

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMIA

**BIBLIOTECA CENTRAL-USAC  
DEPOSITO LEGAL  
PROHIBIDO EL PRESTAMO EXTERNO**

CARACTERIZACION DE LOS FACTORES DE LA PRODUCCION  
EN EL PROYECTO DE RIEGO "ALTO MONGOY", ASUNCION MITA, JUTIAPA  
Y OPTIMIZACION DE SU USO POR PROGRAMACION LINEAL



PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA  
DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

POR

MAXIMILIANO VIDAURRE OBREGON

AL CONFERIRSELE EL TITULO

INGENIERO AGRONOMO  
EN SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA

EN EL GRADO ACADEMICO DE  
LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

GUATEMALA, ABRIL DE 1989

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

DL  
91  
T/1184

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMIA

RECTOR

LIC. RODERICO SEGURA TRUJILLO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO:	ING. AGR. ANÍBAL B. MARTÍNEZ
VOCAL PRIMERO:	ING. AGR. GUSTAVO MÉNDEZ
VOCAL SEGUNDO:	ING. AGR. JORGE SANDOVAL I.
VOCAL TERCERO:	ING. AGR. MARIO MELGAR
VOCAL CUARTO:	BR. MARCO ANTONIO HIDALGO
VOCAL QUINTO:	P. A. BYRON MILIAN
SECRETARIO:	ING. AGR. ROLANDO LARA A.

Guatemala, abril de 1989.

Ingeniero Agrónomo  
Aníbal Martínez  
Decano Facultad de Agronomía  
Universidad de San Carlos

Señor Decano:

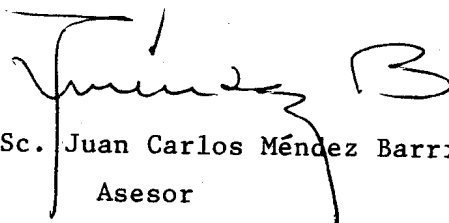
Tengo el honor de dirigirme a usted, para hacer de su conocimiento que, atendiendo a la asignación que se me hiciera, he procedido a asesorar y revisar el trabajo de tesis del estudiante Maximiliano Vidaurre Obregón, carnet 79-15252, titulado:

"Caracterización de los Factores de la Producción en el Proyecto Alto Mongoy, Asunción Mita, Jutiapa, y Optimización de su Uso por Programación Lineal".

Considerando que el presente trabajo reúne todos los requisitos - exigidos para su aprobación, por lo que me complace comunicárselo para los efectos consiguientes.

Respetuosamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

  
Ing. Agr. M.Sc. Juan Carlos Méndez Barrios  
Asesor

Guatemala, abril de 1989.

Honorable Junta Directiva  
Honorable Tribunal Examinador  
Facultad de Agronomía  
Universidad de San Carlos


De conformidad con las normas establecidas en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de tesis titulado:

"Caracterización de los Factores de la Producción en el Proyecto "Alto Mongoy", Asunción Mita, Jutiapa, y Optimización de su Uso por Programación Lineal"

Como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción, en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

Esperando contar con la aprobación del mismo, me suscribo de ustedes,

Respetuosamente,

  
Maximiliano Vidaurre Obregón  
Carnet 79-15252

ACTO QUE DEDICO

- A DIOS TODO PODEROSO Unico y Verdadero Sabio
- A Mis Padres: Luis Gabriel Vidaurre Arévalo  
Victoria Obregón  
con respeto y amor
- A Mi Esposa: Carmen Farfán Rosales de Vidaurre  
Juntos haremos realidad  
nuestros sueños
- A Mis Hijos: Manuela Nikolaza  
Julio Alan Fernando  
Como camino para edificar una  
vida firme y digna
- A Mis Hermanos: Estela, Olga, Antonio, Adela,  
Carmen y Carlos
- A Mis Sobrinos: Herbert, Luis, Verónica, Carla  
Magno, Gabriela, Alejandra,  
Lucía, Daniela, Ninoska,  
Estuardo, Giovani, Adrián,  
Mario y Victoria  
Con cariño
- A Mis Amigos de Barrio: Con aprecio

TESIS QUE DEDICO

A MI PATRIA

A La Universidad de San Carlos de Guatemala

A La Facultad de Agronomía

A La Dirección Técnica de Riego y Avenamiento

A Julio Roberto Contreras Giorgis

A Las Familias:

Contreras Vidaurre

Farfán Rosales

Gil Rosales

Lemus Panazza

## AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos a:

Ing. Agr. M.Sc. Juan Carlos Méndez Barrios

Por su desinteresada asesoría en el trabajo presentado.

Al Personal de la Dirección Técnica de Riego y Avenamiento

Al Segundo Programa de Riego

Al Area Básica de Hidrología

A mis compañeros y amigos de trabajo, especialmente.

## CONTENIDO

	Pag.
RESUMEN	
I. INTRODUCCION	1
II. JUSTIFICACION	3
III. OBJETIVOS	4
IV. REVISION BIBLIOGRAFICA	5
1. Programación Lineal en Agricultura	5
2. Formulación General de la Programación Lineal	5
2.1 Concepto de Programación Lineal	6
2.2 Formulación de Modelos Lineales	7
3. Aplicación de la Programación Lineal en Agricultura	8
4. Métodos de Resolución	9
5. Método Simplex	10
5.1 Algoritmo del simplex	11
5.2 Procedimiento de cálculo	12
V. MATERIALES Y METODOS	16
1. Descripción del Area de Estudio	16
1.1 Localización geográfica	16
1.2 Hidrología y clima	16
1.3 Agrología	17
2. Metodología	17
2.1 Recopilación de la información	17
3. Evaluación agrológica, climatológica e hidrológica	20
3.1 Agrológica	20



	Pag.	
3.2	Climatológica	21
3.3	Hidrológica	22
4.	Optimización de los Factores de la Producción	24
4.1	Corrida del Paquete "Lindo"	24
4.2	Modelo matemático	26
VI.	RESULTADOS	27
1.	Caracterización de los Factores de la Producción	27
1.1	Situación agro-socio-económica	27
1.2	Costos de producción	34
1.3	Ingreso bruto y neto	34
1.4	Destino de la producción	35
1.5	Infraestructura de riego	35
2.	Servicios de Apoyo a la Producción	36
2.1	Asistencia técnica	36
2.2	Asistencia crediticia	36
2.3	Estudio agronómico de selección de cultivos	37
2.4	Situación agrológica	40
2.5	Climatología	43
2.6	Determinación del consumo de agua o evapotranspiración	50
2.7	Determinación de requerimientos de riego	50
2.8	Determinación de la lámina de humedad aprovechable	53
2.9	Determinación de la lámina bruta y neta de riego	54
2.10	Determinación del intervalo de riego	55
2.11	Suministro de agua estacional para el proyecto	56

	Pag.	
3.	Hidrología	57
3.1	Curva de duración de caudales	58
3.2	Curva de variación estacional	60
4.	Optimización de los Factores de Producción por medio de un Modelo Matemático de Programación Lineal	63
4.1	Planteamiento del problema	63
4.2	Modelo matemático	64
4.3	Solución del planteamiento	66
4.3.1	Solución de la alternativa "A"	66
4.3.2	Solución de la alternativa "B"	72
4.3.3	Solución de la alternativa "C"	77
4.4	Solución óptima seleccionada	81
4.5	Tipificación de fincas	82
VII.	CONCLUSIONES	87
VIII.	RECOMENDACIONES	88
IX.	BIBLIOGRAFIA	
	ANEXO	89

## INDICE DE CUADROS

Cuadro		Pag.
1	Población por sexo, según rango de edad	28
2	Nivel de escolaridad, 1988	29
3	Tenencia actual de la Tierra	31
4	Superficie regable en hectáreas por estrato	31
5	Uso general de la tierra	32
6	Extensión de tierra por cultivo y total	33
7	Rendimiento en el área y a nivel nacional	33
8	Aspectos económicos de los cultivos explotados 1987-1988	34
9	Requerimientos agronómicos óptimos de los cultivos del proyecto	38
10	Precio y rendimientos de los cultivos seleccionados para el Plan Agrícola del Proyecto	39
11	Costo de producción, ingreso neto y rentabilidad de los cultivos seleccionados	41
12	Descripción del perfil del suelo	42
13	Características químicas del suelo	44
14	Características físicas del suelo	45
15	Características físicas del suelo y retención de humedad	46
16	Parámetros promedio de 15 años de registro estación Asunción Mita	47
17	Balance hídrico, base 15 años de registro	48
18	Valores de evapotranspiración mensual y total por cultivo	51
19	Cálculo de lluvia efectiva (mm)	52

Cuadro		Pag.
20	Requerimiento mensual y total de riego	52
21	Profundidad de raíces y humedad aprovechable	53
22	Lámina neta y bruta requerida por los cultivos seleccionados	55
23	Intervalo de riego, área a regar por día y número de riegos	56
24	Volumen estacional por periodo vegetativo de los cultivos seleccionados	57
25	Probabilidad de ocurrencia de caudales a un intervalo del 10%	60
26	Volumen de agua por temporada de riego	62
27	Ingreso neto por cultivo en cada finca tipo	85
28	Ingreso neto y restricciones por finca tipo	86

## INDICE DE GRAFICAS

Grafica		Pag.
1	Balance hídrico	49
2	Curva de duración de caudales	59
3	Curva de variación estacional	61

## INDICE DE CUADROS EN EL ANEXO

Cuadro		Pag.
1-A	Determinación de la evapotranspiración real para el cultivo de tomate	90
2-A	Cálculo de lluvia efectiva (mm)	91
3-A	Requerimientos de riego, cultivo de tomate	92
4-A	Lámina de humedad aprovechable	93
5-A	Caudales medios mensuales	97
6-A	Curva de variación estacional	98
7-A	Caudales máximos anuales	99
8-A	Metodología para análisis del periodo de retorno, según Gumbel	100

CARACTERIZACION DE LOS FACTORES DE LA PRODUCCION  
EN EL PROYECTO DE RIEGO "ALTO MONGOY", ASUNCION MITA, JUTIAPA  
Y OPTIMIZACION DE SU USO POR PROGRAMACION LINEAL

CHARACTERIZATION OF THE PRODUCTION FACTORS IN  
THE ALTO MONGOY IRRIGATION PROJECT AT ASUNCION MITA, JUTIAPA  
AND OPTIMIZATION OF THEM USING LINEAR PROGRAMMING

El estudio se condujo en el área del **proyecto de riego** "Alto Mongoy", ubicado en el municipio de Asunción Mita del - departamento de Jutiapa. Los objetivos del trabajo fueron:

1. Caracterizar y planificar las actividades productivas del área del proyecto de riego, de tal forma que los recursos disponibles: tierra, capital, mano de obra y agua, sean utilizados de la manera más eficiente.
2. Optimizar el uso de los recursos: tierra, capital, mano de obra y agua, utilizando un modelo de programación lineal (P.L.), que permita proponer estrategias para - llevar a cabo planes de desarrollo agrícola.

En cuando a la caracterización de los factores de la producción, se determinaron mediante un muestreo censal los valores limitantes para cada uno de los recursos bajo estudio. Se estableció un total de 11990 jornales de mano de obra, - 633600 m<sup>3</sup> de agua, Q 195,340.00 y 100 hectáreas de tierra.

Además, la caracterización de los recursos limitantes, - permitió conocer las principales actividades productivas de - la región, siendo estas: frijol, cebolla, sandía, melón, -

pepino, tomate y chile pimiento.

La optimización de los factores de la producción, se realizó utilizando un modelo matemático de programación lineal. Se analizaron tres alternativas, variando los volúmenes de agua mientras los demás recursos se mantuvieron según lo indica el estudio de caracterización. Los coeficientes técnicos para cada actividad productiva también fueron resultado del estudio de caracterización.

La alternativa que optimizó el uso de los recursos, resulto ser la alternativa con un volumen de agua de  $663600 \text{ m}^3$ , proveniente de operar el sistema de riego durante 16 horas diarias, durante la temporada de cultivo.

El valor de la ganancia, como resultado de utilizar los valores de la solución resultante del estudio, durante un período de cultivo fue de Q 85,142.76, siendo el resultado de la planificación la que incluyo los cultivos de: frijol (29.70 has), tomate (11.08 has) y pepino (59.22 has). Con estos niveles de cultivo se logra la completa utilización de los recursos: tierra, mano de obra y agua, existiendo únicamente un sobrante en el recurso capital.

El trabajo extendió sus esfuerzos hacia la tipificación de fincas en el área. Se trató de ajustar los resultados de la programación lineal a la tipificación; sin embargo, esto último se incorpora al estudio únicamente como un ejemplo de la planificación práctica de los resultados del estudio y, en ningún momento deben ser considerados como concluyentes en el trabajo de planificación de las actividades productivas del proyecto.

## I. INTRODUCCION

En Guatemala, la explotación de los recursos naturales es un factor muy importante al que no se ha dado la debida - atención, por lo que en la actualidad la carencia de políti- cas adecuadas ha llevado a la subutilización de algunos recur- sos, con el consiguiente desgaste en el nivel de vida de los campesinos del país.

El siguiente estudio tiene como objetivo utilizar una - metodología sencilla de clasificación de recursos, con los - que cuentan los productores para obtener mejores beneficios que el actual. En el caso de obtener resultados favorables, permitirá una rápida identificación de los principales proble- mas, así como la planificación y organización de la producción agrícola en áreas con un alto potencial agrícola.

Para pronosticar los futuros patrones de cultivo en pro- yectos de riego, se empleó un modelo de programación lineal - en la toma de decisiones. La propuesta básica es, que el - agricultor escoja un patrón de cultivo para devengar tantos - ingresos como pueda (es decir, maximizar las ganancias), suje- to a varias restricciones.

La primera restricción está constituida por la lista de cultivos que puede producir el agricultor.

En condiciones naturales, el agricultor tiene ACCESO a - una extensión de tierra limitada y eso da lugar a otra restric- ción.

El agua de riego puede ser otro factor limitante, espe- cialmente donde el sistema de riego se basa en la desviación



de caudales de un río (sin almacenamiento aguas arriba), por lo que se deben aplicar restricciones separadas en los diversos sub-periodos del año, (por ejemplo: a las estaciones seca y lluviosa).

El suministro de mano de obra es otro recurso limitado del proyecto, especialmente durante el periodo de siembra o cosecha.

El capital para la producción es un recurso de especial atención; la limitada disponibilidad de éste recurso puede restringir los patrones de cultivo, por lo que se debe tener en cuenta el crédito que puede ser otorgado a los agricultores por instituciones bancarias. El crédito puede ser concedido para producir ciertos cultivos individuales, o, limitar el capital de trabajo total que exige el patrón de cultivo a una suma total, o a una línea total de crédito.

Para definir la disponibilidad de cada uno de los factores de la producción, se realizó una caracterización del área del proyecto, la cual nos dá una visión completa de la situación actual, lo que nos permite plantear un plan de desarrollo agrícola, en el cual estén involucrados los factores limitantes del proceso productivo.

El plan de desarrollo agrícola incluye una solución óptima (plan de cultivo), con un valor óptimo de ganancia, que se puede obtener con los recursos con que cuenta el proyecto.

## II. JUSTIFICACION

El presente estudio caracteriza los problemas que afronta la actividad agrícola del proyecto, así como los recursos con los que se cuenta para hacer más efectiva la producción agrícola y obtener el máximo beneficio a través de un modelo matemático de programación lineal, el que se constituye en un elemento de toma de decisión, que permite orientar en mejor forma la actividad inversora para las instituciones que realizan programas de desarrollo agrícola.

Con la ayuda de esta técnica es posible determinar un marco de referencia para la formulación y evaluación de proyectos de riego, reclamación de tierras y crédito agrícola.

Para la elaboración de un proyecto de riego, un elemento clave es la planificación de cultivos que se explotarán para mejorar las condiciones agrícolas. En la actualidad, el patrón de cultivos se realiza arbitrariamente por el planificador, sin tomar en cuenta las limitaciones o restricciones que se encuentran en la zona del proyecto, lo que conlleva a un aumento en la inversión en costo y tiempo y mala distribución de los recursos con que se cuenta.

El propósito de este estudio es crear la necesidad de adoptar técnicas modernas de planificación global, así como en las decisiones de producción a nivel de región, localidad y finca.

### III. OBJETIVOS

- A. Caracterizar y planificar las actividades productivas del area del proyecto de riego "Alto Mongoy", de tal forma que los recursos disponibles: tierra, capital, mano de obra y agua, sean utilizados de la manera mas eficiente;
- B. Optimizar el uso de los recursos: tierra, capital, mano de obra y agua, utilizando un modelo de programación lineal (P.L.) que permita proponer estrategias para llevar a cabo planes de desarrollo agricola.

#### IV. REVISION BIBLIOGRAFIA

##### 1. Programación Lineal en Agricultura

Uno de los problemas en cualquier actividad productiva, en la utilización óptima de todos los recursos disponibles - para la obtención del mayor beneficio, por lo que es necesario realizar una planificación y organización de todos los componentes con que se cuenta, para obtener la máxima producción a través de la minimización de los costos de producción.

Por lo que es muy importante contar con un instrumento - que nos permita la generación de rendimientos adecuados de los cultivos que se adapten a las condiciones ecológicas, socioeconómicas y culturales de una región; por lo que en éste trabajo trataremos de probar un modelo matemático adecuado, que conduzca a resolver y adecuar todos los factores relacionados a la producción de cultivos.

##### 2. Formulación General de la Programación Lineal

Toda representación es un modelo y el objetivo de éste, es proveer un cuadro simplificado e inteligible de la realidad con el fin de comprenderla mejor; es algo que se asemeja en apariencia, o se comporta en forma parecida a un objeto real (4).

La programación lineal es una clase de modelo destinado a la asignación eficiente de los recursos limitados de actividades conocidas, con el objetivo de satisfacer las metas deseadas (tal como maximizar beneficios o minimizar costos, optimizar producción y otros) (15).

Específicamente, el objetivo general de la programación lineal, es maximizar o minimizar una función lineal. En un ambiente de toma de decisiones, los modelos son importantes, porque captan la esencia de muchos problemas importantes. Es por ello que en la construcción de modelos es necesario -- realizar abstracciones, con el objeto de interpretar y describir como funciona determinado sistema (2).

## 2.1 Concepto de Programación Lineal

Un programa lineal: es aquel en que el modelo matemático o descripción de un problema determinado puede ser establecido usando relaciones lineales (14).

El objetivo lineal, derivado de la condición de que las relaciones implicadas sean de primer grado. En términos económicos, la linealidad significa rendimientos constantes y precios constantes para insumos y productos (16).

Todo problema de programación lineal tiene dos importantes rasgos en común:

Una función objetivo que se va a maximizar y restricciones; por lo que este tipo de modelo proporciona un ejemplo de lo que se llama un modelo de toma de decisiones restringidas, también llamado modelo de optimización restringida.

Una forma común de referirse a ese modelo es definido como: el problema de asignar recursos limitados de modo que se optimice un objetivo de interés. En esta restricción, la frase "recursos limitados" se refiere a recursos que están sujetos a restricciones (5).

Las restricciones de un modelo de programación lineal pueden ser tanto igualdades como desigualdades (5).

## 2.2 Formulación de modelos lineales

Al plantear el problema, se ha encontrado que el siguiente procedimiento es útil.

En primer lugar, debe concentrarse la atención en identificar el objetivo general. Cuál es el objetivo final del problema: maximizar utilidades, minimizar el uso de la fuerza de trabajo y otros.

En segundo lugar, debe plantearse el objetivo en forma verbal, incluyendo en la expresión la forma en que el objetivo se relaciona con los diversos factores (variables de decisión), sobre los cuales tiene control quien toma las decisiones.

En tercer lugar, se debe identificar y plantear en forma verbal cada restricción.

Una vez que se ha descrito el problema en forma verbal, el siguiente paso es transformar las descripciones verbales en una estructura matemática adecuada. Un procedimiento funcional que puede utilizarse en esta etapa del proceso de planteamiento de problema es:

- a. Identificar y definir las variables de decisión asociados con el problema, incluyendo en la definición la unidad de medición asociada con una de las variables;
- b. Identificar los coeficientes de contribución con cada variable, incluyendo en la unidad de medición asociada;

- c. Plantear la función objetivo y verificar que existe consistencia en las unidades de medición;
- d. Identificar la tasa física de los coeficientes de sustitución, incluyendo la definición de unidad relacionados con el coeficiente respectivo;
- e. Identificar los recursos y los requerimientos disponibles, es decir, los coeficientes de segundo término, que son los valores que aparecen en el lado derecho del signo de igualdad en las ecuaciones de restricción, incluyendo en la definición las unidades de medición asociados con los recursos;
- f. Plantear las restricciones relacionadas con cada uno de los respectivos recursos o requerimientos y verificar que haya consistencia en las unidades de medición para cada restricción;  
y
- g. Definir las condiciones de no negatividad asociado con variables de decisión.

Llevar a cabo el anterior procedimiento ayudará a minimizar los errores asociados con el proceso de planteamiento (19 )

### 3. Aplicación de la Programación Lineal en la Agricultura

La programación lineal es un instrumento valioso en la planificación de actividades agrícolas y en el uso y combinación de sus recursos. Se puede aplicar siempre que exista:

- a. Un objetivo a perseguir;
- b. Diferentes actividades posibles; y
- c. Conjunto de restricciones.

La importancia de la programación lineal se aprecia cuando se hace notar, que sirve para asignar recursos limitados - entre distintas actividades alternativas, para cumplir con el objetivo de optimidad (14 ).

La programación lineal puede usarse para analizar el uso del crédito agrícola. En las fincas determinar planes óptimos de cultivo en base a los niveles determinados de crédito y otros.

#### 4. Métodos de Resolución

Existen diversos métodos de resolución de problemas de programación lineal, entre los que tenemos:

- Método modificado
- Método gráfico
- Método simplex
- Método descripción completa
- Método multiplex
- Método index, y
- Método de transporte.

El método escogido en el presente estudio es el "método simplex", por ser de uso común por los paquetes de uso computarizados existentes; es una rutina de cómputo iterado, basado en álgebra matricial que desarrolla sucesivamente mejores soluciones hasta obtener una solución óptima.



## 5. Metodo Simplex

Actualmente no se conoce ninguna fórmula que pueda utilizarse para la resolución de los problemas de programación lineal, en las que pueda sustituirse los valores de los coeficientes dados.

A falta de procedimientos directos para resolver dichos problemas, se recurre a las "soluciones iterativas", es decir, soluciones que se obtienen con un número determinado de pasos u operaciones, cada uno de ellos se aproxima cada vez más al resultado deseado ( 17 ).

El método simplex puede ser sintetizado brevemente en la siguiente forma: es un método algebraico sistemático que examina las esquinas (también llamados vértices o puntos extremos) de un conjunto restringido de programación lineal, en busca de una solución óptima en particular; el algoritmo comienza por un examen de un vértice inicial. Esto se le llama Fase I.

Si el problema es inconsistente, la fase I descubrirá ese hecho; de otro modo, encontrará una representación algebraica de un vértice inicial y la fase I termina. Entoncés, el algoritmo empieza a recorrer el conjunto restringido de un vértice al adyacente; cada vértice del conjunto restringido de programación lineal puede ser representado en forma algebraica, como una clase particular de solución de un conjunto de ecuaciones lineales. Se generan soluciones diferentes de la forma que produce una secuencia de vértices adyacentes. Cada movimiento en la secuencia (de un vértice adyacente) se llama iteración o pivote y el movimiento involucra una manipulación en el sistema lineal, o el algoritmo simplex está diseñado de manera que la función objetivo disminuye en un modelo

de maximización (minimización) y generalmente aumenta (disminuirá) a cada vértice sucesivo de la secuencia. Si el problema es ilimitado, el algoritmo lo descubrirá en su ejecución. Las matemáticas del movimiento cuesta arriba (o cuesta abajo en un modelo de minimización) de una esquina a la adyacente, se expresará en términos de la operación del pivoteo sobre el cuadro de datos.

Cuando es alcanzado un óptimo, el algoritmo reconoce este hecho y la operación termina; se proporciona soluciones óptimas tanto del problema como el dual.

### 5.1 Algoritmo del simplex

Un algoritmo es un procedimiento matemático respectivo, diseñado para resolver un problema particular, como el algoritmo de la división o de la raíz cuadrada ( 5 ).

Por lo tanto, el algoritmo no es más que la operación - de cálculo notación correspondiente ( 1 ).

#### a. Construir un tablero inicial

P	P2	Pn	B
$A_{11}$	$A_{12}$	$A_{1n}$	$B_1$
..	..	..	..
..	..	..	..
..	..	..	..
..	..	..	..
$A_{m1}$	$A_{m2}$	$A_{mn}$	$B_n$
$C_1$	$C_2$	$C_n$	C

- P: Variables de la ecuación
- A: Coeficientes de la ecuación
- B: Columna de constantes
- C: Indicadores de la función objetiva.

b. Encontrar el elemento pivote

Para la determinación del elemento pivote, primero se busca la columna pivote, que está dada por el menor de los indicadores de la función objetivo; en seguida, se dividen los elementos de la columna de constantes entre los elementos correspondientes de la columna pivote y se selecciona la fila con el mínimo cociente positivo.

c. Construir un nuevo tablero

Que muestre en el desarrollo de su respuesta el procedimiento básico, del que se parte, con el fin de obtener la resolución óptima.

d. Repetir las etapas a y b hasta llegar al tablero final

La primera de ellas consiste en determinar la solución inicial, que es sustituida por soluciones mejoradas, llegando a la solución óptima luego de un número finito de fases; éste parte del cálculo matricial transformado. La matriz de coeficientes es una matriz unitaria llamada también de identidad.

## 5.2 Procedimiento de cálculo

Los pasos para la solución de un problema de programación lineal por medio del método simplex, son los siguientes:

Paso 1. Definir el objetivo que debe maximizarse o minimizarse, según sea el caso.

Paso 2. Determinar las restricciones a las que está sujeto el problema.

Paso 3. Convertir las desigualdades en igualdades, agregando variables de holgura.

Se introducen tantas como desigualdades halla en el problema. Estas variables llevan coeficiente uno de las desigualdades y menos uno en las desigualdades. En problemas de minimización, los valores de la diagonal principal son negativos, razón por la cual es necesario incluir variables artificiales para determinar las soluciones básicas, factibles iniciales de un problema de programación lineal aumentado

Paso 4. Se agregan las variables de holgura a la función objetivo, éstas llevan coeficiente cero con el propósito de no alterar la igualdad.

Paso 5. Expresar las ecuaciones de restricción y la función objetivo en forma matricial; para el efecto se introducen los coeficientes de las restricciones y de la función objetivo en el cuadro simplex.

Paso 6. Una vez introducidos los coeficientes en el cuadro simplex, se forma la fila  $Z_j$  la cual se determina con la suma de productos de los datos de la columna  $C_j$ , por los valores correspondientes de cada una de las columnas del cuadro.

Paso 7. Se establece la fila  $Z_j - C_j$ , restando cada elemento de  $Z_j$ , el correspondiente del renglon  $C_j$ , la fila  $Z_j - C_j$  es muy importante, pues es la que determina -

el criterio simplex de mejorar el programa. En problemas de maximización, mejoran el programa los  $Z_j - C_j$  negativos y en problemas de minimización los positivos.

Paso 8. Seleccionar la variable que encontrara en el siguiente paso.

Esto se determina analizando la fila  $Z_j - C_j$ ; si el problema es de maximización, la variable que entra será aquella que haciendo abstracción del signo, sea el mayor en valor absoluto.

Paso 9. Determinar la variable que debe salir, es decir, la que cede su lugar a la variable que entra en la siguiente fase.

Paso 10. Iterar utilizando operaciones con las filas para convertir la columna clave en parte de la matriz identidad; tener presente que la solución de un problema de programación lineal no es más que la intervención motriz.

Paso 11. Repetir el paso 10 hasta que los coeficientes de la fila  $Z_j - C_j$ , si el problema es de maximización, sean ceros y no existan coeficientes negativos; si es de minimización los coeficientes serán ceros o negativos.

Lo anterior indica que la función objetivo ha sido según el caso, optimizado.

Finalmente, los resultados de las variables y el valor óptimo de la función objetivo, se lee en la columna B de restricciones.

No está demás indicar, que el procedimiento de cálculo descrito se utiliza cuando la resolución de problemas se

efectuará manualmente. Sin embargo, en problemas de contienen considerable cantidad de variables y de restricciones, el uso de la computadora se hace necesario.

El computador ha convertido la programación lineal en - una técnica práctica (16 ).

Todos los problemas de programación lineal deben llenar dos requisitos:

- a. Todo valor de la columna B debe ser positivo
- b. Los coeficientes de las variables de holgura deben formar una matriz identidad.

Dichos requisitos se aprecian en el cuadro que se presenta a continuación:

CCV: Columna de coeficientes de las variables

CVA: Columna de variables asignadas

CRR: Columna que representa restricciones de recursos

FVI: Fila que permite establecer, aplicando el criterio simplex, que variable puede entrar en la siguiente etapa de iteración. Esto es con el objeto de mejorar el programa.

FCFO: Fila que contiene los coeficientes de la función - objetivo

FVFO: Fila que contiene las variables de la función obje tivo

FCR: Fila que representa coeficientes de las restricció nes.

## V. MATERIALES Y METODOS

### 1. Descripción del Area de Estudio

#### 1.1 Localización geográfica

La zona de estudio se encuentra localizada en las aldeas Trapiche, abajo de San Jerónimo, San Carlos y Cola de Pava del municipio de Asunción Mita, Jutiapa; se encuentra ubicada entre las coordenadas 14° Meridiano de Greenwich, a una altura de 500 msnm; a una distancia aproximada de 150 km de la Ciudad Capital por la carretera CA-1.

La extensión del área es de 100 hectáreas.

#### 1.2 Hidrología y clima

El río Quezalapa nace en las faldas del cerro Las Víboras que tiene una geología de roca volcánica fracturada, con una elevación de 70 msnm, corre por el valle dirección Sur-Este en una longitud de 12 km hasta la unión del río Ostua, durante el cual se unen varias quebradas y nacimientos de agua, lo que hace que el caudal aumente; la cual sera la fuente de agua.

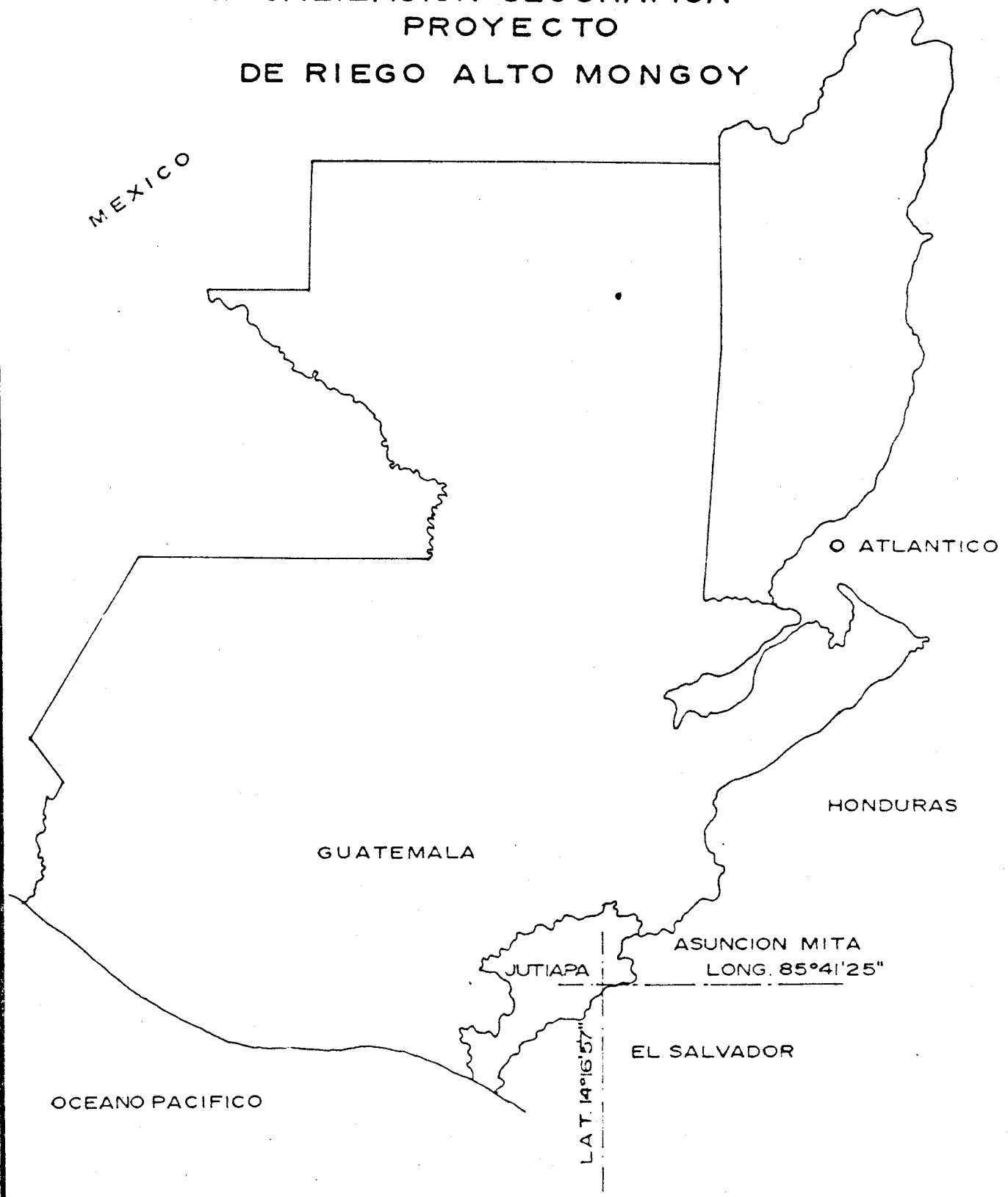
Según la clasificación en el sistema Thornthwait, es una zona de clima cálido, sin estación fría definida, húmedo, con invierno seco, tiene una precipitación media anual de 1094 mm una temperatura media anual de 26.4°C, una evaporación media anual a la sombra de 1518 mm, la humedad relativa media es de 62% y una insolación segun Holdridge, anual de 2878 horas luz segun el Dr. Holdridge es un bosque seco tropical (12).

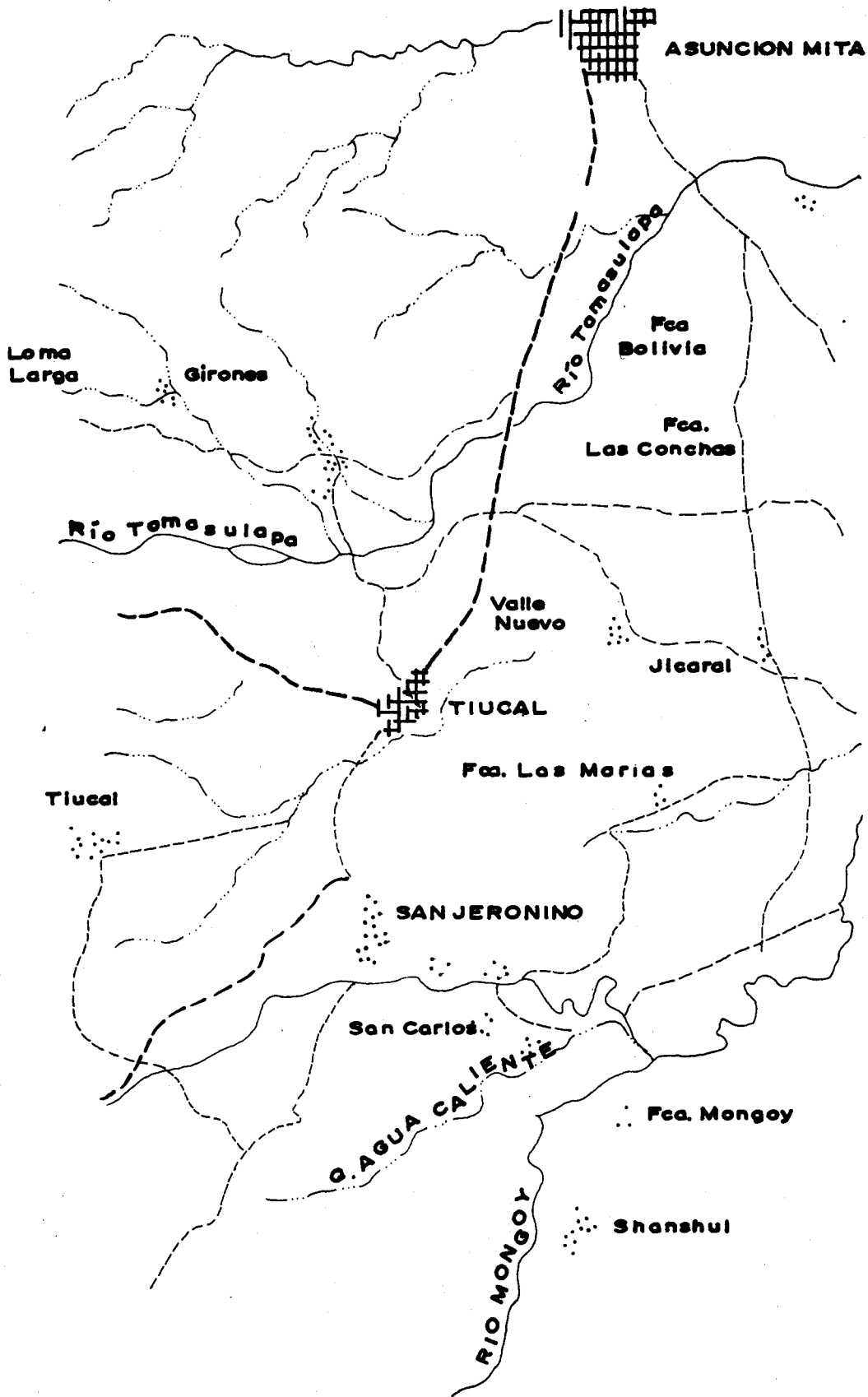
## CUADRO SIMPLEX

	CCV	CRR	MATRIZ DE CUERPO						MATRIZ DE IDENTIDAD							
	CVA		A <sub>mn</sub>						I <sub>mn</sub>							
	C <sub>j</sub>	→	X	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>		C <sub>j</sub>		C <sub>n</sub>	0	0				0	FCFO
	↓	X	B	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>		X <sub>j</sub>		X <sub>n</sub>	X <sub>n+1</sub>	X <sub>n+2</sub>				X <sub>n+m</sub>	FVFO
0	X <sub>n+1</sub>	b <sub>1</sub>	a <sub>11</sub>	a <sub>12</sub>		a <sub>1j</sub>		a <sub>1n</sub>	1	0					0	FCR
0	X <sub>n+2</sub>	b <sub>2</sub>	a <sub>21</sub>	a <sub>22</sub>		a <sub>2j</sub>		a <sub>2n</sub>	0	1					0	
0	X <sub>n+i</sub>	b <sub>i</sub>	a <sub>i1</sub>	a <sub>i2</sub>		a <sub>ij</sub>		a <sub>in</sub>	0	0					0	
0	X <sub>n+m</sub>	b <sub>m</sub>	0 <sub>m1</sub>	0 <sub>m2</sub>		0 <sub>mj</sub>		0 <sub>mn</sub>	0	0					1	
	Z <sub>j</sub>	0	0	0		0		0	0	0					0	
FVI	Z <sub>j</sub>	C <sub>j</sub>	X	-C <sub>1</sub>	-C <sub>2</sub>		-C <sub>j</sub>		-C <sub>n</sub>	0	0				0	



LOCALIZACION GEOGRAFICA  
PROYECTO  
DE RIEGO ALTO MONGOY





ZONA DE ESTUDIO PROYECTO ALTO MONGOY  
 ESCALA: 1:50,000

### 1.3 Agrología

Según el estudio de clasificación de reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala, el área está incluida dentro de la serie de suelos aluviales, localizados en la primera terraza cercana a los ríos Ostúa y Quezalapa; unos son de textura media, profundos y bien drenados. En general, estos suelos son de buena calidad para el desarrollo agropecuario - ( 18 ).

## 2. Metodología

El estudio tiene como objetivo, caracterizar y planificar los recursos del área de forma más efectiva, a través de la recopilación de toda la información a efecto de detectar los factores de la producción disponibles.

### 2.1 Recopilación de la información

Se efectuó sobre todos los aspectos que permiten tener un marco conceptual de la actual situación económica, social y cultural de la población beneficiada, así como datos climatológicos, hidrológicos, agrológicos y diversificación de cultivos en la zona, para cumplir con los objetivos del estudio.

Las fuentes consultadas son:

- INDECA, Sección Noticias de Mercado
- INSIVUMEH, Sección de Climatología e Hidrología
- BANCO DE GUATEMALA, Sección de Estimaciones de Costos de Producción
- BANDESA, Sección de Costos de Producción
- DIRYA, Sección de Estadística de Unidades de Riego

### 2.1.1 Censo agro-socio-económico

Debido a lo pequeño del área, se efectuó un censo a las 36 familias beneficiadas en la zona del proyecto, por lo que se procedió a pasar una prueba censal que abarcó los siguientes aspectos:

#### a. Estructura familiar

Este aspecto de conocer la configuración actual de la familia en lo que respecta a: miembros de la familia, sexo nivel educacional, actividad principal y secundaria, con lo que se determinó la caracterización en lo que se refiere a: - clasificación de los recursos humanos, población económicamente activa (elemento importante para llevar a cabo la optimización de los recursos), población total, localización y distribución de la población.

#### b. Salarios

Sirve para determinar el valor de cada actividad productiva y poder estimar los costos de producción de los cultivos.

#### c. Estructura agraria y cultivos

Esto sirvió para categorizar las fincas en función de: extensión de número de explotaciones similares, régimen de tenencia de la tierra y grado de aprovechamiento; lo cual permite en base a estos parámetros, llevar a cabo una tipificación de fincas.

Cultivos: se logra con ello conocer la actual situación agronómica de la zona en lo que se refiere al área explotada por cada una de las fincas y su extensión por cultivo.

d. Uso de la tierra

Se conoce la distribución del área de la finca.

e. Producción agrícola

Se conoce los siguientes aspectos de los cultivos - practicados en la zona que son: rendimiento, volumen de producción, precios, costos de producción, ingreso neto y nivel tecnológico de producción.

f. Comercialización

Sirve para realizar análisis de precios medios, mercados establecidos, centros de acopio e instalaciones de almacenamiento con que cuentan los agricultores.

g. Asistencia crediticia y técnica

Sirve para conocer las instituciones gubernamentales y no gubernamentales que prestan servicio de apoyo a la producción, en el campo técnico y crediticio.

h. Capital

Factor importante en el proceso productivo, el que se determinó en base a la línea de crédito existente en el área por medio del Banco de Desarrollo Agrícola -BANDESA-.

Para el análisis de la información se utilizó la estadística descriptiva (promedios, rangos de frecuencia y porcentaje).

#### 2.1.2 Revisión de documentos

Se realizó para conocer aspectos: socioeconómicos y agronómicos, que permitan diversificar los cultivos de la zona a través de una adecuada selección de ser explotados bajo condiciones de riego.

Los requerimientos agronómicos para la selección de cultivos fueron los siguientes:

- Altura mínima
- Rangos de temperatura (°C)
- Precipitación media anual en (mm)
- Apreciación textural del suelo
- Drenaje natural del suelo
- Profundidad efectiva mínima
- Máxima pendiente
- Suelos

### 3. Evaluación Agrológica, Climatológica e Hidrológica

#### 3.1 Agrológica

Con el fin de efectuar el análisis de determinación de las constantes de humedad del suelo, se procedió a delimitar el área de estudio en base a sus características topográficas, para luego definir un punto de muestreo; realizado ésto se procedió a excavar una calicata de las siguientes dimensiones: - 1x1x1 metro.

Realizada la calicata, se definió cada uno de los horizontes del suelo para su posterior toma de muestra de cada estrato definido; las muestras fueron enviadas al laboratorio de suelos de la Dirección Técnica de Riego y Avenamiento -DIRYA- para los siguientes análisis:

- Constantes de humedad, método bouyoucos
- Densidad aparente, método de probeta
- Color, tabla Munsell
- pH, método del potenciómetro.

### 3.2 Climatológico

Se consultaron los registros climatológicos del Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología -INSIVUMEH- de la estación Tipo "A" Asunción Mita, ubicada en el municipio del mismo nombre del departamento de Jutiapa. Los datos recabados sirvieron para el cálculo de la evapotranspiración y requerimientos de riego.

Para la determinación de la evapotranspiración se utilizó el método de Blaney-Criddle modificado por Phelon, el cual presenta la siguiente expresión básica:

$$E_t = K \times F$$

donde:

$E_t$  = evapotranspiración real total del cultivo, expresada como lámina de agua en cms

$K$  = coeficiente total ajusta que depende del cultivo y la ubicación de la zona de estudio

$$F = \frac{T^{\circ C} + 17.8 \times P}{21.8}$$

$T^{\circ}\text{C}$  = temperatura media mensual

P = porcenta e de insolación mensual con respecto al total anual

El cálculo se efectuó para diversas épocas de siembra.

### 3.3 Hidrológico

Para saber con qué contamos, es necesario recabar datos - hidrológicos por lo que utilizamos el registro de la estación "La Montañita" operada por INSIVUMEH; ésta se ubica a 20 m - aguas arriba de la derivación del proyecto. Con los datos - se procedió a realizar:

#### a. Curva de duración de caudales

Los datos de caudales de todo el registro se ordena ron de mayor a menor, con su respectiva probabilidad y luego se elaboró la gráfica de caudal versus probabilidad. Para - determinar la probabilidad se utilizó la fórmula de ploteo de Hazlen Lazo.

$$P = \frac{2M - 1}{2N} \times 100$$

donde:

M = número de orden

N = número total de datos.

#### b. Curva de variación estacionl

Se ordenaron los caudales medios mensuales de los - meses de noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril



(por mes) de mayor a menor con su respectiva probabilidad; - luego se elaboró el gráfico. Para determinar la probabilidad se uso la anterior fórmula.

c. Periodo de retorno de caudales

Se trabajó la serie de caudales máximos ocurridos - cada año y que se encuentran registrados; para el cálculo se utilizó la distribución Gumbel, para lo cual se ordenaron los caudales de mayor a menor, se suman y se calcula el caudal - promedio y la desviación estandar; obtenidos éstos datos utilizamos la siguiente expresión:

$$P(Q > \bar{Q}) = e^{-e^{-\alpha(Q - B)}}$$

$$\alpha = \frac{1.281}{S\bar{X}}$$

1.281 = constante

$S\bar{X}$  = desviación estandar

$B = \bar{X} - 0.4506(S\bar{X})$

0.4506 = constante

$\bar{X}$  = media

$$P(Q > \bar{Q}) = \frac{1}{Tr}$$

Tr = tiempo de retorno.

El periodo de retorno calculado fue de 40 años, debido a que el tiempo de vida del proyecto es de 20 años.

Esta parte de la metodología nos sirve para llevar a cabo la caracterización de la zona de estudio y poder determinar la capacidad de cada uno de los factores de la producción, para

luego proceder a su optimización a través de un modelo de programación lineal (P.L.).

#### 4. Optimización de los Factores de la Producción

Para la optimización de los factores de la producción se utilizó un modelo matemático de programación lineal, siendo el método el conocido como "método simplex", usando el paquete lindo (linear Inter-active Discrete Optimizer), para lo cual se tomaron varias restricciones o limitaciones que se encuentran relacionadas en el proceso productivo agrícola; los factores que se evaluaron son: mano de obra, agua, capital y tierra, determinado en el proceso de caracterización.

Para el proceso de cálculo y solución del método simplex, se uso una computadora personal.

##### 4.1 Corrida del paquete "Lindo"

-Visión general de los menú y las pantallas del Paquete Lindo

El usuario ingresa los datos en la pantalla de ingreso de datos del paquete y obtiene, los cuadros de resultados y otros informes. En la lista siguiente se presenta en frecuencia, las operaciones básicas de una corrida completa del paquete.

1. El usuario ingresa sus datos en la pantalla de ingreso de datos.
2. El usuario oprime una tecla que lleva al programa a ordenar la pantalla de ingreso de datos e integrada a un archivo.

El usuario oprime luego una o varias teclas, que lleva al programa a ejecutar las seis actividades siguientes:

3. Verificar los datos ingresados para detectar errores e incoherencias, al mismo tiempo, Lindo prepara un informe que consta de: un listado línea - por línea de los datos y mensajes que describe cualquier error o incoherencia que haya encontrado.
4. Preparar cuadro de datos, éste incluye los datos ingresados en forma tabular organizada.
5. Generar los problemas de programación lineal (P.L.).
6. Resolver los problemas de programación lineal (P.L.) con el paquete "lindo".
7. Preparar cuadro de resultados.
8. Si se solicita, imprimir los informes producidos en los pasos 3, 4 y 7; de lo contrario, el usuario puede optar por examinar cualesquiera de éstos informes (es decir, verlos en la pantalla del computador) antes de decidir si se debe imprimir y/o que debe imprimir.

Por lo tanto, se describe un modelo en forma algebraica - del estudio de la siguiente forma:

## 4.2 Modelo Matemático

Función objetivo:

$$Z = G_1 X_1 + G_2 X_2 \dots\dots\dots G_n X_n$$

Sujeto a:

$$M_1 X_1 + M_2 X_2 \dots\dots\dots M_n X_n \leq M_T$$

$$A_1 X_1 + A_2 X_2 \dots\dots\dots A_n X_n \leq A_T$$

$$C_1 X_1 + C_2 X_2 \dots\dots\dots C_n X_n \leq C_T$$

$$T_1 X_1 + T_2 X_2 \dots\dots\dots T_n X_n \leq T_T$$

Entonces:

$$X_1, X_2, X_3 \dots\dots\dots X_n \geq 0$$

donde:

- Z = función a maximizar
- $G_n X_n$  = ganancia obtenida por hectárea de cultivo
- $M_T$  = mano de obra total disponible
- $M_n X_n$  = mano de obra requerida por hectárea de cultivo
- $A_T$  = agua total disponible
- $A_n X_n$  = agua requerida por hectárea de cultivo
- $C_T$  = capital total disponible
- $C_n X_n$  = capital requerido por hectárea de cultivo
- $T_T$  = Tierra total disponible.

## VI. RESULTADOS

### 1. Caracterización de los Factores de la Producción

#### 1.1 Situación agro-socio-económica

##### a. Recursos humanos

###### -Población total

En el censo agro-socio-económico levantado en la zona de estudio, se determinó que la población beneficiada es de 244 personas entre hombres y mujeres, provenientes de 36 familias; tomando como base los censos de población de 1973 y 1981 se determinó que la tasa de crecimiento de población del área fue de 0.45% anual, cifra baja en comparación a la tasa a nivel nacional, la que fue de 4.7% para el periodo estudiado.

###### -Localización y distribución de la población

La mayor parte de habitantes de la zona del proyecto viven dentro del área de influencia y un reducido número vive en el área urbana cercana, lo que indica que gran parte de la población se dedica a actividades agropecuarias. Según el censo levantado entre las familias beneficiadas, se determinó que el 72.13% de la población oscila entre las edades de 0 a 29 años, lo que lleva a considerar una población joven; un 9% de la población pasa de los 60 años y el rango que presenta el mayor porcentaje es el comprendido entre las edades de 9 a 19 años, con 31.56%, (cuadro 1).

Cuadro 1. Población por sexo, según rangos de 10 años de edad

Rangos	Total	%	Hombres	%	Mujeres	%
Total:	244	100.00	130	100.00	144	100.00
00-09	57	23.36	31	23.85	26	22.81
09-19	77	31.56	40	26.15	37	32.46
19-29	42	17.21	23	17.69	19	16.67
29-39	8	3.28	5	3.85	3	2.63
39-49	18	7.38	7	5.38	11	9.65
49-59	20	8.20	9	6.92	11	9.65
59-69	11	4.51	8	6.15	3	2.63
69-79	9	3.68	5	3.85	4	3.51
79- más	2	0.82	2	1.54	0	0.00

FUENTE: Investigación de campo realizada por el autor.

-Población económicamente activa

La población económicamente activa está comprendida entre las edades de 10 a 60 años, que incluye hombres y mujeres, lo que proporciona 11,990 jornales por ciclo de cultivo (ciclo de cultivo de 110 días), generados por 109 personas (59 hombres y 50 mujeres y niños), provenientes de las 36 familias beneficiadas.

-Calificación de los recursos humanos

Contrariamente a lo que ocurre a nivel nacional, en relación al fenómeno acentuado del analfabetismo, éste se observa en un grado mínimo en el área del proyecto, pues sólo el 4.80% de la población mayor de 7 años es analfabeta. Esto quiere decir, que la mayoría de la población (95.20%) es alfabetada, (cuadro 2).

Cuadro 2. Nivel de escolaridad, 1988

Concepto	Total	%
Total:	145	100.00
Primaria	114	78.60
-Primero a tercer grado	53	36.50
-Cuarto a sexto grado	61	42.10
Secundaria	12	8.30
Diversificado	11	7.60
Universitario	1	0.70
Ignorado	7	4.80

FUENTE: Investigación de campo realizada por el autor.

b. Condiciones socioeconómicas

El ingreso socioeconómico de las familias del área del proyecto provienen, principalmente, de la actividad agropecuaria y en menor proporción, de otras actividades no agropecuarias, como los servicios. Debido a que el tamaño de las fincas, las que son medianas y pequeñas, no tienen capacidad de darle ocupación al grupo familiar durante todo el año, situación que obliga a la familia o parte de ella, a completar sus ingresos a través de la realización de otras actividades tales como el comercio, transporte y prestación de servicios personales (jornaleros, pilotos, otros).

El ingreso de las 36 familias debido a la actividad agrícola se estimó en base a la producción agrícola de la zona, la cual representa un valor de 31,310.40 quetzales anuales además, se estimó que de la prestación de servicios personales se obtiene 12,000.00 quetzales anuales.

El valor del jornal (día o tarea), en la actividad agrícola es de 4.00 quetzales, cuando al trabajador se le proporciona 2 tiempos de comida y de 5.00 quetzales cuando no se le proporciona alimento al jornalero.

c. Estructura agraria

En el área del proyecto existen 36 fincas que comprenden una superficie de 100 hectáreas (cuadro 3). Del total de fincas, 7 corresponden al estrato menores de 1 ha, que involucra 2.8 ha, es decir, que representa el 19.4% de la extensión total; el área promedio regable de cada finca es de 0.3 ha (cuadros 3 y 4).



Cuadro 3. Tenencia actual de la tierra

Descripción	Propietarios		Superficie	
	No.	%	Has	%
Menores de 1 ha	7	19.4	2.8	2.1
De 1.00 a 3.44 ha	14	38.9	25.1	19.1
De 3.44 a 7.00 ha	8	22.2	39.3	29.8
Mayores de 7.00 ha	7	19.4	64.4	49.0
<b>Totales:</b>	<b>36</b>	<b>100.0</b>	<b>131.6</b>	<b>100.0</b>

FUENTE: Investigación de campo realizada por el autor.

Las fincas de 1.00 a 3.45 has están constituidas por 14 unidades que representan el 38.9% del área total, con un promedio de superficie regable de 1.8 has.

Las fincas de 3.45 a 7.00 has están constituidas por 8 unidades que representan 39.3 has del área total, con un promedio de superficie regable de 4.9 has. Las fincas mayores de 7.00 has están constituidas por 7 unidades, que representan 64.4 has del área total, con un promedio de superficie regable de 9.2 has (cuadros 3 y 4).

Cuadro 4. Superficie regable en hectáreas por estrato

Descripción	Superficie regable		Superficie media regable p/finca
	Has	%	
Menores de 1 ha	2.3	2.3	0.3
De 1.01 a 3.44 ha	19.0	19.0	1.4
De 3.44 a 7.00 ha	35.3	35.3	4.4
Mayores de 7 ha	43.4	43.4	6.2
<b>Totales:</b>	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	

FUENTE: Investigación de campo realizada por el autor.

-Uso de la tierra

El área total es de 131.58 hectáreas que se distribuyen de la siguiente forma: el 85.5% se encuentra habilitada para cultivo; 9.7% ocupada por pastos; el 3% ocupada por viviendas e instalaciones (cuadro 5).

Cuadro 5. Uso general de la tierra

Uso	Superficie Has	%
Cultivos temporales	112.16	85.2
Cultivos permanentes	0.84	0.6
Pastos	12.72	9.7
Bosques	0.40	0.3
No cultivada	1.40	1.1
Vivienda e instalaciones	4.06	3.1
<b>Totales:</b>	<b>131.58</b>	<b>100.0</b>

FUENTE: Investigación de campo realizada por el autor.

d. Producción agrícola

-Cultivos practicados

Los cultivos practicados en la zona, por su orden de importancia son los siguientes: maíz, sorgo, tomate y frijol (cuadro 6).

-Numero de cosechas al año

Debido a que los agricultores de la zona sólo cuentan como fuente de abastecimiento de agua, la época de lluvia

algunas veces pueden tener una cosecha al año; dependiendo del invierno, se podría tener la cosecha de segunda o de humedad.

Cuadro 6. Extensión de tierra dedicada a cada cultivo y área total cosechada

Cultivo	Superficie física Cultivada (has)	Superficie total Cultivada (has)
Frijol	5.32	5.32
Maíz	106.54	106.54
Pasto	14.96	14.96
Tomate	0.30	6.32
Sorgo	-.-	94.60
<b>Total:</b>	<b>127.12</b>	<b>227.94</b>

FUENTE: Investigación de campo realizada por el autor.

#### -Producción

La productividad obtenida en el área del proyecto, a pesar de la poca tecnificación y la falta de agua, se puede catalogar de buena, comparado al promedio nacional (cuadro 7).

Cuadro 7. Rendimiento del área y a nivel nacional

Cultivo	Area Proyecto (tm/ha)	Nacional 1/ (tm/ha)
Maiz	2.99	1.26
Sorgo	2.44	1.89
Tomate	17.09	10.10
Frijol	1.07	0.60

FUENTE: Investigación de campo realizada por el autor.

1/ Censo Agropecuario Nacional, 1982.

## 1.2 Costos de producción

Los costos son elevados en relación a la rentabilidad que se obtiene, especialmente en lo que se refiere a granos básicos, que son los que dan un ingreso a las familias de la zona por lo que se hace indispensable la incorporación de un programa de tecnificación acorde a las necesidades de producción para mejorar la eficiencia de los recursos y bajar los costos de producción (cuadro 8).

## 1.3 Ingreso bruto y neto

Todo tipo de sistema agrícola está relacionado con el cultivo que se explote y su extensión; actualmente el ingreso neto que se está obteniendo es bajo; solamente el cultivo de tomate presenta una rentabilidad mayor del 50%, pero no es una situación estable, porque está sujeto a la oferta del producto (cuadro 8). En lo que respecta a granos básicos, su rentabilidad es baja y oscila entre menos 14.83% a 30.84% (cuadro 8).

Cuadro 8. Aspectos económicos de los cultivos explotados en la zona para el periodo 1987-1988

Concepto	Cultivos			
	Maiz	Sorgo	Frijol	Tomate
Rendimiento (tn/ha)	2.99	2.60	1.07	17.00
Precio (Q/tn)	264.00	220.00	660.00	176.00
Valor de la producción (Q/ha)	789.66	572.00	706.20	3,007.84
Costo producción (Q/ha)	627.32	671.60	539.73	1,898.88
Ingreso neto (Q/ha)	162.04	- 99.60	166.47	1,108.96
Rentabilidad	25.83	- 14.83	30.84	58.40

FUENTE: Investigación de campo del autor.

#### 1.4 Destino de la producción

El producto en su mayor parte, es destinado a la venta en el mercado nacional, ya sea a través de transacción directa o por intermediarios; éstos últimos absorben gran parte de la ganancia del producto.

El agricultor sólo toma parte de la producción para su consumo, especialmente en lo que se refiere a granos básicos.

El proyecto, desde el punto de vista de mercado, se encuentra bien localizado, ya que está conectado con grandes centros de consumo nacional y extranjero por medio de carreteras. Los mercados mas importantes son:

- La Terminal, ciudad capital a 150 kilómetros.
- Cabecera departamental de Jutiapa, a 32 kilómetros.
- Municipio El Progreso, Jutiapa a 24 kilómetros.
- Departamento de Santa Ana, El Salvador a 41 kilómetros.

Estos centros de mercadeo se comunican por medio de la carretera CA-1.

#### 1.5 Infraestructura de riego

La captación del agua se hará en el nacimiento del río Mongoy o Quezalapa, por medio de una presa móvil de derivación, de donde saldrá un canal corto hacia una caja, donde principia la tubería de conducción con una capacidad de 0.100 m<sup>3</sup>/seg. La conducción, lo mismo que la distribución se hará por medio de tubería de tipo PVC, con diámetro variables de 6 a 12 pulgadas; la distribución de agua en los terrenos se hará por medio de hidrantes.

La conducción será a lo largo de 1,000 metros y la distribución tiene un total de 6,250 metros.

Los hidrantes descargarán en una caja para quitarle la presión, de donde saldrá un canal regadera para cada terreno, que servirá para alimentar los surcos de riego.

## 2 Servicios de Apoyo a la Producción

### 2.1 Asistencia técnica

Las instituciones estatales responsables de prestar la asistencia técnica son: la Dirección General de Servicios Agrícolas -DIGESA- y la Dirección General de Servicios Pecuarios -DIGESEPE-.

DIGESA cuenta con una Agencia de Servicios Agrícolas en la cabecera municipal, la que presta asesoría técnica, especialmente a los pequeños y medianos agricultores del área a través de dos promotores agrícolas, dos promotoras de Clubs 4-S y una educadora del hogar, así como un grupo de representantes agrícolas, quienes tienen como meta capacitar en forma integral a la familia rural.

DIGESEPE cuenta con una Oficina en la cabecera municipal la que cuenta con un Médico Veterinario y un técnico pecuario los que prestan servicios de medicina preventiva a la ganadería de los pequeños y medianos productores.

### 2.2 Asistencia crediticia

La actividad agropecuaria es financiada principalmente, por el Banco Nacional de Desarrollo Agrícola -BANDESA- y la

Cooperativa "Cuna del Sol" de Jutiapa; la primera con una agencia en Asunción Mita y la segunda, en la cabecera departamental. Unicamente se detectaron créditos por éstas instituciones y fueron destinados principalmente a la producción de - granos básicos y hortalizas.

Actualmente se suscribió un convenio con la Dirección Técnica de Riego y Avenamiento -DIRYA- y -BANDESA-, para disponer de un fondo específico para los usuarios del Proyecto Alto Mongoy, por un monto de Q 195,340 para llevar a cabo la actividad agrícola del proyecto.

### 2.3 Estudio agronómico de selección de cultivos

Para la selección de los cultivos, se tomó como base los siguientes aspectos: la relación de los cultivos actuales en la dieta diaria del campesino, la rentabilidad de éstos, la - época de siembra en lugares aledaños que cuentan con sistema de riego, así como las características de mercado que presenta la región. En la selección de cultivos nuevos, además de - las consideraciones anteriores, si los productos propuestos - presentan mercados externos y el precio de venta mantienen - una estabilidad adecuada, que pueda representar una alta rentabilidad para el campesino y así cubrir los costos de la - obra. Como las condiciones agronómicas óptimas para poder - adaptarse en la zona del proyecto.

En el cuadro 9 se podrá observar los requerimientos agronómicos óptimos de los cultivos seleccionados, bajo un régimen de riego.

Las condiciones que presenta el área del proyecto son adecuadas para el establecimiento de los cultivos, así como para

Cuadro 9. Requerimientos agronómicos óptimos para cultivos del proyecto

Requerimientos	Frijol	Cebolla	Tomate	Sandía	Melón	Pepino	Chile P
Altura (msnm)	400-2500	400-1500	0-1000	0-1000	0-600	0-600	0-1000
Rangos T <sup>o</sup> C	12-24	13-18	18-(+)	18-(+)	24- (-)	18-(+)	18-(+)
Precipitación media (mm)	750-1500	1000	400-1500	900	1000	900	900
Apreciación textural del suelo	liviano a mediano	Liviano a mediano	Liviano a pesado	Liviano	Liviano a mediano	Liviano	Mediano
Profundidad efectiva mínima (cm)	moderada - profundamente	superficial	moderada - profundamente	superficial	superficial a moderadamente	moderadamente profundo	moderadamente profundo
Máxima pendiente	50	12	12		12	8	12

FUENTE: Unidades de suelos y potencial de suelos, DIGESA, 1978.



su comercialización y precios de mercado, lo que permite asegurar al agricultor índices mayores del 50% de rentabilidad.

De los cultivos actuales, que se encontraron en la zona, se excluyeron del régimen bajo riego el maíz y sorgo, ya que su explotación se realiza en época de invierno (en toda la zona).

Los costos de producción, precio de venta, rendimientos, así como la comercialización de los nuevos productos propuestos, se realizó a través de la recopilación de información presentada por la Unidad de Riego, Departamento de Estadísticas de la Dirección Técnica de Riego y Avenamiento -DIRYA-, el Instituto Nacional de Comercialización Agrícola -INDECA- y el Banco Nacional de Desarrollo Agrícola -BANDESA-, cuadro 10.

Cuadro 10. Precio y rendimiento de los cultivos seleccionados para el plan agrícola del Proyecto Mongoy

Cultivo	Rendimiento ton/ha 1/	Precio Q/tn 2/
Frijol	1.50	990.00
Cebolla	13.00	260.00
Tomate	20.00	165.00
Sandía	20.00	140.00
Melón	14.00	220.00
Pepino	20.00	135.00
Chile pimiento	13.00	260.00

FUENTE: 1/ Estadísticas de la Dirección Técnica de Riego y Avenamiento -DIRYA-.  
2/ Banco Nacional de Desarrollo Agrícola -BANDESA-.

A continuación se presenta los costos de producción de los cultivos seleccionados en forma consolidada (cuadro 11).

#### 2.4 Situación agrológica

El presente estudio tomó como base el estudio detallado de suelos del "Valle de Asunción Mita" del año 1965 y estando el área incluida, se procedió únicamente a hacer un chequeo - específicamente en la zona del proyecto, dando como resultado 124.88 hectáreas de la clase agrológica I; 4.06 hectáreas de poblados y 2.64 hectáreas de cerros.

##### a. Descripción del tipo de suelo, clase I

Se encuentra dentro del área del proyecto 124.88 hectáreas que hacen el 94.91% del área total. Ocupa relieves planos, con pendientes máximas de 1.5%.

Son suelos profundos, permeables, con drenaje superficial y sub-superficial normal a partir de los 50 cm de profundidad, su permeabilidad es lenta y su drenaje es moderado.

Su textura en el primer horizonte es franco-arenoso la estructura de bloques subangulares medianos, moderadamente desarrollados, la consistencia es ligeramente dura en seco y friable en húmedo.

En los horizontes más profundos, la textura va de franco a franco arcilloso, la estructura en bloques subangulares medianos, moderadamente desarrollados, consistencia ligeramente dura en seco y friable a firme en húmedo (cuadro 12).

Cuadro 11. Costo de producción, ingreso neto y rentabilidad de los cultivos seleccionados

Concepto	Frijol	Cebolla	Tomate	Sandía	Melón	Pepino	Chile P.
Rendimiento (ton/ha)	1.50	13.00	20.00	20.00	14.00	20.00	13.00
Precio (Q/ton)	990.00	260.00	165.00	140.00	220.00	135.00	260.00
Valor producción (Q/ha)	1485.00	3380.00	3300.00	2800.00	3080.00	2200.00	3380.00
Costo producción (Q/ha)	983.35	2180.70	2151.38	1897.54	2044.34	1732.47	2264.04
Ingreso neto (Q/ha)	501.65	1199.30	1148.62	902.46	1035.66	967.51	1115.96
Rentabilidad (%)	51.0	55.0	53.0	47.0	51.0	56.0	49.0

FUENTE: Cálculos realizados con base en las estadísticas de la Dirección Técnica de Riego y Avenamiento -DIRYA-, e investigación de campo, 1988.

Cuadro 12. Descripción del perfil de suelo, Proyecto Mongoy

Horizonte	Profundidad (cm)	Estructura	Textura	Consistencia (s)		Permeabilidad (h)	Reacción Naf
AP	0-15	B.sa Me Mo	Fran-ar	L.D.	F	P	No
AB	15-32	B.sa Me Mo	Fran-ar	L.D.	F	P	No
B1	32-45	P. Me Mo	Franco	L.D.	F	P	No
B2	45-65	P. Me Mo	Franco	D.	Fi	LP	No
B3	65-85	P. Me Mo	Franco	D.	Fi	LP	No
Bt	85-100	P. Me Mo	Fran-ar	D	Fi	LP	No

B. sa Me Mo = bloques subangulares medianamente moderados  
P. Me Mo = prismas medianos moderadamente desarrollados  
L.D. = ligeramente duro  
D. = duro  
F. = friable  
Fi = firme

FUENTE: Datos generados por el autor en investigación de campo, 1988.

b. Propiedades químicas

La reacción del suelo es ligeramente ácida, el contenido de materia orgánica es medio, encontrándose mayor cantidad en los horizontes superiores.

La capacidad de intercambio catiónico es alta; el porcentaje de calcio es alto y el magnesio es alto; el porcentaje de sodio es alto y el porcentaje de saturación de bases se puede catalogar de muy alto (cuadro 13).

Por las características presentadas se recomienda aplicar materia orgánica, para llevar a niveles adecuados todos los elementos.

c. Propiedades físicas

El porcentaje de retención de humedad a capacidad de campo es alto para todos los horizontes, lo mismo que el nivel de densidad aparente, que es alto en los primeros dos horizontes y medio en los demás (cuadros 14 y 15).

## 2.5 Climatología

Con base en los datos recabados de los registros climatológicos del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, meteorología e Hidrología -INSIVUMEH-, para la estación tipo "A" denominada "Asunción Mita", localizada en el municipio del mismo nombre del departamento de Jutiapa a una distancia de 3 km del área del proyecto. Se determinaron los parámetros que se muestran en el cuadro 16, los cuales serán utilizados para determinar la evapotranspiración potencial y real

Cuadro 13. Características químicas del suelo

Muestra	Profundidad (cm)	M.O. (%)	CTI	Meg/100 gr de suelo (intercambiable)						
				Ca	Mg	Na	K	H	%58	pH
1	0-15	3.60	38.06	16.47	7.89	0.19	1.31	12.20	100.0	5.24
2	15-32	3.32	40.06	13.85	5.02	0.30	0.95	19.94	100.0	6.31
3	32-45	3.12	41.62	18.16	9.22	0.34	0.73	13.17	100.0	6.69
4	65-85	1.78	40.80	18.03	10.75	0.30	0.74	12.98	100.0	6.69
5	65-85	1.30	40.00	16.73	11.86	0.34	0.75	10.40	100.0	6.75
6	85-100	1.59	46.09	17.89	13.29	0.43	0.76	13.72	100.0	6.76

FUENTE: Laboratorio de Suelos, Dirección Técnica de Riego y Avenamiento  
-DIRYA-, 1988.

Cuadro 14. Características físicas del suelo

Muestra	Profundidad (cm)	Arcilla %	Limo %	Arena %	Clase textural
1	0-15	21.93	24.67	53.40	Franco arenoso
2	15-32	24.28	23.85	51.87	Franco arenoso
3	32-45	21.98	32.13	45.89	Franco
4	45-65	22.08	35.89	42.03	Franco
5	65-85	24.32	41.01	27.67	Franco
6	85-100	28.95	44.03	22.02	Franco arcilloso

FUENTE: Laboratorio de Suelos, Dirección Técnica de Riego y Avenamiento  
-DIRYA-, 1988.

Cuadro 15. Características físicas del suelo y retención de humedad

Profundidad (cm)	Textura (%)	Densidad Ap.	Humedad del suelo	
			1/2 atm	15 atm
0-15	Franco-ar	1.2619	30.67	17.41
15-32	Franco-ar	1.2117	32.59	18.60
32-45	Franco	1.0900	40.09	20.54
45-65	Franco	1.0584	41.19	20.00
65-85	Franco	0.8796	51.99	23.58
85-100	Franco-arc	0.9157	56.82	27.30

FUENTE: Laboratorio de Suelos, Dirección Técnica de Riego y Avenamiento -DIRYA-, 1988.



de la zona y los cultivos, así como los requerimientos de riego.

Cuadro 16. Parámetros promedio de 15 años de registro de la estación "Asunción Mita", en el municipio de Asunción Mita, Jutiapa

Mes	T °C	P <sub>p</sub> (mm)	Insolación	Hr x (%)
Ene.	24.8	0.55	9.65	63
Feb.	25.4	1.00	10.00	58
Mar.	26.7	4.25	9.98	58
Abr.	27.7	46.10	9.91	60
May.	27.2	140.10	7.45	68
Jun.	25.8	260.70	7.29	78
Jul.	26.4	182.45	7.36	70
Ago.	26.4	210.00	7.36	73
Sep.	25.3	227.25	7.24	80
Oct.	25.4	124.05	7.25	75
Nov.	25.2	23.30	9.37	67
Dic.	24.9	5.40	9.51	65

FUENTE: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología -INSIVUMEH-.

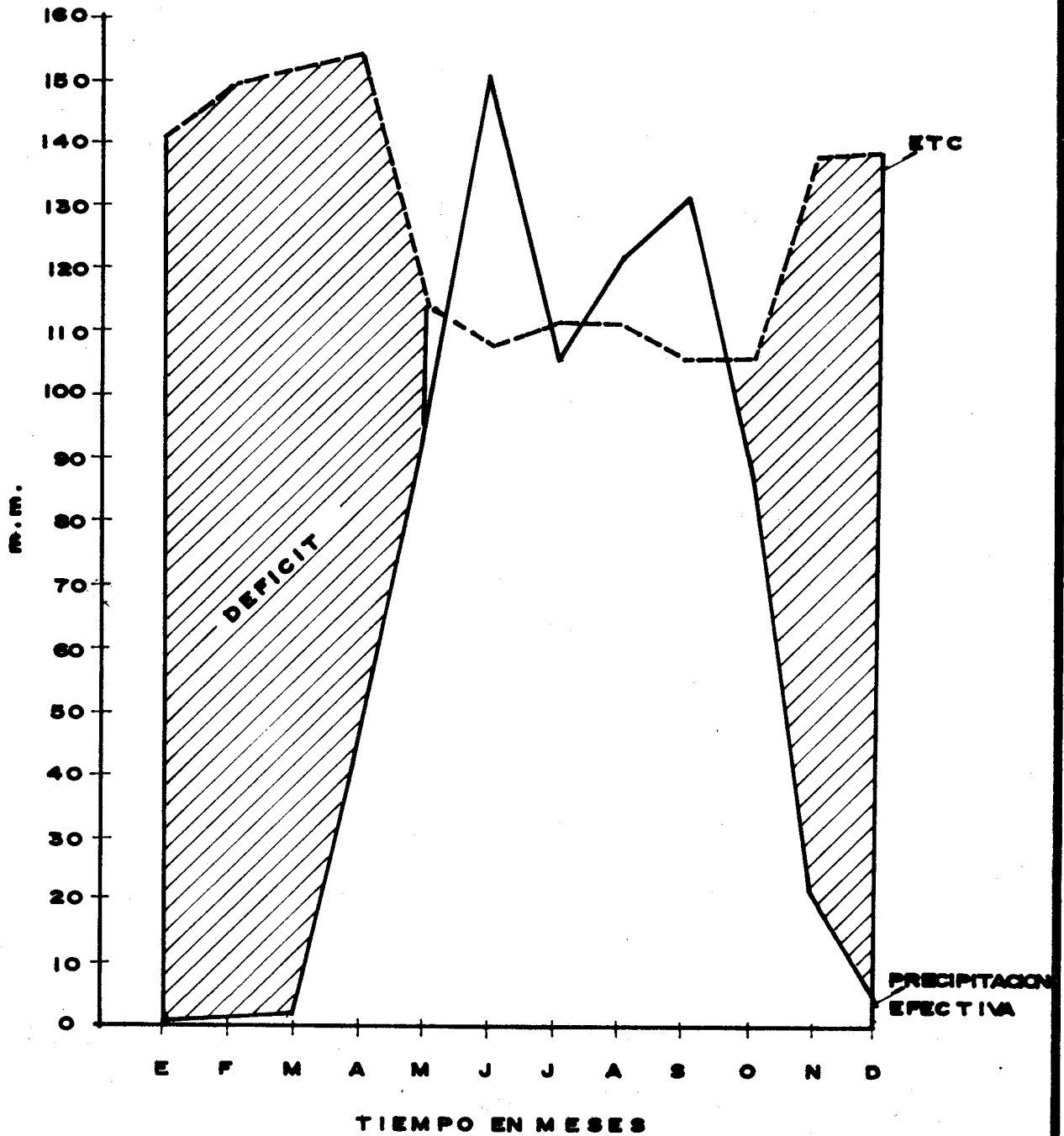
Para el cálculo de la evapotranspiración potencial del área se utilizó el método de Blaney-Criddle. El nos muestra el déficit de agua en la mayor parte del año en la zona, lo cual nos lleva a concluir en la necesidad de implementar el proyecto de riego. En el análisis del balance hídrico, nos muestra 9 meses con déficit de agua, el mes de marzo como el más crítico, con 151.1 mm de déficit; además los meses de junio, agosto y septiembre con alto grado de precipitación pluvial y efectiva, por lo que no se requiere riego para dicho tiempo (cuadro 17).

Cuadro 17. Balance hídrico Proyecto Alto Mongoy, base 15 años de registro

Mes	Tc	P (%)	ETC mm	Kg	ETC mm	P <sub>p</sub> mm	Pe mm	Déficit
Ene	24.8	9.65	187.8	0.75	140.9	0.6	0.6	-140.3
Feb	25.8	10.00	199.2	0.75	149.4	1.0	1.0	-148.4
Mar	26.7	9.98	201.9	0.75	152.2	1.2	1.1	-151.1
Abr	27.7	9.91	206.0	0.75	154.5	46.1	43.8	-110.7
May	27.2	7.45	113.2	0.75	114.9	140.1	93.9	- 21.0
Jun	25.8	7.29	145.2	0.75	108.5	260.7	151.6	-.-
Jul	26.4	7.36	148.6	0.75	111.5	182.4	106.0	- 5.5
Ago	26.4	7.36	148.6	0.75	111.5	210.0	122.1	-.-
Sep	25.8	7.24	147.6	0.75	106.9	227.2	132.1	-.-
Oct	25.4	7.25	143.1	0.75	107.3	134.0	89.8	- 17.5
Nov	25.2	9.37	184.1	0.75	138.1	24.3	23.1	-115.0
Dic	24.9	9.51	185.5	0.75	139.2	5.4	5.1	-134.1

FUENTE: Datos generados por el autor a través de El Método de Blaney-Criddle.

BALANCE HIDRICO  
PROYECTO ALTA MONGOY



GRAFICA I

## 2.6 Determinación del consumo de agua o evapotranspiración

En el presente estudio, el recurso agua es un factor limitante en el proceso de producción. Se hace indispensable el cálculo de la evapotranspiración real de cada uno de los cultivos seleccionados, para la evaluación y obtención de la maximización del ingreso neto, para lo cual se usó el método de Blaney Criddle modificado por Phelan.

El cálculo se realizó para diversas épocas del periodo de riego, determinándose que la temporada más crítica es la comprendido entre los meses de enero a abril, debido a que el déficit de humedad tanto mensual como total, es mayor que en cualquier otro periodo (determinación de la evapotranspiración real para el cultivo de tomate, anexo).

Los valores de evapotranspiración mensual y total de cada uno de los cultivos nos muestra que el mes de marzo es el más crítico, para todos los cultivos, lo cual coincide con los datos presentados en el balance hídrico para el área del proyecto. Los valores de evapotranspiración total crítica son para los cultivos de tomate y chile pimiento con 51.71 cm de déficit para su ciclo vegetativo y el que tiene menor déficit es el cultivo de frijol con 44.48 cm para todo su ciclo. (Cuadro 18)

## 2.7 Determinación de los requerimientos de riego

Una vez determinada la evapotranspiración real del cultivo, para la época más crítica, se calculó los requerimientos de riego, para lo cual es necesario tomar en cuenta la precipitación efectiva lo cual se hará a través del método de Blaney-Criddle, el que propone una tabla de coeficientes de aprovechamiento, de

Cuadro 18. Valores de evapotranspiración mensual y total por cultivo

Cultivo	Evapotranspiración mensual (cm)				Total
	Enero	Febrero	Marzo *	Abril	
Frijol	0.74	12.23	18.78	12.73	44.48
Cebolla	1.10	12.15	18.18	16.46	47.89
Tomate	4.66	12.16	19.53	15.36	51.71
Sandía	4.50	11.73	16.38	14.83	47.44
Melón	4.50	11.73	16.38	14.83	47.44
Pepino	4.50	11.73	16.38	14.83	47.44
Chile p	4.66	12.16	19.53	15.36	51.71

\* Es el mes crítico para todos los cultivos.

FUENTE: Datos generados por el autor, a través de El Método de Blaney-Criddle.

acuerdo a cada pulgada de lluvia observada.

La precipitación de la temporada evaluada, mantiene índices promedios bajo, lo que provoca un déficit de humedad al mantener tasas altas de evapotranspiración. Para llevar a cabo actividades agrícolas en el área, en esta fecha, se hace necesario contar con un sistema de riego que satisfaga las necesidades de los cultivos.

El cuadro 19 muestra la precipitación efectiva en los meses de riego, determinándose el mes de abril con el valor alto de lluvia efectiva mayor de 4.144 mm, mientras que los restantes meses no alcanza, ni sumados los tres 1.0 mm

Cuadro 19. Cálculo de la lluvia efectiva (mm)

Mes	$P_p$ (mm)	Coef.aplic.	Pe (mm)	Pe (cm)
Ene.	0.55	0.95	0.52	0.052
Feb.	1.00	0.95	0.95	0.075
Mar.	1.25	0.95	1.18	0.118
Abr.	46.10	0.90	41.49	4.149

FUENTE: Datos generados por el autor a través del Método de Precipitación Efectiva de Blaney-Criddle.

Los requerimientos de riego mensuales para los cultivos de - termina al tomate y chile pimiento como los de mayor demanda en todo su ciclo, y el frijol con menor demanda; así como el mes de marzo como el crítico para todos los cultivos, (cuadro 20).

Cuadro 20. Requerimiento mensual y total de riego por cultivo (cm)

Cultivo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Total
Frijol	0.69	12.14	18.66	8.58	40.34
Cebolla	1.05	12.06	18.06	12.31	43.38
Tomate	4.61	12.06	19.41	11.21	47.29
Sandía	4.49	11.64	16.26	10.68	43.07
Melón	4.49	11.64	16.26	10.68	43.07
Pepino	4.49	11.64	16.26	10.68	43.07
Chile pimiento	4.61	12.06	19.41	11.21	47.29

FUENTE: Datos generados por el autor. Ver anexo.

La lámina de humedad aprovechable, es la lámina de agua - que el suelo puede retener entre los límites de capacidad de - campo y el punto de marchitez permanente, sin que se resienta la planta.

Para el cálculo de éste coeficiente se requiere tomar los siguientes datos: capacidad de campo, punto de marchitez permanente y densidad aparente del estudio agroológico del suelo, anteriormente descrito; así como contar con la profundidad efectiva de las raíces de los diversos cultivos a evaluar.

En el cuadro 21 se presenta las profundidades para cada cultivo, debido a que la profundidad efectiva de las raíces variará en función de los niveles de humedad del suelo, como los valores de la lámina de humedad aprovechable varía en relación a la profundidad de las raíces.

La metodología utilizada se describe en el anexo, tomando como ejemplo el cultivo de tomate.

Cuadro 21. Profundidad de las raíces y lámina de humedad aprovechable

Cultivo	Profundidad de raíces (cm)	Lámina humedad (cm)
Frijol	50	9.28
Cebolla	45	8.16
Tomate	60	11.56
Sandía	80	16.39
Melón	80	16.39
Pepino	80	16.39
Chile pimiento	60	11.56

## 2.9 Determinación de la lámina bruta y neta de riego

### -Necesidad de riego neta

Al establecer las necesidades mensuales o estacionales netas de riego para los cultivos, las principales variables que integra el balance hídrico debe tomar en cuenta:

- a. Necesidades de agua del cultivo
- b. Aportaciones por la precipitación; y
- c. Acumulación de agua en el suelo.

Para fines de cálculo, se debe considerar la lámina de humedad aprovechable, multiplicado por un porcentaje de la lámina de agua aprovechable que puede permitirse los usados por el cultivo sin que éste se resienta; para este estudio se usó el 60%. Debido a que los cultivos seleccionados son susceptibles a la falta de humedad

### -Necesidad de riego bruta

Para obviar los fallos evitables e inevitables de la aplicación de agua, es preciso aumentar las necesidades de riego neto, en función de la eficiencia de aplicación del riego.

Las necesidades de riego brutas están directamente relacionadas con la eficiencia de aplicación del riego ( $E_a$ ), que es la fracción de agua aplicada en el riego que se almacena en el suelo y que está disponible para el cultivo.

El porcentaje de aplicación que se utilizó en el estudio es de 60%, debido a que está en función directa al método de riego usado, según el Instituto Internacional para la Reclamación y Mejora de Tierras (ICID), el cual asigna este valor para el método por gravedad; por lo tanto, los cultivos de Chile



pimiento y tomate requieren la mayor lámina neta y bruta de riego, la cual es de 10.68 y 6.94 cm, respectivamente. El cultivo de cebolla es el menor con 4.90 y 7.54 cm para la lámina neta y bruta (cuadro 22).

La metodología utilizada en el presente punto se describe en el anexo, con el cultivo de tomate.

Cuadro 22. Lámina neta y bruta requerida por los cultivos seleccionados

Cultivo	Lamina neta (cm)	Lamina bruta (cm)
Frijol	5.57	8.57
Cebolla	4.90	7.54
Tomate	6.94	10.68
Sandía	6.56	10.09
Melón	6.56	10.09
Pepino	6.56	10.09
Chile pimiento	6.94	10.68

FUENTE: Datos generados por el autor. Ver método en el anexo.

## 2.10 Determinación del intervalo de riego

La regularidad y adecuada programación en el tiempo de los riegos es importante, como el volumen estacional total aplicado en el campo; aunque el agua sea aplicada correctamente, un riego demasiado frecuente reducirá la eficiencia de aplicación del mismo; el riego demorado, especialmente en los periodos en que la planta es muy sensible a la tensión de la humedad del suelo, puede tener efectos negativos sobre los rendimientos, aunque el volumen total de agua aplicado durante todo el periodo vegetativo sea aproximadamente el mismo.

El cuadro 23 presenta el intervalo de riego, área a regar por día y número de riegos por cultivo, dependiendo del periodo vegetativo de éstos; el cultivo de cebolla nos muestra el menor intervalo de riego y el mayor número de riegos; lo inverso se presenta para la sandía, melón y pepino.

La metodología utilizada se describe en el anexo, para el cultivo de tomate.

Cuadro 23. Intervalo de riego, área a regar por día y número de riegos por ciclo vegetativo

Cultivo	Intervalo/riegos (días)	Area/día (ha)	Número d/riegos
Frijol	9	11.11	10
Cebolla	8	12.50	12
Tomate	10	10.00	11
Sandía	12	8.33	9
Melón	12	8.33	9
Pepino	12	8.33	9
Chile pimiento	10	10.00	11

FUENTE: Datos generados por el autor. Ver método en anexo.

## 2.11 Suministro de agua estacional para el proyecto

Una vez que se ha establecido cuáles han de ser los tipos y la intensidad de los cultivos, determinado el nivel de suministro y la eficiencia del sistema escogido, así como las necesidades de riego, se puede determinar el suministro de agua para los cultivos seleccionados.

El volumen estacional para riego por cultivo es el valor que servirá para evaluar la restricción de agua en el

proceso de optimizar los recursos disponibles, por lo que se tiene el cultivo de tomate y chile pimiento con el mayor volumen de agua requerido por ciclo de cultivo de  $8008 \text{ m}^3$  por hectárea y con el menor volumen el cultivo de frijol con  $5879 \text{ m}^3$ , (cuadro 24).

Cuadro 24. Volumen estacional por periodo vegetativo de los cultivos ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )

Cultivo	Lamina bruta ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )	Lamina neta ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )	Total ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )
Frijol	857	5013	5870
Cebolla	754	5390	6144
Tomate	1068	6940	8008
Sandía	1004	5248	6257
Melón	1004	5248	6257
Pepino	1004	5248	6257
Chile pimiento	1068	6940	8008

FUENTE: Datos generados por el autor. Ver método en anexo.

### 3. Hidrología

La fuente de agua que se utilizará es el río Mongoy o Quezalapa, del cual por medio de una presa derivadora se extraera  $0.1 \text{ m}^3/\text{seg}$ , que nos permitirá regar cien (100) hectáreas, que es el área que abarca el proyecto.

El abastecimiento de agua del proyecto debe atender las necesidades de riego durante el periodo vegetativo.

Para determinar el volumen que se va a derivar del río, es preciso saber las necesidades de abastecimiento de riego. El cálculo del suministro está relacionado con la frecuencia y -

profundidad de reconstitución de la humedad del suelo, el método de riego y tamaño del campo, por lo que se hace indispensable el análisis del régimen de caudales de la fuente a utilizar.

### 3.1 Curva de duración de caudales

Para llevar a cabo el estudio de caudales, se tomaron los datos reportados en 16 años de registro (1966-1982) de la estación hidrométrica "La Montañita", operada por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología -INSIVUMEH-, debido a que se encuentra localizada a 20 metros aguas arriba de la derivación del proyecto.

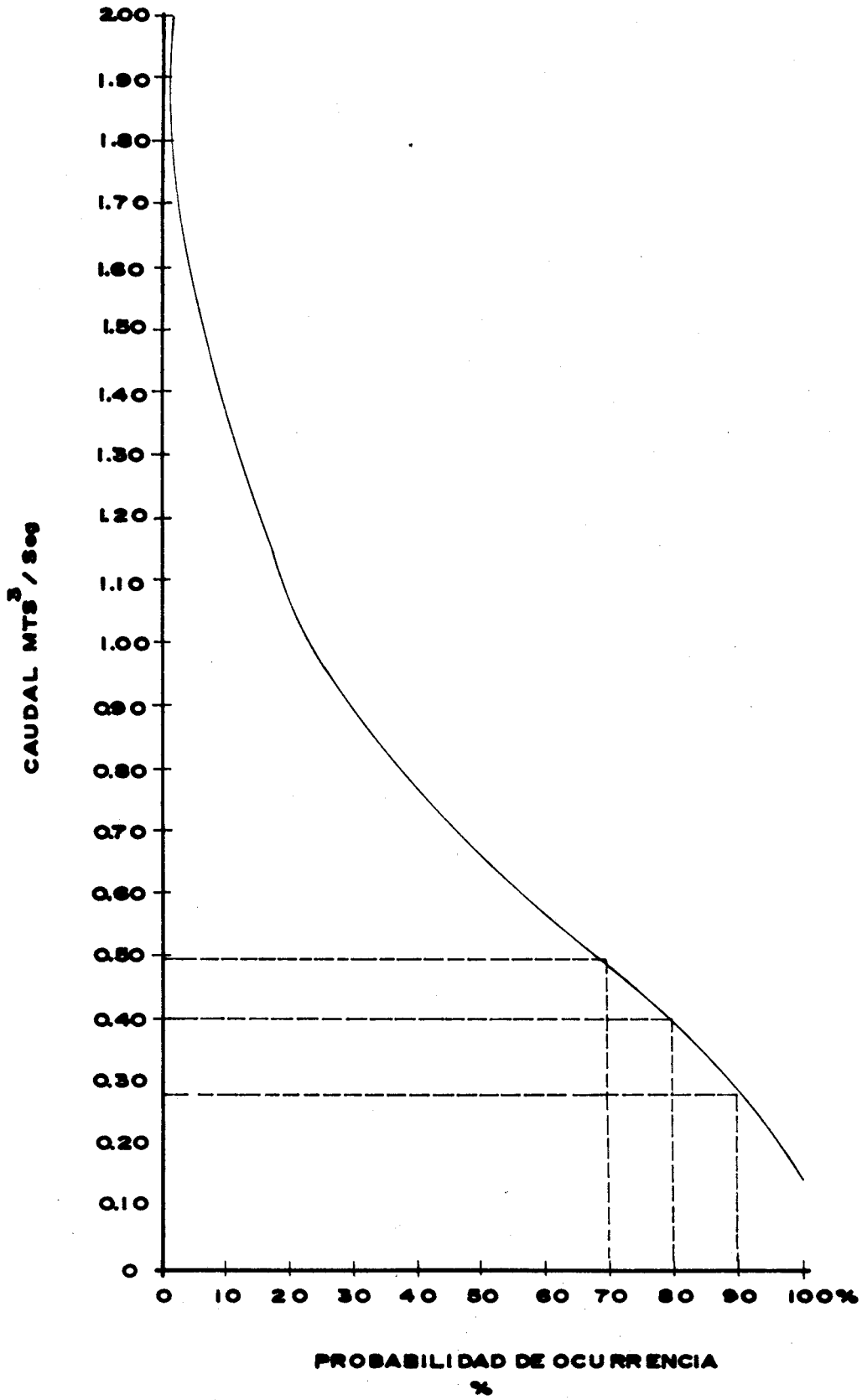
El análisis se realizó tomando los caudales medios mensuales, los cuales se ordenaron de mayor a menor, calculándose la probabilidad de ocurrencia a través del método de ploteo de Hazlem, 1930.

En la gráfica 2 y cuadro 25 de duración de caudales, se presenta que la probabilidad de 70, 80 y 90% se tendrá los siguientes caudales: 0.487, 0.406 y 0.279 m<sup>3</sup>/seg, lo cual asegura que el caudal del río es suficiente para poder cubrir las demandas requeridas por el proyecto.

Además el río Mongoy nos muestra en su record, un caudal medio mensual anual de 0.709 m<sup>3</sup>/seg, así como el caudal máximo medio reportado de 1,921 m<sup>3</sup>/seg para el mes de marzo de 1974, y un caudal medio mínimo de 0.200 m<sup>3</sup>/seg en el mes de junio de 1980 (cuadro anexo).

Los caudales máximos diarios son:

CURVA DE DURACION DE CAUDALES  
PROYECTO ALTO MONGOY



GRAFICA 2

5 años = 1.48 m<sup>3</sup>/seg  
 10 años = 1.77 m<sup>3</sup>/seg  
 15 años = 1.93 m<sup>3</sup>/seg  
 25 años = 2.13 m<sup>3</sup>/seg  
 40 años = 2.31 m<sup>3</sup>/seg

Cuadro 25. Probabilidad de ocurrencia de caudales a un intervalo de 10%

Probabilidad (%)	Caudal (Q) (m <sup>3</sup> /seg)	Probabilidad (%)	Caudal (Q) (m <sup>3</sup> /seg)
0.26	1.921	60.00	0.585
10.00	1.450	70.00	0.487
20.00	1.020	80.00	0.406
30.00	0.873	90.00	0.279
40.50	0.737	99.58	0.141
50.00	0.644		

FUENTE: Datos generados por el autor. Ver método en anexo.

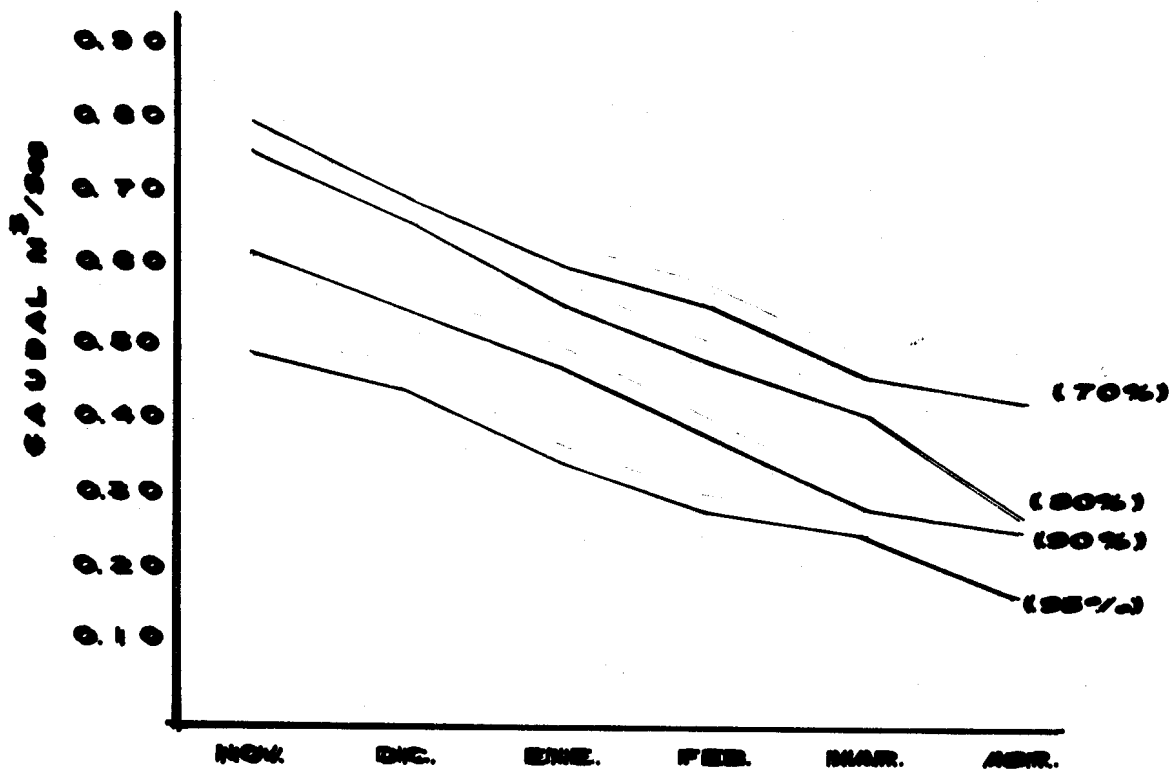
### 3.2 Curva de variación estacional

Este análisis nos ayuda a determinar los posibles caudales que se pueden presentar en la fuente de agua en el periodo de estiaje, por lo que se recurrió a tomar los caudales medios mensuales de los meses de noviembre a abril, ordenando estos de mayor a menor, calculando para cada uno de éstos, la probabilidad respectiva, como se podrá ver en el anexo.

En la gráfica 3, curva de variación estacional, se indica que los caudales para la temporada de verano, son significativamente superiores al caudal a derivar con el proyecto, debido a la probabilidad del 80% que es la adecuada para la operación

## CURVA DE VARIACION ESTACIONAL PROYECTO ALTO MONGOY

PROB(%)	NOV	DIC.	ENE.	FEB.	MAR	ABR
70	0.804	0.724	0.628	0.572	0.473	0.445
80	0.765	0.681	0.569	0.492	0.420	0.288
90	0.633	0.562	0.442	0.391	0.300	0.271
95	0.505	0.451	0.364	0.295	0.269	0.180



del sistema; tendremos caudales medios mayores de  $0.400 \text{ m}^3/\text{seg}$  a excepción del mes de abril que presenta  $0.288 \text{ m}^3/\text{seg}$ , lo que significa que se tendrá capacidad de tomar  $0.100 \text{ m}^3/\text{seg}$  de la fuente.

En resumen, el caudal que se presenta en el análisis de duración de caudales y en la curva de variación estacional, nos indica la factibilidad de tomar el caudal propuesto para el punto de derivación y conociendo los requerimientos de agua de cada uno de los cultivos, se hace necesario determinar el volumen de agua y tiempo de riego para satisfacer las necesidades de los cultivos, por lo que a continuación se presenta los volúmenes derivados en relación a las horas de operación del sistema (cuadro 26).

Cuadro 26. Volúmenes de agua por temporada de riego

Periodo de riego (hrs/día)	Volumen de agua ( $\text{m}^3/\text{temporada}$ )
8	316,800
10	396,000
12	475,200
14	554,400
16	633,600
18	712,800
24	950,400

FUENTE: Datos generados por el autor en base a ciclo de cultivo, horas de riego y caudal a derivar.

El tiempo de la temporada de riego es de 110 días; además, éstos valores serán los que se utilicen en la parte de optimización de los recursos, como valores de restricción en el proceso de maximización de los factores de la producción.



4. Optimización de los factores de la producción por medio de un modelo matemático de Programación lineal

4.1 Planteamiento del problema

De acuerdo a la caracterización realizada en la zona y a la determinación de los cultivos que se puede incluir en el plan de optimización, así como a los factores de la producción que son limitantes en el proceso productivo, se debe determinar los productos que se constituyen en las variables de la función objetivo, que combinados en forma adecuada proporcionan el ingreso al agricultor.

La función a optimizar será la función ingreso neto (IN) en quetzales, el cual considera el elemento costo que habrá sido descontado previamente.

La función objetivo es:

Maximizar

$$\text{I.N.} = 508x_1 + 1199x_2 + 1149x_3 + 902x_4 + 1036x_5 + 968x_6 + 1116x_7$$

El coeficiente que antecede a la variable es el ingreso neto que se obtiene al cultivar una unidad de área (hectárea).

Las variables representan los siguientes cultivos:

$x_1$  = frijol

$x_4$  = sandía

$x_2$  = cebolla

$x_5$  = melón

$x_3$  = tomate

$x_6$  = pepino

$x_7$  = chile pimiento

A continuación se muestra el modelo matemático que se planteó.

#### 4.2 Modelo matemático

Función objetivo:

Renglón 1

Max: ingreso neto (I.N) en quetzales

$$508x_1 + 1199x_2 + 1149x_3 + 904x_4 + 1036x_5 + 968x_6 + 1116x_7$$

Sujeto A:

Renglón 2

mano de obra (jornales)

$$63x_1 + 186x_2 + 165x_3 + 142x_4 + 183x_5 + 140x_6 + 67x_7 \leq 11990$$

Renglón 3

agua ( $m^3$ )

$$5870x_1 + 6144x_2 + 8008x_3 + 6257x_4 + 6257x_5 + 6257x_6 + 8008x_7 \leq 994000$$

Renglón 4

capital (quetzales)

$$983x_1 + 2181x_2 + 2151x_3 + 1898x_4 + 2044x_5 + 1752x_6 + 2264x_7 \leq 195340$$

Renglón 5

tierra (hectáreas)

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 \leq 100$$

Como se puede notar, la función objetivo está limitada por 4 restricciones sobre el ingreso neto; una explicación detallada del modelo es:

#### Renglón 1:

Es la función objetivo (I.N) la que indica la ganancia total que se obtiene al producir la combinación de cultivos de la solución óptima. Ejemplo:  $508x_1$ , ésto indica que por cada hectárea de frijol cultivada se obtendrá 508 quetzales de ganancia, más las ganancias de cada actividad presente en la solución óptima.

#### Renglón 2:

Mano de obra en jornales por hectárea: los coeficientes de las variables expresan los requerimientos de jornales por unidad de área producida; por ejemplo:  $63x_1$ , significa que se necesita 63 jornales para cultivar una hectárea de frijol.

#### Renglón 3:

Agua: puesto que el agua es el elemento a considerar para el desarrollo del proyecto y por ende, del proceso productivo, es necesario garantizarlo, por lo que los requerimientos de riego se calcularon con base en el volumen requerido por ciclo de cultivo en  $m^3/ha$ ; ejemplo:  $5870x_1$ , es decir que se requiere de  $5870 m^3$  de agua para producir una hectárea de frijol.

#### Renglón 4:

Capital: en este punto se podrá notar que el monto de inversión requerido para producir una unidad de área de los cultivos seleccionados en el plan de optimización; por ejemplo:  $983x_1$ , lo que indica el costo de producción necesario para cultivar una hectárea de frijol es de 983.0 quetzales.

#### Renglón 5:

Tierra: es una restricción definida por la extensión de tierra regable que posee el proyecto, como las variables de decisión representan hectáreas, únicamente en ésta restricción los coeficientes son unitarios.

En los renglones de las restricciones, el valor que limita cada una de éstas se encuentra localizado en la parte derecha de las expresiones; además, éstos valores se determinaron en la etapa de caracterización y para el presente estudio, solo el limite del renglón 3 que corresponde a la restricción agua se varía, ya que está en función del tiempo de riego como se podrá observar más adelante.

#### 4.3 Solución del planteamiento

Para resolver el problema se utilizó el Programa "lindo" - (lineal Interactive Discrete Optimizer), el cual es un optimizador interactivo para variables lineales y discretas.

El planteamiento tendrá 3 alternativas de solución, en las cuales sólo varía el valor limitante de la restricción agua, debido a que se calculó el volumen de agua con base en 3 tiempos de riego, en que el sistema puede funcionar, siendo estos:

Alternativa A: = 14 horas de riego

Alternativa B: = 16 horas de riego

Alternativa C: = 18 horas de riego

Los demás valores de las restricciones se mantendrán fijos.

##### 4.3.1 Solución de la alternativa "A"

Como se podrá observar en el cuadro de la solución de la alternativa "A", tenemos:

- a. El valor óptimo (V.O.) del planteamiento, que es la ganancia neta del sistema, cuando éste tiene un periodo

de riego de 14 horas es de 83341.54 quetzales, que proviene de la solución óptima de cultivar 6.067623 hectáreas -- del cultivo de frijol ( $X_1$ ), más 82.912420 hectáreas del cultivo de pepino ( $X_6$ ).

El valor óptimo proviene de la siguiente función de la solución óptima:

$$6.067623x_1 + 82.912420x_6 = 83341.59$$

$$6.067623 (508.0) + 82.912420 (968.0) = 83341.59$$

$$83341.59 = 83341.54$$

Resultados obtenidos utilizando 14 horas de riego (alternativa "A")

Valor de la función objetivo

Q 83341.54

Variable	Valor	Costo Reducido
X1	6.067623	0.000000
X2	0.000000	35.646480
X3	0.000000	6.877838
X4	0.000000	77.709838
X5	0.000000	183.760300
X6	82.912420	0.000000
X7	0.000000	51.587620

Renglón	Variable de Holgura	Precios Duales
2	0.000000	5.854891
3	0.000000	0.023704
4	45771.200000	0.000000
5	11.019950	0.000000

Análisis de sensibilidad, Rangos de coeficientes OBJ

Variable	Coefficiente Actual	Incremento Admisible	Disminucion Admisible
X1	508.00	50.199770	33.151390
X2	1199.00	35.646480	Infinito
X3	1149.00	6.877838	Infinito
X4	902.00	77.709840	Infinito
X5	1036.00	183.760300	Infinito
X6	968.00	160.888800	6.337009
X7	1116.00	51.587620	Infinito

Rangos de segundos miembros

Variable	Segundo Miembro Actual	Aumento Admisible	Disminución Admisible
2	11,990.00	414.666800	6039.880000
3	554,400.00	61197.790000	18532.640000
4	195,340.00	Infinito	45771.200000
5	100.00	Infinito	11.019950

Los valores dentro de los paréntesis son los ingresos netos de los cultivos seleccionados en la solución óptima.

b. La solución óptima nos muestra 6.067623 hectáreas del cultivo de frijol (X1) y 82.912420 hectáreas del cultivo de pepino (X6), que sumados ambos dan 88.98 hectáreas - del área total, lo cual nos indica el agotamiento de una o varias restricciones, lo que no permite utilizar las 100 - hectáreas de tierra disponible.

c. Costo reducido: cuando el valor de la variable es cero indica que al llegar a su punto óptimo, como se presenta en las variables X1 y X6. En el caso de las demás variables indica que al producir una hectárea se está teniendo una disminución del valor óptimo. Ejemplo: en la variable X2 (cebolla) al cultivar una hectárea se tendrá una disminución en el valor óptimo de 35.646480 quetzales.

d. Renglón: ésta columna sólo indica las restricciones que se están evaluando, por lo tanto, la función objetivo es el renglón 1 y las restricciones los siguientes renglones (2-3-4-5).

e. Columna variables de holgura: se puede notar que los resultados que se muestra con valores cero, renglones 2 y 3 corresponden a las restricciones mano de obra y agua respectivamente, fueron recursos completamente utilizados.

Los renglones 4 y 5 que se refieren a las limitaciones capital y tierra, respectivamente, muestran la parte de los recursos no utilizados (superávit) en la solución.

f. El precio dual: en la restricción agua (renglon 3), se interpreta como el índice de mejoría del valor óptimo (V.O), al aumentar la cantidad de agua disponible, o sea, al aumentar el volumen de agua disponible se estará ganando 0.023704 quetzales por metro cúbico de agua aumentado. Los mismo sucede en el renglon 1, que se refiere a la restricción de mano de obra, no así, con los renglones 4 y 5 los cuales son restricciones inactivas o recursos no utilizados por tener valor cero en la columna y valores positivos en la columna de variables de holgura, lo que indica recursos no utilizados.

## Análisis de sensibilidad

La porción de resultados de salida que se refiere al análisis de sensibilidad, se basa en la proposición de que todos los datos, con excepción de un número del problema, se conservan - fijos y que pedimos información sobre el efecto del cambio; en ésta parte del programa que le permite variar la información - en la que podría estar interesado, incluye: (1) el efecto sobre V.O. (máxima utilidad posible), y (2) el efecto sobre la solución óptima.

### a. Rangos de coeficientes OBJ

Las columnas de "incremento" y "disminución admisible" indica cuánto puede aumentar o disminuir el coeficiente del ingreso neto de las variables, sin alterar la solución óptima, - mientras los demás valores se conservan constantes, como la re - dituabilidad (beneficio que dá un capital). En este rango va - ría los valores del V.O., estará dando:

$$\begin{aligned} \text{V.O.} &= 508x_1 + 968x_6 \\ &= 508x_1 + (\text{redituabilidad de } x_6) \cdot X_6 \end{aligned}$$

Si asignamos el valor de 1050.0 en lugar de 968.0 el - coeficiente de  $X_6$ , que está dentro del rango admisible, siem - pre que la solución permanezca en el punto  $6.067623x_1 +$  -  $82.912420x_6$ , tendremos:

$$\text{V.O} = 508x_1 + 1050x_6$$

$$\text{V.O} = 508(6.067623) + 1050(82.912420)$$

$$\text{V.O} = 3082.3524 + 87058.041$$

$$\text{V.O} = 90140.393$$



Cuando un coeficiente se modifica en menos de la cantidad admisible, la solución óptima del modelo se observa aumento -- en el valor óptimo, pero no así la solución óptima que se mantiene.

Cuando un coeficiente en particular es aumentado en la cantidad admisible, habrá una solución óptima alterna con un valor óptimo mayor como en el siguiente caso: si cambiamos el coeficiente  $508X_1$  por  $506X_1$  proporciona una solución óptima alterna, lo mismo que el valor óptimo.

Si el valor óptimo de una variable es cero, como en la columna de costo reducido de las variables  $X_1$  (frijol) y  $X_6$  (pepino), puede notarse que el aumento admisible y la disminución admisible que corresponde a las demás variables ( $X_2, X_3, X_4, X_5$  y  $X_7$ ) será para el aumento admisible igual al valor del costo reducido y para disminución admisible el valor infinito.

El incremento admisible es el valor máximo que se puede aumentar al coeficiente de ingreso neto de las variables.

Disminución admisible es el valor máximo que se puede reducir al coeficiente de ingreso neto de las variables.

#### b. Rangos de los segundos miembros

En la columna del segundo miembro actual sólo presenta los valores de las restricciones que se planteó en el modelo matemático.

En la columna de aumento admisible indica el valor máximo que se puede aumentar cada una de las restricciones sin que se altere la solución óptima. En el caso de la restricción mano

de obra (renglón 2), el aumento admisible es 414.6668 jornales lo cual indica que el valor de la restricción puede aumentar a 12404.6668 jornales sin alterar la solución óptima. En el caso de los renglones 4 y 5 (capital y tierra), indica que hay disponibilidad de recursos que no fueron utilizados.

En la columna disminución admisible, es lo contrario del caso anterior; son los valores máximos que pueden disminuir las restricciones sin que se altere la solución óptima. En el caso de variar los valores de las columnas a los rangos permisibles, sólo se alterará el valor óptimo.

### Síntesis

Esta alternativa presenta un valor óptimo de Q 83341.559 - con una solución óptima de cultivos de frijol y pepino que cubre un área de 88.98 hectáreas del área total, restando de cultivar 11.02 hectáreas, dado a que las restricciones mano de obra y agua (renglón 2 y 3) se agotaron no así, las restricciones capital y tierra (renglón 4 y 5).

#### 4.3.2 Solución de la alternativa "B"

Para desarrollar esta alternativa se realizó un cambio en el valor de la restricción agua, que fue sustituido en el modelo matemático, por lo que queda de la siguiente forma:

Renglón 3:

Agua ( $m^3$ /ha/cultivo)

$$587X_1 + 6144X_2 + 8008X_3 + 6257X_4 + 6257X_5 + 6257X_6 + 8008X_7 \leq 633600$$

El valor de 633600 m<sup>3</sup> viene de un periodo de riego de 16 horas, por lo que debe presentar una nueva solución óptima y valor óptimo.

- a. El valor óptimo para esta alternativa es de Q 85,142.76 mayor que el que se presentó en la alternativa "A".
- b. Cambio en la solución óptima, que se presenta de la siguiente forma:

$$29.69996X_1 + 11.07589X_3 + 59.22415X_6$$

Lo que indica que hay 3 cultivos que son: frijol ( $X_1$ ), tomate ( $X_2$ ) y pepino ( $X_6$ ) que cubre un área de 100 hectáreas, mayor que en el planteamiento anterior y que cubre el área total del sistema, por lo que la restricción tierra ha sido utilizado en su totalidad.

- c. Costo reducido: las variables  $X_1$  (frijol),  $X_3$  (tomate) y  $X_6$  (pepino) presenta el punto óptimo, no así las demás variables ( $X_2$ ,  $X_4$ ,  $X_5$  y  $X_7$ ). Ejemplo:  $X_5$  (melón) que muestra un valor de 184.6784 quetzales que se pierde o reduce el valor óptimo si se cultiva una hectárea de melón.
- d. En la columna de variables de holgura, nos muestra la utilización total de las restricciones: mano de obra, agua y tierra (renglón 2, 3 y 5), no así, de la restricción capital, que presenta un superávit (recursos no utilizados).
- e. La columna de precios duales, en el renglón 3 (restricción agua), presenta una disminución en el índice de reutilización, comparado con la alternativa "A", en el caso "B" da un índice de 0.019472 quetzales de utilidad adicional que se obtiene si se incrementa un metro cúbico de

agua en el sistema.

En la restricción mano de obra (renglón 2), el aumento sería de 5.876158 quetzales por jornal que se incrementa.

En la restricción tierra (renglón 5), al incorporar -- una hectárea de tierra se puede aumentar el valor óptimo - en 23.449480 quetzales.

Estos parámetros están en relación directa al aumento permisible de cada una de las restricciones que se observan en el cuadro de rangos de los segundos miembros.

#### Análisis de sensibilidad

##### a. Rangos de coeficientes OBJ

En las columnas "incremento admisible" y "disminución admisible", en las variables  $X_1$ ,  $X_3$  y  $X_6$  nos presenta el aumento y disminución admisible en la redituabilidad de cualesquiera de las 3 variables anteriores, sin que cambie la solución óptima. Ejemplo: rango que presenta la variable  $X_1$  (frijol) es de 55.69691 que puede aumentar en relación al coeficiente actual o disminuir en 33.151180 quetzales con respecto al coeficiente actual, sin que con ello se altere la solución óptima. Entonces podemos señalar que en lugar de  $508X_1$  tendremos  $558X_1$ , en lo que respecta al ingreso neto.

Resultados obtenidos utilizando 16 horas de riego  
(alternativa "B")

Valor de la función objetivo

85142.76

Variable	Valor	Costo Reducido
X <sub>1</sub>	29.699960	0.000000
X <sub>2</sub>	0.000000	37.102940
X <sub>3</sub>	11.075890	0.000000
X <sub>4</sub>	0.000000	77.752340
X <sub>5</sub>	0.000000	184.674800
X <sub>6</sub>	59.224120	0.000000
X <sub>7</sub>	0.000000	44.752320

Renglón	Variable Holgura	Precios Duales
2	0.000000	5.876158
3	0.000000	0.019742
4	39744.470000	0.000000
5	0.000000	23.499480

Análisis de sensibilidad, Rangos de coeficientes OBJ

Variable	Coficiente Actual	Incremento Admisible	Disminución Admisible
X <sub>1</sub>	508.00	55.696910	33.151180
X <sub>2</sub>	1199.00	37.102940	Infinito
X <sub>3</sub>	1149.00	6.877796	31.649360
X <sub>4</sub>	902.00	77.752340	Infinito
X <sub>5</sub>	1036.00	184.674800	Infinito
X <sub>6</sub>	968.00	23.892170	6.337749
X <sub>7</sub>	1116.00	44.752320	Infinito

### Rangos de los segundos miembros

Renglón	Segundo Miembro Actual	Aumento Admisible	Disminución Admisible
2	11990.000000	2122.793000	3466.801000
3	633600.000000	72666.870000	18002.200000
4	195340.000000	Infinito	39744.570000
5	100.000000	3.241675	15.972600

Lo que aumentaría la redituabilidad sin alterar la solución óptima, el aumento en 50.00 quetzales del I.N. de la variable que es un valor por debajo del aumento admisible.

#### b. Rangos de los segundos miembros

En las columnas "aumento admisible" y "disminución admisible", presenta rangos que se puede incrementar o disminuir cada una de las restricciones planteadas en la columna de "segundo miembro actual", con el objeto de encontrar una nueva solución óptima.

En la restricción capital (renglón 4), presenta un superávit (recursos sin utilizar) en el aumento admisible; así - para encontrar una nueva solución óptima se requiere que disminuya Q 39744.57.

En los renglones 2, 3 y 5 que representan las restricciones: mano de obra, agua y tierra, fueron utilizados en su totalidad, por lo que para encontrar una nueva solución óptima se debe aumentar o disminuir el rango que se presenta en el cuadro de los segundos miembros, en relación a la columna de segundo miembro actual. En el caso de la restricción agua, se debe aumentar en 72666.87 con relación al valor de la ---

restricción, que es de 6333600, por lo que para la nueva solución el valor de la restricción debe ser mayor que  $706266 \text{ m}^3$ .

### Síntesis

El valor óptimo de la alternativa es Q 85142.76 con una solución que incluye 3 cultivos que sumados hacen un área de 100 hectáreas, igual que el área del sistema; las restricciones mano de obra, agua y tierra es utilizada en su totalidad; la restricción capital presenta un superávit (recurso no utilizado).

#### 4.3.3 Solución de la alternativa "C"

Para poder tener una nueva solución óptima, se debe elevar el valor de la restricción agua, arriba de  $706267 \text{ m}^3$ . Esto se logra aumentando el tiempo de riego de 16 a 18 horas, con lo que se tendrá un volumen de  $712800 \text{ m}^3$ , valor mayor que el requerido. Por lo que la expresión de la restricción agua en el modelo matemático sera:

$$\begin{aligned} &\text{Renglón 3} \\ &\text{Agua (m}^3\text{/ha/cultivo)} \\ &5870X_1 + 6144X_2 + 8008X_3 + 6257X_4 + 6257X_5 + 6257X_6 + 8008X_7 \\ &\leq 712800 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

La solución del modelo es la siguiente:

- a. El valor de la función objetivo, como se esperaba, aumentó en relación al aumento del valor de la restricción agua, por lo que se tiene 86557.75 quetzales de ingreso neto en el sistema.
- b. Con el aumento del valor óptimo se presenta una nueva

solución óptima de 2 cultivos: frijol ( $X_1$ ) y tomate -- ( $X_3$ ) que sumados hacen un área de 100 hectáreas, igual que la extensión total del sistema, por lo que la solución queda de la siguiente forma:

$$44.21569X_1 + 55.78431X_3$$

- c. En la columna de variables de holgura, la restricción agua (renglón 3) y la restricción capital presenta un superávit (recursos no utilizados) en comparación con las otras restricciones (renglón 2 y 5), en las cuales se utilizó el recurso en su totalidad.
- d. La columna de precios duales: la restricción mano de obra (renglón 2) indica que al aumentar en un jornal - la mano de obra se gana 6.289314 quetzales. El aumento en la función objetivo está:

Resultados obtenidos utilizando 18 horas de riego (alternativa "C")

Valor de la función objetivo

86557.75

Variable	Valor	Costo Reducido
$X_1$	44.215690	0.000000
$X_2$	0.000000	81.970560
$X_3$	55.784310	0.000000
$X_4$	0.000000	102.460800
$X_5$	0.000000	226.117600
$X_6$	0.000000	23.892130
$X_7$	0.000000	45.568580



Renglón	Variable de Holgura	Precios Duales
2	0.000000	6.289314
3	6533.121000	0.000000
4	31883.920000	0.000000
5	0.000000	112.088200

Análisis de sensibilidad, Rangos de coeficientes OBJ

Variable	Coefficiente Actual	Incremento Admisible	Disminución Admisible
X <sub>1</sub>	508.00	398.142500	69.290910
X <sub>2</sub>	1199.00	81.970560	Infinito
X <sub>3</sub>	1149.00	181.476200	31.649310
X <sub>4</sub>	902.00	102.460800	Infinito
X <sub>5</sub>	1036.00	226.117600	Infinito
X <sub>6</sub>	968.00	23.892130	Infinito
X <sub>7</sub>	1116.00	45.568580	Infinito

Rangos de los segundos miembros

Renglón	Segundo Miembro Actual	Aumento Admisible	Disminución Admisible
2	11990.00	311.683000	5690.000000
3	712800.00	Infinito	6533.121000
4	195340.00	Infinito	31883.920000
5	100.00	1.436018	27.333330

En relación al aumento admisible: en las restricciones agua y capital (renglon 3 y 4) se convierte en inactivas, debido a que si aumenta el valor de la restricción no repercute en el valor de la función objetivo, debido a que ésta se mantendrá inalterable.

## Análisis de sensibilidad

### a. Rangos de coeficientes OBJ

La variable  $X_1$  (frijol), en lo que se refiere al ingreso neto puede incrementarse en 398.142500 quetzales o disminuir en 69.290910 quetzales, sin que afecte la solución óptima, pero sí el valor óptimo.

La variable  $X_3$  (tomate), en lo que se refiere al ingreso neto actual puede incrementarse en 181.476200 quetzales o disminuir en 31.649310 quetzales, sin que se afecte la solución óptima, pero sí el valor óptimo.

### b. Rangos de los segundos miembros

En las restricciones mano de obra y tierra (renglón 2 y 5), se puede aumentar para que produzca una nueva solución óptima.

Lo mas importante en la restricción agua (renglón 2), es que el aumento admisible es infinito, lo que implica -- que si varía el valor de la restricción sea cualesquiera -- el valor, no cambia ni la solución óptima ni el valor de la función objetivo; éste último se refleja en la columna de precios duales, lo mismo sucedería con la restricción capital (renglón 4).

## Síntesis

El valor de la función objetivo es de Q 86557.75 con una solución óptima de 2 cultivos (frijol y tomate), con una extensión de 100 hectáreas igual al área total del proyecto; si se

umenta el valor de la restricción agua, no varía la solución óptima ni la función objetivo.

#### 4.4 Solución Óptima Seleccionada

En el presente estudio se presenta tres alternativas de siete analizadas debido a que presentan una mejor solución y valor óptimo, que se puede obtener al utilizar programación lineal (P.L) en el programa de desarrollo agrícola para el proyecto de riego "Alto Mongoy". Aunque las soluciones presentan cierta similitud, en lo que respecta al valor de la función objetivo (ingreso neto), se ha elegido la alternativa "B", por presentar las siguientes características:

- a. El plan de cultivos contempla tres cultivos, lo que permite obtener una mejor alternativa de comercialización.

El cultivo de pepino ( $X_6$ ) se puede llevar al mercado y extranjero; en el segundo caso, además del mercado se puede contar con el precio de garantía por parte de las empresas exportadoras, lo que asegura la recuperación del capital.

El cultivo de tomate ( $X_3$ ) tiene un buen potencial de mercado tanto nacional como extranjero; puede consumirse en fresco o venderlo a las compañías procesadoras de la ciudad capital para la industrialización.

El cultivo de frijol ( $X_1$ ), debido a que la región es buena productora tiene canales de comercialización establecidos y capacidad de almacenamiento.

- b. Las restricciones tierra (renglón 5), agua (renglón 3) y mano de obra (renglón 2), son utilizados en su totalidad.

Lo que permite a las familias con menor extensión de tierra, aumentar su ingreso familiar al vender su fuerza de trabajo en las fincas de mayor extensión, así como arrendar tierra.

- c. La rentabilidad que presenta el plan de cultivos de la alternativa "B:", es de 55% que proviene de la inversión de Q 155595.53 y de un ingreso neto de Q 85142.76, en comparación a la alternativa "C" que proporciona el 53% de rentabilidad, que proviene de una inversión de Q 163,345.08 y de un ingreso neto de Q 86557.75; a pesar que el segundo caso nos presenta un mayor ingreso neto también la inversión de capital es mayor con respecto a la alternativa "B".
- d. El periodo de operación del sistema de riego será de 16 horas, tiempo menor que la alternativa "C", lo que asegura en un momento de crisis, reducir el caudal de derivación y aumentar el tiempo de operación sin que se altere el plan óptimo de cultivos seleccionados.

#### 4.5 Tipificación de Fincas

Uno de los objetivos del estudio es la planificación de las actividades productivas del proyecto, lo cual permite estrategias para llevar a cabo un plan de desarrollo agrícola, por lo que se realizará una tipificación de fincas para plasmar en ella, la posible planificación de la solución óptima.

Dado que ni la estructura de tenencia de la tierra ni el tipo de explotación agrícola es homogénea en la zona del proyecto, se ha definido 4 tipos de explotación representativos, en los cuales se distribuirá la superficie a cultivar con base en

la solución óptima seleccionada, para obtener el mayor ingreso por unidad de explotación.

#### Finca tipo I

Con un tamaño promedio de 0.3 hectáreas: debido a lo pequeño de esta finca, se decidió por el cultivo de pepino, que es el que presenta la mayor rentabilidad con un ingreso neto de 290.40 quetzales, con inversión de Q 519.60, rentabilidad del 56% y costo de agua de 1877.1 m<sup>3</sup>. Los datos del grupo de fincas se describen en los cuadros 27 y 28.

#### Finca tipo II

Con extensión promedio regable de 1.4 hectareas: para lo que se ha programado 0.42 hectáreas del cultivo de frijol ( $X_1$ ), 0.16 hectáreas de tomate ( $X_3$ ) y 0.82 hectáreas de pepino ( $X_6$ ) con rentabilidad del 55% proveniente de un ingreso neto de Q 1007.12 y una inversión de Q 2177.26, para lo cual se emplea 167.7 jornales y 8877.4 m<sup>3</sup> de agua; los datos consolidados del grupo de fincas se presentan en los cuadros 27 y 28.

#### Finca tipo III

Con extensión promedio regable de 4.4 hectáreas, que será explotada de la siguiente forma: 1.33 hectáreas de frijol ( $X_1$ ), 0.5 hectáreas de tomate ( $X_3$ ) y 2.57 hectáreas de pepino ( $X_6$ ), que proporciona un ingreso neto de Q 3737.90, equivalente al 55% de rentabilidad, con inversión por finca de Q 6834.13, para lo cual se empleará 526.1 jornales de mano de obra y 27892.2 m<sup>3</sup> de agua. Los datos consolidados del grupo de fincas se presentan en los cuadros 27 y 28.

#### Finca tipo IV

Extensión promedio regable de 6.2 hectáreas que se distribuyen de la siguiente forma: 1.88 hectáreas de frijol ( $X_1$ ) 0.70 hectáreas de tomate ( $X_3$ ) y 3.62 hectáreas de pepino ( $X_6$ ), produciendo un ingreso neto de Q 5263.50, equivalentes al 55% de rentabilidad, con inversión de Q 9623.58 por finca, empleando 240.6 jornales de mano de obra y 39290.9 m<sup>3</sup> de agua. Los datos consolidados por grupo de fincas se presenta en los cuadros 27 y 28.

En los cuadros 27 y 28 se observa el área total en el sistema del cultivo de frijol ( $X_1$ ), que es de 29.68 has empleando 1869.84 jornales de mano de obra y 174221.60 m<sup>3</sup> de agua, con una inversión de Q 29,175.44, lo que proporciona un ingreso neto por Q 15077.44.

Para el cultivo de tomate ( $X_3$ ) el área total del sistema a utilizar es de 11.14 has con empleo de mano de obra por 1838.10 jornales, con un requerimiento de agua de 89209.12 m<sup>3</sup>, con un costo de inversión de Q 23534.14 lo que proporcionará un ingreso neto de Q 12799.86.

Para el cultivo de pepino ( $X_6$ ) el área total del sistema a utilizar es de 59.48 has con empleo de mano de obra de 7327.20 jornales y un requerimiento de agua de 372166.36 m<sup>3</sup>, con una inversión de Q 102019.36, lo que proporcionará un ingreso neto de Q 57576.64.

Cuadro 27. Ingreso neto por cultivo en cada finca tipo y total, y valor de cada una de las restricciones

Cultivo	Componente	Finca Tipo				Total
		I	II	III	IV	
Frijol ( $X_1$ )	Area		5.88	10.64	13.16	29.68
	Mano de obra		370.44	670.32	129.08	1869.84
	Vol. de agua		34515.60	62456.80	77249.50	174221.60
	Capital		5780.40	10459.12	12936.28	29175.44
	I Neto		2987.04	5405.12	6685.28	15077.44
Tomate ( $X_2$ )	Area		2.24	4.00	4.90	11.14
	Mano de obra		369.40	660.00	808.50	1838.10
	Vol. de agua		17937.92	32036.00	39239.20	89209.12
	Capital		4818.24	8176.00	10539.90	23534.14
	I. Neto		2573.76	4596.00	5630.10	12799.86
Pepino ( $X_6$ )	Area	2.10	11.48	20.56	25.34	59.48
	Mano de obra	294.00	1607.20	2878.40	3547.60	7327.20
	Vol. de agua	13134.70	71830.36	128643.92	158552.38	372166.36
	Capital	3637.20	19883.36	35609.92	43888.18	103019.36
	I. Neto	2032.80	11112.64	19902.08	24529.12	57576.64

REFERENCIAS: Areas (has); Mano de obra (jornal); Volumen de agua ( $M^3$ ); Capital (Q); I.Netto (Q).

FUENTE: Datos generados por el autor.

Cuadro 28. Ingreso neto y restricciones por finca tipo y total del área del sistema

Componente	Finca Tipo				Total
	I	II	III	IV	
Area (has)	2.1	19.60	35.20	43.40	100.30
Mano de obra (jornal)	294.0	2347.24	4280.72	5185.18	12035.14
Volumen agua (m <sup>3</sup> )	13139.7	124283.88	223132.72	275050.78	635597.08
Capital (Q)	3637.2	30481.64	54245.04	67364.36	155728.24
Ingreso Neto (Q)	2032.8	16673.44	29903.20	36844.50	85453.94

FUENTE: Datos generados por el autor.



## VII

### CONCLUSIONES

1. En la solución óptima que presenta el plan de cultivo:
  - a. Frijol-tomate- pepino (alternativa "B"), y
  - b. Frijol-tomate (alternativa "C")

La tierra disponible es utilizada en su totalidad y cumple efectivamente con las demás restricciones del modelo, especialmente la alternativa "B".

2. La alternativa "B" presenta una mayor rentabilidad, así como un plan de cultivos que involucra: frijol, tomate y pepino; los dos primeros tradicionales en la zona y de buena aceptación en el mercado nacional, y el tercero, presenta buenas posibilidades de exportación y de mercado interno, lo que podría implicar una rápida recuperación del capital, por lo que se decidió por esta solución.

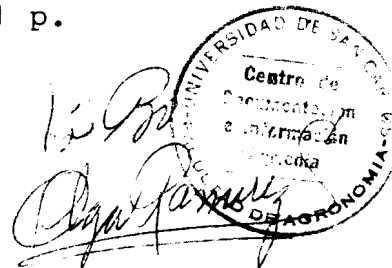
## VIII. RECOMENDACIONES

La solución que sugiere el modelo, debe ser tomada únicamente como indicador para la planificación; puesto que la programación lineal es una herramienta matemática, su aplicación está sujeta al criterio y conocimientos del investigador.

## BIBLIOGRAFIA

- 1) DAVIS, J; MEKEOWN, W. 1986. Modelos cuantitativos para la administracion. 2 ed. Mexico, Editorial Ibero Americano. 360 p.
- 2) ESPINOZA BERRIAL, H.M. 1975. Programacion lineal. Mexico, Pax. 166 p.
- 3) FAO (Roma). 1984. Necesidades de agua de los cultivos. - FAO. Estudio de Riego y Drenaje no. 24. 194 p.
- 4) GASS, S. 1972. Programacion lineal. Mexico, Continental. 356 p.
- 5) GOULD, K. 1987. Investigaciones de operaciones en la ciencia administrativa. Mexico, Prentice Hall. 433 p.
- 6) GUATEMALA. BANCO DE GUATEMALA. 1986. Estimacion de costos de produccion de los principales productos agricolas del país. Guatemala. 50 p.
- 7) \_\_\_\_\_ . DIRECCION DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES. - 1972. Proyecto de riego Bajo Mongoy. Guatemala. -- 125 p.
- 8) \_\_\_\_\_ . DIRECCION TECNICA DE RECURSOS NATURALES. 1981. Unidades de suelos y potencial del suelo. Guatemala. 84 p.
- 9) \_\_\_\_\_ . DIRECCION TECNICA DE RIEGO Y AVENAMIENTO. 1986. Estadisticas agricolas de las unidades de riego. Guatemala. 168 p.
- 10) \_\_\_\_\_ . INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGIA, VULCANOLOGIA, METEOROLOGIA E HIDROLOGIA. 1984. Resumen de boletines climatologicos e hidrologicos, estacion Asuncion Mita y La Montanita, Asuncion Mita, Jutiapa. Guatemala. - 4 p.
- 11) GUROVICH, L.A. 1985. Fundamento y diseno de sistemas de riego. San Jose, Costa Rica, IICA. 43 p.
- 12) HOLDRIDGE, L.R. 1975. Taller sobre mapificacion ecologica en el nivel de zona de vida. s.n. 21 p.

- 13) MAZARIEGOS, F.J. 1965. Estudio semi-detallado de suelos y reconocimiento agrológico general para irrigación del valle de Asunción Mita, Jutiapa, Guatemala. Guatemala Ministerio de Agricultura, División de Recursos Naturales, División de Suelos. 256 p.
- 14) MENA MARTINEZ, J.A. 1980. Notas de programación lineal. Chapingo, México, Universidad Autónoma de Chapingo. 195 p.
- 15) PRIVADO MEDRANO, A. 1986. La aplicación de un modelo de programación en el sector agrícola. Tesis Lic. Eco. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Economía. 54 p.
- 16) SANDOVAL FABIAN, A.R. 1986. Ensayo para la aplicación de un modelo de programación lineal para optimizar recursos financieros de inversión en el Instituto de Fomento Municipal. Tesis Lic. Eco. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Economía. 62 p.
- 17) SANTIAGO ARRELLANO, C.R. 1986. Características socio-económicas de la sub-cuenca media del Río Grande de Zapapa. Tesis Lic. Eco. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Economía. 54 p.
- 18) SIMMONS, CH.; TARANO, J.M.; PINTO, J.H. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José Pineda Ibarra. 1000 p.
- 19) VOKVHL, P. 1966. Programación lineal. México, Sagitario. 85 p.
- 20) WYSS OROZCO, J.R. 1987. Estudio de factibilidad de aprovechamiento para riego, ríos Quezalapa-Ostua. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 61 p.



## ANEXO

### Determinación del Consumo de Agua o Evapotranspiración

La determinación de la evapotranspiración se calculó para todos los cultivos en diferentes épocas de siembra, siendo la temporada más crítica la comprendida entre enero y abril; para fines de demostración de la metodología utilizada, se tomó como base el cultivo de tomate.

El método utilizado fue el de Blaney-Criddle, modificado por Phelan, el cual presenta la siguiente expresión básica:

$$E_t = K \times F$$

donde:

$E_t$  = evapotranspiración real total del cultivo, expresado como lámina de agua en centímetros

$K$  = coeficiente total de ajuste que depende del cultivo y la ubicación de la zona de estudio

$$F = \sum_i^h f$$

$$f = \frac{(T = 17.8)}{21.8} \times P$$

$T$  = temperatura media mensual en °C

$P$  = porcentaje de insolación mensual con respecto al total anual

La determinación de la evapotranspiración real para el cultivo de tomate sembrado en enero, se presenta en el siguiente cuadro.

Cuadro 1-A. Determinacion de la evapotranspiracion real para el cultivo de tomate

Mes	Duracion	T °C	$\frac{17+T^{\circ}C}{21.8}$	P(%)	f(cm)	1ct	f*kt	Kc	E <sub>tc</sub> (cm)	E <sub>t</sub> ' (cm)	E <sub>t</sub> acum
Ene.	0.7	24.8	1.95	9.65	13.17	1.01	13.30	0.45	5.98	4.66	4.66
Feb	1.0	25.8	2.00	10.00	20.00	1.04	20.80	0.75	15.60	12.16	16.82
Mar	1.0	26.7	2.04	9.98	20.36	1.07	21.78	1.15	25.05	19.53	36.35
Abr.	1.0	27.7	2.04	9.91	20.71	1.12	23.19	0.85	19.70	15.36	51.71
					74.24				66.33	51.71	

92

$$Kt = 0.031144 T^{\circ}C + 0.2396$$

$$E_t = K_g * f = 0.7 * 7424 = 51.96$$

Entonces E<sub>t</sub> etc; porque 51.96 66.33 ; por lo tanto hay que encontrar el factor de ajuste:

Fc = factor de ajuste

$$Fc = K_g/K, \text{ entonces } K_g = 0.70, \text{ y } K' = etc/f$$

$$K' = 66.33/7424$$

$$K' = 0.89$$

$$Fc = 0.70/0.89 = 0.78$$

Fc = 0.78, multiplicar este valor por cada uno de los datos de la columna etc (cm) y tendremos "etc"

## Determinación de los Requerimientos de Riego

Una vez determinada la evapotranspiración real del cultivo, para la época de siembra más crítica, se calculó los requerimientos de riego con base en la siguiente expresión:

$$R_r = E_t - P_e$$

donde:

$R_r$  = requerimiento de riego

$E_t$  = evapotranspiración calculada

$P_e$  = precipitación efectiva

Para el cálculo de la precipitación efectiva se utilizó el método de Blaney Criddle, el cual propone una tabla de coeficientes de aprovechamiento de acuerdo a cada pulgada de lluvia observada. Por lo que a continuación se presenta el cálculo de la lluvia efectiva.

Cuadro 2-A. Cálculo de lluvia efectiva

Mes	$P_p$ (mm)	Coefficiente/Aprovech.	$P_e$ (mm)	$P_e$ (cm)
Ene.	0.55	0.95	0.52	0.052
Feb.	1.00	0.95	0.95	0.095
Mar.	1.25	0.95	1.18	0.118
Abr.	46.10	0.90	41.49	4.149

Por lo tanto, los requerimientos de riego para la época crítica queda de la siguiente forma (cuadro 3-A):

Cuadro 3-A. Requerimiento de riego para el cultivo de tomate

Mes	$E_t'$ (cm)	$P_e$ (cm)	Rr (cm)	Rr acumulado
Ene.	4.66	0.052	4.61	4.60
Feb.	12.16	0.095	12.06	16.67
Mar.	19.53	0.118	19.41	36.08
Abr.	15.36	4.149	11.21	47.29

Determinación de la Lámina de Humedad Aprovechable

Se determinó mediante la siguiente expresión

$$LHA = \frac{cc - pmp}{100} \times da * z$$

donde:

LHA = lámina de humedad aprovechable del estrato (cm)

cc = porcentaje de humedad o capacidad de campo del estrato

pmp = punto de marchitez permanente del estrato

Da = densidad aparente del estrato

z = profundidad del estrato (cm)

En el siguiente cuadro se presenta el cálculo y resultado de la lámina de humedad aprovechable para el cultivo de tomate.



Cuadro 4-A. Lamina de humedad aprovechable (cm),  
cultivo de tomate

Profundidad del suelo (cm)	% CC	% PmP	Da	LHA (cm)
0-15	30.67	17.41	1.2614	2.51
15-32	32.59	18.60	1.2117	2.88
32-45	40.09	20.54	1.0900	2.77
45-60	41.19	20.00	1.0584	3.66
Total:				11.56

#### Determinacion de la Lamina de Riego Bruta y Neta

La lamina de riego neta se define como aquella que es necesario aplicar al cultivo en cada riego para mantener la humedad del suelo, en tensiones para ser facilmente aprovechable.

La lamina neta de riego es la misma que la lamina de humedad aprovechable, multiplicada por el umbral de riego, por lo que para encontrar esta tenemos:

$$LN = U.R. (LHA)$$

donde:

LN = lamina neta (cm)

UR = porcentaje de la lamina de agua aprovechable que puede permitirse ser usada por el cultivo, sin que este se resienta

LHA = lamina de humedad aprovechable (cm)

Como todos los cultivos seleccionados son susceptibles a la falta de humedad, se utilizó el 60% de la lámina de humedad aprovechable.

Cálculo de L.N. para el cultivo de tomate

$$LN = 0.60 (11.56 \text{ cm})$$

$$LN = 6.94 \text{ cm}$$

La lámina de riego bruta es la lámina que debe aplicarse después de considerar un porcentaje de eficiencia de aplicación sobre la lámina de riego neta.

El porcentaje de aplicación que se utilizó es de 0.65, por ser el método utilizado, riego por gravedad, según el Instituto Internacional para la Reclamación y Mejora de Tierras -ICID-.

Para determinar la lámina bruta se utiliza la siguiente expresión:

$$LB = \frac{LN}{Fa}$$

donde:

LB = lámina bruta (cm)

LN = lamina neta (cm)

Fa = eficiencia de aplicación (%)

entonces, la LB para el cultivo de tomate es la siguiente:

$$LB = \frac{6.94}{0.65} \text{ cm}$$

$$LB = 10.68 \text{ cm}$$

## Determinación del Intervalo de Riego

Conociendo los valores de la lámina bruta y neta del cultivo de tomate y tomando en consideración su ciclo vegetativo, entramos a calcular a través de un método analítico el -- intervalo de riego, por medio de la siguiente expresión:

$$E_t \text{ crítico diario} = \frac{E_t' \text{ mes crítico (mm)}}{\text{días del mes}}$$

donde:

$E_t$  crítico diario = evapotranspiración diaria promedio

$E_t'$  mes crítico,

valor del mes más crítico = evapotranspiración calculada del mes más crítico del cultivo.

Días del mes = días que tiene el mes más crítico

Por lo que para el cultivo tenemos:

$$E_t \text{ crítico diario} = \frac{195.3 \text{ mm}}{31 \text{ días}} = \frac{6.30 \text{ mm}}{\text{día}}$$

Intervalo de riego, es el periodo que debe pasar entre -- dos riegos, para lo cual se utiliza la siguiente fórmula:

$$I.R. = \frac{LN \text{ (mm)}}{E_t \text{ crítico diario}}$$

donde:

I.R = intervalo de riego

LN = lámina neta

Por lo tanto, el IR de riego para el cultivo de tomate, tenemos:

$$\text{I.R.} = \frac{69.4 \text{ mm}}{6.3 \text{ mm/día}} = 11.0 \text{ días}$$

Para tener mejor rango de seguridad, el IR de riego quedará en 10 días.

El área a regar por día se calcula de la siguiente forma:

$$\text{A. a regar/día} = \frac{\text{área total}}{\text{IR}}$$

$$\text{A. a regar día} = \frac{100 \text{ has}}{10 \text{ días}}$$

$$= 10 \text{ has.}$$

El número de riegos está relacionado con el ciclo vegetativo del cultivo y el intervalo de riego, por lo tanto tenemos:

$$\text{Número de riegos} = \frac{\text{ciclo vegetativo}}{\text{IR}}$$

$$\text{Número de riegos} = \frac{110 \text{ días}}{10 \text{ días}} = 11 \text{ riegos}$$

Por lo que tenemos 11 riegos, de los cuales uno se aplica la lámina bruta y 10 la lámina neta, lo que significa que al calcular el volumen de agua necesario para el cultivo de tomate se requiere de  $8008 \text{ m}^3$ .

Cuadro 5-A. Caudales medios mensuales, Proyecto "Alto Mongoy"  
Estación "La Montañita", No. 10.2.6

Años	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
66-67	1.443	1.383	1.182	0.906	0.682	0.608	0.585	0.557	0.607	1.775	1.731	1.606
67-68	0.973	0.754	0.557	0.476	0.703	0.546	0.487	0.515	0.673	0.846	0.858	0.989
68-69	0.486	0.380	0.291	0.272	0.443	0.340	0.379	0.531	0.424	0.440	1.039	0.649
69-70	1.251	0.876	0.765	0.765	0.213	0.167	0.181	0.300	0.500	1.001	0.780	1.386
70-71	0.626	0.564	0.512	0.448	0.654	0.680	0.744	0.582	0.587	0.732	0.765	0.713
71-72	1.747	1.635	1.406	1.427	0.843	0.430	0.176	0.267	0.279	1.415	1.834	1.808
72-73	0.633	0.610	0.498	0.443	1.844	1.322	1.018	0.941	0.927	0.943	0.916	0.750
73-74	1.468	1.695	1.921	1.582	1.484	0.976	0.670	0.609	0.642	0.966	1.126	1.160
74-75	1.030	0.713	0.597	0.595	1.430	1.430	1.530	1.530	1.520	1.610	1.680	1.600
75-76	0.930	0.829	0.746	0.681	0.585	0.509	0.420	0.377	0.477	0.736	1.020	0.999
76-77	0.545	0.493	0.473	0.628	0.663	0.632	0.866	0.901	0.825	0.734	0.618	0.552
77-78	0.312	0.259	0.259	0.141	0.294	0.294	0.334	0.331	0.324	0.369	0.456	0.408
78-79	0.861	0.591	0.438	0.294	0.920	0.740	0.860	0.212	0.297	0.621	0.961	0.961
79-80	0.579	0.492	0.378	0.274	0.254	0.246	0.268	0.280	0.280	0.693	0.696	0.365
80-81	0.818	0.661	0.473	0.489	0.225	0.200	0.294	0.430	0.615	0.945	1.036	0.930
81-82	1.120	1.120	0.679	0.627	0.277	0.254	0.544	0.672	0.804	1.051	1.260	1.120

Cuadro 6-A. Curva de variación estacional

Número	Probabilidad	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.
1	3.12	1.834	1.808	1.747	1.695	1.921	1.382
2	9.38	1.731	1.606	1.468	1.635	1.406	1.427
3	15.62	16.800	1.600	1.443	1.383	1.182	0.906
4	21.88	1.260	1.386	1.251	1.120	0.765	0.765
5	28.12	1.126	1.160	1.120	0.876	0.746	0.681
6	34.38	1.039	1.120	1.030	0.826	0.679	0.628
7	40.62	1.036	0.999	0.997	0.754	0.597	0.627
8	46.88	1.020	0.989	0.930	0.713	0.557	0.595
9	53.12	0.961	0.961	0.861	0.661	0.512	0.487
10	59.38	0.961	0.830	0.818	0.610	0.448	0.476
11	65.62	0.858	0.750	0.633	0.591	0.473	0.448
12	71.88	0.780	0.713	0.626	0.564	0.473	0.443
13	78.12	0.765	0.695	0.579	0.493	0.438	0.294
14	84.38	0.765	0.649	0.545	0.492	0.378	0.274
15	90.62	0.648	0.552	0.486	0.380	0.291	0.272
16	96.88	0.456	0.408	0.312	0.259	0.259	0.141

## Período de Retorno de Caudales

Para lo cual fue necesario recabar los caudales máximos - anuales registrados en la estación hidrométrica, a través de los boletines del INSIVUMEH, que son los siguientes:

Cuadro 7-A. Caudales máximos anuales  
Estación "La Montañita"  
Proyecto "Alto Mongoy"

Año	Caudal (m <sup>3</sup> /seg)
1967-1968	1.072
1968-1969	0.765
1969-1970	1.475
1970-1971	0.765
1971-1972	1.872
1973-1974	1.992
1974-1975	1.780
1975-1976	1.070
1976-1977	0.908
1977-1978	0.500
1978-1979	0.500
1979-1980	0.782
1980-1981	1.036
1981-1982	1.307

Para el análisis de la información se utilizó la distribución de Gumbel, que es la siguiente:

Cuadro 8-A. Metodología para análisis de periodo de retorno según la Distribución de Gumbel

Caudal máximo anual	$Q - \bar{Q}$	$(Q - \bar{Q})^2$
1.982	0.862	0.743
1.872	0.724	0.550
1.780	0.650	0.442
1.425	0.345	0.119
1.307	0.177	0.031
1.072	-0.058	0.003
1.070	-0.060	0.004
1.036	-0.094	0.009
0.908	-0.222	0.049
0.782	-0.348	0.121
0.765	-0.365	0.133
0.765	-0.365	0.133
0.500	-0.630	0.397
0.500	-0.630	0.397
Total 15.824		3.111

$$\bar{x} = 15.824/14 = 1.130$$

$$s_x = \left( \frac{(Q - \bar{Q})^2}{N - 1} \right)^{1/2} = \left( \frac{3.111}{14-1} \right)^{1/2} = 0.489$$

$$\alpha = \frac{1.281}{s_x} = 2.61$$

$$B = \bar{x} - 0.45065 s_x = 0.91$$

$$\text{Fórmula: } P(Q > \bar{Q}) = e^{-e^{-\alpha(Q - B)}}$$

Por lo tanto, los caudales máximos diarios anuales calculados son:



5 años	1.48 m <sup>3</sup> /seg
10 años	1.77 m <sup>3</sup> /seg
15 años	1.93 m <sup>3</sup> /seg
25 años	2.13 m <sup>3</sup> /seg
40 años	2.31 m <sup>3</sup> /seg.




FACULTAD DE AGRONOMIA  
GUATEMALA, C. A.

19 - IV - 89

"IMPRIMASE"



  
ING. AGR. ANIBAL B. MARTINEZ M.  
D E C A N O