaco
- $V_T$  = Volumen total disponible ( $2,192,800 m^3$ )

Se consideró la restricción de  $V_4 X_4 \leq 0.4 V_T$ , para permitir que por lo menos el 60o/o del volumen de agua disponible para riego, de acuerdo al plan de cultivos, estuviera distribuída entre los cultivos de tomate, frijol y cebolla.

La función a optimizar fué los ingresos de la Unidad de Riego:

$$Z = C_1 X_1 + C_2 X_2 + C_3 X_3 + C_4 X_4$$

En donde:

$Z$  = Ingresos totales en Q.

$C_1$  = Utilidad por Ha. de cebolla

$C_2$  = Utilidad por Ha. de frijol

$C_3$  = Utilidad por Ha. de tomate

$C_4$  = Utilidad por Ha. de tabaco

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

CULTIVO	Hectárea a sembrar	Utilidad		Volumen de agua en m <sup>3</sup>	
		Ha.	Total	Por Ha.	total
Tabaco	61.78	Q 800.00	Q 49,424	14,196	877,029
Tomate	39.73	250.00	9,932.50	9,136	362,973
Frijol	119.17	200	23,834	7,994	952,645
Cebolla	0.0	150	0,0	0	0,0
Totales	220.68		Q 83,190.50		2,192,647

El método simplex empleado en la optimización de los cultivos se presenta en el apéndice.

## 7. CONCLUSIONES

En base al estudio realizado se estableció lo siguiente:

1. El sistema de esta Unidad, debe considerarse como un sistema de riego constituido por un vaso de almacenamiento y una red de distribución del agua de riego.
2. El vaso de almacenamiento, constituido por la Laguna del Hoyo, tiene como fuentes de aportación: El caudal derivado de las cuencas de las quebradas de Güirilá y Quintanilla, más la precipitación en el área del vaso.
3. Al efectuar el balance hídrico del vaso, utilizando los registros existentes de mayo de 1972 a abril de 1976, se estableció una disponibilidad promedio de 2.1928 millones de  $m^3$  de agua para riego, por año.
4. El requerimiento potencial bruto de riego con un 50o/o de eficiencia del sistema se estimó en  $15,118 m^3/Ha.$
5. En base a la disponibilidad de volumen promedio y al requerimiento potencial bruto, se pueden regar como mínimo 138.6 Has., equivalentes a 198 manzanas durante el ciclo anual del cultivo, esta área puede incrementarse de acuerdo a un plan de cultivos que optimice el uso de agua disponible.
6. De acuerdo al calendario de cultivos considerado en el presente trabajo, los requerimientos brutos de riego son los siguientes:

Tabaco	14,196 $m^3/Ha.$
Tomate	9,136 $m^3/Ha.$
Frijol	7,994 $m^3/Ha.$
Cebolla	4,412 $m^3/Ha.$
7. La utilidad promedio de acuerdo a los registros que se llevan en la Unidad de Riego "Laguna del Hoyo", para cada uno de los cultivos es:

Tabaco	Q 800.00/Ha.
Tomate	" 250.00/Ha.
Frijol	" 200.00/Ha.
Cebolla	" 150.00/Ha.

8. De acuerdo a la política estatal, en cuanto a la producción de productos alimenticios con orientación a granos básicos, se estableció la restricción de que el tabaco utilice como máximo el 40o/o del volumen disponible, dejando el resto para los otros cultivos (frijol, cebolla, tomate y otros).
9. Al optimizar el uso del agua disponible, se concluye, que será posible bajo el plan de cultivos considerado en el presente trabajo, regar como máximo 220.68 Has., distribuídos en la siguiente forma:
- |        |             |
|--------|-------------|
| Tabaco | 61.78 Has.  |
| Tomate | 39.73 Has.  |
| Frijol | 119.17 Has. |
10. Aunque las utilidades totales son menores por la restricción considerada para el cultivo del tabaco, se considera que esta utilidad estará mejor distribuída entre los usuarios de la unidad de riego y que la producción se orienta a la producción de granos básicos.
11. Estos resultados pueden variar de acuerdo a la política de producción que se adopte en la Unidad de riego, variando asimismo el área posible de riego, con el volumen disponible.
12. En cuanto a la metodología para la operación, en donde se cuenta con registros climatológicos, el presente trabajo en su contenido plantea criterios para la selección de métodos a emplear en cada uno de los pasos seguidos.

## 8. RECOMENDACIONES

- 1o. En vista de que el sistema de riego lo constituye un vaso de almacenamiento y una red de distribución del agua de riego, para hacer el balance hídrico del vaso, es necesario llevar un control hidrométrico, debiéndose tomar en cuenta para contar con datos más exactos.
  - a) Colocar un limnógrafo en el canal de escorrentía, que conduce el agua de las quebradas Güirilá y Quintanilla hacia el vaso de almacenamiento, con el objeto de conocer el volumen de entrada por derivación.
  - b) Colocar pluviómetro en diferentes puntos del área del vaso, para conocer la precipitación pluvial en el área del vaso.
  - c) Colocar un evaporímetro en el área cercana al vaso, para estimar la evaporación en la Laguna.
  - d) Calibrar las bombas, para conocer con mayor exactitud, el agua que se sirve para riego.
  
- 2o. En base al estudio realizado en la Unidad de riego "Laguna del Hoyo" y para contar con criterios técnicos que sirvan de base para el cálculo del requerimiento potencial de riego bruto se recomienda.
  - a) Para el cálculo de la precipitación probable usar el método de logaritmo normal.
  - b) Para la estimación de la precipitación efectiva usar el método de Blanney-Criddle.
  - c) Usar el método del Evaporímetro para el cálculo de la Evapotranspiración potencial.

- d) Para el cálculo del uso consuntivo, usar el método de Blanney-Criddle modificado.
- 3o. Para elaborar el Plan de cultivos de la zona es conveniente optimizar el uso del agua disponible, tomando como guía la metodología empleada en el presente trabajo.
- 4o. El plan de cultivos dependerá de la política de producción que se adopte a nivel nacional o a nivel de la Unidad de riego, que podrá ser definida de acuerdo a.
- a) Obtener mayor beneficio social
  - b) Obtener mayor beneficio económico.
- 5o. El mayor beneficio social se obtendrá en la medida en que se incremente el número de usuarios beneficiados con el riego.

Chapingo. (Tesis de Maestría en Ciencias) 1974. 101 páginas.

8. GONZALEZ H., O y GONZALEZ, F. Indices de eficiencia para la clasificación y jerarquización de usuarios en zonas bajo riego colegio de post-graduados. Rama de Riego y Drenaje, Capingo, México Agosto, 1973. 42 pág.
9. LINLEY, Ray; KOHLER, Max A. y PALHUS JOSEPH, L.H. Hidrología para Ingenieros. Traducción por Miguel Feserra y Francisco Domínguez Aparicio. New York. Mc GEAW-HILL 1967, 350 páginas.
10. LUQUE, J.A. y PAOLINI, J.D. Manual de Operación de Riego 2a. Edición, Ediciones "RIAGRO" Buenos Aires, Argentina. 1974. 330 p.
11. LUQUE, J. A. Planteó secuencial de la Operación de Riego. Ministerio de Agricultura, tercer curso Nacional. Operación, Mantenimiento y Administración de Distritos de Riego -BID- -IICA- BGI- Lima Perú, 1975. 65 p.
12. MAZARIEGOS V., Francisco José. Influencia de la frecuencia de riego aplicada sobre la calidad de Rendimiento del cultivo de tabaco en la Unidad de Riego Laguna del Hoyo, Monjas, Jalapa, Facultad de Agronomía USAC, Guatemala 1976. (Tesis de Ing. Agr.) 44 p.
13. MINERA, Arturo. Comparación de métodos para pronosticar evapotranspiración en Guatemala. Facultad de Agronomía. USAC. (Tesis de Ing. Agr.) 1974. 88 p.
14. Guatemala, Instituto Geográfico Nacional. Atlas preliminar de Guatemala, 3a. Ed. Guatemala, Instituto Geográfico Nacional, Julio de 1966 S/p.

Chapingo. (Tesis de Maestría en Ciencias) 1974. 101 páginas.

8. GONZALEZ H., O y GONZALEZ, F. Indices de eficiencia para la clasificación y jerarquización de usuarios en zonas bajo riego colegio de post-graduados. Rama de Riego y Drenaje, Capingo, México Agosto, 1973. 42 pág.
9. LINLEY, Ray; KOHLER, Max A. y PALHUS JOSEPH, L.H. Hidrología para Ingenieros. Traducción por Miguel Feserra y Francisco Domínguez Aparicio. New York. Mc GEAW-HILL 1967, 350 páginas.
10. LUQUE, J.A. y PAOLINI, J.D. Manual de Operación de Riego 2a. Edición, Ediciones "RIAGRO" Buenos Aires, Argentina. 1974. 330 p.
11. LUQUE, J. A. Planteó secuencial de la Operación de Riego. Ministerio de Agricultura, tercer curso Nacional. Operación, Mantenimiento y Administración de Distritos de Riego -BID- -IICA- BGI- Lima Perú, 1975. 65 p.
12. MAZARIEGOS V., Francisco José. Influencia de la frecuencia de riego aplicada sobre la calidad de Rendimiento del cultivo de tabaco en la Unidad de Riego Laguna del Hoyo, Monjas, Jalapa, Facultad de Agronomía USAC, Guatemala 1976. (Tesis de Ing. Agr.) 44 p.
13. MINERA, Arturo. Comparación de métodos para pronosticar evapotranspiración en Guatemala. Facultad de Agronomía. USAC. (Tesis de Ing. Agr.) 1974. 88 p.
14. Guatemala, Instituto Geográfico Nacional. Atlas preliminar de Guatemala, 3a. Ed. Guatemala, Instituto Geográfico Nacional, Julio de 1966 S/p.

15. MOSCOSO C, Mario René, Estudio sobre la operación y mantenimiento de un sistema de riego. Facultad de Agronomía USAC (Tesis de Ing. Agr.) 1970. 59 p.
16. PERU: Tercer Curso Nacional Operación y Mantenimiento y Administración de Distritos de Riego BID - DGA - DIG - IICA, Lima, Perú. (Copias mimeografiadas) 1975.
17. SAGIENI M. A. Yaspan y L. FRIEDMAN. Investigación de Operaciones, Ed. Limusa, México 1973. 335 pp.

Vo.Bo

Palmira R. de Quan  
Bibliotecaria

## 10. APENDICE

Método simplex empleado en la optimización del agua disponible. De acuerdo a la metodología planteado por M. Sasieni, A. Yaspan y L. Friedman en "Investigación de Operaciones".

Cultivos	Has	Utilidad/Ha. Q(C)	R Vol. de agua/Ha. m <sup>3</sup>
Cebolla	X <sub>1</sub>	150	4712
Frijol	X <sub>2</sub>	200	7994
Tomate	X <sub>3</sub>	250	9136
Tabaco	X <sub>4</sub>	800	14196

$$\text{Max } z = \sum C_i X_i = C_1 X_1 + C_2 X_2 + C_3 X_3 + C_4 X_4$$

Restricciones:

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 \leq H$$

$$R_1 X_1 + R_2 X_2 + R_3 X_3 + R_4 X_4 \leq V$$

$$R_4 X_4 \leq 0.4V$$

En donde:

H = 350 hectáreas

R = Requerimiento de riego m<sup>3</sup>/Ha.

V = Volumen total disponible

X <sub>1</sub> + X <sub>2</sub> + X <sub>3</sub> + X <sub>4</sub> + X <sub>5</sub> +	350
4.712X <sub>1</sub> + 7.994X <sub>2</sub> + 9.136X <sub>3</sub> + 14196X <sub>4</sub> + X <sub>6</sub>	2192.8
14196X <sub>4</sub> + X <sub>7</sub>	8717.12

Ci	Ci	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>	P <sub>7</sub>	bi
0	350	1	1	1	<b>1</b>	1	0	0	350
0	2192.8	4.712	7.994	9.136	14.196	0	1	0	2192.8
0	877.18	0	0	0	14.196	0	0	1	877.12

	C <sub>j</sub>	150	200	250	800	0	0	0
Solución		0	0	0	0	350	2192.8	877.12

A <sub>j</sub> = C <sub>j</sub> - Σ a <sub>ij</sub>	C <sub>i</sub>							
A <sub>j</sub> =	150	200	250	800	0	0	0	

b <sub>i</sub> /a <sub>ij</sub>		Variable de entrada	Variable de salida
		350	154.46
			61.786

### Nueva Matriz

	1	1	1	1	1	0	0	350
	4.712	7.994	9.136	14.196	0	1	0	2198.8
	0	0	0	14.196	0	0	1	877.12

(2)-(3)	1	1	1	1	1	0	0	350
	4.712	7.994	9.136	0	0	1	-1	1315.68
	0	0	0	14.196	0	0	1	877.12

### (3) ÷ 14.196

	1	1	1	1	1	0	0	350
	4.712	7.994	9.136	0	0	1	1	1315.68
	0	0	0	1	0	0.07		61.786

(1)-(3)

1	1	1	0	1	0	0.07	288.21
4.712	7.994	9.136	0	0	1	-1	1315.68
0	0	0	1	0	0	0.07	61.786

(2) ÷ 9.136

1	1	1	0	1	0	0.07	288.21
0.516	0.875	1	0	0	1	-1	144.010
0	0	0	1	0	0	0.07	61.786

(1)-(2)

484	125	0	0	1	-1	0.93	144.20
0.510	0.875	1	0	0	1	-1	144.01
0	0	0	1	0	0	0.07	61.786

$C_i P_i$

0	144.20	484	0.125	0	0	1	-1	0.93	144.20
0	144.01	0.516	0.875	<u>1</u>	0	0	1	-1	144.01
800	61.786	0	0	0	1	0	0	0.07	61.786

$C_j$	150	200	250	800	0	0	0	
Solución	0	0	0	800	144.20	144.01		61.786
$A_j$	0	0	0	0	0	144.01		61.786
$b_i/a_{ij}$			↑		0	0		61.786 ↓

Nueva Matriz

	0.484	0.125	0	0	1	-1	0.93	144.20
	0.516	0.875	1	0	0	1	-1	144.01
	0	0	0	1	0	0	0.07	61.786
(1) ÷ 0.484	1	0.250	0	0	2.066	-2.066	1.921	297.933
(2) ÷ 0.516	1	1.696	1.938	0	0	1.938	1.938	279.089
	0	0	0	1	0	0	0.07	61.786
(2)-(1)	1	2.250	0	0	2.066	2.066	1.921	297.933
	0	1.446	1.938	0	-2.066	4.004	-3.859	-18.844
	0	0	0	1	0	0	0.07	61.786
(2) ÷ 1.938	1	0.250	0	0	2.066	-2.066	1.921	297.933
	0	0.746	1	0	-1.066	2.066	-1.991	-9.723
	0	0	0	1	0	0	0.07	61.786
(1)-(2)	0	-1.446	-1.938	0	2.066	-4.004	3.859	18.844
	1	1.696	1.938	0	0	1.938	-1.938	279.089
	0	0	0	1	0	0	0	61.786
(1) x -1	0	1.446	1.938	0	-2.066	4.004	-3.859	-18.844
	1	1.696	1.938	0	0	1.938	-1.938	279.089
	0	0	0	1	0	0	0.07	61.786
(2) ÷ 1.938	0	1.446	1.938	0	-2.066	4.004	-3.859	-18.844
	0.516	0.0875	1	0	0	1	-1	144.008
	0	0	0	1	0	0	0.07	61.786

(1) ÷ 1.938	0	0.746	1	0	-1.066	2.066	-1.991	-9.723
	0.516	0.875	1	0	0	1	-1	144.008
	0	0	0	1	0	0	0.07	61.786
(1)-(2)	0	0.129	0	0	-1.066	1.066	-0.991	-153.731
	0.516	0.875	1	0	0	1	-1	144.008
	0	0	0	1	0	0	0.07	61.786
(1)x-1.29	0	1	0	0	0.826	-0.826	0.768	119.17
	0.516	0.875	1	0	0	1	-1	114.008
	0	0	0	1	0	0	0.07	61.786
$E_i P_i$	0	1	0	0	.826	-0.826	0.768	119.17
250 $P_3$	0.516	0.875	1	0	0	1	-1	114.008
800 $P_4$	0	0	0	1	0	0	0.07	61.786
$C_j$	150	200	250	800	0	0	0	
Solución	0	0	250	800	119.17	144.008	61.786	
$A_j$	150	200	0	0	119.17	144.008	61.786	
$b_i / \text{air}$					119.17	164.66	0	
	0	1	0	0	0.826	-0.826	0.768	119.17
	0.516	0.875	1	0	0	1	-1	114.008
	0	0	0	1	0	0	0.07	61.786

(2) ÷ 0.875	0	1	0	0	0.826	-0.826	0.768	119.17
	0.589	1	1.143	0	0	1.143	-1.143	164.58
	0	0	0	1	0	0	0.07	61.780
(2) ÷ 1.143	0	1	0	0	0.826	-0.826	0.768	119.17
200 P <sub>2</sub>	0.515	0	1	0	-0.722	1.722	1.672	39.73
250 P <sub>3</sub>	0	0	0	1	0	0	0.07	61.780
800 P <sub>4</sub>								
C <sub>j</sub>	150	200	250	800	0	0	0	
Solución	0	200	250	800	119.17	39.73	61.780	
A <sub>j</sub>	150	0	0	0	-12.393	35.59	51.52	

Solución :

X <sub>1</sub> = 0		Cebolla
X <sub>2</sub> = 119.17	Has.	Frijol
X <sub>3</sub> = 39.73	Has.	Tomate
X <sub>4</sub> = 61.780	Has.	Tabaco
220.68	Has.	350

Volumen de agua de Tabaco:

$$61.780 \times 14196 = 877028.8 \text{ m}^3 \angle 8877120 \text{ m}^3$$

Volumen total:

$$(119.17 \times 7994) + (39.73 \times 9136) + (61.78 \times 16196) = 2192647 \text{ m}^3$$

$$\angle 2192800 \text{ m}^3$$

IMPRIMASE:



Ing. Agr. Rodolfo Estrada González  
DECANO EN FUNCIONES

