

ESCUELA DE AGRICULTURA Y GANADERIA  
DE LA UNIVERSIDAD DE SONORA

DETERMINACION DEL PATRON OPTIMO DE CULTIVOS  
CON RESTRICCIONES DE AGUA, TIERRA Y MANO DE  
OBRA PARA LA REGION DE GRANADOS Y HUASABAS,  
SONORA, UTILIZANDO LA TECNICA DE PROGRAMA-  
CION LINEAL.

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA -  
OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
AGRONOMO FITOTECNISTA.

POR

JOSE ULDARICO DURAZO BARCELO

1979

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

# I N D I C E

	PAGINA
INTRODUCCION . . . . .	1
Objetivos . . . . .	3
LITERATURA REVISADA . . . . .	6
Administración Agropecuaria . . . . .	6
Organización . . . . .	6
La Contabilidad, herramienta importante en la planeación, ejecución y control . . . . .	7
Breve descripción de la Programación Lineal .	9
Experiencias con ésta técnica . . . . .	15
MATERIALES Y METODOS . . . . .	21
Descripción y ubicación del área de estudio .	21
Antecedentes . . . . .	23
Factores Socio-económicos de la región en es- tudio . . . . .	24
Disponibilidad de recursos . . . . .	27
Selección de actividades . . . . .	30
Metodología . . . . .	33
Formulación de la matriz. . . . .	34
RESULTADOS Y DISCUSION . . . . .	40
RESUMEN Y CONCLUSIONES . . . . .	53
BIBLIOGRAFIA . . . . .	57

## INDICE DE TABLAS

TABLA No.		PAGINA
1	<p><i>Fechas de siembra y cosecha de cultivos seleccionados, para la construcción del modelo de Programación Lineal. Valle de Huásabas y Granados, Sonora. . . . .</i></p>	30
2	<p><i>Consumo de agua en los cultivos por hectárea, senda de mercado y mano de obra a utilizar por hectárea en cada cultivo, dado en horas-hombre. . . . .</i></p>	31
3	<p><i>Rendimiento, precio del producto, valor de la producción, costo variable e ingreso neto sobre costo variable, de los cultivos, en el Valle de Huásabas y Granados. Los precios y costos fueron dados para el medio rural . . . . .</i></p>	32
4	<p><i>Actividades que intervienen en el modelo y su identificación Fortran. . . . .</i></p>	37
5	<p><i>Precios sombra de la alternativa A1 (1000 hectareas físicas). . . . .</i></p>	42

TABLA No.

PAGINA

6	Precios sombra de la alternativa A2 - (1150 hectareas físicas) . . . . .	44
7	Precios sombra de la alternativa A3 - (1300 hectareas físicas) . . . . .	46

## INDICE DE GRAFICAS

GRAFICA No.		PAGINA
1	Total de agua a utilizar según el patrón óptimo de cultivos respectivo. . . . .	50
2	Incremento de ganancias en miles de pesos al aumentar el número de hectareas de cultivo. . . . .	51
3	Incremento de mano de obra al aumentar el número de hectareas de cultivo . . . . .	52

INDICE DE MAPAS

No.	PAGINA
1.- Localización de los municipios de Huásabas y Granados, Sonora . . . . .	39

## INTRODUCCION

El sector agropecuario es en nuestro país el que ab sorbe un gran porcentaje de nuestra población, formando uno de los pilares básicos en los que se sostiene la economía na cional. La región noroeste de México es una de las áreas de mayor importancia agrícola a nivel nacional, considerándose la zona de riego de mayor expansión de la República, lo que ha hecho posible el desarrollo y aplicación de la técnica agrícola más moderna con resultados sumamente satisfactorios para el incremento de divisas y producción en la fuente alimenticia de la dieta del pueblo mexicano.

El sector agrícola llamado primario, refleja un bajo incremento de producción y un mal aprovechamiento de recursos, caso concreto del agua y tierra productiva en el Valle de Huá s abas y Granados, Sonora, por falta de una buena administración y uso de las mismas. Por otra parte, aunque los recursos hidráulicos propios de la región Noroeste tienen un alto índice de aprovechamiento, existen aún importantes extensio nes de tierra aptas para el desarrollo agrícola que no han sido beneficiadas con riego por escasez de agua, indicando é sto la amplia demanda del recurso hidráulico y la necesidad de hacer de él un óptimo aprovechamiento.

El avance observado actualmente, en las obras camine e



ras que realiza el sector público en sus esfuerzos por comu  
nicar las apartadas poblaciones de la sierra sonorenses con  
el resto del país, ha comenzado a hacer sentir sus efectos  
al permitir un gran incremento en el intercambio de produc  
tos entre la región costera y aquellas poblaciones. Aunque  
la tradición de siglos y la escasez de oportunidades para  
participar en los mercados agrícolas, hicieron que la zona  
serrana dependiera casi exclusivamente de las actividades  
ganaderas, con la consecuente vulnerabilidad económica a cual-  
quier circunstancia adversa a ese sector, siendo hasta fe-  
chas recientes en que se ha decidido impulsar el desarrollo  
agropecuario aprovechando el área comprendida en estas zonas  
donde puede encontrarse una gama de alternativas para la crea  
ción de fuentes de trabajo.

Sin embargo se desconoce la potencialidad agrícola  
de la región en términos de los cultivos susceptibles de ser  
introducidos o del mejor aprovechamiento de los ya existen-  
tes, debido precisamente a que los intentos realizados hasta  
la fecha en materia agrícola han sido mínimos, ya que se ca  
rece de los estudios que permitan obtener un mayor conoci  
miento acerca de las características agronómicas propias de  
la región.

El presente trabajo tiene como finalidad el estable

cimiento de las restricciones y oportunidades que ofrece la región considerada, con el propósito de identificar los cultivos más adecuados, determinando un patrón óptimo, tomando en cuenta criterios tales como el monto de la inversión necesaria, requerimientos de consumo nacional, rendimientos, redituabilidad de los cultivos, y su requerimiento de mano de obra etc. pretendiendo así, llevar a un grupo del sector agropecuario un beneficio social y ver también las posibles alternativas que en un momento dado pueden ser utilizadas por quienes toman las decisiones en nuestro sistema. Esto implica un mejor uso de los recursos en un área determinada y una maximización de retornos al productor por unidad de recurso escaso, o sea por hectárea de tierra y metro cúbico de agua utilizada, para lo cual se hará uso de técnicas de optimización, entre las cuales se encuentra la programación lineal.

#### OBJETIVOS

Los objetivos principales del presente estudio son los siguientes:

1.- Determinar los cultivos óptimos que habrán de recomendarse, para la implementación de programas de inversión y promoción adecuados para el desarrollo de actividades agrí colas entre las poblaciones de Huásabas y Granados.

2.- Obtener la información necesaria para la toma de

decisiones que en un momento dado se necesite en la elaboración de proyectos de infraestructura que ayuden, directamente, a un mejor uso y aprovechamiento de los recursos existentes aplicados en la agricultura para el incremento de mejores cosechas, e indirectamente eleven el nivel de vida de los usuarios.

3.- Establecer, mediante la utilización de nuevas técnicas, los cultivos específicos que más se adecúen a la región, así como la superficie recomendada para cada uno de ellos.

4.- Proporcionar las bases para el establecimiento de un mayor número de empleos en la región y para el mejoramiento de las condiciones alimenticias de su población, de acuerdo a las políticas establecidas por el presente régimen federal.

5.- Presentar fundamentos concretos para detener las corrientes migratorias de las regiones serranas, aminorando las presiones sociales existentes sobre los centros urbanos de la entidad.

La preparación de proyectos dentro de la planeación agrícola, no es el único aspecto importante; la determinación de objetivos nacionales de desarrollo agrícola, la selección de zonas prioritarias para la inversión, la formulación de políticas eficaces y la movilización de los recursos son de

importancia decisiva, pero en la mayoría de las actividades de desarrollo agrícola, una preparación cuidadosa de los proyectos antes de realizar las inversiones es, si no absolutamente esencial, si por lo menos el mejor medio que existe - para lograr una utilización eficiente de los recursos naturales, humanos y financieros, siendo además mayores las posibilidades de que los proyectos contribuyan a lograr los objetivos que en el plan de desarrollo se han fijado al sector agrícola.

## LITERATURA REVISADA

### Administración Agropecuaria.

La administración es el proceso intelectual mediante el cual se hacen las decisiones relacionadas con la asignación de recursos disponibles (limitados), entre alternativas competitivas, para alcanzar el máximo de beneficio o metas para el productor agrícola y su familia [1].

La administración de la empresa agrícola es cada día más compleja y tomando en cuenta las condiciones actuales, requiere una administración moderna igual que los otros tipos de empresa. La administración buena de cualquier empresa deberá tener todas las funciones del proceso administrativo: organización, planeación, ejecución y control [1].

### Organización.

La organización en la producción agrícola tiene que partir de las leyes naturales que gobiernan la producción. Las leyes naturales de la producción comprenden a la planta o animal, y todos los procesos fisiológicos, a los factores o insumos que influyen en ella.

Hay que tomar en cuenta que el rendimiento y el provecho que puedan obtenerse de los recursos disponibles en la producción agrícola, dependen mucho de la organización técnica que se adopte [1].

La contabilidad herramienta importante en planeación, ejecución y control.

La contabilidad es la base para la evaluación, análisis, control y planeación de la empresa agropecuaria. Es sorprendente que en la actualidad, gran parte de las empresas agropecuarias del noroeste y de otras partes del país, establecidas a base de fuertes inversiones no la utilizan o muestran deficiencia en esta herramienta, como lo menciona Hoffman(9). Generalmente la administración que utiliza el agricultor es resultado de la experiencia y la observación y se diferencia de la administración científica en que ésta es producto del estudio sistematizado de hechos, principios y métodos (17).

La investigación de operaciones es un conjunto de técnicas que esencialmente aplican el método científico en la resolución de problemas de distinta índole (10). Hay otros problemas que son inherentes, sobre todo a la administración tradicional de empresas agropecuarias. Estos abarcan la adquisición y combinación adecuada y administración de los recursos necesarios para emprender una actividad agrícola y la selección y armonización de actividades. En este tipo de problemas es en donde la administración de empresas agropecuarias, como disciplina de estudio, ha contribuido más notoriamente (5).

Causas diversas han modificado la estructura de la agricultura mexicana, las políticas agrícolas y la evolución espontánea han dado a la agricultura de nuestro país una estructura peculiar en cuanto a las relaciones de capital, trabajo y mano de obra dentro del proceso productivo (24). Aparentemente el objetivo de los agricultores es obtener la máxima utilidad por unidad de recurso escaso. La obtención de este objetivo está en función de la habilidad administrativa de los productores, de la cantidad de recursos que dispongan y otras condiciones tales como fenómenos meteorológicos y ecológicos. Ahora bien, si los recursos se vuelven más escasos y las condiciones ambientales adversas, cierto nivel de habilidad administrativa será suficiente para lograr el objetivo productor y será necesario el mejoramiento de la práctica administrativa para hacer una utilización racional de los recursos. En la agricultura de riego, especialmente en los distritos de riego, donde se han obtenido los procesos más importantes del sector agrícola. Pero es necesario efectuar estudios tendientes a usar en forma óptima los recursos productivos de que ahí se dispone y elaborar los planes de cultivo que produzca el máximo ingreso (17).

Los agricultores trabajan subordinados a la influencia de fenómenos físicos y biológicos, un celoso empresario rural debe disponer de información técnica sobre ellos y las fuentes en que la obtenga deben de ser confiables. Además de

lo anterior, también es necesario que conozcan las tendencias de los procesos, disponibilidad de mano de obra y maquinaria, los servicios y programas que provee el gobierno (24).

Actualmente los autores están de acuerdo en que si se quiere lograr un progreso constante y duradero, la programación agrícola debe realizarse como parte de un método completo de sectores múltiples para la planeación del desarrollo económico general y hay dos series de razones para ello. Del lado de la tierra, se reconoce que los adelantos de la agricultura y de otros sectores son independientes y deben apoyarse mutuamente. En la planeación del desarrollo es muy importante explorar, hasta donde sea posible, los vínculos positivos que hay entre los sectores y mantener cierta clase de equilibrio en el crecimiento general (5). La agricultura es una industria que involucra a la economía, la sociología, la psicología y a la ciencia política. Como se ha dicho con respecto a otras especialidades no es indispensable que el empresario rural sea un experto en estas disciplinas. Es necesario sin embargo, que conozca las fuentes de información o que sea capaz de juzgar la validez que ésta tiene en el caso de su situación particular (21).

#### Breve Descripción de la Programación Lineal.

La programación lineal es una técnica matemática que



consiste en la optimización de una función sujeta a ciertas restricciones. Es un método muy utilizado en planeación, especialmente cuando se requiere tomar decisiones a partir de una serie de alternativas (7). Actualmente ésta técnica es utilizada para resolver problemas agrícolas e industriales de optimización en el uso de los recursos escasos. (3) Es una técnica que sirve para encontrar soluciones a problemas que involucren una serie de desigualdades lineales con alguna función objetivo. Generalmente las desigualdades establecen una relación entre los ingresos y egresos y algunos recursos limitados (25).

La programación lineal permite la comparación de muchas alternativas y asegura el resultado óptimo de acuerdo con las alternativas y restricciones consideradas. La programación lineal es aplicable a nivel de empresa individual igual que a niveles regionales y nacionales (1).

Bajo condiciones muy amplias, el concepto de programación lineal puede aplicarse a problemas tales como la mezcla de alimentos en raciones, para un costo mínimo, reuniendo ciertos requerimientos nutritivos, o fijando recursos (tierra, trabajo, capital, etc.) a empresas agrícolas para obtener ganancias óptimas (25).

Los investigadores en economía agrícola la utilizan

en la asignación de los recursos dentro de una empresa, en la especificación de mezclas óptimas de ventas, en organizaciones de mercados, en la obtención de raciones alimenticias de costos mínimos para ganado, en la obtención de programas óptimos industriales, agrícolas etc., en la utilización de rereursos a nivel regional y nacional y toda una gama de problemas similares (7).

Actualmente la programación lineal es un instrumento importante en la industria y la agricultura para resolver problemas sobre minimización de costos o maximización de beneficios. Pero es tan solo un instrumento, y depende de la capacidad del investigador para formular el problema, obtener datos apropiados y establecer relaciones entre los factores de entrada y los productos de salida. El método de programación lineal no es una respuesta para todos los problemas, pero sirve para los casos en que es posible construir un sistema lineal con recursos limitados, costos y valores para todos los factores (25).

Los elementos principales de un modelo general de programación lineal son:

La función objetivo

Las restricciones

Las actividades

Los supuestos

La función objetivo trata por lo común de maximizar las ganancias o de reducir al mínimo los costos. Para maximizar ingresos netos se expresa algebraicamente:  $\text{Max: } Z = C_1 X_1 + C_2 X_2 + \dots + C_n X_n$ ; en donde  $Z$  es el ingreso neto total:  $X_1, X_2, \dots, X_n$  son las actividades o procesos alternativos de la producción, y los coeficientes  $C_1, C_2, \dots, C_n$  son los precios netos (24).

El objetivo va a depender del investigador, generalmente, se tiende a maximizar cuando se trata de ingresos y minimizar en el caso de costos y riesgos. Dado el objetivo existirán varios métodos y procesos para lograrlo, unos serán competitivos y otros complementarios. (8).

La función objetivo está sujeta a las restricciones que comunmente se refieren a los recursos limitados disponibles (tierra, agua, mano de obra, capital, etc.). Se expresa como inecuaciones o como desigualdades, las cuales indican cómo la cantidad del recurso empleado en las diversas actividades, no debe exceder de la cantidad disponible (8).

Las actividades vienen siendo todas aquellas actividades posibles de producción que se tengan, cada una de estas

vienen siendo un bloque de información sobre cultivos, ciclos de producción, tecnología aplicada, costo total que tenga su producción y el ingreso neto que deja cada una de estas actividades. [28].

Las hay de producción, como cultivar maíz, trigo y puede haber diferentes actividades para un mismo cultivo si la técnica es diferente. Además, hay actividades de venta de productos y de obtención de mano de obra (8).

En forma algebraica se tiene:

$$\begin{aligned} A_{11}x_1 + A_{12}x_2 + \dots + A_{1n}x_n &= b_1 \\ A_{21}x_1 + A_{22}x_2 + \dots + A_{2n}x_n &= b_2 \\ A_{31}x_1 + A_{32}x_2 + \dots + A_{3n}x_n &= b_3 \\ \vdots & \\ A_{m1}x_1 + A_{m2}x_2 + \dots + A_{mn}x_n &= b_k \quad (8) \end{aligned}$$

Donde:

Las A's son los coeficientes técnicos que expresan la cantidad de recursos que se ocupa por unidad de actividad. Las actividades son las X's disponibilidades de los recursos representados por las b's.

Los supuestos por su naturaleza matemática son una

parte esencial de la programación lineal. Estos son: Linealidad, divisibilidad, finitud y certidumbre (7).

Linealidad.- Se refiere a que las relaciones insumo-producto se asumen constantes o representadas por relaciones lineales (24). Esto indica que la relación funcional entre la cantidad de recursos y la producción correspondiente, expresada en el proceso es constante (3).

Divisibilidad.- Se asume que los factores pueden ser usados y los bienes producidos, en cantidades fraccionales. (20). Esto significa que un plan óptimo puede tener una unidad de tierra de X número de has. produciendo X Ton. de maíz otro tanto de sorgo; o bien una unidad de ordeña con X número de vacas produciendo X lt. de leche y X número de becerros (3).

Finitud.- Se asume límite en las actividades alternativas y en los recursos o restricciones considerados (24). Esto es, que el número de procesos disponibles del cual se selecciona la combinación óptima, es un número finito (3).

Certidumbre.- Son las relaciones de recursos disponibles, coeficientes insumo-producto, actividades alternativas y precios (23). Los cuales se conocen con certeza y no se permite variabilidad en los posibles resultados (3).

En general los métodos de programación lineal usados a la fecha asumen que las relaciones de recursos disponibles, coeficientes insumo-producto, actividades alternativas y precios, son conocidos con certidumbre (8).

Los métodos de solución al problema de programación lineal son de carácter iterativo o de tanteo. Entre estos métodos de solución pueden ser citados el método gráfico, que solo puede ser utilizado para un máximo de dos variables y es más de carácter ilustrativo. El método simplex, desarrollado por Dantzig, de aplicación más general y el más usado en la práctica. El simplex resuelve el problema en dos etapas. Primero, da un procedimiento para, empezando con un conjunto de valores, encontrar una solución. Segundo da un procedimiento para, empezando con una solución, por interacción ir mejorando las soluciones hasta alcanzar la solución óptima. Esta segunda etapa es la esencia. El procedimiento es de gran sencillez matemática pero en ocasiones demasiado largo, razón por la cual se recurre a las computadoras electrónicas. (8).

*Experiencias con esta técnica.*

La programación lineal propició con el método de análisis de insumo-producto, desarrollado por el economista W.W. Leontief. La versión actual de esta técnica es de origen más

reciente según Thierauf. R.J. y R.A. Grosse (22). Hitchcock interpretó primeramente "un problema de tipo de transportación" en 1941, mientras que Koopmans estudió el "problema de la dieta" (concerniente a entidades separadas que pueden escogerse y usarse en cantidades diversas a fin de obtener un resultado esperado). El útil desarrollo actual de la programación lineal para los negocios y la industria, se atribuye al Doctor George D. Dantzig, un matemático que presentó su "método simplex como un procedimiento sistemático para resolver un problema de programación lineal (23).

Durante el año 1947, Dantzig (con Marshall Wood y sus asociados), se ocupó de un proyecto para la fuerza aérea de los Estados Unidos, que dió por resultado la búsqueda de una técnica que fuera capaz de resolver los problemas de planeación militar. La esencia de estas investigaciones consiste en considerar las interrelaciones entre las actividades de una gran organización como un modelo de programación lineal y determinar el programa de optimización minimizando una función objetivo lineal. Dantzig indicó que ese nuevo enfoque tendría amplias aplicaciones en los problemas de los negocios, como ocurre actualmente (23).

Rodríguez y Cummings (19) evaluando el vaso de almacenamiento de un río, utilizando dos medidas de programación lineal determinaron: 1.- El agua que se desecha por falta

de un vaso de almacenamiento varía alrededor del 70%. El área de cultivo actual puede ampliarse en 43 mil hectareas - más con un sistema de distribución eficiente y una presa de rivadora adecuada. Con la cantidad de 620 millones de M<sup>3</sup> se obtiene el máximo valor esperado de los ingresos netos.

Tovar et.al. en 1975 (24), determinaron el patrón óptimo de cultivos para tres modelos de programación lineal en el Distrito de Riego No. 4 de Anáhuac, N.L.

Barbosa, et.al. en 1975 (2), describen la situación actual de los distritos e identifican los principales problemas en Bajo Río Bravo y Bajo Río San Juan, Estado de Tamaulipas, recopilando coeficientes técnicos en un modelo de programación lineal de las actividades agrícolas y ganaderas más importantes de la región para presentar varias alternativas o políticas de solución. En estos modelos se utilizaron críterios sociales y económicos,

Miller y Nauheim, en 1964 (16) haciendo uso de la programación lineal, determinaron las técnicas a seguir en el manejo de una granja para obtención de costos mínimos y máximas ganancias.

La posibilidad de encontrar soluciones factibles analizando los problemas que se asocian con el crecimiento de



una granja pueden analizarse estableciendo la correspondencia que hay entre los tipos de producción de grano y factibilidad en el alza de precios (11).

Katzman (13) determinó la cantidad de alimento a consumir en aves, las mezclas a utilizar y sus proporciones, en sus costos posibles. Utiliza 8 coeficientes técnicos (materia prima) para obtener la dieta completa en aves.

Chalita y Barrera, utilizando 3 métodos de programación matemática aplicados al manejo del agua estudiaron el uso óptimo del agua de la presa en la Comarca Lagunera mediante un modelo de programación lineal. El segundo modelo, para el Distrito de Riego No. 51 de la Costa de Hermosillo se ocupa del manejo del agua del acuífero y problemas de introducción. En un tercer modelo analizan la transferencia de agua entre cuencas en el Noroeste de México, maximizando los beneficios regionales. (6).

Pérez y Chalita en 1975 (18) mediante otro estudio realizado con programación lineal determinan las actividades agropecuarias más importantes practicadas por usuarios de crédito agrícola supervisado en el Municipio de Celaya, Edo. de Guanajuato. La característica principal del modelo trabajado es que incluye actividades de suministración de crédito agrícola a diversos niveles y planifica el uso racional del

factor más escaso de la producción o sea el capital.

Bon Bustamante en 1969 [4] utilizó programación lineal en la planificación de las fincas agropecuarias del Valle de Culiacán, Sinaloa. Obtuvo planes óptimos de actividades, para diferentes niveles de capital disponible, encontrando una utilización menos eficiente del capital invertido a medida que éste aumenta, apareciendo en estos planes, actividades que producen mayores ingresos por hectáreas, pero menos redituables por unidad de capital invertido. En esta región no hay restricción de agua y tierra, por lo que la planeación de la empresa debió ser consistente en el recurso limitante, que en este caso es el capital.

Silos y Freebairn citados por Hernández [8], utilizaron programación lineal en un estudio sobre desarrollo, utilización de recursos y potencial agrícola del Valle del Yaqui, Sonora. Uno de sus objetivos fue encontrar un programa de producción de cultivos que maximizara el ingreso neto, para las diferentes formas de tenencia de la tierra y para diferentes tamaños de empresas. Este análisis no incluye diferentes niveles del recurso de agua. Las soluciones óptimas obtenidas determinaron al trigo y al algodón como los principales generadores de ingresos. Estas combinaciones de cultivos no estaban muy lejos de lo que sucedía, dedicándose a sembrar el 60% de cultivos de primavera y un 10% de cultivos de verano.

Zambrano en 1971 [27] empleó también programación líneal en un estudio que comprende, un análisis económico del uso del agua, mano de obra y maquinaria agrícola en la Costa de Hermosillo, Son. El modelo incluye a dicha región como una unidad de producción. El objetivo era encontrar la combinación óptima de cultivos y de recursos. En la solución, destaca el algodón, sugiriéndose sembrar la mejor parte del área con este cultivo.

En el sector agropecuario han sido muchas las aplicaciones de programación líneal, tales como, la de Ladd y Easley en 1939 [14] en Iowa, estudiándose la determinación de la oferta de la industria lechera. Lofstagrđ et.al. en 1960 [15] comentan la planeación agrícola en base a precios, rendimiento y capital, en cantidades variables, Ullrich y Senderson en 1969 [26], estudiaron los efectos de precios alternativos de trigo y grano en la obtención de planeas óptimos de cultivos, Skold M. et.al en 1965 [22] aplicaron también programación líneal en un estudio para la obtención de planes óptimos de cultivos en el Sureste de Nebraska.

## MATERIALES Y METODOS

### *Descripción y ubicación del área de estudio.*

El área de estudio se encuentra comprendida dentro de los municipios de Granados y Huásabas, localizados en la región Noroeste del Estado de Sonora, formando parte del sistema montañoso de la Sierra Madre Occidental.

El municipio de Granados tiene una extensión de  $361.27\text{km}^2$  y una población de 1387 habitantes, siendo su situación geográfica  $29^{\circ}47'$  latitud norte y  $109^{\circ}18'$  longitud oeste del meridiano de Greenwich, con una altura de 735 metros sobre el nivel del mar. En igual forma el municipio de Huásabas tiene una extensión de  $711.17\text{km}^2$  y una población de 1551 habitantes siendo su situación geográfica  $30^{\circ}31'$  latitud norte y  $110^{\circ}59'$  longitud oeste del meridiano de Greenwich, su altura es de 751 metros sobre el nivel del mar. [\*].

Por lo anterior, puede observarse una densidad de población de 2, 7 hab./ $\text{km}^2$  considerada baja con respecto a 8.1 hab./ $\text{km}^2$  para el Estado. El total de la población se encuentra distribuida en los poblados de Huásabas y Granados cabeceras del mismo municipio. Se considera que el 30% de la población económicamente activa labora en las actividades pecuarias que requiere el cuidado del ganado en lugares deshabitados, esta ocupación no se considera permanente sino tempo-

\* Según Censos de 1960, 1970.

ral, habiendo épocas durante el año que aumenta más la mano de obra desocupada. (\*)

La orografía de esta región presenta grandes extensiones con relieves accidentados y con variantes significativas que se manifiestan en una gran diversidad de temperaturas, fauna, flora e incluso costumbres en su población. Los relieves accidentados se caracterizan por una serie de sierras y lomas paralelas y separadas entre sí por valles angostos. Por lo cual es común encontrar en el valle sedimentos constituidos por limos, arenas y texturas de migajón arenoso que tienen cierta importancia desde el punto de vista agrícola y que generalmente se localizan en los márgenes de los ríos (20).

Su sistema Hidrográfico pertenece a la cuenca del Río Yaqui, cuya cuenca superior la forma el Río Bavispe, que nace en las cercanías de la línea limítrofe de los estados Sonora y Chihuahua en altitudes que oscilan entre los 2000 y 2250 msnm esta corriente que es una de las formadoras de mayor importancia del río Yaqui se extiende por la Sierra Madre Occidental dentro del Estado de Sonora; sigue hacia el Noroeste hasta unirse al río San Bernardino y cambiar su curso franco hacia el sur, para después unirse al río Aros o Papigochic y así dar origen al Río Yaqui. En este curso se le tiene controlado con la presa de almacenamiento, La Angostura a 140 km de la continuación del Río Bavispe al Río Yaqui (20).

\* Según Censos de 1960 , 1970.

Con la construcción de esta presa se evitó en gran parte el problema de escasez de agua para los valles agrícolas que existen aguas abajo de la presa, quedando comprendidos dentro de esta extensión la región agrícola del Valle de Huásabas y Granados que comprenden el presente estudio.

La precipitación anual para la región de Huásabas y Granados varía de 200 mm a 600 mm. Las lluvias de verano corresponden a los meses de julio, agosto y septiembre en un 60% originando la mayor parte de la precipitación, mientras que el período de invierno corresponde un 40% presentándose en los meses de diciembre, enero y febrero.

#### Antecedentes.

Concientes de la necesidad de hacer un mejor aprovechamiento del agua de riego y aumentar consecuentemente el rendimiento de las cosechas, considerando a la agricultura una de las principales fuentes de ingresos, a petición de los usuarios y con la ayuda del Gobierno estatal se realizó un estudio de factibilidad para una presa derivadora, misma que fue construida al Norte de la región agrícola en estudio, pretendiendo con esto tener agua permanente y disponible en los canales de distribución para cuando fuera requerido por el cultivo establecido. El principal objetivo de la presa derivadora fue regar todo el Valle siendo el principal

problema el de lograrlo, dado que en la actualidad solo permite regar la tercera parte de la superficie total cultivable, con aguas procedentes de la derivadora; las otras dos terceras partes se riegan mediante tomas directas del cauce del río construídas cada ocasión que se amerita (por lo menos dos veces al año) con métodos rudimentarios, que además - de ser poco eficiente, incrementa los costos a los usuarios y no asegura el abastecimiento continuo de agua, lo que de ser alimentado el sistema de canales de la derivadora, el usuario podría hacer sus planes de riego con mayor seguridad para sus cultivos.

#### Factores Socio-económicos de la región en estudio.

Además de los anteriores problemas imperan aun la falta de experimentación agrícola (cultivos nuevos, fechas de siembra, riegos, fertilización, plagas, etc.) y ganadera (pastoreo en praderas, cuencas lecheras, etc.) falta de orientación técnica, organización para la compra de insumos y de venta de productos, líneas de crédito adecuadas a los cultivos del valle (el Banco de Crédito Rural ha cumplido en parte, con éste programa) y adiestramiento en el uso y manejo del agua y del suelo.

Según datos obtenidos en el censo agrícola 1972 realizado por Comisión Técnica Consultiva para los Coeficientes

de agostadero [COTECOCA], hay en el Valle de Huásabas y Grana dos una extensión agrícola de 1000 hectáreas de tierra cultivable en explotación actual con agua de riego. El tamaño de predios o tierra de cultivo, oscilan de .8 a 15 hectáreas como máximo por persona [usuario] siendo el promedio de 3.6 hectárea como máximo por persona [usuario] siendo el promedio de 3.6 hectáreas por usuario [propietario], lo que conduce en la actualidad a ser un Valle dedicado a actividades de subsistencia o agricultura de consumo. El tipo de tenencia de la tierra es únicamente pequeños propietarios, siendo las actividades económicas principales, la agricultura y la ganadería simultáneamente.

Los cultivos más importantes de la zona en orden de la extensión sembrada año con año son: Alfalfa [Medicago sativa], Maíz Sea mays (para grano y forraje), Frijol [Phaseolus vulgaris] Trigo [Triticum aestivum] (muy frecuentemente utilizado para pastoreo), Cebada forrajera [Hordeum vulgare] Sorgo forrajero, y Sorgo para grano [Sorghum vulgare] [Pers. y rye grass [Lolium perenne]]. Este patrón de cultivos es factible a considerarse actualmente ya que en realidad lo que varía es el orden de importancia al número de hectáreas sembradas de cada cultivo, - con excepción de alfalfa que siempre ha sido el cultivo principal en la región.

La escasez permanente de los insumos requeridos para llevar a cabo la actividad agrícola hacen imposible el crecimiento y la diversificación de la producción, lo cual a su vez



repercute en los bajos niveles de ingreso que percibe una gran parte de la población e impide el efrecimiento de empleos lo suficientemente remunerativos como para detener el flujo migratorio de la fuerza de trabajo hacia otras partes del Estado.

Lo anterior puede ser observado a través de las cifras relacionadas con la distribución del ingreso. El 80% de la población económica activa percibe ingresos menores de \$5,000.00 mensuales, significando solamente el 40% del ingreso global, mientras que el 20% de la población restante concentra el 60% del ingreso global de la región. (12).

Por otro lado, no deja de ser altamente significativo, el hecho de que exista una notable escasez de jóvenes en la región, quienes han salido con el propósito de continuar sus estudios y no encuentran empleos suficientemente atractivos para regresar a su lugar de origen. Además, ha sido importante la corriente migratoria hacia los minerales de la Caridad y de Lampazos, los cuales han absorbido en gran parte mano de obra procedente de los municipios que se intentan analizar. (12).

El estudio que se propone pretende beneficiar directamente a la población que habita el área descrita, a través del establecimiento de los lineamientos generales para el diseño

e implementación de un programa de desarrollo para la región, basado fundamentalmente en las posibilidades existentes para reorientar la actividad económica, otorgando al sector agrícola el ofrecimiento de perspectivas más amplias para su diversificación y su integración efectiva de sus recursos actuales y potenciales con el resto de la economía regional.

En este propósito, es importante considerar además el efecto que un programa de esta naturaleza puede tener para la población afectada. Deberán estudiarse detenidamente las formas actuales de organización de los productores, dando particular énfasis a los aspectos relacionados con la toma de decisiones para la determinación de sus cultivos agrícolas, y para la comercialización de su producción.

#### Disponibilidad de Recursos.

La situación prevaleciente en la zona de estudio antes de la investigación fue captada mediante entrevistas personales con agricultores en un 25%, el 75% restante con dependencias oficiales y técnicos que laboran en el Valle. Dentro de los datos básicos para conocer esta situación se captaron los siguientes: Costo variable, senda de mercado, áreas actuales cultivadas, consumos de agua anivel de predio por hectárea, y precios de cultivos. Tabla 2 y 3.

Con la información anterior fué posible detectar el balance económico por cultivo y la determinación aproximada de los recursos escasos; agua, tierra, mano de obra, capital y mercado. Ver modelo de la matriz.

De acuerdo a los datos obtenidos con entrevistas personales a los usuarios, el Valle de Huásabas y Granados tiene derecho a utilizar un caudal de agua de  $4m^3$  diarios/seg. provenientes de la presa "La Angostura" que supuestamente deberían ser tomados y distribuidos por canales de la derivadora construída con ese objetivo. En el presente análisis se consideraron 3 alternativas de tierra con 1000, 1150 y 1300 hectareas y 4 disponibilidades de agua 1, 2, 3 y  $4 m^3$  por segundo, con el objeto de maximizar ganancias al productor en función de la tierra y agua disponible. Para cada una de las alternativas se planteó un mismo programa debido a que no hay diferencia en el uso y disponibilidad de los recursos.

La disponibilidad de mano de obra en el Valle se consideró en base a 360 usuarios (\*) asumiendo que existen cuatro miembros varones, para laborar, por usuario, ocho horas diarias de trabajo y 260 días laborales al año, arrojando un

\* Según hoja Única No. 2228-F-35 de 1958 SRH.

total de 2,995,200 horas-hombre por año. (mano de obra disponible).

La disponibilidad de capital no se consideró como una restricción, dándose un valor mayor o igual a cero.

El objetivo principal del estudio fue determinar el patrón óptimo de cultivo para cada disponibilidad de tierra, de tal manera que se maximizara el ingreso neto sobre los costos variables que está determinando por factores que son: costos del cultivo, rendimiento (producción), precio del producto. Los rendimientos para cada actividad son expresados junto con precios y costos variables en la Tabla 3.

Los costos variables comprenden los gastos efectuados en la preparación de la tierra y siembra, que incluye barbecho, rastreo, fertilización, bordeo, canales, siembra y semilla; desarrollo y madurez del cultivo que incluye: riegos, cosecha, acarreo y otros gastos variables. Es de notar que algunas prácticas son suprimidas debido a la poca técnica empleada en el Valle.

Los rendimientos de cada actividad fueron multiplicados por sus respectivos precios, para determinar los ingresos brutos por cultivo o actividad por hectárea. A los ingresos brutos se les restaron los costos variables para obtener los

ingresos netos sobre costo.

Selección de actividades.

Para llevar a cabo la formación del modelo se tomaron los siguientes cultivos, en base a la importancia y la extensión del área sembrada en el Valle de cada uno de ellos: Alfalfa, Avena forrajera, Cebada forrajera, Frijol de primavera y verano, Maíz, Sorgo para grano, Sorgo forrajero, Trigo y rye grass anual; todos con sus coeficientes técnicos respectivos.

TABLA I. FECHAS DE SIEMBRA Y COSECHA DE CULTIVOS SELECCIONADOS, PARA LA CONSTRUCCION DEL MODELO DE PROGRAMACION LINEAL. VALLE DE HUASABAS Y GRANADOS, SON.

C U L T I V O	MES DE SIEMBRA	MES DE COSECHA
Alfalfa	octubre	octubre (Perenne)
Avena	octubre	marzo
Cebada	octubre	abril
Frijol Primavera	febrero	mayo
Frijol Verano	agosto	diciembre
Maíz	julio	noviembre
Sorgo Grano	julio	diciembre
Sorgo Forrajero	febrero	julio
Rye Grass anual	octubre	marzo
Trigo	noviembre	mayo

FUENTE: Entrevistas personales con agricultores y técnicos que laboran en el Valle.

TABLA 2. CONSUMO DE AGUA EN LOS CULTIVOS POR HECTAREA, SENDA DE MERCADO Y MANO DE OBRA A UTILIZAR POR HECTAREA EN CADA CULTIVO, DADO EN HORAS-HOMBRE.

C U L T I V O	Agua por hectárea miles de m <sup>3</sup>	has. posibles a sembrarse	Mano de obra en horas-hombre
Albalfa	31500	350	50
Avena	9000	150	40
Cebada	7500	150	40
Frijol Primavera y Verano	7500	250	135
Maíz	9000	350	43
Sorgo para grano	7500	150	49
Sorgo forrajero	9000	100	49
Rye grass	21000	100	49
Trigo	7500	150	40

FUENTE: Patrón de cultivos en el Valle de Huálabas y Granados.

Unidades de riego para el desarrollo Rural. SARH. 1977. Hillo., Son.

TABLA 3. RENDIMIENTO, PRECIO DEL PRODUCTO, VALOR DE LA PRODUCCION, COSTO VARIABLE E INGRESO NETO, SOBRE COSTO VARIABLE, DE LOS CULTIVOS EN EL VALLE DE HUASABAS Y GRANADOS. LOS PRECIOS Y COSTOS FUERON DADOS PARA EL MEDIO RURAL.

C U L T I V O	Producción kg/ha	Precio \$/ton.	Valor \$/ha.	Costo variable \$/ha.	Ingreso neto menos C.V.:
* Albaláa	14000	2,000	28,000	10,300	17,700
* Avena	3000	1,650	4,950	3,700	1,200
Cebada	3000	1,400	4,200	3,148	1,052
Frijol Primavera y Verano	1500	7,000	10,500	3,908	6,592
Maíz	2500	3,100	7,750	4,078	3,672
Sorgo grano	3000	1,750	5,250	4,560	690
* Sorgo forrajero	6200	1,400	8,750	4,293	4,457
* Rye grass	16000	215	20,640	4,398	16,242
Tiigo	2500	2,000	5,000	2,858	2,141

\*Albaláa: Se consideró en base a 7 cortes durante el año con promedio de 2 ton.de forraje en materia seca por corte.

Avena: La producción se consideró en base a materia seca

Sorgo F.: La producción se consideró en base a materia seca

Rye grass: Se consideró 6 cortes o pastoreos durante el año.

FUENTE: Unidades, de riego para el desarrollo rural, región noroeste SARH.

### Metodología.

La herramienta matemática a usar en el presente estudio, debido a los objetivos que se pretenden y la facilidad de uso en la asignación eficiente de recursos limitados, con el fin de alcanzar los objetivos deseados, fue la programación lineal, utilizando el método simplex, ejecutándose en la computadora electrónica IBM # 1130 del Centro de cálculo de la Universidad de Sonora.

Las características generales de un problema de programación lineal se establecen mediante un modelo matemático que incluye:

La función objetivo por maximizar o minimizar, en este caso será la de maximizar ingresos netos al agricultor, se representa por medio de una ecuación lineal explícita del tipo:

Max.  $Z = C_1 X_1 + C_2 X_2 + \dots + C_n X_n$  en donde  $X_1, X_2, \dots, X_n$  son las variables desconocidas que corresponden a las actividades en el modelo, y  $C_1, C_2, \dots, C_n$  son los coeficientes conocidos que corresponden a las ganancias o costos de cada actividad. La maximización de la ecuación objetivo está condicionada por la limitación de los recursos necesarios. Las restricciones de recursos se presentan por un conjunto de inecuaciones simultáneas del tipo:



$$A_{11} X_1 + A_{12} X_2 \dots\dots\dots A_{1n} X_n = b_1$$

$$A_{21} X_1 + A_{22} X_2 \dots\dots\dots A_{2n} X_n = b_2$$

$$A_{m1} X_1 + A_{m2} X_2 \dots\dots\dots A_{mn} X_n = b_k$$

En donde las [A's] son los coeficientes del insumo producto o coeficientes técnicos, que se suponen constantes. Los  $b_1, b_2 \dots\dots\dots b_k$  son los parámetros que designan las cantidades disponibles de los recursos, y  $X_1, X_2 \dots\dots\dots X_n$  son los procesos alternativos de producción. Las restricciones de recursos son aquellas que, a corto plazo, tienen una oferta fija; en nuestro caso tierra total disponible, tierra para cada cultivo y el agua para riego. Se incluye, más no como restricción sino como actividades de cuenta, la mano de obra y capital.

Formulación de la matriz.

Para facilitar la comprensión del método se presenta una estructura del modelo de programación lineal utilizado. Modelo de la matriz. Anexo.

Las actividades incluidas en este modelo son: cultivos anuales; Avena, Cebada, Maíz, Frijol de primavera, Frijol de verano, Sorgo para forraje, rye grass y Trigo, incluyendo como cultivo perenne la alfalfa. Como unidad para todas las actividades se toma 1 hectárea y aparecen en su identifica

ción [Fortran] en la tabla 4.

La función objetivo se refiere al ingreso neto regional proveniente de las actividades elegidas por el modelo. Como coeficientes técnicos que integran la función objetivo tenemos: los ingresos netos de cada actividad, o sea la resta del costo de producción y el valor de la producción de una ha. y los requerimientos por unidad de superficie, siendo las unidades para las actividades de producción: para el recurso tierra, 1 ha; para la mano de obra, horas - hombre; para capital, pesos por hectárea y para agua, cantidad de metros cúbicos utilizados por hectárea en cada cultivo.

Para cada actividad se incluye la siguiente información:

a) Tierra ocupada; Tiempo que permanece ocupada la tierra, desde el inicio de la preparación del terreno hasta que es realizada la cosecha del cultivo. La tierra ocupada en el modelo se identifica en forma mensual y va desde el mes de enero (ver anexo, modelo de la matriz [Ene.1]) al mes de diciembre (Dic. 12).

b) Mano de obra; Se consideró las horas-hombre necesarias por ha. durante el ciclo del cultivo. El total disponible se determinó en base al No. total de usuarios existentes

en el Valle.

c) Capital; Dinero necesario para desarrollar las actividades agrícolas y adquirir los insumos necesarios para la siembra de una hectárea de cultivo. En el modelo se consideró que no era restrictivo y solo entró como actividad de cuenta y se identifica como capital. Ver modelo de la matriz anexa.

d) Agua; Se computa en metros cúbicos por hectárea, de acuerdo a la cantidad utilizada en cada cultivo para todo el ciclo vegetativo del mismo. En el modelo se utilizó 1, 2, 3 y 4 m<sup>3</sup>/seg/día como máximos disponibles y se identifica por Agua 1, Agua 2, Agua 3, Agua 4. Ver modelo de la matriz anexa.

e) Mercado; Se consideró como el No. de hectáreas totales sembradas en cada cultivo, tomando en cuenta, para esto la importancia que en la región se le da a la siembra de estos cultivos. Se identifica en el modelo como MERCA 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10. Ver modelo de la matriz anexa.

Las restricciones a las que está sujeta la función objetivo son: Tierra total disponible susceptible al riego, Tierra que podría incrementarse en caso de elevar la cota del canal o la cortina de la presa derivadora ( 1150 y 1300 has ) y disponibilidad de agua en 1, 2, 3, y 4 m<sup>3</sup>/seg/día. Se repre-

se presenta en el modelo de la matriz, de la manera siguiente: Para 1000 hectareas  $RHS_1$ , para 1150  $RHS_2$  y para 1300 hectareas  $RHS_3$ ; así mismo se presenta la restricción de agua en  $RHS_1$ ,  $RHS_2$  y  $RHS_3$  para cada restricción de tierra respectivamente, representando en igual forma las restricciones de capital, mano de obra y mercado.

La formulación de alternativas consistió en jugar con tres disponibilidades de tierra; las 1000 hectareas que actualmente se cultivan; 1150 y 1300 más a las ya existentes y 4 disponibilidades de agua 1, 2, 3 y  $4m^3$  seg/día. Lo cual nos formula un total de 12 alternativas.

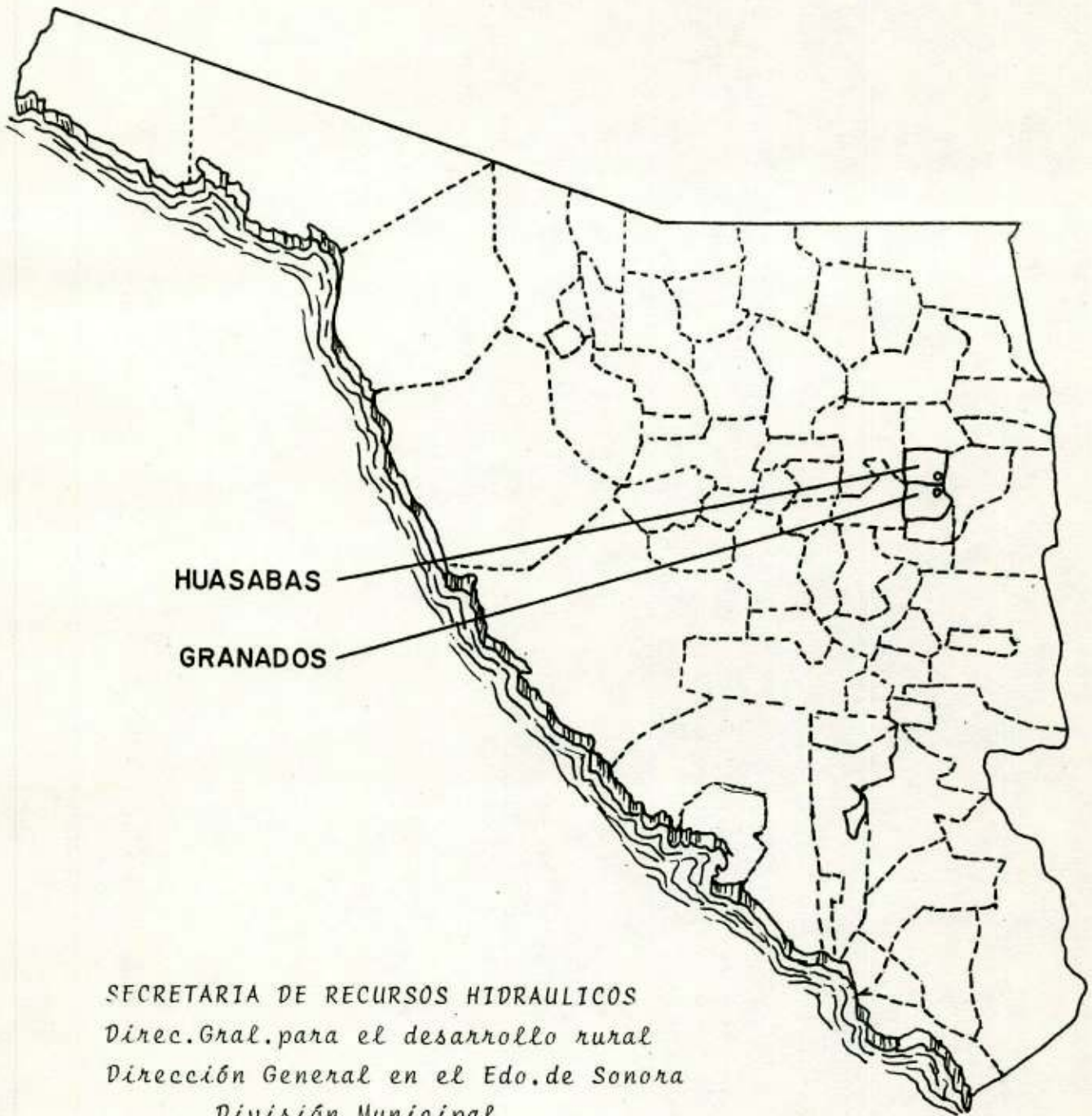
TABLA 4. ACTIVIDADES QUE INTERVIENEN EN EL MODELO Y SU IDÉNTIFICACION FORTRAN.

<u>I D E N T I F I C A C I O N</u>	<u>A C T I V I D A D</u>
P01	Alfalfa
P02	Avena
P03	Cebada
P04	Frijol Primavera
P05	Frijol Verano
P06	Maíz
P07	Sorgo para grano
P08	Sorgo forrajero
P09	Rye-grass
P10	Trigo

MODELO DE LA MATRIZ

		ALFA	AVEN	CEBA	FRIP	FRIV	MAIZ	SORG	SORF	RVEG	TRIGO	RHS 1	RHS 2	RHS 3	
		P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10				
FUNCION OBJETIVO		17,700	1200	1052	6592	6592	3672	690	4457	16242	2142				
TIERRA OCUPADA	ENE 1	1	1	1								1	1000	1150	1300
	FEB 2	1	1	1	1				1	1	1	1	1000	1150	1300
	MAR 3	1	1	1	1				1	1	1	1	1000	1150	1300
	ABR 4	1			1				1	1	1	1	1000	1150	1300
	MAY 5	1			1				1	1	1	1	1000	1150	1300
	JUN 6	1							1	1	1	1	1000	1150	1300
	JUL 7	1							1	1	1	1	1000	1150	1300
	AGO 8	1							1	1	1	1	1000	1150	1300
	SEP 9	1							1	1	1	1	1000	1150	1300
	OCT 10	1							1	1	1	1	1000	1150	1300
	NOV 11	1							1	1	1	1	1000	1150	1300
	DIC 12	1							1	1	1	1	1000	1150	1300
AGUA		31500	9000	7500	7500	7500	9000	7500	9000	21000	7500	35536000	35536000	35536000	
MANO DE OBRA		50	40	40	135	135	43	49	49	49	40	2995,200	2995,200	2995,200	
CAPITAL		10,300	3700	3148	3908	3908	4078	4560	4293	4398	2858	0	0	0	
MERCADO	1	1										1	350	350	350
	2		1									1	150	150	150
	3			1								1	150	150	150
	4				1							1	250	250	250
	5					1						1	250	250	250
	6						1					1	350	350	350
	7							1				1	150	150	150
	8								1			1	100	100	100
	9									1		1	100	100	100
	10										1	1	150	150	150

MAPA DEL ESTADO DE SONORA



SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS  
*Direc. Gral. para el desarrollo rural*  
*Dirección General en el Edo. de Sonora*  
*División Municipal*

LOCALIZACION

Esc: 1: 4,000,000

## RESULTADOS Y DISCUSION

El total de alternativas formuladas en el modelo de programación lineal fueron doce, que correspondieron:

- 1) Jugar con tres disponibilidades de tierra; las 1000 hectáreas que actualmente se cultivan, 1150 y 1300 hectáreas en el supuesto que se incorporaran 150 o 300 más a las ya existentes.
- 2) Cuatro disponibilidades de agua 1, 2, 3 y 4 m<sup>3</sup>/seg/día nos arroja un total de 12 diferentes situaciones.

Al llevar a cabo el análisis de alternativas del modelo se encontró que las restricciones de agua mayores de un metro cúbico (2, 3 y 4 m<sup>3</sup>) por segundo, no fueron agotadas, es decir no actuaron como restricción, lo que nos permitió desecharlas y presentar a discusión los resultados de la disponibilidad de un metro cúbico por segundo con tres disponibilidades de tierra (1000, 1150 y 1300 hectáreas) alternativas A1 A2 y A3.

El orden seguido en la presentación de los resultados es el siguiente: primero se indica el ingreso neto (sobre los costos variables) de la zona, o valor del programa que se obtendría al seguir el patrón óptimo de cultivos que se

describe a continuación. Después se señalan las cantidades necesarias de recursos para lograrlo.

I. ALTERNATIVA A<sub>1</sub> (1000 hectareas físicas)

1.- Valor del programa

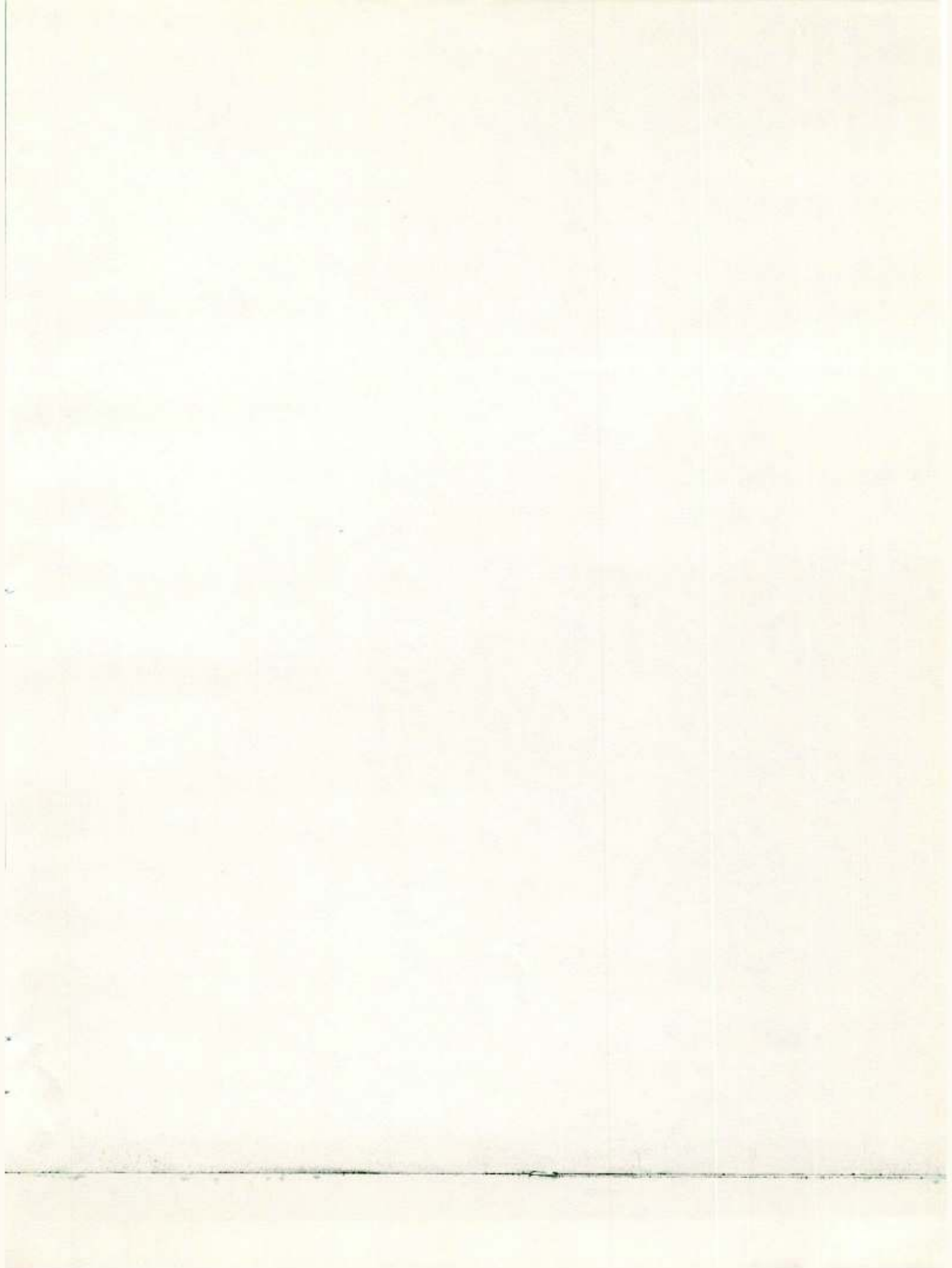
El valor del programa para la alternativa A<sub>1</sub> es de \$ 11,863,976.00. Esta cantidad representa el máximo ingreso de la región en 1000 hectáreas, cuando se sigue el patrón óptimo de cultivos descrito.

2.- Patrón óptimo de cultivos.

EL PATRON OPTIMO DE CULTIVOS PARA 1000 HECTAREAS QUE PRODUCE EL MAXIMO INGRESO DE LA REGION ES:

C U L T I V O	HAS.SEMBRADAS	UTILIDAD EN \$
Alfalfa	350	5,075,000.00
Frijol de Primavera	250	1,648,000.00
Frijol de Verano	250	1,648,000.00
Maíz	300	1,101,588.00
Sorgo forrajero	100	445,700.00
Rye grass anual	100	1,624,199.00
Trigo	150	321,300.00





3.- Los recursos necesarios para lograr el patrón óptimo de cultivos anteriores sería:

Capital	\$ 7.930,197.00
Agua a utilizar	21,650,012 metros cúbicos
Mano de obra a emplear	122,440 horas-hombre

Precios sombra:

El precio sombra representado por el modelo indica el valor en pesos por hectárea que se deja de percibir con un recurso escaso (restricción).

TABLA 5. PRECIOS SOMBRA DE LA ALTERNATIVA A<sub>1</sub> (1000 hectareas)

<u>R E S T R I C C I O N</u>	<u>VALOR DEL RECURSO ESCASO PESOS / HA.</u>
1 ha. de tierra en octubre	3,672.00
Alfalfa	10,827.00
Frijol de Primavera	6,591.00
Frijol de Verano	2,919.00
Sorgo Forrajero	4,457.00
Rye grass	12,569.00
Trigo	2,142.00

De acuerdo con los resultados de la alternativa A<sub>1</sub>, en el supuesto caso que no fuera posible llevarse a cabo el

patrón óptimo de cultivos el orden de sustitución, en base a los valores de los precios sombra anteriores sería:

- 1.- Rye grass
- 2.- Alfalfa
- 3.- Frijol de Primavera
- 4.- Sorgo Forrajero
- 5.- Frijol de Verano
- 6.- Trigo

## II. ALTERNATIVA A<sub>2</sub> (1150 hectáreas físicas)

### 1.- Valor del programa

El valor del programa para la alternativa A<sub>2</sub> es de \$ 12,167,396.00. Esta cantidad representa el máximo ingreso de la región en 1150 hectáreas, cuando se sigue el patrón óptimo de cultivos descritos.

### 2.- Patrón óptimo de cultivos.

EL PATRON OPTIMO DE CULTIVOS PARA 1150 HECTAREAS QUE PRODUCE EL MAXIMO INGRESO DE LA REGION ES:

C U L T I V O	HAS. SEMBRADAS	UTILIDAD \$
Alfalfa	350	5,075,000.00
Avena	150	180,000.00
Cebada	100	105,200.00
Frijo/ de Primavera	250	1,648,000.00
Frijol de Verano	250	1,648,000.00
Maíz	350	1,285,200.00
Sorgo forrajero	100	445,700.00
Rye grass anual	100	1,624,199.00
Trigo	150	321,300.00

3.- Los recursos necesarios para lograr el patrón óptimo de cultivos anteriores sería:

Capital	\$ 9,003.896.00
Agua a utilizar	24,200,012 metros cúbicos
Mano de obra a emplear	138,750 horas-hombre

TABLA 6. PRECIOS SOMBRA DE LA ALTERNATIVA A<sub>2</sub> (1150 HECTAREAS)

R E S T R I C C I O N	VALOR DEL RECURSO ESCASO PESOS/HA.
1 ha. de tierra en octubre	1,200.00
Alfalfa	13,300.00
Frijol de Primavera	6,592.00
Frijol de Verano	5,392.00
Maíz	2,472.00
Sorgo forrajero	4,457.00
Rye grass	15,042.00
Trigo	2,142.00

Para la alternativa A<sub>2</sub> la sustitución de cultivos en caso de no poderse llevar a cabo el patrón óptimo recomendado sería:

- 1.- Rye grass
- 2.- Alfalfa
- 3.- Frijol de Primavera
- 4.- Frijol de Verano

5.- Sorgo forrajero

6.- Maíz

7.- Trigo

III. ALTERNATIVA A<sub>3</sub> (1300 hectáreas físicas)

1.- Valor del programa

El valor del programa para la alternativa A<sub>3</sub> es de \$ 12,332,596.00. Esta cantidad representa el máximo ingreso de la región en 1300 hectáreas, cuando se sigue el patrón óptimo de cultivos descrito:

2.- Patrón óptimo de cultivos

EL PATRON OPTIMO DE CULTIVOS PARA 1300 HECTAREAS QUE PRODUCE EL MAXIMO INGRESO DE LA REGION ES:

C U L T I V O	HAS. SEMBRADAS	UTILIDAD \$
Alfalfa	350	5,075,000.00
Avena	150	180,000.00
Cebada	100	105,200.00
Frijol de Primavera	250	1,648,000.00
Frijol de Verano	250	1,648,000.00
Maíz	350	1,285,200.00
Sorgo forrajero	100	445,700.00
Rye grass anual	100	1,624,199.00
Trigo	150	321,300.00

3.- Los recursos necesarios para lograr el patrón óptimo de cultivos anteriores sería:

Capital	\$ 9,003.896.00
Agua a utilizar	24,200.012 metros cúbicos
Mano de obra a emplear	138,750 horas-hombre

TABLA 7. PRECIOS SOMBRA PARA LA ALTERNATIVA A<sub>3</sub> (1300 hectáreas).

<u>R E S T R I C C I O N</u>	<u>VALOR DEL RECURSO ESCASO PESOS/HA</u>
1 ha. de tierra en octubre	\$ 1,052.00
Alfalfa	13,447.00
Avena	148.00
Frijol de Primavera	6,592.00
Frijol de Verano	5,540.00
Maíz	2,620.00
Sorgo forrajero	4,457.00
Rye grass	15,189.00
Trigo	2,142.00

En esta alternativa A<sub>3</sub> la sustitución de cultivos, según los precios sombra, que se recomendarían en caso de no poder llevar a cabo el patrón óptimo indicado sería:

- 1.- Rye grass
- 2.- Alfalfa
- 3.- Frijol de Primavera
- 4.- Frijol de Verano
- 5.- Maíz
- 6.- Sorgo forrajero
- 7.- Trigo
- 8.- Avena

Como se observó anteriormente, el valor de la función objetivo para la situación actual de 1000 hectáreas en el Valle, siguiendo el patrón óptimo de cultivos generado por esta alternativa, alcanza un ingreso de \$ 11,863,796.00; al incrementar el área en 150 hectáreas, alternativa  $A_2$ , este valor se ve incrementado en \$ 303,600.00 pesos que indica un aumento de \$ 2024 pesos por hectárea, al incrementar 150 hectáreas más, alternativa  $A_3$ , el valor de la alternativa  $A_2$  se incrementa en \$ 165,200 pesos lo que equivaldría a \$ 1101.33 pesos por hectárea; esto refleja que hay un incremento de \$ 1562.6 pesos por hectárea pasando de la alternativa  $A_1$  (1000 hectárea) a la alternativa  $A_3$  (1300 hectáreas).

La disminución del ingreso neto por hectáreas al pasar de la alternativa  $A_2$  a la  $A_3$  se debe a las restricciones impuestas al modelo y que limitan la inclusión de aquellas -

actividades más remunerativas, como lo muestran los valores - del precio sombra en cada alternativa para cada actividad restringida, llegando a alcanzar valores tan altos como \$15,189 pesos por hectárea en el caso de la actividad rye grass. Esto muestra más claramente el decremento en el valor de la función objetivo al incrementar la superficie con cultivos menos remunerativos.

Siendo el agua un elemento tan discutido actualmente, dada su gran escasez; por los resultados obtenidos se puede apreciar el ahorro que se logra mediante un uso adecuado, aumentando no solo las ganancias de capital sino la duración de reservas almacenadas. Gráfica 1 y 2 .

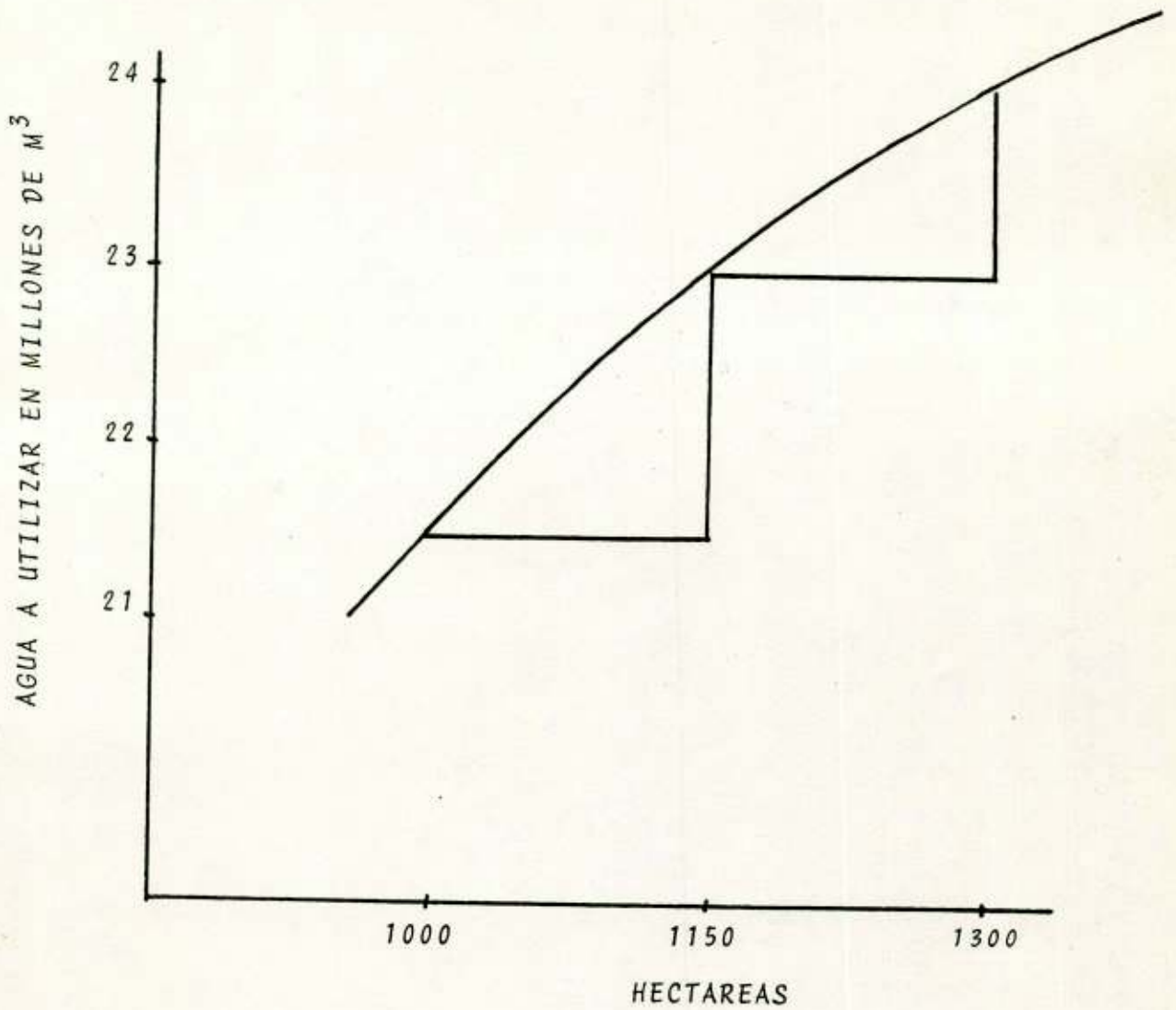
Asumiendo que la mano de obra total en el Valle fuera la mitad de lo considerado en el modelo, así se reflejaría el desempleo que existe en el Valle. La mano de obra se ve aumentada al ir incrementandose más tierras al cultivo. Gráfica 3.

El capital a invertir también se ve aumentado al incrementarse más tierras de cultivo, pero se considera remunerativo al aumentar la mano de obra a utilizar y el valor del programa. Gráfica 2.

La disponibilidad de tierra en el mes de octubre es una restricción fuerte, ya que para la alternativa A<sub>1</sub> alcanza



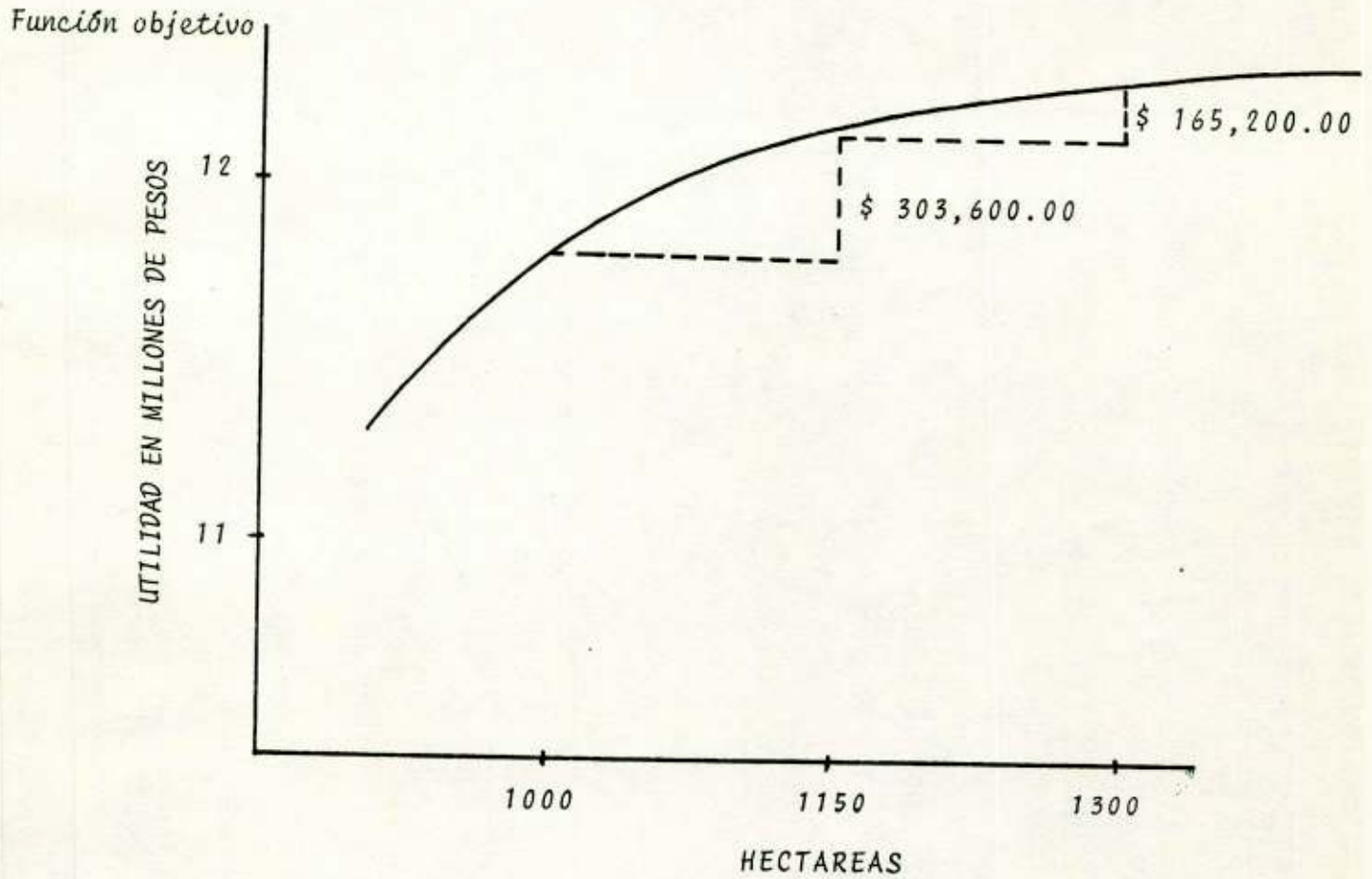
un valor de \$ 3,672 pesos/ha. que se ve reducido a \$1,200.00 pesos/ha. con el hecho de incrementar 150 hectáreas más (Alternativa A<sub>2</sub>). Este valor decrece aún más al incrementar 150 hectáreas más de cultivo (Alternativa A<sub>3</sub>) adquiriendo un valor de \$ 1,052.00 pesos/ha. Lo que viene a corroborar que da la disponibilidad de recursos y los supuestos con que se formularon las alternativas se está cada vez más cerca del óptimo económico (menor pérdida por hectárea) en la restricción de octubre al aumentar el número de hectáreas cultiva bles.



GRAFICA 1.

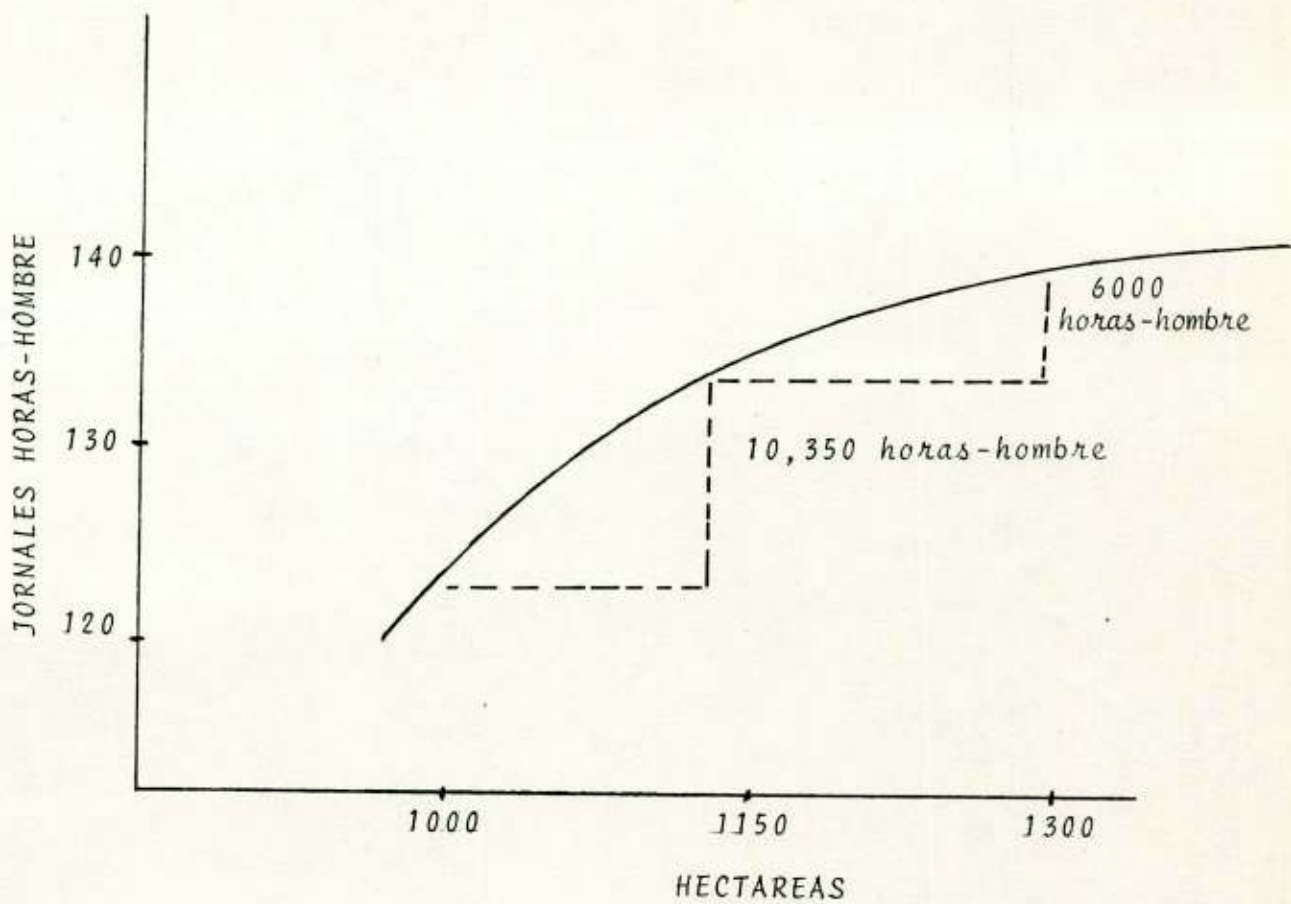
TOTAL DE AGUA A UTILIZAR SEGUN EL PATRON OPTIMO DE CULTIVOS RESPECTIVO.

RIS 7823



GRAFICA 2.

INCREMENTO DE GANANCIAS EN MILES DE PESOS AL AUMENTAR EL NUMERO DE HECTAREAS POR CULTIVO.



GRAFICA 3.

INCREMENTO EN MANO DE OBRA.

## RESUMEN Y CONCLUSIONES

El presente trabajo consistió en buscar un patrón óptimo de cultivos y determinar la cantidad de agua necesaria, así como la mano de obra requerida para llevar a cabo el patrón de cultivos a obtener, pretendiendo con esto optimizar los recursos disponibles en el Valle. El área de estudio se encuentra localizada en los Municipios de Huásabas y Granados, Sonora, que comprenden a la zona sierra. En ésta zona de estudio se continúa aun practicando prácticas agrícolas tradicionales aplicándose solo un 20% de técnica agrícola avanzada aproximadamente.

La primera etapa del trabajo consistió en la recopilación de datos:

- a) Cultivos comunes en la región
- b) Costo por ha. del cultivo en la región
- c) Rendimientos por hectárea
- d) Horas-hombre utilizadas por cultivo/ha.
- e) Agua utilizada por cultivo/ha.
- f) Capital requerido
- g) Época de utilización de la tierra
- h) Precio de la cosecha.

Posteriormente estos datos fueron utilizados para la formulación de una matriz para ser aplicada en programación lineal. Se utilizó el método simplex ejecutándose en la computadora electrónica IBM # 1130 del centro de cálculo de la Universidad de Sonora. Los cultivos utilizados fueron: Alfalfa (perenne), Avena forrajera, Cebada forrajera, Frijol de verano y Frijol de primavera, Maíz, Sorgo para grano y Sorgo para forraje, Rye-grass anual y Trigo.

Las restricciones tomadas fueron (1) cuatro disponibilidades de agua; 1, 2, 3 y 4 m<sup>3</sup> de agua por segundo por día (2) máximo disponible de horas-hombre existente en el Valle. El capital no se consideró como restricción, suponiendo la disponibilidad suficiente de crédito agrícola.

Por los resultados del programa obtenido se concluye:

1.- El abrir, mercado para una explotación más intensiva de Alfalfa, Rye grass, frijol etc. implica un incremento más que porporcional de ingreso neto regional.

2.- El incremento de hectáreas cultivables se ve justificado por la disponibilidad de agua, aumento en la mano de obra y mayores ingresos en la región.

3.- Existe agua suficiente para incrementar, de ser posible, en 3000 hectáreas más de tierra para la agricultura.

4.- Se sugiere la creación de cooperativas de consumo o la organización para compra y venta de productos y/o explotaciones agropecuarias integradas.

5.- Es justificado un programa de asistencia técnica bien organizada. La aplicación de la programación lineal para efectos de planeación y obtención de patrones óptimos de cultivos en la zona sierra está limitada por la ausencia de fuentes de datos confiables. Es necesario pues que se adopte un sistema de organización en la región para la generación - de datos necesarios para implementar un programa en la planeación de los cultivos.

6.- Se ve conveniente hacer un análisis entre nivelar los terrenos y/o usar equipos de riego por aspersión para optimizar el uso del agua.

7.- Se estima necesario continuar con una investigación más exhaustiva en esta región.

Dada la magnitud de los problemas presentados en el Valle, las alternativas de solución pueden ir desde el no hacer nada hasta el de elevar la cortina de la presa derivadora y subir la cota de los canales de distribución de agua a través del Valle, hecho que se considera necesario para resolver los demás problemas existentes, además sería una forma

*cómo incorporar más tierras de cultivo al riego.*



## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Angulo R. F.J., 1976. *Organización y planeación de una empresa agrícola en el Valle del Fuerte, Estado de Sinaloa. Tesis sin publicar. Inst.Téc. y Est.Sups. de Monterrey. Monterrey, N.L. México. .p. 20-22.*
- 2.- Barbosa, B.S. et.al, 1975. *Programación óptima de cultivos en los Distritos de Riego Bajo Río Bravo y Bajo Río San Juan, en el Estado de Tamaulipas, México. Agrociencia No.20. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.*
- 3.- Barbosa, B.S. y S.J, Montuñar, 1972. *Proyecto de Desarrollo Agropecuario para la Región de Caborca, Sonora. Estudio preliminar no publicado. Dirección General de Agricultura, Departamento de Planeación.p.p.80-55. México, D.F.*
- 4.- Bon, S. 1969. *Programación Lineal en la Planificación de las Fincas Agropecuarias en el Valle de Culiacán, Sinaloa. Tesis sin publicar. Inst.Téc. y Est.Superiores de Monterrey.Monterrey, N.L.Méx.*

- 5.- Castle, E.N. et.al. 1977. *Administración de Empresas Agropecuarias*, 2da. Impresión, Ed. El Ateneo, Buenos Aires, Argentina, p. 8.
- 6.- Chalita, L.E. y Barrera, D. 1975. *Modelos de Programación Matemática aplicados al Manejo de Agua*. Agrociencia No. 20. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. p.p. 43-49
- 7.- Heady, E. y Candler, W. 1969. *Linear Programming Methods*. the Iowa State University Press. Ames, Iowa - U.S.A. p.p. 1-20.
- 8.- Hernández, L.F.A. 1972. *Planes óptimos de cultivos para tres tamaños de Empresas Agrícolas y cuatro niveles de Disponibilidad del Recurso Agua en el Valle del Yaquí, Son.* Una aplicación de Programación lineal. Tesis sin publicar. Inst. Téc. y Est. Sups. de Monterrey, Monterrey, N.L. Méx. p.p. 10-14.
- 9.- Hoffman, R.A. 1969. *Análisis, Planeación y Control de la Empresa Agropecuaria*. Impresión Preliminar. Escuela de Agricultura y Ganadería, Instituto Tecnológico de Monterrey. Monterrey, N.L. Méx.

- 10.- Hutton, R. 1965; *Operation Research Techniques in Farm Management Journ of farm Economics*. Vol. 47: No. 5. p.p. 1400.
- 11.- Johnson, S.R. et.al. 1967. *Stochastic Linear Programming and Feasibility Problems in Farm Growth Analysis*. Journ of Farm Economics. Vol. 49: p.p. 908-919.
- 12.- Instituto de Investigación y Estudios Superiores del No<sub>roeste</sub>, A.C. 1979. *Estudio para la determinación de los cultivos óptimos para el desarrollo del corredor agrícola Sahuaripa Yécora*. Trabajo sin publicar. Hillo., Son., México.
- 13.- Katzman, I. 1956. *Solving Feed Problems Through Programming*. Journ of farm Economics. Vol. 38: p.p. 125-128.
- 14.- Ladd, G.W. and E. Easley. 1959. *An Application of Linear Programming to the Study of Supply Response in Dairing*. Res. Bull. 467. Iowa State College, Ames, Iowa, U.S.A.

- 15.- Lofstagrđ, L. et.al. 1960. *Programmĭng Procedures for Farm and Home Planning under Variable price, Yield and Capital Quantities*. Iowa State - University Press. Ames, Iowa. U.S.A.
- 16.- Miller, T.A. and Ch.Nauheim, 1964. *Linear Programmĭng Applied to Cost Minimizing Farm Management Strategies*. *Journ of farm Economic*. Vol.46: p.p. 556-566.
- 17.- Nielson, J. 1961. *Improvement of the Management Resource in Agriculture: Improved Managerial Process for Farmers*. *Journal of Farm Economics*. Vol. 43. 1251.
- 18.- Pérez, N.F. y T.L.E. Chalita. 1975. *Eficiencia Económica y Uso de los Recursos para Algunos Usuarios de Crédito Agrícola Supervisado en el Municipio de Celaya, Guanajuato*. *Agrociencia No. 20, Colegio de Postgraduados, Chapingo*, México. p.p. 27-35.
- 19.- Rodríguez, D.R. y R.G.Cummings, 1975. *Evaluación de un Proyecto de Vaso de Almacenamiento en el Río Sinaloa*. *Agrociencia No. 20, Colegio de Postgraduados, Chapingo*, México p. 21.

- 20.- Secretaría de Recursos Hidráulicos 1970. Región Hidráulica No. 9 Sonora Sur. Cuencas de los ríos Sonora - Yaqui - Mayo. Boletín Hidrológico No. 40 Méx. D.F.
- 21.- Southworth y Johnston. 1970. Desarrollo Agrícola y crecimiento Económico. 1a. ed. México, D.F.
- 22.- Skold, M. et.al. 1965. Profit Maximizing farm plans - for Farms in Southeastern Nebraska; By type and size of farm. The experiment Station. University of Nebraska, Res.Bull 219 Lincoln, Nebraska. U.S.A.
- 23.- Thierauf, R.J. y R.A. Grosse. 1977. Investigación de Operaciones, ed. Limusa, México p. 229.
- 24.- Tovar, H.S. et.al. 1975. Uso de los Recursos Productivos en la pequeña propiedad, en el Distrito de Riego No. 4 de Anáhuac, Nuevo León, Agrociencia No. 20, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México, p.p. 51-57.
- 25.- Tucker, H. 1966. Ideas Básicas en la Programación Lineal. Agrociencia No. 1, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México, p.p. 25-30.

- 26.- Ulrich, E. and T.J. Sanderson, 1969. Effect of alternative wheat and Feed Grain prices on optimum farms - plans and income. South Dakota state University. Exp. Sta. Bull. 562. Brookings, South Dakota U.S.A.
- 27.- Zambrano, O. 1971. Análisis económico del uso del agua, mano de obra y maquinaria agrícola en la Costa de Hermosillo, Sonora. Escuela Nacional de Agricultura. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- 28.- Zbinden L.A. 1976. Optimización en el uso de los recursos bajo diferentes disponibilidades en granjas localizadas en la región de Cadereyta, Jiménez, N.L. Tesis sin publicar Inst. Téc. y de Est. Sups. de Monterrey. Monterrey, N.L. México.