

"ENSEÑAR LA EXPLOTACIÓN DE
LA TIERRA, NO LA DEL HOMBRE"

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

OPTIMIZACIÓN DE LA RELACIÓN BENEFICIO COSTO DE UN SISTEMA AGROFORESTAL: PRECIOS ALEATORIOS, DISTINTOS ESCENARIOS Y EXTERNALIDADES

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

PRESENTA:

GUILLERMO LOERA GARCÍA

Chapingo, Estado de México
1999



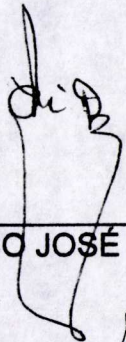
887161

**OPTIMIZACIÓN DE LA RELACIÓN BENEFICIO COSTO DE UN SISTEMA
AGROFORESTAL: PRECIOS ALEATORIOS, DISTINTOS ESCENARIOS Y
EXTERNALIDADES**

Tesis realizada por **Guillermo Loera García** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

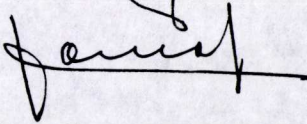
MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR:



DR. FRANCISCO JOSÉ ZAMUDIO SÁNCHEZ

ASESOR:



DR. JOSÉ LUIS ROMO LOZANO

ASESOR:



DR. AURELIO MANUEL FIERROS GONZÁLEZ

33930

**OPTIMIZACIÓN DE LA RELACIÓN BENEFICIO COSTO DE UN SISTEMA
AGROFORESTAL: PRECIOS ALEATORIOS, DISTINTOS ESCENARIOS Y
EXTERNALIDADES**

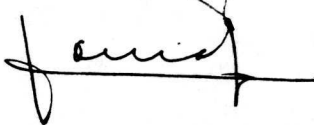
El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de **Guillermo Loera García** autor de la presente tesis de Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales estuvo constituido por:

PRESIDENTE:



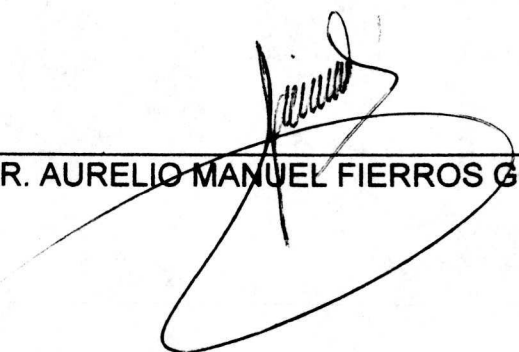
DR. FRANCISCO JOSÉ ZAMUDIO SÁNCHEZ

ASESOR:



DR. JOSÉ LUIS ROMO LOZANO

ASESOR:



DR. AURELIO MANUEL FIERROS GONZÁLEZ

DEDICATORIA

**AL ANHELO DE SUPERACIÓN
LUZ DIVINA QUE ME ACOMPAÑA**

**CON CARÍÑO
A MIS HIJOS GUILLERMO Y JESUS, A MI ESPOSA,
A LA MEMORIA DE MI PADRE,
A MI MADRE Y A MIS HERMANAS.**

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y a la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), por el financiamiento y la oportunidad que se me dio para realizar mis estudios de postgrado.

Al Dr. Francisco José Zamudio Sánchez, por el apoyo que me brindo en la dirección y redacción de esta tesis.

Al Dr. José Luis Romo Lozano y al Dr. Aurelio Manuel Fierros González, por su participación en la revisión y sugerencias en este trabajo.

A todos los catedráticos que me dieron la oportunidad de aprender de sus conocimientos.

A mis compañeros de generación y a todas las personas que me brindaron su amistad y apoyo durante mi estancia en la UACH.

DATOS BIOGRÁFICOS

Nombre: Guillermo Loera García.
Fecha de Nacimiento: Diciembre 30 de 1969.
Nacionalidad: Mexicano.
Profesión: Ingeniero Agrónomo Forestal.
Cédula Profesional: 1964346.
No. De Cartilla del SMN: B-4413249.

EDUCACIÓN:

Bachillerato:

(1985-1988) Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 170.

Licenciatura:

(1988-1990) Instituto Tecnológico Agropecuario No. 24.

(1990-1992) Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Chihuahua.

CARGOS DESEMPEÑADOS:

- (Enero-Diciembre 1993) Supervisor de plantaciones forestales experimentales. PONDERCEL S.A. de C.V. Chihuahua, Chih.
- (Marzo-Junio 1996) Profesor en el Centro de Bachillerato Tecnológico Forestal No. 5. Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria. Guerrero.
- (Junio 1996 a la fecha) Jefe de Producción e Investigación en la Coordinación Estatal de la Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria en el Estado de Guerrero.
- (Marzo 1996-Abril 1997) Vocal del Comité Estatal de Investigación de la Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria en el Estado de Guerrero.
- (Abril 1997 a la fecha) Secretario del Comité Estatal de Investigación de la Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria en el Estado de Guerrero.

RESUMEN

OPTIMIZACIÓN DE LA RELACIÓN BENEFICIO COSTO DE UN SISTEMA AGROFORESTAL: PRECIOS ALEATORIOS, DISTINTOS ESCENARIOS Y EXTERNALIDADES

Guillermo Loera García: Maestro en Ciencias en Ciencias Forestales
Universidad Autónoma Chapingo
Dr. Francisco José Zamudio Sánchez

Se plantean los sistemas agroforestales como una alternativa para el uso de los recursos naturales que aumenten o al menos mantengan la productividad de la tierra sin causar degradación, y satisfaciendo el criterio de optimización de la utilidad neta obtenida, ajustándose a las restricciones de tierra y capital y la condición de riesgo medida por la relación beneficio costo.

Se incorporan costos de externalidades de acuerdo a las actividades e insumos que las causan, como una alternativa para garantizar el restablecimiento de las condiciones originales al proceso de producción. La optimización del sistema se realiza en tres distintos escenarios de rendimientos (desfavorable, promedio y favorable).

Los resultados reflejan que los cultivos extensivos reducen los riesgos de la inversión con relación a los intensivos, y que cuando existe exceso de tierra frente a capital se obtienen soluciones racionales, no así cuando se tiene exceso de capital frente a tierra.

Palabras clave: sistema agroforestal, relación beneficio costo, precios aleatorios, externalidades.

SUMMARY

Guillermo Loera García

OPTIMIZATION OF THE RELATIONSHIP COST BENEFIT OF AN AGROFORESTRY SYSTEM: RANDOM PRICES, DIFFERENT STAGES AND EXTERNALITIES

(1999)

(Under the direction of: Francisco José Zamudio Sánchez, Ph.D.)

Agroforestry systems are established as an alternative use of natural resources to increase or at least maintain the productivity of the land without causing degradation, and satisfying the optimization criterion of net profit, being adjusted to the land and capital restrictions and the risk condition measured by the cost benefit relationship.

Externality costs are incorporated according to the activities and input that cause them as an alternative to guarantee the reestablishment of the original conditions existing before the production process. The optimization of the system is searched in three different yield scenarios (unfavorable, average and favorable).

The results reflect that extensive cultivation reduce the risks of investment in relation to intense cultivation, and that when exists excess of land as compared to capital rational solutions are obtained, the oposit ocurre when there are excess of capital as compared to land.

Key words: agroforestry systems, cost benefit relationship, random prices, externalities.

ÍNDICE

CAPÍTULO	PÁGINA
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
DATOS BIOGRÁFICOS	vi
RESUMEN	vii
SUMMARY	viii
ÍNDICE	ix
ÍNDICE DE CUADROS	xiii
ÍNDICE DEL ANEXO	xvii
 I INTRODUCCIÓN	 01
1.1 Objetivos	03
1.2 Hipótesis	04
 II REVISIÓN DE LITERATURA	 05
2.1 Sistemas Agroforestales	05
2.1.1 Concepto de agroforestería	05
2.1.2 Objetivo de los sistemas agroforestales	06

CAPÍTULO	PÁGINA
2.1.3 Clasificación de los sistemas agroforestales	06
2.1.4 Ventajas de los sistemas agroforestales	08
2.1.5 Desventajas de los sistemas agroforestales	09
2.2 Externalidades	10
2.3 Programación Lineal	12
 III LOCALIZACIÓN DE LA REGIÓN DE ESTUDIO	 14
3.1 Generalidades del Estado de Morelos	14
3.1.1 Ubicación	14
3.1.2 Hidrografía	14
3.1.3 Clima	15
3.1.4 Edafología	15
3.1.5 Agricultura y vegetación	16
3.2 Generalidades del área de estudio	17
 IV METODOLOGÍA	 18
4.1 Selección de especies	18
4.2 Acopio de información de los cultivos	19
4.2.1 Estimación de costos de producción	19
4.2.2 Estadísticas de rendimiento, producción y precios	20
4.3 Actualización de precios	21

CAPÍTULO	PÁGINA
4.4 Costos de externalidades	22
4.5 Optimización del sistema	23
4.5.1 Determinación de escenarios (desfavorable, promedio y favorable)	24
4.5.2 Determinación de precios	26
4.5.3 Determinación de la tasa de interés mínima atractiva	30
4.5.4 Valor Presente Neto (VPN)	30
4.5.5 Cálculo de la relación beneficio costo	31
4.5.5.1 Valor terminal de los cultivos perennes	31
4.5.5.2 Cálculo de la relación beneficio costo	32
4.5.6 Diseño y optimización del sistema	33
4.5.6.1 Función objetivo	34
4.5.6.2 Restricciones	35
4.5.6.3 Optimización del sistema	36
V RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
5.1 Optimización del sistema sin considerar costos por externalidades	37
5.1.1 Escenario desfavorable de rendimientos	38
5.1.2 Escenario promedio de rendimientos	46
5.1.3 Escenario favorable de rendimientos	50

CAPÍTULO	PÁGINA
5.2 Optimización del sistema considerando costos por externalidades	54
5.2.1 Escenario desfavorable de rendimientos	55
5.2.2 Escenario promedio de rendimientos	57
5.2.3 Escenario favorable de rendimientos	58
5.3 Análisis conjunto de la optimización de los sistemas sin considerar costos por externalidades y considerando costos por externalidades	60
5.4 La relación beneficio costo como una medida de riesgo	61
VI CONCLUSIONES	64
VII LITERATURA CITADA	67
ANEXO	70

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1	Relación beneficio costo de los cultivos sin considerar costos por externalidades	37
2	Utilidad Neta Presente por hectárea de los cultivos durante el horizonte de planeación de 10 años, sin considerar costos por externalidades.	38
3	Solución de optimización para capital limitado (\$ 14,202.00) y 4.0 ha de tierra, costo y utilidad bruta total y capital disponible por año, en el escenario desfavorable de rendimientos, sin considerar costos por externalidades.	38
3A	Cantidad de tierra que se elegiría de cada cultivo como segunda opción, capital a consumir y utilidad neta, para capital limitado (\$ 14,202.00) y 4.0 ha de tierra, en el escenario desfavorable de rendimientos, sin considerar costos por externalidades.	40
4	Solución de optimización para capital máximo (\$ 43,004.00) y 4.0 ha de tierra, costos y beneficios totales y capital disponible por año, en el escenario desfavorable de rendimientos, sin considerar costos por externalidades.	41
4A	Cantidad de tierra que se elegiría de cada cultivo como segunda opción, capital a consumir y utilidad neta, para capital máximo (\$ 43,004.00) y 4.0 ha de tierra, en el escenario desfavorable de rendimientos, sin considerar costos por externalidades.	43
5	Solución de optimización para capital máximo (\$ 43,004.00) y 12.0 ha de tierra, costos y beneficios totales y capital disponible por año, en el escenario desfavorable de rendimientos, sin considerar costos por externalidades.	44

CUADRO**PÁGINA**

5A	Cantidad de tierra que se elegiría de cada cultivo como segunda opción, capital a consumir y utilidad neta, para capital máximo (\$ 43,004.00) y 12.0 ha de tierra, en el escenario desfavorable de rendimientos, sin considerar costos por externalidades.	45
6	Solución de optimización para capital limitado (\$ 14,202.00) y 4.0 ha de tierra, costos y beneficios totales y capital disponible por año, en el escenario promedio de rendimientos, sin considerar costos por externalidades.	47
7	Solución de optimización para capital máximo (\$ 43,004.00) y 4.0 ha de tierra, costos y beneficios totales y capital disponible por año, en el escenario promedio de rendimientos, sin considerar costos por externalidades.	48
8	Solución de optimización para capital máximo (\$ 43,004.00) y 12.0 ha de tierra costos y beneficios totales y capital disponible por año, en el escenario promedio de rendimientos, sin considerar costos por externalidades.	50
9	Solución de optimización para capital limitado (\$ 14,202.00) y 4.0 ha de tierra, costos y beneficios totales y capital disponible por año, en el escenario favorable de rendimientos, sin considerar costos por externalidades.	51
10	Solución de optimización para capital máximo (\$ 43,004.00) y 4.0 ha de tierra, costos y beneficios totales y capital disponible por año, en el escenario favorable de rendimientos, sin considerar costos por externalidades.	52
11	Solución de optimización para capital máximo (\$ 43,004.00) y 12.0 ha de tierra, costos y beneficios totales y capital disponible por año, en el escenario favorable de rendimientos, sin considerar costos por externalidades.	53

CUADRO**PÁGINA**

12	Relación beneficio costo de los cultivos sin considerar costos por externalidades.	55
13	Utilidad Neta Presente por hectárea de los cultivos durante el horizonte de planeación de 10 años, considerando costos por externalidades.	55
14	Solución de optimización para capital limitado (\$ 14,202.00) y 4.0 ha de tierra, costos y beneficios totales y capital disponible por año, en el escenario desfavorable de rendimientos, considerando costos por externalidades.	55
15	Solución de optimización para capital máximo (\$ 43,004.00) y 4.0 ha de tierra, costos y beneficios totales y capital disponible por año, en el escenario desfavorable de rendimientos, considerando costos por externalidades.	56
16	Solución de optimización para capital máximo (\$ 43,004.00) y 12.0 ha de tierra, costos y beneficios totales y capital disponible por año, en el escenario desfavorable de rendimientos, considerando costos por externalidades.	56
17	Solución de optimización para capital limitado (\$ 14,202.00) y 4.0 ha de tierra, costos y beneficios totales y capital disponible por año, en el escenario promedio de rendimientos, considerando costos por externalidades.	57
18	Solución de optimización para capital máximo (\$ 43,004.00) y 4.0 ha de tierra, costos y beneficios totales y capital disponible por año, en el escenario promedio de rendimientos, considerando costos por externalidades.	57
19	Solución de optimización para capital máximo (\$ 43,004.00) y 12.0 ha de tierra, costos y beneficios totales y capital disponible por año, en el escenario promedio de rendimientos, considerando costos por externalidades.	58

CUADRO**PÁGINA**

20	Solución de optimización para capital limitado (\$ 14,202.00) y 4.0 ha de tierra, costos y beneficios totales y capital disponible por año, en el escenario favorable de rendimientos, considerando costos por externalidades.	58
21	Solución de optimización para capital máximo (\$ 43,004.00) y 4.0 ha de tierra, costos y beneficios totales y capital disponible por año, en el escenario favorable de rendimientos, considerando costos por externalidades.	59
22	Solución de optimización para capital máximo (\$ 43,004.00) y 12.0 ha de tierra, costos y beneficios totales y capital disponible por año, en el escenario favorable de rendimientos, considerando costos por externalidades.	59
23	Solución de optimización con la restricción beneficio costo, para capital máximo (\$ 43,004.00) y 4.0 ha de tierra, costos y beneficios totales y capital disponible por año, en el escenario desfavorable de rendimientos, sin considerar costos por externalidades.	62

ÍNDICE DEL ANEXO

CUADRO		PÁGINA
1	Costos de producción del Aguacate por hectárea sin considerar costos por externalidades.	71
2	Costos de producción del Higo por hectárea sin considerar costos por externalidades.	72
3	Costos de producción del Chapulxtle por hectárea sin considerar costos por externalidades.	73
4	Costos de producción de la Calabacita por hectárea sin considerar costos por externalidades.	74
5	Costos de producción del Melón por hectárea sin considerar costos por externalidades.	75
6	Costos de producción de la Cebolla por hectárea sin considerar costos por externalidades.	76
7	Rendimientos promedio (ton/ha) registrados en el Estado de Morelos en el periodo 1988 - 1997.	77
8	Producción (ton) presentada en el Estado de Morelos durante el periodo 1988 – 1997.	77
9	Precios (\$/kg) registrados en el Estado de Morelos durante el periodo 1988 – 1997.	78
10	Promedio anual del índice nacional de precios al productor (INPP), precios corrientes y precios actualizados (\$/kg).	78
11	Costos de producción del Aguacate por hectárea considerando costos por externalidades.	79
12	Costos de producción del Higo por hectárea considerando costos por externalidades.	80

CUADRO**PÁGINA**

12	Costos de producción del Higo por hectárea considerando costos por externalidades.	80
13	Costos de producción del Chapulixtle por hectárea considerando costos por externalidades.	81
14	Costos de producción de la Calabacita por hectárea considerando costos por externalidades.	82
15	Costos de producción del Melón por hectárea considerando costos por externalidades.	83
16	Costos de producción de la Cebolla por hectárea considerando costos por externalidades.	84
17	Escenarios desfavorable, promedio y favorable de rendimientos (ton/ha).	85
18	Frecuencia de precios obtenida para cada año en el periodo 1988 – 1997.	85
19	Valor de los parámetros de la distribución probabilística Weibull de los precios para los diversos cultivos, calculados en el programa SAS.	85
20	Valor Terminal actualizado (\$) de los cultivos Aguacate, Higo y Chapulixtle en los tres escenarios, sin considerar externalidades (SE) y considerando externalidades (CE).	85

PROGRAMA		PÁGINA
1	Programa en SAS para calcular los parámetros de la distribución probabilística Weibull para el cultivo del Aguacate.	86
2	Programa en SAS para calcular los parámetros de la distribución probabilística Weibull para el cultivo del Higo.	86
3	Programa en SAS para calcular los parámetros de la distribución probabilística Weibull para el cultivo de la Calabacita.	86
4	Programa en SAS para calcular los parámetros de la distribución probabilística Weibull para el cultivo del Melón.	86
5	Programa en SAS para calcular los parámetros de la distribución probabilística Weibull para el cultivo de la Cebolla.	87
6	Programa en SAS, utilizado para generar los precios aleatorios.	87

EJEMPLO		PÁGINA
1	Transformación inversa probabilística de la función de distribución probabilística Weibull.	88
2	Ejemplo de un modelo de optimización con la restricción de la relación beneficio costo, con exceso de capital y tierra en 4.00 hectáreas, para el escenario desfavorable sin considerar costos de externalidades.	89

I INTRODUCCIÓN

En los últimos cincuenta años, se ha registrado una intensa transformación demográfica y económica en donde los países y regiones del mundo han venido enfrentando un entorno ambiental cada vez más deteriorado, que se ve acentuado por los cambios globales ocurridos tanto en las actividades económicas como en los patrones de explotación de los recursos naturales. Frente a ello, se requieren medidas y mecanismos de protección y administración, así como políticas de desarrollo que hagan sustentable la explotación de dichos recursos. Ahora los países están asumiendo este desafío con un enfoque que considera a los recursos naturales como bienes escasos, que hay que conservar y proteger (INEGI, 1998).

En este marco, se buscan sistemas sostenibles que no dañen al ecosistema y que satisfagan algún criterio de eficiencia como la utilidad neta, siendo los sistemas agroforestales una excelente alternativa para el uso de los recursos naturales, que aumente o al menos mantenga la productividad de la tierra sin causar degradación, al mismo tiempo que se maximiza esta utilidad ajustándose a las restricciones que se tienen en los propios recursos, como son tierra, mano de obra y capital, sin incorporar excesos de este último para evitar soluciones contrarias al propósito del criterio de optimización.

De igual forma, se plantea la consideración de los costos de los efectos que las externalidades negativas causan en los procesos de producción, para restablecer las condiciones anteriores a tales procesos.

Las investigaciones enfocadas al estudio de la evaluación financiera de un sistema, tradicionalmente solo determinan indicadores financieros tales como la tasa interna de retorno, valor actual neto, valor anual equivalente, relación beneficio costo, entre otros; los cuales indican la eficiencia del sistema y dicha evaluación nunca va más allá de esta predicción sin utilizan estos indicadores a través de sus distribuciones probabilísticas para conocer sus valores promedio y su correspondiente distribución que pueden actuar como una medida de riesgo para optimizar los componentes del sistema sujeto a determinadas restricciones de acuerdo con los objetivos del productor.

De esta forma, y dado que la relación beneficio costo es una medida de riesgo y es una variable no controlable, es decir, aleatoria; se estableció la distribución probabilística a los precios de los productos para determinar a través de simulación, la distribución de dicha relación y así estimar su valor promedio para satisfacer los criterios de optimización (máxima utilidad neta) sujeta a restricciones de tierra, capital y la condición de riesgo medida por la misma relación beneficio costo.

1.1 Objetivos

1. Exhibir a través del análisis beneficio costo del sistema, lo inadecuado que resulta optimizar la función de utilidad neta si se hace de modo irrestricto, lo que obliga a introducir alguna restricción para garantizar un equilibrio entre la ganancia y el riesgo que se adquiere para obtenerla.
2. Mostrar la importancia de la estimación de los costos y beneficios que se tienen en un problema de optimización ante la optimización del mismo, ya que lo primero determina la racionalidad de la solución y lo segundo es una simple rutina computacional.
3. Observar que la tierra es un recurso especial, entendiendo por esto que excesos de tierra en el sistema no conducen a soluciones óptimas absurdas.
4. Apreciar que los cultivos extensivos por sus altas relaciones beneficio costo pueden representar excelentes opciones de inversión en condiciones en donde se carece de capital ante excesos de tierra.
5. Incluir costos de efectos de las externalidades del proceso de producción que garanticen en parte la reparación de los efectos negativos.

1.2 Hipótesis

1. La relación beneficio costo actúa como una medida de riesgo de la inversión y su inclusión como restricción en el modelo de optimización reduce dicho riesgo.
2. La recuperación de los costos de los efectos de las externalidades negativas garantiza el restablecimiento de las condiciones iniciales del proceso de producción.

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Sistemas Agroforestales

2.1.1 Concepto de agroforestería

Agroforestería es un nombre colectivo para formas de uso y manejo de los recursos naturales en las cuales especies leñosas (árboles, arbustos, palmas, etc.) son utilizadas en forma deliberada con cultivos agrícolas o con animales en el mismo terreno, de manera simultánea o en una secuencia temporal (Torquebiau, 1990, Montagnini *et al*, 1992 y Nair, 1993). En los sistemas agroforestales hay interacciones económicas y ecológicas entre los diferentes componentes (Nair, 1993). Esta definición implica que:

- La agroforestería normalmente involucra dos o más especies de plantas (o plantas y animales), al menos una de las cuales debe ser planta leñosa;
- Un sistema agroforestal siempre tiene dos o más productos;
- El ciclo de un sistema agroforestal es siempre mayor de un año; y
- El más simple sistema agroforestal es más complejo ecológicamente (estructuralmente y funcionalmente) y económicamente, que un sistema de monocultivo.

2.1.2 Objetivo de los sistemas agroforestales

Montagnini *et al* (1992) mencionan los siguientes objetivos:

- Aumentar la productividad vegetal y animal.
- Asegurar la sostenibilidad a través de la intensificación apropiada en el uso de la tierra.
- Diversificar la producción de alimentos.
- Producir madera, leña y otros materiales diversos que sirvan para la subsistencia del agricultor, el uso industrial o la exportación.
- Disminuir los riesgos del agricultor.
- Mitigar los efectos perjudiciales del sol, el viento y la lluvia sobre los suelos.
- Minimizar la escorrentía del agua y la pérdida de suelo.
- Combinar lo mejor de la experiencia tradicional con los conocimientos modernos.

2.1.3 Clasificación de los sistemas agroforestales

Los sistemas agroforestales han sido clasificados de diferentes maneras: según su estructura en el espacio, su diseño a través del tiempo, la importancia relativa y la función de los diferentes componentes, los objetivos de la producción y las características sociales y económicas prevalentes (Montagnini *et al*, 1992). Por ejemplo, la clasificación presentada por Combe y Budowsky

(1979) citados por Montagnini *et al* (1992) se basa en los productos que se pueden obtener y el tipo de combinaciones entre los componentes. Office of Technology Assesment (1984) citado por Montagnini *et al* (1992) basa su clasificación en la escala y en los objetivos de la producción (sistemas agroforestales comerciales, de subsistencia e intermedios).

Nair (1993) recomienda una clasificación en la que se tomen en cuenta los aspectos estructurales y funcionales como base para agrupar los sistemas en categorías: sistemas agrosilviculturales (combinaciones de árboles con cultivos), silvopastorales (árboles con ganadería) y agrosilvopastorales (árboles con cultivos y ganadería).

Montagnini *et al* (1992) presentan la siguiente clasificación:

A. Sistemas agroforestales secuenciales: en ellos existe una relación cronológica entre las cosechas anuales y los productos arbóreos; es decir, que los cultivos anuales y las plantaciones de árboles se suceden en el tiempo. Esta categoría incluye formas de agricultura migratoria con intervención o manejo de barbechos, y los sistemas taungya, métodos de establecimiento de plantaciones forestales en los cuales los cultivos anuales se llevan a cabo simultáneamente con las plantaciones de árboles, pero solo temporalmente, hasta que el follaje de los árboles se encuentre desarrollado.

B. Sistemas agroforestales simultáneos: consisten en la integración simultánea y continua de cultivos anuales o perennes, árboles maderables, frutales o de uso múltiple, y/o ganadería. Estos sistemas incluyen asociaciones de árboles con cultivos anuales o perennes, huertos caseros mixtos y sistemas agrosilvopastoriles.

C. Sistemas agroforestales de cercas vivas y cortinas rompevientos: consisten en hileras de árboles que pueden delimitar una propiedad o servir de protección para otros componentes u otros sistemas; se les puede considerar como sistemas complementarios de los nombrados anteriormente.

2.1.4 Ventajas de los sistemas agroforestales

Nair (1993), menciona las siguientes ventajas o beneficios de los sistemas agroforestales:

- Mantiene o incrementa la productividad del sitio a través del reciclaje de nutrientes y protección del suelo con bajos costos de capital y mano de obra.
- Incrementa el valor de los productos de un área dada de tierra.
- Diversifica la variedad de productos de un área dada, incrementando la autosuficiencia del mismo y/o reduciendo el riesgo de impactos adversos climáticos, biológicos o de mercado.

- Hay más flexibilidad para distribuir el trabajo a lo largo de todo el año y no sólo en una temporada

2.1.5 Desventajas de los sistemas agroforestales

Nair (1993), menciona las siguientes desventajas o costos de los sistemas agroforestales:

- Los árboles reducen los rendimientos de los cultivos anuales al competir por el uso de la tierra arable, por el efecto del crecimiento de las raíces y los efectos alelopáticos.
- Incompatibilidad de los árboles con las prácticas agrícolas.
- Los árboles pueden impedir la cosecha de los cultivos y la introducción de la mecanización, y así, incrementar los costos de mano de obra e inhibir los avances de las prácticas agrícolas.
- En donde la época de plantación es muy restringida, por ejemplo en condiciones áridas o semiáridas, la demanda o disponibilidad de mano de obra puede impedir la plantación de los árboles.
- El relativamente largo periodo de producción de los árboles puede demorar los ingresos más allá de lo que puedan soportar los productores de escasos recursos e incrementa los riesgos para ellos asociados con la inseguridad de la posesión del recurso.

2.2 Externalidades

Las externalidades son efectos positivos o negativos derivados de actividades o procesos llevados a cabo en un sistema. Determinar la magnitud positiva o negativa de las externalidades implica cierto grado de dificultad. Como ejemplo de externalidad positiva está la ejecución de un proyecto de reforestación, que beneficia suelos, clima y calidad de aire. Por el contrario, una externalidad negativa sería la contaminación ambiental producida por fábricas y cuyo costo no es absorbido por la industria (Martínez y Zarate, 1993 y Esparza, 1997).

Aún cuando los efectos de las externalidades son razonablemente bien entendidos, calcular sus costos para la sociedad es una tarea difícil. Algunos de estos costos pueden en principio ser cuantificados, pero muchos otros suponen bienes sin mercado y dependen de juicios altamente polémicos tal como el valor monetario de la vida humana. No obstante, pueden calcularse estimaciones preliminares de algunos costos externos. Para algunos problemas ambientales, como aquellos que surgen de la erosión del suelo, las estimaciones pueden ser basadas sobre daños medibles y reportarse con cierta confianza; para otros, como el impacto del uso de pesticidas sobre la vida silvestre, la información es más débil (Steiner *et al*, 1995).

Steiner *et al* (1995) desarrollaron rangos de costos para externalidades causadas por el uso de pesticidas y fertilizantes y la erosión del suelo, a nivel nacional para Estados Unidos. Los pesticidas entran al ambiente en numerosas maneras para causar problemas; idealmente sólo afectarían a especies blanco y rápidamente degradarse, pero pueden ocurrir pérdidas de diferentes maneras, tal como derramas, pérdidas de almacenamiento, pérdidas en el aire durante la aplicación, filtrándose a través del perfil del suelo en el agua subterránea, en el agua de desagüe superficial y residuos de pesticidas en la cosecha, entre otras. Estos autores consideraron tres categorías de costos de externalidad por pesticidas: costos regulatorios (costos de capital y operación que resultan de las regulaciones ambientales del gobierno para el uso de pesticidas), efectos en la salud humana (costo de los efectos agudos y crónicos en la salud por pesticidas) y costos ambientales (reducción de enemigos naturales y epidemias de plagas secundarias, resistencia a plagas, pérdida de cosechas, envenenamientos de abejas, pérdidas de peces y animales silvestres, muertes de animales domesticados). Contrastando el valor de éstos costos con el capital invertido en pesticidas, estimaron un rango de costos de externalidades entre el 30% y 90% del total del gasto para pesticidas.

En el caso de externalidades de fertilizante, también consideraron las tres categorías: costos regulatorios (costos de capital y operación que resultan de las regulaciones ambientales del gobierno para el uso de fertilizantes), efectos en la salud humana (costos en la salud asociados principalmente con la

aplicación al exponerse a los nitratos creados durante el proceso de nitrificación) y costos ambientales (particularmente la eutrofijación en los cuerpos de agua causada por la carga de fósforo). En este caso, estimaron un rango de costos de externalidades entre el 1% y 2% del total del gasto para fertilizantes.

En las externalidades asociadas a la erosión del suelo, consideraron los efectos causados fuera del sitio en donde se sucede la erosión: efectos en la recreación en agua dulce y marina, tratamiento de aguas municipales, inundaciones, etc. y determinando una tasa de erosión por año.

2.3 Programación Lineal

A la programación lineal se le concibe como una herramienta que permite la asignación de recursos escasos entre actividades competitivas para tender a un óptimo, sujetándose a un conjunto de restricciones (Hillier, 1974, citado por Rivero, 1987); o bien, como el análisis de problemas en los que se pretende maximizar o minimizar una función lineal caracterizada por un cierto número de variables sujetas a un conjunto de restricciones en la forma de desigualdades lineales (Dorfman, 1958, citado por Rivero, 1987).

Desde su aparición a finales de la década de 1940, la programación lineal ha demostrado que es una de las herramientas más efectivas de la

investigación de operaciones. Su éxito se debe a su flexibilidad para describir un gran número de situaciones reales en las siguientes áreas: militar, industrial, agrícola, de transporte, de la economía, de sistemas de salud, e incluso en las ciencias sociales y de la conducta. Un factor importante en el uso amplio de esta técnica es la disponibilidad de programas muy eficientes de computadora para resolver problemas (Taha, 1995).

La programación lineal es una herramienta determinística, es decir, todos los parámetros del modelo se suponen conocidos con certeza. Sin embargo, en la vida real, es raro encontrar un problema donde prevalezca una verdadera certeza respecto a los datos.

III LOCALIZACIÓN DE LA REGIÓN DE ESTUDIO

3.1 Generalidades del Estado de Morelos

3.1.1 Ubicación

El Estado de Morelos se encuentra localizado en las coordenadas geográficas al norte 19° 08', al sur 18° 20' de latitud norte; al este 98° 37' y al oeste 99° 30' de longitud oeste. Colinda al norte con el Estado de México y el Distrito Federal; al este con México y Puebla; al sur con Puebla y Guerrero y al oeste con Guerrero y México (INEGI, 1997).

3.1.2 Hidrografía

Se distinguen dos regiones hidrológicas: Balsas y Panuco. La primera abarca el 99.95% de la superficie estatal con dos cuencas: Río Atoyac (14.28% y Río Grande de Amacuzac (85.67%). La segunda región comprende únicamente el 0.05% del territorio estatal con la cuenca del Río Moctezuma.

Existen varias corrientes que drenan el estado, siendo las más importantes los ríos Cuautla, Yautepec y Tepalcingo (INEGI, 1997).

3.1.3 Clima

El clima predominante es el cálido subhúmedo presente en el 66.91% del territorio estatal, y rige principalmente en las zonas bajas de los ríos Amacuzac y Atoyac. El clima semicálido subhúmedo (18.74%) se presenta en una franja que va de este a oeste en la región norte que es una zona de transición entre la sierra y los valles. El templado subhúmedo (10.66%) se distribuye en la zona norte sobre todo en las partes altas de los valles de Cuernavaca y Cuautla.

Los climas semifrío húmedo (2.02%), semifrío subhúmedo (1.54%) y frío (0.13%) se reducen a pequeñas áreas localizadas en el extremo norte en las partes más altas de la sierra, la cordillera neovolcánica y la sierra nevada o transversal (INEGI, 1997 y Guzmán, 1990).

3.1.4 Edafología

De acuerdo al sistema de clasificación de suelos propuesto por la FAO/UNESCO/ISRIC, versión 1988 (citado por en INEGI, 1998), en Morelos se han identificado cuatro tipos: Feozem que cubre el 86.20% de la superficie estatal y corresponde a suelos que presentan una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y en nutrientes; Andosol que cubre el 9.72%, son suelos formados de cenizas volcánicas con superficies oscuras muy susceptibles a la erosión; Arenosol que cubre el 3.68%, se caracteriza por

estar formados por arenas; y finalmente, el Leptosol que cubre únicamente el 0.40% de la superficie estatal (INEGI, 1998),

3.1.5 Agricultura y vegetación

Las zonas dedicadas a la agricultura abarcan el 54.31% de la superficie estatal. Entre los cultivos anuales destacan el Maíz, el Frijol y la Cebolla y en los perennes la Caña de azúcar, el Aguacate y el Durazno (INEGI, 1997 y SAGAR, 1998).

La selva baja caducifolia cubre el 29.85%. En ella se encuentran especies tales como *Bursera fagaroides* (Copal), *B. copallifera* (Cuajote, Copal), *Lysiloma acapulcensis* (Tepeguaje), *Ipomoea wolcottiana* (Cazahuate) y *Ceiba pantandra* (Pochote) que destacan por su importancia medicinal, artesanal ornamental y /o combustible.

Las áreas de bosque comprenden el 9.75% de la superficie estatal y se distinguen por su importancia comercial e industrial las especies de *Pinus moctezumae* (Ocote blanco), *P. leiophylla* (Chino), *Quercus rugosa* (Quebracho), *Q. laurina* (Laurelillo) y *Q. magnoliifolia* (Encino).

Las zonas de pastizales abarcan únicamente el 5.04% de la superficie estatal y por su importancia como forraje destacan los pastizales *Arístida*

adscensionis (Zacate). *Hilana cenchroides* (Grama negra), *Bouteloua filiformes* (Navajita), *Heteropogon contortus* (Zacate) y *Muhlenbergia macroura* (Zacatón) (INEGI, 1997).

3.2 Generalidades del área de estudio

Por los cultivos incluidos, el presente estudio está dirigido básicamente para la región oriente norte del Estado de Morelos, situada en las coordenadas geográficas 18° 53' de latitud norte y 98° 44' de longitud oeste y en altitudes que varían de 1580 a 2220 msnm. Esta región comprende los Municipios Yecapixtla, Ocuituco, Temoac, Zacualpan y Tetela del Volcán (INEGI, 1997).

IV METODOLOGÍA

Para cumplir con los objetivos propuestos y probar las hipótesis planteadas en el presente trabajo, se siguió la metodología que a continuación se describe y se pone a consideración para ser analizada y discutida.

4.1 Selección de especies

La explotación de numerosos cultivos en nuestro país se circunscribe a zonas fértiles, con características climáticas y de suelo específicas, pero las condiciones que precisan estos cultivos no tienen porque delimitarse a dichas áreas (Aragón, 1995). Tomando en cuenta lo anterior, dos aspectos son esenciales para elegir que cultivos se pueden establecer en determinada región: a) Conocer las necesidades de clima y suelo para dicho cultivo, y analizar si están acordes con la zona donde se piensa establecer dicho cultivo, y b) Conocer más sobre el cultivo en cuanto a variedades más comunes, si hay mercado para la posible producción y si es o no redituable.

Dado lo anterior, se seleccionaron los siguientes cultivos: cíclicos; Calabacita (*Cucurbita pepo* L.), Melón (*Cucumis melo* L.) y Cebolla (*Allium cepa* L.), y perennes; Higo (*Ficus carica* L.), Aguacate (*Persea americana*) y

Chapulixtle (*Dodonaea viscosa* (L.) Jacq.), los cuales presentan requerimientos de clima y suelo semejantes y son cultivos observados en la región.

Estos cultivos tienen diferente importancia económica en el Estado de Morelos, que de alguna manera refleja el conocimiento empírico del agricultor sobre los aspectos que se pretenden profundizar y analizar en este estudio.

4.2 Acopio de información de los cultivos

Sin duda alguna, la estimación de los costos y beneficios de los cultivos involucrados en un sistema, es pieza fundamental para la optimización del mismo, ya que determina la racionalidad de la solución, por lo tanto, se trató de que dicha estimación fuera lo más verídica posible.

4.2.1 Estimación de costos de producción

Para determinar los costos de producción de los cultivos, se consideraron cada una de las labores que se realizan en el proceso de producción y los insumos utilizados en el mismo. Para ello, se realizaron entrevistas con agricultores de la región y consulta bibliográfica relativa a dicho proceso en cada cultivo (Rodríguez, 1982; Sala, 1985; Flores, 1990; Calabrese, 1992; Camacho *et al*, 1993; López, 1994; Aragón, 1995; Guzmán, 1996 y Valadez, 1996).

Una vez hecha la estructura para fijar costos, se procedió a recabar en la región de estudio el costo de cada actividad e insumo, determinando así el costo de producción de cada cultivo, lo cual se muestra en los Cuadros 1 al 6 del Anexo.

4.2.2 Estadísticas de rendimiento, producción y precios

Para tener uniformidad en cuanto a rendimiento, producción y precio de cada cultivo, se optó por utilizar los datos obtenidos para el Estado de Morelos por el Centro de Estadística Agropecuaria (CEA) de la Secretaría de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR) desde 1988 a 1997. En este caso, el precio considerado es el pagado al productor en la venta de primera mano en la zona de producción (Precio Medio Rural). Los datos de rendimiento, producción y precio se muestran en los Cuadros 7 al 9 del Anexo.

En el caso del Chapulixtle, cuyo producto es tutores hortícolas, el CEA no dispone de información de precios, por lo que se determinó utilizar el precio registrado en el Estado durante 1997 para este producto, en el cultivo del jitomate. El rendimiento se fijó basándose en la información obtenida de literatura referente a este cultivo (Camacho, 1993).

4.3 Actualización de precios

La serie de precios de 1988 a 1997 del producto de cada cultivo se actualizó a pesos de 1997 utilizando el valor promedio del Índice Nacional de Precios al Productor (INPP) mediante la siguiente expresión:

$$pa_i = \frac{INPP_{1997}}{INPP_i} p_i$$

donde

pa_i : precio actualizado en el año i , $i=1988, 1989, \dots, 1997$,

p_i : precio sin actualizar,

$INPP_i$: Índice Nacional de Precios al Productor registrado en el año i ,

$INPP_{1997}$: Índice Nacional de Precios al Productor registrado en 1997.

En el Cuadro 10 del Anexo se muestran los valores del Índice Nacional de Precios al Productor y los precios actualizados en cada año y para cada cultivo.

En el caso de los costos de actividades e insumos involucrados en el proceso de producción no se tuvo necesidad de actualizarlos, ya que se tomaron los registrados en 1997.

4.4. Costos de externalidades

Uno de los propósitos de este trabajo fue incluir un costo extra a las actividades e insumos que causan un efecto negativo, externo al proceso de producción (costos por externalidades), lo que sin duda causará controversia, sin embargo, la asignación de este costo se hizo basada en los resultados de la investigación realizada por Steiner *et al* (1995) para Estados Unidos (para mayor detalle, consultar el apartado 2.2 en la Revisión de Literatura), considerándolo como un costo estimado para restablecer las condiciones originales al desarrollo de las actividades y aplicación de los insumos.

Por el uso de pesticidas (herbicidas, insecticidas y fungicidas) se aplicó un 50% más sobre el costo de los mismos, por uso de fertilizantes el 2% de su valor y en las actividades que causan erosión; en la preparación del terreno (barbecho, rastreo y surcado) el 10% de su costo, por uso del agua de riego el 6%, y por las labores culturales (escarda y aporque) el 1% de su costo.

En los Cuadros 11 al 16 del Anexo se muestran los costos de producción por hectárea para cada cultivo, considerando los costos por externalidades.

4.5 Optimización del sistema

La optimización del sistema de producción se realizó tanto sin considerar los costos por externalidades como considerando dichos costos. En el sistema a optimizar participan los cultivos anteriormente mencionados, considerándose un horizonte de planeación de 10 años que abarca el período en que han madurado los frutales.

Para llevar a cabo la optimización, se delimitaron algunos factores que se consideró pueden influir en la decisión de un agricultor para invertir su capital en determinado sistema agrícola. Se delimitaron tres escenarios de rendimiento; desfavorable, promedio y favorable, se obtuvieron precios aleatorios a partir de la base de datos original, se fijó una tasa de interés mínima atractiva, los ingresos y costos se llevaron a valor presente, se calculó la relación beneficio costo para cada cultivo estimando el valor terminal de los frutales (Higo y Aguacate) y del Chapulixtle ya que la vida útil de los mismos excede el horizonte de planeación.

Posteriormente ya en la optimización del sistema se fijaron las restricciones para maximizar la función objetivo.

A continuación se describe detalladamente todo el procedimiento involucrado en la optimización del sistema.

4.5.1 Determinación de escenarios (desfavorable, promedio y favorable)

Para optimizar el sistema, se determinó hacerlo en condiciones tales que reflejaran situaciones que pueden presentarse ya sea en perjuicio o beneficio del agricultor, para ello, utilizando la serie de rendimientos presentada de 1988 a 1997, se delimitaron tres escenarios de rendimientos: desfavorable, promedio y favorable.

El hecho de presentar un escenario desfavorable y uno favorable no quiere decir que en el primero se presenten los rendimientos más bajos de cada cultivo y en el segundo los más altos, ya que es muy poco probable de que en un mismo año se dé tal condición.

El escenario desfavorable esta representado en el año en donde los rendimientos de los cultivos de manera conjunta representan los más bajos, es decir, que para determinado cultivo no representa propiamente el rendimiento más bajo pero sumados los de todos los cultivos en comparación con los demás años, si representa esta situación. El escenario favorable presenta la condición contraria a la anterior, donde los rendimientos de los cultivos de manera conjunta representan los más altos.

Para determinar estos dos escenarios inicialmente se calculó el rendimiento promedio por cultivo, a este valor se le restó el rendimiento de cada año y

finalmente se sumaron estas diferencias por año en todos los cultivos, determinándose como escenario desfavorable los rendimientos del año en donde la suma de las diferencias fue mayor y favorable en donde fue menor. Lo anterior puede representarse algebraicamente de la siguiente forma:

$$\text{Escenario desfavorable: } \max_i \sum_{j=1}^5 (\bar{r}_j - r_{ji}) = \sum_{j=1}^5 (\bar{r}_j - r_{ji_{\max}})$$

$$\text{Escenario favorable: } \min_i \sum_{j=1}^5 (\bar{r}_j - r_{ji}) = \sum_{j=1}^5 (\bar{r}_j - r_{ji_{\min}})$$

donde

$\bar{r}_j$: rendimiento promedio de cada cultivo, $j=1, \dots, 5$,

r_{ji} : rendimiento del cultivo j en el año i , donde $j=1, 2, \dots, 5$ e $i=1, 2, \dots, 10$,

$i_{\max}$: año donde ocurrió el máximo,

$i_{\min}$: año donde ocurrió el mínimo.

El escenario promedio esta representado por los rendimientos promedio de cada cultivo. Los tres escenarios se presentan en el Cuadro 17 del Anexo.

Por carecer de series de datos para el cultivo del Chapulixtle, este no se utilizó para determinar los escenarios, sin embargo, para optimizar el sistema se fijaron los siguientes rendimientos de acuerdo a la densidad de plantación y de la sobrevivencia reportados por la literatura (Camacho, 1993): en el

escenario desfavorable se consideró un rendimiento del 80% de la plantación, en el escenario promedio el 85% y en el escenario favorable el 90%.

En la determinación de los escenarios se podría cuestionar el hecho de no hacerlo también para los precios del cultivo, pero dada la naturaleza con que éstos se presentan, se optó por darles un tratamiento diferente, el cual se presenta en la siguiente sección.

4.5.2 Determinación de precios

La determinación de los precios está dada por las condiciones del mercado, así que en un mismo año, mes o semana pueden presentar una gran variación. Por éste fenómeno, se decidió utilizar un precio aleatorio generado de los originales (actualizados) con el siguiente procedimiento:

Utilizando el precio y la producción obtenida en cada año, de los diez precios se generaron 100, dándole mayor peso en aquellos años en donde se presentó mayor producción. Para ello, se emplearon las siguientes fórmulas:

$$Y = \sum_{i=1}^{10} y_i$$

$$Fp_i = \frac{y_i}{Y} 100$$

donde

y_i : producción obtenida en el año i , donde $i = 1, 2, \dots, 10$,

Y : suma de la producción obtenida en los diez años,

Fp_i : número de precios en el año i , donde $i = 1, 2, \dots, 10$.

Con la primer expresión se obtiene la suma de la producción obtenida en los diez años y con la segunda la frecuencia de precios para cada año que nos indica el número de veces que vamos a repetir ese mismo precio y los cuales sumados en los diez años darán los 100 precios.

En el Cuadro 18 del Anexo se presenta la frecuencia de precios generada para cada año en cada cultivo y se desarrolla un ejemplo de este procedimiento.

Utilizando esta nueva serie de precios de cada cultivo, se procedió a ajustarlos a la función de distribución acumulativa Weibull, cuya expresión es la siguiente:

$$W(x) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{x - a}{b} \right)^c \right]$$

donde

a : parámetro de localización (en la presente aplicación vale cero),

b : parámetro de escala,

c: parámetro de forma,

x: número aleatorio de la $W(a, b, c)$, el precio en este caso.

Para el ajuste de esta expresión, es necesario estimar los valores de los parámetros a , b y c (en el presente trabajo, a toma un valor de cero). Esta estimación se hizo mediante regresión no lineal empleando el método Marquardt en el sistema computacional Statistical Analysis System (SAS).

En este procedimiento es necesario derivar la expresión con respecto a cada parámetro. Dichas derivadas son:

$$\frac{\delta W}{\delta a} = -\exp\left[-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c\right] \left[\frac{c}{b}\left(\frac{x-a}{b}\right)^{c-1}\right]$$

$$\frac{\delta W}{\delta b} = -\exp\left(\frac{x-a}{b}\right)^c \left[-c\left(\frac{x-a}{b}\right)^{c-1}\left(\frac{x-a}{b}\right)\right]$$

$$\frac{\delta W}{\delta c} = -\exp\left(\frac{x-a}{b}\right)^c \left[-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c \log\left(\frac{x-a}{b}\right)\right]$$

En el Anexo se presentan los programas en SAS utilizados para calcular el valor de los parámetros Weibull de los precios para cada cultivo (páginas 86 y 87) y en el Cuadro 19 el valor de los parámetros.

Una vez obtenido el valor de los parámetros se procedió a generar 100 precios aleatorios. En esta práctica también se utilizó el SAS, pero debido a que este paquete no simula la distribución probabilística de Weibull, se aplicó la transformación inversa probabilística sobre dicha expresión para utilizar los números aleatorios generados desde una distribución uniforme, los cuales si genera SAS.

Escribiendo nuevamente la función de distribución probabilística Weibull e igualándola a un número aleatorio y de la distribución uniforme $(0,1)$ tenemos:

$$W(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c\right] = y$$

Obteniendo la transformación inversa probabilística dada por la siguiente expresión:

$$x = a + b[-\log(1-y)]^{1/c}$$

Con esta ecuación se procedió a generar los 100 precios aleatorios que se utilizaron para optimizar el sistema en cada uno de los escenarios de rendimientos.

Nuevamente, en el caso del Chapulixtle no se generaron precios aleatorios por carecer de la serie de éstos y por considerar que el precio de las tutoras de esta especie no está tan influenciado por las condiciones de mercado, ya que dicho mercado es reducido, destinándose únicamente para su utilización en cultivos hortícolas como el jitomate.

En el Anexo se presenta el programa en SAS utilizado para generar los precios aleatorios de cada cultivo (página 87), y la secuencia de la transformación inversa probabilística (página 88).

4.5.3 Determinación de la tasa de interés mínima atractiva

Con el objeto de tomar en cuenta el costo de oportunidad del dinero a través del tiempo, se optó por utilizar una tasa de interés mínima atractiva anual de 4% sobre valores constantes, tomando en cuenta que generalmente esta tasa fluctúa entre el 4 y 8% (por ejemplo, FIRA utiliza una tasa de interés mínima atractiva del 5% para proyectos agrícolas (Novelo, 1994)).

4.5.4 Valor Presente Neto (VPN)

Para reflejar el costo de oportunidad del dinero en el horizonte de planeación, tanto los costos como los ingresos se llevaron a valor presente neto empleando la tasa de interés mínima atractiva fijada en 4%.

La fórmula para llevar el valor constante a valor presente es la siguiente:

$$VPN = \frac{1}{(1+i)^j} X$$

donde

X : valor que se va a llevar a valor presente,

i : tasa de interés mínima atractiva de 4% anual,

j : año que se lleva a valor presente.

4.5.5 Cálculo de la relación beneficio costo

4.5.5.1 Valor terminal de los cultivos perennes

Al valor de los cultivos perennes (Aguacate, Higo y Chapulixtle) al final del horizonte de planeación de 10 años se le denominó Valor Terminal (VT). En el caso de los frutales, el VT se consideró como la ganancia que proporcionarían durante cinco años posteriores al término del mencionado horizonte; este valor se fijó tomando en cuenta que a un comprador le costaría aproximadamente la mitad del tiempo de 10 años para establecer los frutales. El VT del Chapulixtle se consideró como la ganancia que proporcionaría dos años después del término del horizonte de planeación, tiempo que se estima para establecer el cultivo. El VT puede expresarse de la siguiente forma:

$$VT = (b_{10} - c_{10})5$$

donde

b_{10} : flujo de beneficios en el décimo año,

c_{10} : flujo de costos en el décimo año.

El VT de los cultivos perennes se utilizó para calcular la relación beneficio costo y para determinar el beneficio del décimo año en la función objetivo del programa de optimización. Para ambos casos, el VT se actualizó a valor presente neto y considerando que el VT es la utilidad neta obtenida durante cinco años en los frutales y dos en el Chapulixtle después del horizonte de planeación de 10 años, la actualización se hizo para el onceavo año. En el Cuadro 20 del Anexo se muestra el VT para los tres escenarios de rendimiento.

4.5.5.2 Cálculo de la relación beneficio costo

La relación beneficio costo es el cociente que se obtiene de dividir el valor actualizado de la corriente de beneficios entre el valor actualizado de la corriente de costos a una tasa de interés i , de acuerdo a la siguiente expresión (Trueba, 1995):

$$\text{Rel } B/C = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{b_j}{(1+i)^j}}{\sum_{j=1}^n \frac{c_j}{(1+i)^j}}$$

donde

b_j : flujo de beneficios obtenido en el año j donde $j = 1, 2, \dots, 10$,

c_j : flujo de costos obtenido en el año j donde $j = 1, 2, \dots, 10$,

i : tasa de interés mínima atractiva de 4% anual.

En el caso de los cultivos perennes que tienen un valor terminal, para calcular esta relación, al flujo de beneficios se le sumó el VT. Algebraicamente se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Rel } B/C = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{b_j}{(1+i)^j} + \frac{VT}{(1+i)^{n+1}}}{\sum_{j=1}^n \frac{c_j}{(1+i)^j}}$$

4.5.6 Diseño y optimización del sistema

Para el diseño y optimización del sistema se trató de simular condiciones que pueden presentarse en determinada región agrícola, en donde se pueden tener excesos y restricciones de tierra y capital de tal manera que se pueda maximizar la utilidad neta del agricultor tomando en cuenta estos aspectos.

Para ello, se fijaron la función objetivo y las restricciones a considerar en el modelo de optimización que da como resultado la superficie a cultivar de cada especie.

4.5.6.1 Función objetivo

En la función objetivo, se planteó maximizar la utilidad neta del sistema de producción en el horizonte de planeación establecido de 10 años. Considerando los 10 años del horizonte y los 6 cultivos, se tuvieron 60 variables (10 para cada cultivo) cuyo valor fue la utilidad neta obtenida en cada año de cada cultivo según se muestra en el ejemplo del Anexo. En el caso de los cultivos perennes, el valor que le corresponde a la variable del décimo año, es la utilidad neta obtenida en ese año mas el VT llevado a valor presente.

La función a maximizar se expresa de la siguiente forma:

$$\text{Maximizar} \quad Z = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^{10} U_{ij}$$

donde

Z: función de utilidad neta presente,

U_{ij} : utilidad neta presente del cultivo i en el año j , $i=1, \dots, 6$ y $j=1, \dots, 10$

4.5.6.2 Restricciones

En función de los propósitos de este trabajo, se consideraron tres restricciones principales: la relación beneficio costo como una medida de riesgo y de dos recursos; superficie de tierra y capital. En este planteamiento, se piensa que la tierra es insustituible, y el capital puede substituir, en casi todos los casos, a otros recursos necesarios en el proceso de producción. Además, la tierra es considerada como el único factor fijo en la agricultura.

Las restricciones de superficie de tierra y capital para cada escenario se expresaron de tres maneras: a) restricción de tierra y capital; b) restricción de tierra con exceso de capital y c) exceso de tierra y capital.

El mínimo de tierra se consideró en 4 ha, tamaño común en la región. Para determinar el mínimo de capital, se tomó el costo por hectárea en el primer año del cultivo con la mayor relación beneficio costo y se multiplicó por la cantidad mínima de tierra. Para el máximo capital, se eligió el costo en el primer año del cultivo con la menor relación beneficio costo y de igual forma, se multiplicó por la mínima superficie. Por último, la superficie máxima de tierra fue el valor obtenido de dividir el máximo capital entre el mínimo capital y multiplicado por la mínima superficie.

Debido a que los cultivos perennes (Aguacate, Higo y Chapulixtle) sólo se pueden plantar una sola vez y desde el primer año, se introdujo una restricción en el modelo para que en el caso de ser seleccionados cumplieran con esta condición.

En la página 89 del Anexo, se muestra un ejemplo del modelo de optimización para el escenario de rendimientos desfavorable, donde se aprecian las restricciones incluidas.

4.5.6.3 Optimización del sistema

Finalmente, la optimización del sistema se llevo a cabo mediante programación lineal, utilizando para ello, el programa de computo QSB+ que contiene la herramienta de programación lineal LP.

V RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Optimización del sistema sin considerar costos por externalidades

La optimización del sistema se llevó a cabo fijando tres escenarios de rendimientos; desfavorable, promedio y favorable. El objetivo de utilizar estos tres escenarios es que se espera que no siempre vamos a tener años en que las condiciones ambientales nos permitan obtener los mismos rendimientos a través del tiempo como lo constatamos en la serie de rendimientos obtenida en las consultas.

En los Cuadros 1 y 2 se muestra la relación beneficio costo y la utilidad neta por hectárea, respectivamente, para cada cultivo en los tres escenarios de rendimientos.

Cuadro 1. Relación beneficio costo de los cultivos sin considerar costos por externalidades.

ESCENARIO	AGUACATE	HIGO	CHAPULIXTLE	CALABACITA	MELON	CEBOLLA
Desfavorable	2.57	7.26	4.73	1.93	2.07	3.63
Promedio	4.45	5.95	5.03	2.06	2.33	4.04
Favorable	3.13	6.56	5.34	1.93	2.82	4.94

Cuadro 2. Utilidad Neta Presente por hectárea de los cultivos durante el horizonte de planeación de 10 años, sin considerar costos por externalidades.

ESCENARIO	AGUACATE	HIGO	CHAPULIXTLE	CALABACITA	MELON	CEBOLLA
Desfavorable	54,579	179,389	90,204	84,082	111,562	260,046
Promedio	119,794	141,895	97,531	95,928	138,461	300,803
Favorable	74,065	159,399	104,857	84,714	189,423	389,729

5.1.1 Escenario desfavorable de rendimientos

En el Cuadro 3 se presentan los resultados de la optimización cuando se utiliza la restricción de capital mínimo (\$ 14,202.00) con 4 ha de tierra como límite. Esta solución elige a los cultivos de Higo y Cebolla; el primero con mayor superficie que el segundo, según se aprecia.

Cuadro 3. Solución de optimización para capital limitado (\$ 14,202.00) y 4.0 ha de tierra, costo y utilidad bruta total y capital disponible por año, en el escenario desfavorable de rendimientos, sin considerar costos por externalidades,

AÑO	SOLUCIÓN			COSTO TOTAL (\$)	UTILIDAD BRUTA TOTAL (\$)	UTILIDAD NETA TOTAL (\$)	CAPITAL DISPONIBLE (\$)
	SUPERFICIE (HA)		SUPERFICIE TOTAL (HA)				
	HIGO	CEBOLLA					
1	3.7402	0.0787	3.8189	14,202	3,349	-10,853	14,202
2	3.7402	0.2598	4.0000	11,141	10,629	-512	13,656
3	3.7402	0.2425	3.9827	13,130	9,540	-3,590	13,130
4	3.7402	0.1319	3.8721	12,625	16,243	3,617	12,625
5	3.7402	0.0997	3.8399	12,140	30,677	18,538	12,140
6	3.7402	0.0675	3.8077	11,673	43,978	32,305	11,673
7	3.7402	0.0245	3.7647	11,224	60,849	49,625	11,224
8	3.7402	0.0322	3.7724	10,792	82,806	72,014	10,792
9	3.7402	0.0107	3.7509	10,377	88,202	77,825	10,377
10	3.7402	0.0000	3.7402	9,978	468,545	458,567	9,978
SUMAS				117,281	814,817	697,536	119,798

Relación beneficio costo: 6.95

La relación beneficio costo de esta solución es 6.95, lo cual nos indica que por cada peso invertido se recupera el peso invertido más 5.95 de ganancia neta. Esta relación beneficio costo es menor que la del Higo (7.26) y mayor que la de Cebolla (3.63).

Se aprecia que cuando se tiene restricción de capital, la lógica de solución en este problema de optimización, es utilizar el capital en el cultivo con la mayor relación beneficio costo, en este caso el Higo. Así la relación beneficio costo actúa como el inverso de una medida de riesgo, ya que entre mayor sea ésta, se gana más por unidad de capital invertido, es decir, se arriesga menos capital para obtener una mayor utilidad.

Se observa que en el décimo año, el Higo agota el total de capital disponible, por lo tanto, la cantidad de superficie de tierra para este cultivo esta dada por este año, misma que permanece constante durante los diez años por la restricción incluida en el modelo. En los nueve años precedentes sobra capital, el cual es utilizado en el cultivo que combinado con el Higo maximiza la utilidad neta, en este caso la Cebolla, que es la de mayor utilidad neta por hectárea.

De acuerdo a la consideración anterior, se pensaría que como segunda opción se elegiría al cultivo con la siguiente mejor relación beneficio costo, sin embargo, elige al cultivo que con el capital restante maximiza la utilidad neta

independientemente de su relación beneficio costo. Para explicar esta situación, en el Cuadro 3A se muestra la superficie de tierra que se elegiría para cada uno de los demás cultivos, el capital consumido y la utilidad neta que se obtendría, considerando la superficie y capital resultante de quitar la superficie elegida y el capital consumido del cultivo que se elige como primera opción (en este caso el Higo), basándose en las restricciones de tierra y capital.

Cuadro 3A. Cantidad de tierra que se elegiría de cada cultivo como segunda opción, capital a consumir y utilidad neta, para capital limitado(\$ 14,202.00) y 4.0 ha de tierra, en el escenario desfavorable de rendimientos, sin considerar costos por externalidades.

AÑO	SUP. REST.	CAP. REST.	CALABACITA			MELON			CEBOLLA		
			SUP.	CAP.	U. N.	SUP.	CAP.	U. N.	SUP.	CAP.	U. N.
1	0.2598	922	0.0858	922	855	0.0746	922	987	0.0787	922	2426
2	0.2598	5,443	0.2598	2,686	2,490	0.2598	3,089	3,304	0.2598	2,928	7701
3	0.2598	2,628	0.2598	2,582	2,394	0.2299	2,628	2,811	0.2425	2,628	6913
4	0.2598	1,375	0.1438	1,375	1,275	0.1250	1,375	1,470	0.1319	1,375	3616
5	0.2598	999	0.1087	999	926	0.0945	999	1,068	0.0997	999	2628
6	0.2598	650	0.0736	650	603	0.0640	650	695	0.0675	650	1710
7	0.2598	227	0.0268	227	211	0.0233	227	243	0.0245	227	598
8	0.2598	287	0.0351	287	266	0.0305	287	307	0.0322	287	755
9	0.2598	92	0.0117	92	85	0.0102	92	98	0.0107	92	242
10	0.2598	0	0.0000	0	0	0.0000	0	0	0.0000	0	0
SUMAS		12,624		9,821	9,105		10,270	10,984		10,109	26,588

SUP.: Superficie, Cap.: Capital, U.N.: Utilidad Neta.

En este cuadro, se observa que el cultivo que obtiene la mayor utilidad neta por año y total es la Cebolla, es por ello que la elige como segunda opción. El Aguacate y el Chapulxtle no se incluyen ya que no serían elegidos debido a que la superficie tendría que ser constante los diez años y en el Cuadro 3 puede verse que en el décimo año el Higo consume todo el capital, de tal manera que es imposible su elección por esta restricción. El Melón gastaría

más capital que los demás cultivos, sin embargo, presenta una utilidad neta menor que la Cebolla.

Cabe hacer notar, que en el caso de que no se hubiera incluido la restricción para obligar a que eligiera una cantidad constante de Higo en el horizonte de planeación, esta solución hubiera elegido únicamente este cultivo variando la superficie de tierra de acuerdo al capital disponible en cada año, pero no sería congruente dada la naturaleza de este cultivo.

En el Cuadro 4 se muestra la solución de optimización cuando se tiene exceso de capital (\$ 43,004.00) con la misma superficie de tierra (4 ha). Esta solución elige a los cultivos Cebolla e Higo; el primero con mayor superficie de tierra.

Cuadro 4. Solución de optimización para capital máximo (\$ 43,004.00) y 4.0 ha de tierra, costos y beneficios totales y capital disponible por año, en el escenario desfavorable de rendimientos, sin considerar costos por externalidades.

AÑO	SOLUCIÓN			COSTO TOTAL (\$)	UTILIDAD BRUTA TOTAL (\$)	UTILIDAD NETA TOTAL (\$)	CAPITAL DISPONIBLE (\$)
	SUPERFICIE (HA)		SUPERFICIE TOTAL (HA)				
	HIGO	CEBOLLA					
1	0.4750	3.5250	4.0000	43004	149986	106983	43,004
2	0.4750	3.5250	4.0000	40771	144218	103447	41,350
3	0.4750	3.5250	4.0000	39534	138671	99137	39,759
4	0.4750	3.5250	4.0000	38160	134767	96607	38,230
5	0.4750	3.5250	4.0000	36733	131644	94912	36,760
6	0.4750	3.5236	3.9986	35346	128514	93168	35,346
7	0.4750	3.5182	3.9932	33987	125931	91944	33,987
8	0.4750	3.5191	3.9941	32679	124171	91491	32,679
9	0.4750	3.5164	3.9914	31422	120485	89063	31,422
10	0.4750	3.5151	3.9901	30214	164587	134372	30,214
SUMAS				361849	1362974	1001124	362,752

Relación beneficio costo: 3.77

La relación beneficio costo de esta solución es 3.77, mayor que la del cultivo de Cebolla (3.63) y menor que la del Higo (7.26), lo cual indica que la lógica de solución cuando se tiene exceso de capital, es elegir el cultivo con la mayor utilidad neta por hectárea (Cuadro 2), aunque no sea el cultivo que tenga la mayor relación beneficio costo, es decir, aquí no importa el riesgo que se tome sino maximizar la utilidad ocupando todo el dinero posible.

Se observa que la Cebolla toma todo el capital posible hasta que la tierra sobrante es tal que conviene mejor ocupar el capital sobrante en un cultivo con mayor relación beneficio costo para incrementar la utilidad neta a pesar que el cultivo con mayor utilidad neta por hectárea es la Cebolla.

En el Cuadro 4A se muestra la superficie de tierra que se elegiría para cada uno de los demás cultivos, el capital consumido y la utilidad neta, considerando la superficie y capital resultante de quitar la superficie elegida y el capital consumido del cultivo que se elige como primera opción (Cebolla), basándose en las restricciones de tierra y capital.

En este Cuadro, se observa que el Higo es el que obtiene la mayor utilidad neta total siendo elegido como segunda opción, además de que es el cultivo con la mayor relación beneficio costo por hectárea y el que mayor cantidad de tierra utiliza. La Calabacita y el Melón consumen más capital pero tienen menor utilidad neta que el resto de los cultivos.

Cuadro 4A. Cantidad de tierra que se elegiría de cada cultivo como segunda opción, capital a consumir y utilidad neta, para capital máximo (\$ 43,004.00) y 4.0 ha de tierra, en el escenario desfavorable de rendimientos, sin considerar costos por externalidades,

AÑO	SUP. REST	CAP. REST	AGUACATE			HIGO			CHAPULIXTLE			CALABACITA			MELON		
			SUP.	CAP.	U. N.	SUP.	CAP.	U. N.	SUP.	CAP.	U. N.	SUP.	CAP.	U. N.	SUP.	CAP.	U. N.
1	0.4750	1,887	0.3839	1,496	-1,496	0.4750	1,886	-1886	0.1918	1,687	-1,687	0.1569	1,687	1,564	0.1364	1,687	1,804
2	0.4750	1,622	0.3839	1,043	-1,043	0.4750	1,043	-1043	0.1918	355	1,348	0.1569	1,622	1,504	0.1364	1,622	1,735
3	0.4750	1,560	0.3839	1,292	-1,292	0.4750	1,334	-1334	0.1918	371	2,084	0.1569	1,560	1,446	0.1364	1,560	1,668
4	0.4750	1,500	0.3839	1,431	-844	0.4750	1,429	0	0.1918	357	2,004	0.1569	1,500	1,390	0.1364	1,500	1,604
5	0.4750	1,442	0.3839	1,403	34	0.4750	1,415	2021	0.1918	343	1,927	0.1569	1,442	1,337	0.1364	1,442	1,542
6	0.4764	1,400	0.3839	1,392	780	0.4750	1,400	3885	0.1918	330	1,853	0.1564	1,400	1,298	0.1377	1,400	1,497
7	0.4818	1,396	0.3839	1,389	1,790	0.4750	1,396	6227	0.1918	317	1,782	0.1643	1,396	1,294	0.1428	1,396	1,493
8	0.4809	1,334	0.3839	1,329	2,732	0.4750	1,334	9050	0.1918	305	1,713	0.1633	1,334	1,237	0.1420	1,334	1,427
9	0.4836	1,306	0.3839	1,306	3,082	0.4750	1,306	9853	0.1918	293	1,647	0.1663	1,306	1,211	0.1446	1,306	1,397
10	0.4849	1,267	0.3839	1,256	17,208	0.4750	1,267	58237	0.1918	282	4,830	0.1677	1,267	1,174	0.1458	1,267	1,355
SUMAS		14,513		13,338	20,951		13,610	85210		4,840	17,302		14,513	13,456		14,513	15,521

En los Cuadros 3 y 4 puede observarse que a medida que se incrementa el capital permaneciendo la tierra fija, se va reduciendo la superficie de tierra para el cultivo con la mayor relación beneficio costo y aumentando la del cultivo con mayor utilidad neta. De lo anterior, se deduce que excesos de capital conducen a soluciones óptimas absurdas, ya que aunque se tenga mayor utilidad, la relación beneficio costo se va reduciendo, incrementándose el riesgo de la inversión, esto se ve claramente al pasar de una relación beneficio costo de 6.95 cuando se tiene restricción de capital a una de 3.77 cuando se tiene exceso de capital.

Ahora bien, todo lo anterior sucede cuando se varía el capital y la tierra permanece fija. Una situación contraria sucede cuando se varía la superficie de tierra con el capital fijo.

Para detallar esta situación, tomaremos los resultados obtenidos con un capital de \$ 43,004.00 y tierra de 4 ha (Cuadro 4), en donde como primera opción se elige al cultivo con la mayor utilidad neta, y los contrastaremos con los resultados de optimizar un sistema con el mismo capital (\$ 43,004.00) y una superficie de 12 ha. En el primer caso lo llamaremos restricción de tierra y en el segundo exceso de tierra.

Los resultados cuando se tiene excesos de tierra se muestran en el Cuadro 5. Esta solución elige a los cultivos Higo y Cebolla, el primero con mayor superficie que el segundo. La relación beneficio costo de esta solución es 6.97, menor que la del Higo (7.26) y mayor que de la Cebolla (3.63).

Cuadro 5. Solución de optimización para capital máximo (\$ 43,004.00) y 12.0 ha de tierra, costos y beneficios totales y capital disponible por año, en el escenario desfavorable de rendimientos, sin considerar costos por externalidades.

AÑO	SOLUCIÓN			COSTO TOTAL (\$)	UTILIDAD BRUTA TOTAL (\$)	UTILIDAD NETA TOTAL (\$)	CAPITAL DISPONIBLE (\$)
	SUPERFICIE (HA)		SUPERFICIE TOTAL (HA)				
	HIGO	CEBOLLA					
1	11.3254	0.2383	11.5637	43,004	10,140	-32,864	43,004
2	11.3254	0.6746	12.0000	32,472	27,600	-4,872	41,350
3	11.3254	0.6746	12.0000	39,111	26,538	-12,573	39,759
4	11.3254	0.3995	11.7249	38,230	49,187	10,957	38,230
5	11.3254	0.3020	11.6274	36,760	92,896	56,136	36,760
6	11.3254	0.2044	11.5298	35,346	133,166	97,820	35,346
7	11.3254	0.0743	11.3997	33,986	184,255	150,269	33,987
8	11.3254	0.0976	11.4230	32,680	250,741	218,061	32,679
9	11.3254	0.0325	11.3579	31,422	267,081	235,658	31,422
10	11.3254	0.0000	11.3254	30,214	1,418,763	1,388,549	30,214
SUMAS				353,225	2,460,367	2,107,142	362,752

Relación beneficio costo: 6.97

Se observa que cuando se tiene excesos de tierra, la lógica de solución a este problema de optimización es utilizar el capital en el cultivo con la mayor relación beneficio costo, en este caso el Higo; y si sobra capital en algún año, se utiliza en el cultivo que en combinación maximice la utilidad neta.

En el Cuadro 5A se muestra la superficie de tierra que se elegiría para cada uno de los demás cultivos, el capital consumido y la utilidad neta, considerando la superficie y capital resultante de quitar la superficie elegida y el capital consumido de Higo (cultivo que se elige como primera opción), basándose en las restricciones de tierra y capital.

Cuadro 5A. Cantidad de tierra que se elegiría de cada cultivo como segunda opción, capital a consumir y utilidad neta, para capital máximo (\$ 43,004.00) y 12.0 ha de tierra, en el escenario desfavorable de rendimientos, sin considerar costos por externalidades,

AÑO	SUP. REST.	CAP. REST.	CALABACITA			MELON			CEBOLLA		
			SUP.	CAP.	U. N.	SUP.	CAP.	U. N.	SUP.	CAP.	U. N.
1	0.6746	2,793	0.2598	2,793	2,590	0.2259	2,793	2,987	0.2383	2,793	7,347
2	0.6746	16,481	0.6746	6,974	6,466	0.6746	8,021	8,579	0.6746	7,603	19,997
3	0.6746	7,959	0.6746	6,705	6,217	0.6746	7,713	8,249	0.6746	7,311	19,228
4	0.6746	4,163	0.4356	4,163	3,680	0.3787	4,163	4,452	0.3995	4,163	10,949
5	0.6746	3,025	0.3292	3,025	2,805	0.2862	3,025	3,236	0.3019	3,025	7,957
6	0.6746	1,969	0.2228	1,969	1,826	0.1937	1,969	2,106	0.2044	1,969	5,179
7	0.6746	689	0.0810	689	638	0.0704	689	736	0.0743	689	1,811
8	0.6746	869	0.1064	869	806	0.0925	869	929	0.0976	869	2,285
9	0.6746	278	0.0355	278	258	0.0308	278	298	0.0325	278	732
10	0.6746	0	0.0000	0	0	0.0000	0	0	0.0000	0	0
SUMAS		38,227		27,465	25,465		29,521	31,572		28,700	75,485

Se aprecia que la Cebolla es la de mayor utilidad neta total, por lo cual es elegida como segunda opción, aunque no tenga la segunda mejor relación beneficio costo por hectárea, siendo ésta la del Chapulixtle que al igual que el

Aguacate no podrían ser elegidos ya que el Higo agota el capital en el décimo año. El Melón es el que consume más capital y la Calabacita es la que menor utilidad neta obtiene.

En los Cuadros 4 y 5 puede observarse que a medida que se incrementa la tierra permaneciendo el capital fijo, va aumentando la tierra para el cultivo con la mayor relación beneficio costo y disminuyendo la del cultivo con mayor utilidad neta por hectárea. De lo anterior concluimos que, excesos de tierra conducen a soluciones óptimas congruentes, ya que a medida que se incrementa la relación beneficio costo (de 3.81 a 6.38) el riesgo de la inversión va disminuyendo.

5.1.2 Escenario promedio de rendimientos

En el Cuadro 6 se presentan los resultados de la optimización cuando se utiliza la restricción de capital mínimo (\$ 14,202.00) con 4 ha de tierra como límite. Esta solución elige a los cultivos de Higo y Cebolla; el primero con mayor superficie que el segundo. La relación beneficio costo de esta solución es 5.79. Esta relación beneficio costo es menor que la del Higo (5.95) y mayor que la de Cebolla (4.04).

De igual forma que en el caso del escenario desfavorable con las mismas restricciones, elige los cultivos de Higo y Cebolla con las mismas superficies

elegidas siguiendo la lógica de solución en utilizar el capital en el cultivo con la mayor relación beneficio costo, que en este caso es el Higo y como segunda opción al cultivo con la mayor utilidad neta (Cebolla) bajo las mismas consideraciones hechas en el escenario desfavorable. En este escenario se tiene una menor utilidad neta que en el desfavorable ya que aunque aumenta el rendimiento de la Cebolla (de 17.630 a 19.632 ton/ha), pesa más la disminución del rendimiento del Higo (de 4.530 a 3.761 ton/ha) por ser el de mayor superficie.

Cuadro 6. Solución de optimización para capital limitado (\$ 14,202.00) y 4.0 ha de tierra, costos y beneficios totales y capital disponible por año, en el escenario promedio de rendimientos, sin considerar costos por externalidades.

AÑO	SOLUCIÓN			COSTO TOTAL (\$)	UTILIDAD BRUTA TOTAL (\$)	UTILIDAD NETA TOTAL (\$)	CAPITAL DISPONIBLE (\$)
	SUPERFICIE (HA)		SUPERFICIE TOTAL (HA)				
	HIGO	CEBOLLA					
1	3.7402	0.0787	3.8189	14,202	3,729	-10,473	14,202
2	3.7402	0.2598	4.0000	11,141	11,836	695	13,656
3	3.7402	0.2425	3.9827	13,130	10,623	-2,507	13,130
4	3.7402	0.1319	3.8721	12,625	14,899	2,274	12,625
5	3.7402	0.0997	3.8399	12,140	26,497	14,357	12,140
6	3.7402	0.0675	3.8077	11,673	37,181	25,508	11,673
7	3.7402	0.0245	3.7647	11,224	50,753	39,529	11,224
8	3.7402	0.0322	3.7724	10,792	69,044	58,252	10,792
9	3.7402	0.0107	3.7509	10,377	73,323	62,946	10,377
10	3.7402	0.0000	3.7402	9,978	380,862	370,884	9,978
SUMAS				117,281	678,748	561,466	119,798

Relación beneficio costo: 5.79

En el Cuadro 7 se muestra la solución de optimización cuando se tiene exceso de capital (\$ 43,004.00) con la misma superficie de tierra (4 ha). Esta solución elige a los cultivos Cebolla e Higo, en donde el primero es el que mayor superficie de tierra tiene.

La relación beneficio costo de esta solución es 4.11, ligeramente mayor que la del cultivo de Cebolla (4.04) y menor que la del Higo (5.95).

Comparando los resultados con los obtenidos en el escenario desfavorable con las mismas restricciones (Cuadro 4), se eligen los mismos cultivos, con mayor superficie de Cebolla y menor de Higo, ya que la primera presenta un rendimiento mayor en el escenario promedio que en el desfavorable (19.632 contra 17.630 ton/ha) y el segundo menor (3.761 contra 4.530 ton/ha). Por esta misma razón, la utilidad neta de la solución en este escenario es mayor que en el anterior (\$ 1'127,134 contra \$ 1'001,124).

Cuadro 7. Solución de optimización para capital máximo (\$ 43,004.00) y 4.0 ha de tierra, costos y beneficios totales y capital disponible por año, en el escenario promedio de rendimientos, sin considerar costos por externalidades.

AÑO	SOLUCIÓN			COSTO TOTAL (\$)	UTILIDAD BRUTA TOTAL (\$)	UTILIDAD NETA TOTAL (\$)	CAPITAL DISPONIBLE (\$)
	SUPERFICIE (HA)		SUPERFICIE TOTAL (HA)				
	HIGO	CEBOLLA					
1	0.4655	3.5279	3.9934	43,004	167,156	124,152	43,004
2	0.4655	3.5345	4.0000	40,857	161,027	120,170	41,350
3	0.4655	3.5345	4.0000	39,610	154,934	115,224	39,759
4	0.4655	3.5345	4.0000	38,230	150,042	111,812	38,230
5	0.4655	3.5305	3.9960	36,760	145,786	109,026	36,760
6	0.4655	3.5265	3.9920	35,346	141,636	106,290	35,346
7	0.4655	3.5212	3.9867	33,987	138,057	104,070	33,987
8	0.4655	3.5221	3.9876	32,679	135,265	102,585	32,679
9	0.4655	3.5194	3.9849	31,422	130,924	99,502	31,422
10	0.4655	3.5181	3.9836	30,214	164,517	134,303	30,214
SUMAS				362,109	1'489,243	1'127,134	362,752

Relación beneficio costo: 4.11

Al igual que en el escenario desfavorable, en los Cuadros 6 y 7 puede observarse que a medida que se incrementa el capital permaneciendo la tierra

fija, se va reduciendo la superficie de tierra para el cultivo con la mayor relación beneficio costo, y aumentando la del cultivo con mayor utilidad neta. Por lo que ante excesos de capital se obtienen soluciones óptimas absurdas en los resultados de la optimización incrementándose el riesgo de la inversión, lo cual se ve al pasar de una relación beneficio costo de 5.79, cuando se tiene restricción de capital, a una de 4.11 cuando se tiene exceso de capital.

Viéndolo desde la perspectiva de aumentar la superficie de tierra permaneciendo el capital fijo, se da una situación contraria a la anterior, al igual que en el escenario desfavorable. Los resultados obtenidos con un capital de \$ 43,004.00 y tierra de 4 ha (Cuadro 7), donde se elige al cultivo con la mayor utilidad neta, contrastados con los resultados que resultan de optimizar un sistema con el mismo capital (\$ 43,004.00) y una superficie de 12 ha (Cuadro 8). La solución cuando se tiene excesos de tierra (Cuadro 8) elige a los cultivos Higo y Cebolla, el primero con mayor superficie que los otros. La relación beneficio costo de esta solución es 5.80; menor que la del Higo (5.95) y mayor que de la Cebolla (4.04).

Contrastando los resultados con los obtenidos en el escenario desfavorable (Cuadro 5), en esta solución se obtiene una menor utilidad neta total y relación beneficio costo debido a que el Higo presenta un menor rendimiento por hectárea en el escenario promedio que en el desfavorable (3.761 contra 4.530 ton/ha).

Cuadro 8. Solución de optimización para capital máximo (\$ 43,004.00) y 12.0 ha de tierra costos y beneficios totales y capital disponible por año, en el escenario promedio de rendimientos, sin considerar costos por externalidades.

AÑO	SOLUCIÓN			COSTO TOTAL (\$)	UTILIDAD BRUTA TOTAL (\$)	UTILIDAD NETA TOTAL (\$)	CAPITAL DISPONIBLE (\$)
	SUPERFICIE (HA)		SUPERFICIE TOTAL (HA)				
	HIGO	CEBOLLA					
1	11.3254	0.2383	11.5637	43,004	11,291	-31,713	43,004
2	11.3254	0.6746	12.0000	32,472	30,734	-1,738	41,350
3	11.3254	0.6746	12.0000	39,111	29,552	-9,559	39,759
4	11.3254	0.3995	11.7249	38,230	45,118	6,888	38,230
5	11.3254	0.3020	11.6274	36,760	80,238	43,478	36,760
6	11.3254	0.2044	11.5298	35,346	112,586	77,240	35,346
7	11.3254	0.0744	11.3998	33,987	153,688	119,701	33,987
8	11.3254	0.0975	11.4229	32,679	209,067	176,388	32,679
9	11.3254	0.0325	11.3579	31,422	222,028	190,606	31,422
10	11.3254	0.0000	11.3254	30,214	1'153,259	1'123,045	30,214
SUMAS				353,225	2'047,561	1'694,335	362,752

Relación beneficio costo: 5.80

En los Cuadros 7 y 8 puede observarse que a medida que se incrementa la tierra permaneciendo el capital fijo, aumenta la tierra para el cultivo con la mayor relación beneficio costo y disminuye la del cultivo con mayor utilidad neta por hectárea. De igual manera, concluimos que, excesos de tierra conducen a soluciones óptimas congruentes, ya que a medida que se incrementa la relación beneficio costo (de 4.11 a 5.78) el riesgo de la inversión disminuye.

5.1.3 Escenario favorable de rendimientos

En el Cuadro 9, se presentan los resultados de la optimización cuando se utiliza la restricción de capital mínimo (\$ 14,202.00) con 4 ha de tierra como límite. Esta solución elige a los cultivos de Higo y Cebolla; el primero con

mayor superficie que el segundo. La relación beneficio costo de esta solución es 6.42; ligeramente menor que la del Higo (6.56) y mayor que la de Cebolla (4.94).

En este caso, elige la misma superficie en ambos cultivos que en los rendimientos desfavorable y promedio y obtiene una utilidad neta total mayor que en el escenario promedio pero menor que en el desfavorable ya que sigue siendo menor el rendimiento del Higo en este escenario que en el desfavorable (4.120 contra 4.530 ton/ha).

Cuadro 9. Solución de optimización para capital limitado (\$ 14,202.00) y 4.0 ha de tierra, costos y beneficios totales y capital disponible por año, en el escenario favorable de rendimientos, sin considerar costos por externalidades.

AÑO	SOLUCIÓN			COSTO TOTAL (\$)	UTILIDAD BRUTA TOTAL (\$)	UTILIDAD NETA TOTAL (\$)	CAPITAL DISPONIBLE (\$)
	SUPERFICIE (HA)		SUPERFICIE TOTAL (HA)				
	HIGO	CEBOLLA					
1	3.7402	0.0787	3.8189	14,202	4,559	-9,643	14,202
2	3.7402	0.2598	4.0000	11,141	14,470	3,329	13,656
3	3.7402	0.2425	3.9827	13,130	12,987	143	13,130
4	3.7402	0.1319	3.8721	12,625	17,027	4,402	12,625
5	3.7402	0.0997	3.8399	12,140	29,539	17,400	12,140
6	3.7402	0.0675	3.8077	11,673	41,064	29,391	11,673
7	3.7402	0.0245	3.7647	11,224	55,714	44,490	11,224
8	3.7402	0.0322	3.7724	10,792	75,782	64,990	10,792
9	3.7402	0.0107	3.7509	10,377	80,369	69,992	10,377
10	3.7402	0.0000	3.7402	9,978	421,796	411,818	9,978
SUMAS				117,281	753,306	636,025	119,798

Relación beneficio costo: 6.42

En el Cuadro 10 se muestra la solución de optimización cuando se tiene exceso de capital (\$ 43,004.00) con la misma superficie de tierra (4 ha). Esta solución elige a los cultivos Cebolla e Higo; el primero con mayor superficie de

tierra que el segundo. La relación beneficio costo de esta solución es 5.00, ligeramente mayor que la del cultivo de Cebolla (4.94) y menor que la del Higo (6.56), nuevamente se elige como primera opción al cultivo con la mayor utilidad neta por hectárea (Cuadro 2), aunque el riesgo de la inversión sea mayor.

Cuadro 10. Solución de optimización para capital máximo (\$ 43,004.00) y 4.0 ha de tierra, costos y beneficios totales y capital disponible por año, en el escenario favorable de rendimientos, sin considerar costos por externalidades.

AÑO	SOLUCIÓN			COSTO TOTAL (\$)	UTILIDAD BRUTA TOTAL (\$)	UTILIDAD NETA TOTAL (\$)	CAPITAL DISPONIBLE (\$)
	SUPERFICIE (HA)		SUPERFICIE TOTAL (HA)				
	HIGO	CEBOLLA					
1	0.4469	3.5335	3.9804	43,003	204,761	161,668	43,004
2	0.4469	3.5531	4.0000	41,026	197,891	156,865	41,350
3	0.4469	3.5531	4.0000	39,759	190,280	150,520	39,759
4	0.4469	3.5399	3.9868	38,230	183,504	145,274	38,230
5	0.4469	3.5361	3.9830	36,760	178,022	141,262	36,760
6	0.4469	3.5322	3.9791	35,346	172,686	137,340	35,346
7	0.4469	3.5271	3.9740	33,987	167,985	133,998	33,987
8	0.4469	3.5280	3.9749	32,680	164,177	131,497	32,679
9	0.4469	3.5254	3.9723	31,422	158,757	127,335	31,422
10	0.4469	3.5241	3.9710	30,214	193,815	163,602	30,214
SUMAS				362,428	1'811,788	1'449,360	362,752

Relación beneficio costo: 5.00

Al igual que en los escenarios desfavorable y promedio, puede constatarse en los Cuadros 9 y 10 que a medida que se incrementa el capital permaneciendo la tierra fija, se va reduciendo la superficie de tierra para el cultivo con la mayor relación beneficio costo, y aumentando la del cultivo con mayor utilidad neta.

Ahora, aumentando la superficie de tierra y permaneciendo el capital fijo, se da una situación contraria a la anterior, al igual que en los escenarios desfavorable y promedio. Tomando los resultados obtenidos con un capital de \$ 43,004.00 y tierra de 4 ha (Cuadro 10), donde se elige al cultivo con la mayor utilidad neta, se contrastaran con los resultados que resultan de optimizar un sistema con el mismo capital (\$ 43,004.00) y una superficie de 12 ha (Cuadro 11) donde elige a los cultivos Higo y Cebolla, el primero con mayor superficie que el segundo y obtiene una relación beneficio costo de 6.41; menor que la del Higo (6.56) y mayor que la de Cebolla (4.94).

Cuadro 11. Solución de optimización para capital máximo (\$ 43,004.00) y 12.0 ha de tierra, costos y beneficios totales y capital disponible por año, en el escenario favorable de rendimientos, sin considerar costos por externalidades.

AÑO	SOLUCIÓN			COSTO TOTAL (\$)	UTILIDAD BRUTA TOTAL (\$)	UTILIDAD NETA TOTAL (\$)	CAPITAL DISPONIBLE (\$)
	SUPERFICIE (HA)		SUPERFICIE TOTAL (HA)				
	HIGO	CEBOLLA					
1	11.2446	0.2628	11.5074	43,004	15,222	-27,782	43,004
2	11.2446	0.7554	12.0000	33,205	42,072	8,867	41,350
3	11.2446	0.7554	12.0000	39,759	40,454	694	39,759
4	11.2446	0.4228	11.6674	38,230	52,541	14,311	38,230
5	11.2446	0.3260	11.5706	36,760	90,108	53,348	36,760
6	11.2446	0.2291	11.4737	35,346	124,702	89,356	35,346
7	11.2446	0.1000	11.3446	33,987	168,705	134,718	33,987
8	11.2446	0.1230	11.3676	32,679	228,985	196,306	32,679
9	11.2446	0.0585	11.3031	31,423	242,738	211,316	31,422
10	11.2446	0.0262	11.2708	30,214	1'269,161	1'238,947	30,214
SUMAS				354,607	2'274,688	1'920,081	362,752

Relación beneficio costo: 6.41

Dado estos resultados, se observa que cuando se tiene excesos de tierra, la lógica de solución es utilizar el capital en el cultivo con la mayor relación beneficio costo, en este caso el Higo; y si sobra capital, se utiliza en el cultivo

que en combinación maximice la utilidad neta que es la cebolla, y que tiene la mayor utilidad neta.

Comparando la utilidad neta de esta solución con los demás escenarios, se observa que es mayor que en el escenario promedio y menor que en el escenario desfavorable, ya que aunque el rendimiento del Higo es mayor que en el promedio, sigue siendo menor que en el desfavorable.

En los Cuadros 10 y 11 puede observarse que a medida que se incrementa la tierra permaneciendo el capital fijo, va aumentando la tierra para el cultivo con la mayor relación beneficio costo y disminuyendo la del cultivo con mayor utilidad neta por ha pasando la relación beneficio costo de 5.00 a 6.41 con lo que el riesgo de la inversión disminuye.

5.2 Optimización del sistema considerando costos por externalidades

En este caso también se fijaron los escenarios de rendimientos desfavorable, promedio y favorable, cuyos resultados de los modelos de optimización son similares a los obtenidos en donde no se consideran estos costos, variando cuando se consideran costos por externalidades en que se obtiene menor utilidad neta y menores relaciones beneficio costo, ya que se incrementan los costos, mientras la utilidad bruta permanece igual. Dado lo anterior, no se consideró profundizar en su análisis, únicamente se presentan

los cuadros donde se concentran los resultados de los diferentes escenarios.

En los Cuadros 12 y 13 se muestra la relación beneficio costo y la utilidad neta por hectárea, respectivamente, para cada cultivo en los tres escenarios.

Cuadro 12. Relación beneficio costo de los cultivos considerando costos por externalidades

ESCENARIO	AGUACATE	HIGO	CHAPULIXTLE	CALABACITA	MELON	CEBOLLA
Desfavorable	2.05	6.18	4.45	1.73	1.77	3.31
Promedio	3.61	5.06	4.74	1.85	1.99	3.69
Favorable	2.52	5.58	5.03	1.74	2.41	4.51

Cuadro 13. Utilidad Neta Presente por hectárea de los cultivos durante el horizonte de planeación de 10 años, considerando costos por externalidades.

ESCENARIO	AGUACATE	HIGO	CHAPULIXTLE	CALABACITA	MELON	CEBOLLA
Desfavorable	44,182	172,603	88,533	73,698	93,821	250,625
Promedio	109,396	135,108	95,859	85,544	120,721	291,382
Favorable	63,668	152,612	103,186	74,331	171,682	380,307

5.2.1 Escenario desfavorable de rendimientos

Cuadro 14. Solución de optimización para capital limitado (\$14,202.00) y 4.0 ha de tierra, costos y beneficios totales y capital disponible por año, en el escenario desfavorable de rendimientos, considerando costos por externalidades.

AÑO	SOLUCIÓN			COSTO TOTAL (\$)	UTILIDAD BRUTA TOTAL (\$)	UTILIDAD NETA TOTAL (\$)	CAPITAL DISPONIBLE (\$)
	SUPERFICIE (HA)		SUPERFICIE TOTAL (HA)				
	HIGO	CEBOLLA					
1	3.2065	0.1584	3.3649	14,202	6,740	-7,462	14,202
2	3.2065	0.4469	3.6534	13,656	18,284	4,629	13,656
3	3.2065	0.2145	3.4210	13,130	8,438	-4,693	13,130
4	3.2065	0.0985	3.3050	12,625	13,373	748	12,625
5	3.2065	0.0732	3.2797	12,140	25,854	13,714	12,140
6	3.2065	0.0480	3.2545	11,673	37,357	25,685	11,673
7	3.2065	0.0144	3.2209	11,224	51,944	40,720	11,224
8	3.2065	0.0252	3.2317	10,792	70,912	60,120	10,792
9	3.2065	0.0084	3.2149	10,377	75,592	65,215	10,377
10	3.2065	0.0000	3.2065	9,978	394,842	384,864	9,978
SUMAS				119,798	703,337	583,539	119,798

Relación beneficio costo: 5.87

Cuadro 15. Solución de optimización para capital máximo (\$43,004.00) y 4.0 ha de tierra, costos y beneficios totales y capital disponible por año, en el escenario desfavorable de rendimientos, considerando costos por externalidades.

AÑO	SOLUCIÓN			COSTO TOTAL (\$)	UTILIDAD BRUTA TOTAL (\$)	UTILIDAD NETA TOTAL (\$)	CAPITAL DISPONIBLE (\$)
	SUPERFICIE (HA)		SUPERFICIE TOTAL (HA)				
	HIGO	CEBOLLA					
1	0.9593	3.0407	4.0000	42,677	129,380	86,703	43,004
2	0.9593	3.0407	4.0000	39,970	124,404	84,433	41,350
3	0.9593	3.0407	4.0000	39,258	119,619	80,361	39,759
4	0.9593	3.0407	4.0000	38,144	117,904	79,760	38,230
5	0.9593	3.0407	4.0000	36,760	117,533	80,772	36,760
6	0.9593	3.0331	3.9924	35,346	116,749	81,403	35,346
7	0.9593	3.0231	3.9824	33,987	117,054	83,067	33,987
8	0.9593	3.0263	3.9856	32,679	118,824	86,144	32,679
9	0.9593	3.0212	3.9805	31,422	116,467	85,046	31,422
10	0.9593	3.0188	3.9781	30,214	208,372	178,158	30,214
SUMAS				360,458	1'286,305	925,847	362,752

Relación beneficio costo: 3.57

Cuadro 16. Solución de optimización para capital máximo (\$43,004.00) y 12.0 ha de tierra, costos y beneficios totales y capital disponible por año, en el escenario desfavorable de rendimientos, considerando costos por externalidades.

AÑO	SOLUCIÓN			COSTO TOTAL (\$)	UTILIDAD BRUTA TOTAL (\$)	UTILIDAD NETA TOTAL (\$)	CAPITAL DISPONIBLE (\$)
	SUPERFICIE (HA)		SUPERFICIE TOTAL (HA)				
	HIGO	CEBOLLA					
1	9.7093	0.4796	10.1889	43,004	20,407	-22,597	43,004
2	9.7093	1.3533	11.0626	41,350	55,367	14,018	41,350
3	9.7093	0.6494	10.3587	39,759	25,547	-14,212	39,759
4	9.7093	0.2981	10.0074	38,230	40,489	2,259	38,230
5	9.7093	0.2218	9.9311	36,760	78,290	41,531	36,760
6	9.7093	0.1454	9.8547	35,345	113,121	77,775	35,346
7	9.7093	0.0437	9.7530	33,987	157,290	123,303	33,987
8	9.7093	0.0763	9.7856	32,679	214,723	182,044	32,679
9	9.7093	0.0254	9.7347	31,422	228,893	197,471	31,422
10	9.7093	0.0000	9.7093	30,214	1'195,583	1'165,369	30,214
SUMAS				362,752	2'129,709	1'766,960	362,752

Relación beneficio costo: 5.87

5.2.2 Escenario promedio de rendimientos

Cuadro 17. Solución de optimización para capital limitado (\$14,202.00) y 4.0 ha de tierra, costos y beneficios totales y capital disponible por año, en el escenario promedio de rendimientos, considerando costos por externalidades.

AÑO	SOLUCIÓN				COSTO TOTAL (\$)	UTILIDAD BRUTA TOTAL (\$)	UTILIDAD NETA TOTAL (\$)	CAPITAL DISPONIBLE (\$)
	SUPERFICIE (HA)			SUPERF. TOT. (HA)				
	HIGO	CHAPULIXTLE	CEBOLLA					
1	3.0598	0.2876	0.0000	3.3474	14,202	0	-14,202	14,202
2	3.0598	0.2876	0.4303	3.7777	13,656	22,316	8,660	13,656
3	3.0598	0.2876	0.2047	3.5521	13,130	12,879	-252	13,130
4	3.0598	0.2876	0.0940	3.4414	12,625	15,364	2,738	12,625
5	3.0598	0.2876	0.0699	3.4173	12,140	24,821	12,681	12,140
6	3.0598	0.2876	0.0458	3.3932	11,673	33,528	21,856	11,673
7	3.0598	0.2876	0.0138	3.3612	11,224	44,630	33,406	11,224
8	3.0598	0.2876	0.0241	3.3715	10,792	59,618	48,826	10,792
9	3.0598	0.2876	0.0080	3.3554	10,377	63,050	52,673	10,377
10	3.0598	0.2876	0.0000	3.3474	9,978	312,857	302,879	9,978
SUMAS					119,798	589,065	469,266	119,798

Relación beneficio costo: 4.92

Cuadro 18. Solución de optimización para capital máximo (\$43,004.00) y 4.0 ha de tierra, costos y beneficios totales y capital disponible por año, en el escenario promedio de rendimientos, considerando costos por externalidades.

AÑO	SOLUCIÓN			COSTO TOTAL (\$)	UTILIDAD BRUTA TOTAL (\$)	UTILIDAD NETA TOTAL (\$)	CAPITAL DISPONIBLE (\$)
	SUPERFICIE (HA)		SUPERFICIE TOTAL (HA)				
	HIGO	CEBOLLA					
1	0.9008	3.0834	3.9842	43,004	146,095	103,091	43,004
2	0.9008	3.0991	3.9999	40,543	141,191	100,649	41,350
3	0.9008	3.0991	3.9999	39,759	135,761	96,002	39,759
4	0.9008	3.0666	3.9674	38,230	131,420	93,190	38,230
5	0.9008	3.0600	3.9608	36,760	129,344	92,579	36,760
6	0.9008	3.0524	3.9532	35,346	127,194	91,848	35,346
7	0.9008	3.0430	3.9438	33,987	125,950	91,964	33,987
8	0.9008	3.0460	3.9468	32,679	126,023	93,344	32,679
9	0.9008	3.0412	3.9420	31,422	122,859	91,438	31,422
10	0.9008	3.0389	3.9397	30,214	190,968	160,754	30,214
SUMAS				361,944	1'376.805	1'014.859	362,752

Relación beneficio costo: 3.80

Cuadro 19. Solución de optimización para capital máximo (\$43,004.00) y 12.0 ha de tierra, costos y beneficios totales y capital disponible por año, en el escenario promedio de rendimientos, considerando costos por externalidades.

AÑO	SOLUCIÓN				COSTO TOTAL (\$)	UTILIDAD BRUTA TOTAL (\$)	UTILIDAD NETA TOTAL (\$)	CAPITAL DISPONIBLE (\$)
	SUPERFICIE (HA)			SUPERF. TOT. (HA)				
	HIGO	CHAPULIXTLE	CEBOLLA					
1	9.2652	0.8710	0.0000	10.1362	43,004	0	-43,004	43,004
2	9.2652	0.8710	1.3028	11.4390	41,350	67,568	26,218	41,350
3	9.2652	0.8710	0.6196	10.7558	39,759	38,990	-769	39,759
4	9.2652	0.8710	0.2845	10.4207	38,230	46,519	8,289	38,230
5	9.2652	0.8710	0.2117	10.3479	36,760	75,163	38,403	36,760
6	9.2652	0.8710	0.1388	10.2750	35,346	101,531	66,184	35,346
7	9.2652	0.8710	0.0418	10.1780	33,987	135,144	101,155	33,987
8	9.2652	0.8710	0.0728	10.2090	32,679	180,522	147,843	32,679
9	9.2652	0.8710	0.0242	10.1604	31,422	190,919	159,498	31,422
10	9.2652	0.8710	0.0000	10.1362	30,214	947,349	917,135	30,214
SUMAS					362752	1'783,704	1'420,952	362,752

Relación beneficio costo: 4.92

5.2.3 Escenario favorable de rendimientos

Cuadro 20. Solución de optimización para capital limitado (\$14,202.00) y 4.0 ha de tierra, costos y beneficios totales y capital disponible por año, en el escenario favorable de rendimientos, considerando costos por externalidades.

AÑO	SOLUCIÓN			COSTO TOTAL (\$)	UTILIDAD BRUTA TOTAL (\$)	UTILIDAD NETA TOTAL (\$)	CAPITAL DISPONIBLE (\$)
	SUPERFICIE (HA)		SUPERFICIE TOTAL (HA)				
	HIGO	CEBOLLA					
1	3.2065	0.1584	3.3649	14,202	9,175	-5,027	14,202
2	3.2065	0.4469	3.6534	13,655	24,890	11,235	13,656
3	3.2065	0.2145	3.4210	13,131	11,487	-1,644	13,130
4	3.2065	0.0985	3.3050	12,626	13,846	1,221	12,625
5	3.2065	0.0732	3.2797	12,139	24,717	12,577	12,140
6	3.2065	0.0480	3.2545	11,673	34,735	23,062	11,673
7	3.2065	0.0144	3.2209	11,224	47,462	36,238	11,224
8	3.2065	0.0252	3.2317	10,792	64,862	54,070	10,792
9	3.2065	0.0084	3.2149	10,377	68,869	58,491	10,377
10	3.2065	0.0000	3.2065	9,978	354,764	344,785	9,978
SUMAS				119,798	654,806	535,008	119,798

Relación beneficio costo: 5.47

Cuadro 21. Solución de optimización para capital máximo (\$43,004.00) y 4.0 ha de tierra, costos y beneficios totales y capital disponible por año, en el escenario favorable de rendimientos, considerando costos por externalidades.

AÑO	SOLUCIÓN			COSTO TOTAL (\$)	UTILIDAD BRUTA TOTAL (\$)	UTILIDAD NETA TOTAL (\$)	CAPITAL DISPONIBLE (\$)
	SUPERFICIE (HA)		SUPERFICIE TOTAL (HA)				
	HIGO	CEBOLLA					
1	0.9008	3.0834	3.9842	43,003	178,600	135,597	43,004
2	0.9008	3.0992	4.0000	40,544	172,611	132,067	41,350
3	0.9008	3.0992	4.0000	39,760	165,972	126,212	39,759
4	0.9008	3.0666	3.9674	38,230	160,375	122,144	38,230
5	0.9008	3.0595	3.9603	36,760	157,410	120,650	36,760
6	0.9008	3.0524	3.9532	35,346	154,436	119,091	35,346
7	0.9008	3.0430	3.9438	33,987	152,449	118,462	33,987
8	0.9008	3.0460	3.9468	32,679	151,985	119,306	32,679
9	0.9008	3.0413	3.9421	31,422	147,967	116,544	31,422
10	0.9008	3.0389	3.9397	30,214	223,335	193,121	30,214
SUMAS				361,944	1'665,139	1'303,196	362,752

Relación beneficio costo: 4.60

Cuadro 22. Solución de optimización para capital máximo (\$43,004.00) y 12.0 ha de tierra, costos y beneficios totales y capital disponible por año, en el escenario promedio de rendimientos, considerando costos por externalidades.

AÑO	SOLUCIÓN			COSTO TOTAL (\$)	UTILIDAD BRUTA TOTAL (\$)	UTILIDAD NETA TOTAL (\$)	CAPITAL DISPONIBLE (\$)
	SUPERFICIE (HA)		SUPERFICIE TOTAL (HA)				
	HIGO	CEBOLLA					
1	9.7093	0.4796	10.1889	43,004	27,780	-15,224	43,004
2	9.7093	1.3533	11.0626	41,350	75,372	34,023	41,350
3	9.7093	0.6494	10.3587	39,759	34,777	-4,982	39,759
4	9.7093	0.2982	10.0075	38,231	41,924	3,694	38,230
5	9.7093	0.2218	9.9311	36,760	74,849	38,090	36,760
6	9.7093	0.1454	9.8547	35,345	105,180	69,835	35,346
7	9.7093	0.0436	9.7529	33,986	143,714	109,728	33,987
8	9.7093	0.0764	9.7857	32,680	196,408	163,728	32,679
9	9.7093	0.0255	9.7348	31,423	208,537	177,114	31,422
10	9.7093	0.0000	9.7093	30,214	1'074,226	1'044,012	30,214
SUMAS				362,751	1'982,768	1'620,017	362,752

Relación beneficio costo: 5.47

5.3 Análisis conjunto de la optimización de los sistemas sin considerar costos por externalidades y considerando costos por externalidades.

Dado que los resultados para los tres escenarios son similares, nos limitaremos a analizar el escenario desfavorable.

Cuando se utiliza la restricción de capital mínimo (\$ 14,202.00) con 4.0 ha de tierra sin considerar costos por externalidades (Cuadro 3) se obtuvo una relación beneficio costo de 6.95 eligiendo a los cultivos Higo y Cebolla; considerando costos por externalidades (Cuadro 14) se obtuvo una relación beneficio costo de 5.87 eligiendo a los cultivos Higo y Cebolla. El Higo observa una reducción en la superficie cuando se consideran costos por externalidades,

Comparando estos dos resultados, observamos que cuando se consideran costos por externalidades se disminuye la relación beneficio costo en un 15.54% (de 6.95 a 5.87) y la utilidad neta total en un 16.34% (de \$ 697,536.00 a \$ 583,539.00) dado que se incrementan los costos.

Cuando se utiliza la restricción de capital máximo (\$ 43,004.00) con 4.0 ha de tierra, sin considerar costos por externalidades (Cuadro 4) se obtuvo una relación beneficio costo de 3.77 eligiendo a los cultivos Higo y Cebolla, esta última con mayor superficie que el primero. Considerando costos por externalidades (Cuadro 15), se obtuvo una relación beneficio costo de 3.57

eligiendo a los mismos cultivos que en el sistema sin considerar costos por externalidades, con menor superficie de cebolla en relación con éste y mayor superficie de Higo. Se observa que se disminuye la relación beneficio costo en un 5.30% (de 3.77 a 3.57) y la utilidad neta total en un 7.52% (de \$ 1'001,124.00 a \$ 925,847.00).

Cuando se utilizó la restricción de \$43,004.00 de capital y como exceso de tierra 12 ha, sin considerar costos por externalidades (Cuadro 5) se obtuvo una relación beneficio costo de 6.97 eligiendo a los cultivos de Higo y Cebolla; considerando costos por externalidades (Cuadro 16) se obtuvo una relación beneficio costo de 5.87 eligiendo a los cultivos de Higo y Cebolla; la Cebolla con menor superficie que sin considerar costos por externalidades a excepción del segundo y tercer año que fue mayor, y el Higo también con menor superficie.

Aquí se observa una reducción del 15.78% en la relación beneficio costo (de 6.97 a 5.87) y un 16.14% la utilidad neta total (de \$ 2'107,142.00 a \$ 1'766,960.00).

5.4 La relación beneficio costo como una medida de riesgo

Ya analizados los casos anteriores, para reducir el riesgo de la inversión cuando tenemos excesos de capital, podemos incluir una restricción en el modelo de optimización que es la relación beneficio costo, es decir, podemos

obligar a que esta relación no sea menor a cierto valor que nosotros fijemos, con los cultivos que pretendemos utilizar.

Utilizando el segundo caso analizado en el escenario desfavorable de rendimientos; capital máximo (43,004.00) con 4 ha de tierra (Cuadro 4), donde la optimización del sistema nos dio una relación beneficio costo de 3.77, ahora, si agregamos la restricción de que esta relación no sea menor a 5.00 permaneciendo igual las otras restricciones, los resultados de este problema de optimización se presentan en el Cuadro 23.

Cuadro 23. Solución de optimización con la restricción beneficio costo, para capital máximo (\$ 43,004.00) y 4.0 ha de tierra, costos y beneficios totales y capital disponible por año, en el escenario desfavorable de rendimientos, sin considerar costos por externalidades.

AÑO	SOLUCIÓN			COSTO TOTAL (\$)	UTILIDAD BRUTA TOTAL (\$)	UTILIDAD NETA TOTAL (\$)	CAPITAL DISPONIBLE (\$)
	SUPERFICIE (HA)		SUPERFICIE TOTAL (HA)				
	HIGO	CEBOLLA					
1	2.7060	1.2940	4.00	24,775	55,059	30,284	43,004
2	2.7060	1.2940	4.00	20,526	52,941	32,415	41,350
3	2.7060	1.2940	4.00	21,621	50,905	29,284	39,759
4	2.7060	1.2940	4.00	21,623	57,089	35,465	38,230
5	2.7060	1.2940	4.00	21,025	66,636	45,611	36,760
6	2.7060	1.2940	4.00	20,441	75,364	54,923	35,346
7	2.7060	1.2940	4.00	19,943	86,941	66,998	33,987
8	2.7060	1.2940	4.00	19,126	100,996	81,870	32,679
9	2.7060	1.2940	4.00	18,524	103,804	85,280	31,422
10	2.7060	1.2940	4.00	17,875	377,671	359,796	30,214
SUMAS				205,479	1'027,406	821,927	362,752

Relación beneficio costo: 5.00

Contrastando los resultados del Cuadro 4 con el 23 que tienen las mismas restricciones a excepción de que este último tiene la restricción de relación beneficio costo, observamos que en el Cuadro 23, elige menor cantidad de

superficie para Cebolla en los 10 años que en el Cuadro 4 y mayor superficie para el Higo.

Entonces, podemos concluir que al agregar la restricción de la relación beneficio costo con el capital y tierra que se disponen se puede reducir el riesgo de la inversión tanto como se pueda permitir, a costa de disminuir la utilidad neta total, asumiendo que en los cultivos con mayor relación beneficio costo se tienen menores riesgos de inversión que en los de menor relación.

VI CONCLUSIONES

1. A mayor relación beneficio costo se reduce el riesgo de una inversión, debido a que se obtiene mayor ganancia por cada peso invertido.
2. De manera individual los cultivos extensivos (Higo, Chapulixtle) obtienen mayor relación beneficio costo que los intensivos (Calabacita, Melón y Cebolla), por lo tanto son los cultivos que menor riesgo ofrecen en la inversión
3. En el análisis realizado, los resultados de la optimización cuando se tiene restricción de capital eligen como primera opción al cultivo con la mayor relación beneficio costo y cuando se tiene exceso de capital se elige al de mayor utilidad neta.
4. Los resultados de la optimización cuando se tiene restricción de tierra se elige como primera opción al cultivo con la mayor utilidad neta y cuando se tiene exceso de tierra se elige al de mayor relación beneficio costo.
5. Cuando se tiene exceso de tierra o restricción de capital, el modelo de optimización conduce a soluciones congruentes reduciendo el riesgo de la

inversión, ya que como primera opción se elige al cultivo con la mayor relación beneficio costo.

6. Cuando se tiene exceso de capital o restricción de tierra, se incrementa el riesgo de la inversión, ya que sin importar la relación beneficio costo se elige como primera opción al cultivo con la mayor utilidad neta.
7. La tierra no es un recurso como el capital, ya que un exceso de tierra no conduce a soluciones óptimas absurdas como resulta cuando hay exceso de capital, por lo tanto, un exceso de ésta no provoca más daño que el no obtener un mejor provecho de ella.
8. Para reducir el riesgo de la inversión cuando se tienen excesos de capital frente a la tierra, basta con incluir una restricción de relación beneficio costo en el modelo de optimización, tomando como referencia las relaciones individuales de los cultivos a considerar.
9. La racionalidad de la optimización del sistema esta dada principalmente por la veracidad en que son obtenidos los costos de producción, rendimientos de los cultivos, precios de los productos y de las estimaciones de los costos de externalidades.

10. El hecho de haber trabajado con distintos escenarios de rendimientos (desfavorable, promedio y favorable) no resultó en diferencias significativas, por lo que se recomienda trabajar con los valores promedio.
11. Calcular los costos de los efectos de las externalidades en los procesos de producción es una tarea difícil, sobre todo de aquellos que no pueden ser cuantificados, sin embargo, incluir estimaciones de ellos, podría significar parte de la solución para reparar el impacto causado por las externalidades negativas, a costa de reducir la utilidad neta y la relación beneficio costo.

VII LITERATURA CITADA

- Aragón P., L. H. 1995. Factibilidades Agrícolas y Forestales en la República Mexicana. Trillas. México. 177 p.
- Calabrese, F. 1992. El Aguacate. Mundi Prensa. Madrid. 249 p.
- Camacho M., F., González K., V. y Mancera O., A. 1993. Guía Tecnológica para el Cultivo del Chapulixtle *Dodonaea viscosa* (L) Jacq. Arbusto Útil para la Producción de Tutores Hortícolas, Control de Erosión y Setos Urbanos. Guía Tecnológica No. 1. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. México. 35 p.
- Combe, J. y Budowski, G. 1979. Classification of agroforestry techniques. In G. De las Salas, ed. Agroforestry systems in Latin America. Proceedings of a workshop, CATIE, March 1979. Turrialba, Costa Rica: CATIE, 17-47.
- Esparza A., M. 1997. Indices generales para evaluar la sustentabilidad en sistemas forestales. Tesis Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. México. pp: 25-27.
- Flores D., A. 1990. La Higuera. Mundi Prensa. Madrid. 190 p.
- Guzmán S., R. I. 1996. Rentabilidad financiera de la cebolla (*Allium cepa* L.) en el Municipio de Tepalcingo, Morelos para 1995. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. México. 84 p.

- INEGI, 1997. Anuario Estadístico del Estado de Morelos. 1997. México.
- INEGI. 1998. Estadísticas del Medio Ambiente. México, 1997. INEGI. México. 461 p.
- López T., M. 1994. Horticultura. Trillas. México. 386 p.
- Martínez U., C. y Zárate R., G. 1993. Evaluación económica de proyectos de inversión. Boletín informativo de FIRA. México. 32 p.
- Montagnini, F. *et al.* 1992. Sistemas Agroforestales. Principios y aplicaciones en los trópicos. 2a. ed. San José, Costa Rica. 622 p.
- Nair, P. K. R. 1993. An Introduction to Agroforestry. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. 499 p.
- Novelo G., M. *et al.* 1994. Criterios Técnicos en la Evaluación de Proyectos. Boletín informativo de FIRA. México. 44 p.
- Rivero B., P. 1987. Uso de la programación lineal en la regulación forestal. Serie de Apoyo Técnico No. 22. Universidad Autónoma Chapingo. México. 31 p.
- Rodríguez de G. O., A. 1991. Diseño financiero de sistemas agroforestales. Tesis Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. México. 181 p.
- Rodríguez S., F. 1982. El Aguacate. AGT EDITOR, S.A. México. 167 p.

- SAGAR. 1989 - 1998. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. 1988 - 1997.
- Sala M., F. 1985. El Cultivo de la Higuera Breval. Publicaciones de Extensión Agraria. Madrid. 20 p.
- Steiner, A. R., L. McLaughlin, P. Faeth, and R. R. Janke. 1995. Incorporating Externality Costs into Productivity Measures: A Case Study using US Agriculture. *In: Agricultural Sustainability, Economic, Environmental and Statistical Considerations*. Barnett V., R. Payner, and Steiner. (eds). 1995. John Wiley & Sons, New York. pp: 209-229.
- Taha, H. A. 1995. Investigación de Operaciones. 5a. ed. Alfaomega. México. 960 p.
- Torquebiau, E. 1990. Conceptos de Agroforestería: Una Introducción. Universidad Autónoma Chapingo. México. 92 p.
- Trueba, I. 1995. Formulación y Evaluación de Proyectos Empresariales. Mundi Prensa. Madrid-Barcelona-México. 248 p.
- Valadez L., A. 1996. Producción de Hortalizas. UTEHA. México. 298 p.

ANEXO

Cuadro 1. Costos de producción del Aguacate por hectárea sin considerar costos por externalidades.

ACTIVIDAD	U.M.	P.U. \$	AÑO																	
			1		2		3		4		5		6		7		8		9	
			CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$
1. PREPARACIÓN DEL TERRENO																				
Barbecho	M. T.	250.00	1	250.00																
Rastro	M. T.	200.00	1	200.00	1	200.00	1	200.00	1	200.00	1	200.00	1	200.00	1	200.00				
2. TRAZO DE PLANTACIÓN																				
Mano de Obra	Jornal	35.00	3	105.00																
3. APERTURA DE CEPAS																				
Mano de Obra	Jornal	35.00	10	350.00																
4. PLANTACIÓN																				
Material vegetativo	Planta	10.00	100	1000.00																
Mano de Obra	Jornal	35.00	6	210.00																
5. REPOSICIÓN DE FALLAS																				
Material vegetativo	Planta	10.00			10	100.00														
Mano de Obra	Jornal	35.00			1	35.00														
6. FERTILIZACIÓN																				
Abono orgánico	Ton.	200.00	1.5	300.00	2	400.00	3	600.00	3	600.00	3	600.00	3	600.00	3	600.00	3	600.00	3	600.00
Urea	Bulto	98.00	1	98.00	1	98.00	2	196.00	2	196.00	2	196.00	2	196.00	2	196.00	2	196.00	2	196.00
Superfosfato de Calcio Triple	Bulto	93.00	1	93.00	1	93.00	1	93.00	1	93.00	1	93.00	1	93.00	1	93.00	1	93.00	1	93.00
Gapol	Lt	16.00					1	16.00	1	16.00	2	32.00	2	32.00	2	32.00	2	32.00	2	32.00
Mano de Obra	Jornal	35.00	6	210.00	6	210.00	8	280.00	8	280.00	8	280.00	8	280.00	8	280.00	8	280.00	8	280.00
7. DESHIERBES																				
Mano de Obra	Jornal	35.00	6	210.00	6	210.00	9	315.00	9	315.00	9	315.00	9	315.00	9	315.00	9	315.00	9	315.00
8. CONTROL DE MALEZAS																				
Herbicida																				
Faena	Lt	90.00	2	180.00	2	180.00	2	180.00	2	180.00	2	180.00	2	180.00	2	180.00	2	180.00	2	180.00
Mano de Obra	Jornal	35.00	2	70.00	2	70.00	2	70.00	2	70.00	2	70.00	2	70.00	2	70.00	2	70.00	2	70.00
9. CONTROL DE PLAGAS Y ENFER.																				
Insecticidas																				
Metasystox R-50	Lt	130.00	2	260.00	3	390.00	4	520.00	4	520.00	4	520.00	4	520.00	4	520.00	4	520.00	4	520.00
Dipterex	Kg	74.00	2	148.00	3	222.00	3	222.00	4	296.00	4	296.00	4	296.00	4	296.00	4	296.00	4	296.00
Fungicidas																				
Cupravit	Kg	37.00	4	148.00	5	185.00	6	222.00	7	259.00	7	259.00	7	259.00	7	259.00	7	259.00	7	259.00
Benlate	Kg	245.00			1	245.00	2	490.00	3	735.00	3	735.00	3	735.00	3	735.00	3	735.00	3	735.00
Mano de Obra	Jornal	35.00	4	140.00	4	140.00	5	175.00	6	210.00	6	210.00	6	210.00	6	210.00	6	210.00	6	210.00
10. PINTADO DE TALLO																				
Pasta Bordelesa																				
Cal	Kg	1.50	5	7.50	10	15.00	15	22.5	20	30.00	20	30.00	20	30.00	20	30.00	20	30.00	20	30.00
Sulfato de Cobre	Kg	12.00	0.25	3.00	0.5	6.00	0.75	9.00	1	12.00	1	12.00	1	12.00	1	12.00	1	12.00	1	12.00
Mano de Obra	Jornal	35.00	1	35.00	2	70.00	3	105.00	3	105.00	3	105.00	3	105.00	3	105.00	3	105.00	3	105.00
11. PODA DE FORMACIÓN																				
Mano de Obra	Jornal	35.00	1	35.00	2	70.00	2	70.00	3	105.00	3	105.00	3	105.00	3	105.00	3	105.00	3	105.00
12. COSECHA																				
Mano de Obra	Jornal	35.00							4	140.00	6	210.00	10	350.00	15	525.00	20	700.00	23	805.00
TOTALES				4,052.50		2,938.00		3,785.50		4,362.00		4,448.00		4,588.00		4,763.00		4,738.00		4,843.00

U.M.: Unidad de Medida, P.U.: Precio Unitario, CANT.: Cantidad, TOT.: Total, M.T.: Maquila del Tractor.

Cuadro 2. Costos de producción del Higo por hectárea sin considerar costos por externalidades.

ACTIVIDAD	U.M.	P.U. \$	AÑO																	
			1		2		3		4		5		6		7		8		9	
			CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$
1. PREPARACIÓN DEL TERRENO																				
Barbecho	M. T.	250.00	1	250.00																
Rastreo	M. T.	200.00	1	200.00	1	200.00	1	200.00	1	200.00	1	200.00	1	200.00	1	200.00				
2. TRAZO DE PLANTACIÓN																				
Mano de Obra	Jornal	35.00	3	105.00																
3. APERTURA DE CEPAS																				
Mano de Obra	Jornal	35.00	10	350.00																
4. PLANTACIÓN																				
Material vegetativo	Planta	10.00	100	1000.00																
Mano de Obra	Jornal	35.00	6	210.00																
5. REPOSICIÓN DE FALLAS																				
Material vegetativo	Planta	10.00			10	100.00														
Mano de Obra	Jornal	35.00			1	35.00														
6. FERTILIZACIÓN																				
Abono orgánico	Ton.	200.00	1.5	300.00	2	400.00	3	600.00	3	600.00	3	600.00	3	600.00	3	600.00	3	600.00	3	600.00
Urea	Bulto	98.00	1	98.00	1	98.00	2	196.00	2	196.00	2	196.00	2	196.00	2	196.00	2	196.00	2	196.00
Superfosfato de Calcio Triple	Bulto	93.00	1	93.00	1	93.00	1	93.00	1	93.00	1	93.00	1	93.00	1	93.00	1	93.00	1	93.00
Mano de Obra	Jornal	35.00	5	175.00	5	175.00	7	245.00	7	245.00	7	245.00	7	245.00	7	245.00	7	245.00	7	245.00
7. DESHIERBES																				
Mano de Obra	Jornal	35.00	6	210.00	6	210.00	9	315.00	9	315.00	9	315.00	9	315.00	9	315.00	9	315.00	9	315.00
8. CONTROL DE MALEZAS																				
Herbicida																				
Faena	Lt	90.00	2	180.00	2	180.00	2	180.00	2	180.00	2	180.00	2	180.00	2	180.00	2	180.00	2	180.00
Mano de Obra	Jornal	35.00	2	70.00	2	70.00	2	70.00	2	70.00	2	70.00	2	70.00	2	70.00	2	70.00	2	70.00
9. CONTROL DE PLAGAS Y ENFER.																				
Insecticida																				
C-bord	Lt	83.00	1	83.00	1	83.00	2	166.00	2	166.00	2	166.00	2	166.00	2	166.00	2	166.00	2	166.00
Fungicidas																				
Cupravit	Kg	37.00	4	242.00	5	185.00	6	222.00	6	222.00	6	222.00	6	222.00	6	222.00	6	222.00	6	222.00
Benlate	Kg	245.00			1	245.00	2	490.00	3	735.00	3	735.00	3	735.00	3	735.00	3	735.00	3	735.00
Mano de Obra	Jornal	35.00	4	140.00	4	140.00	5	175.00	5	175.00	5	175.00	5	175.00	5	175.00	5	175.00	5	175.00
10. PINTADO DE TALLO																				
Pasta Bordelesa																				
Cal	Kg	1.50	5	7.50	10	15.00	15	22.5	20	30.00	20	30.00	20	30.00	20	30.00	20	30.00	20	30.00
Sulfato de Cobre	Kg	12.00	0.25	3.00	0.5	6.00	0.75	9.00	1	12.00	1	12.00	1	12.00	1	12.00	1	12.00	1	12.00
Mano de Obra	Jornal	35.00	1	35.00	2	70.00	3	105.00	3	105.00	3	105.00	3	105.00	3	105.00	3	105.00	3	105.00
11. PODA DE FORMACIÓN																				
Mano de Obra	Jornal	35.00	1	35.00	2	70.00	2	70.00	3	105.00	3	105.00	3	105.00	3	105.00	3	105.00	3	105.00
12. COSECHA																				
Mano de Obra	Jornal	35.00							2	70.00	5	175.00	8	280.00	12	420.00	17	595.00	19	665.00
TOTALES				3,786.50		2,735.00		3,158.50		3,519.00		3,624.00		3,729.00		3,869.00		3,844.00		3,914.00

Cuadro 3. Costos de producción del Chapulixtle por hectárea sin considerar costos por externalidades.

ACTIVIDAD	U.M.	P.U. \$	AÑO																			
			1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
			CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$
1. PREPARACION DEL TERRENO																						
Barbecho	M.T.	250	1	250																		
Rastro	M.T.	200	1	200																		
2. TRAZO DE PLANTACION																						
Mano de Obra	Jornal	35	5	175																		
3. APERTURA DE CEPAS																						
Mano de obra	Jornal	35	100	3500																		
4. PLANTACION																						
Material Vegetativo	Piezas	0.60	4000	2400																		
Mano de Obra	Jornal	35	16	560																		
5. REPLANTACION																						
Material Vegetativo	Piezas	0.60	800	480																		
Mano de Obra	Jornal	35	4	140																		
6. FERTILIZACION																						
Fertilizante																						
Urea	Bulto	98	2	196	2	196	2	196	2	196	2	196	2	196	2	196	2	196	2	196	2	196
Mano de Obra	Jornal	35	4	140	4	140	4	140	4	140	4	140	4	140	4	140	4	140	4	140	4	140
7. RIEGO																						
Riego	Hora	15	21	315	21	315	21	315	21	315	21	315	21	315	21	315	21	315	21	315	21	315
Mano de Obra	Jornal	35	6	210	6	210	6	210	6	210	6	210	6	210	6	210	6	210	6	210	6	210
8. CONTROL DE MALEZAS																						
Deshierbe Manual	Jornal	35	4	140	4	140	4	140	4	140	4	140	4	140	4	140	4	140	4	140	4	140
9. CONTROL DE PLAG. Y ENFER.																						
Agroquímicos			1	300	1	300	1	300	1	300	1	300	1	300	1	300	1	300	1	300	1	300
Mano de Obra	Jornal	35	4	140	4	140	4	140	4	140	4	140	4	140	4	140	4	140	4	140	4	140
10. PODA																						
Mano de Obra	Jornal	35			6	210	6	210	6	210	6	210	6	210	6	210	6	210	6	210	6	210
11. COSECHA																						
Mano de Obra	Jornal	35			10	350	15	525	15	525	15	525	15	525	15	525	15	525	15	525	15	525
TOTALES				9146		2001		2176		2176		2176		2176		2176		2176		2176		2176

Cuadro 4. Costos de producción de la Calabacita por hectárea sin considerar costos por externalidades.

ACTIVIDAD	U.M.	CANT.	P. U. (\$)	TOT. (\$)
1. PREPARACIÓN DEL TERRENO				
Barbecho	M. T.	1	250.00	250.00
Rastreo	M. T.	1	200.00	200.00
Surcado	M. T.	1	200.00	200.00
2. SIEMBRA				
Semilla	Kg	5	250.00	1,250.00
Mano de obra	Jornal	10	35.00	350.00
3. FERTILIZACIÓN				
Fertilizantes				
Urea	Bulto	6	98.00	588.00
Superfosfato de Calcio Triple	Bulto	4	93.00	372.00
Mano de obra	Jornal	6	35.00	210.00
4. RIEGOS				
Cuota de riego	Hora	56	15.00	840.00
Mano de obra	Jornal	14	35.00	490.00
5. ESCARDA	Yunta	1	130.00	130.00
6. APORQUE	Yunta	1	130.00	130.00
7. CONTROL DE MALEZAS				
Herbicida				
Faena	Lt	2	90.00	180.00
Mano de Obra	Jornal	2	35.00	70.00
8. CONTROL DE PLAGAS Y ENFER.				
Insecticidas				
Ambush	Lt	4	255.00	1,020.00
Folimat	Lt	2	295.00	590.00
Diazinón	Lt	2	70.00	140.00
Fungicidas				
Cupravit	Kg	3	37.00	111.00
Benlate	Kg	1	245.00	245.00
Mano de Obra	Jornal	9	35.00	315.00
10. COSECHA				
Mano de Obra	Jornal	100	35.00	3,500.00
TOTAL				11,181.00

Cuadro 5. Costos de producción del Melón por hectárea sin considerar costos por externalidades.

ACTIVIDAD	U.M.	CANT.	P. U. (\$)	TOT. (\$)
1. PREPARACIÓN DEL TERRENO				
Barbecho	M. T.	1	250.00	250.00
Rastreo	M. T.	1	200.00	200.00
Surcado	M. T.	1	200.00	200.00
2. SIEMBRA				
Semilla	Kg	4	320.00	1,280.00
Mano de Obra	Jornal	10	35.00	350.00
3. FERTILIZACIÓN				
Fertilizantes				
Urea	Bulto	5	98.00	490.00
Superfosfato de Calcio Triple	Bulto	4	93.00	372.00
Mano de Obra	Jornal	6	35.00	210.00
4. RIEGOS				
Riego	Hora	56	15.00	840.00
Mano de Obra	Jornal	14	35.00	490.00
5. ESCARDA	Yunta	1	130.00	130.00
6. APORQUE	Yunta	1	130.00	130.00
7. CONTROL DE MALEZAS				
Herbicida				
Faena	Lt	2	90.00	180.00
Mano de Obra	Jornal	2	35.00	70.00
8. CONTROL DE PLAGAS Y ENFER.				
Insecticidas				
Ambush	Lt	6	255.00	1,530.00
Thiodan	Lt	4	68.00	272.00
Folimat	Lt	2	295.00	590.00
Diazinón	Lt	4	70.00	280.00
Fungicidas				
Ridomil Bravo	Kg	4	280.00	1,120.00
Manzate	Kg	3	44.00	132.00
Mano de Obra	Jornal	12	35.00	420.00
9. PODA				
Mano de Obra	Jornal	10	35.00	350.00
10. COSECHA				
Mano de Obra	Jornal	85	35.00	2,975.00
TOTAL				12,861.00

Cuadro 6. Costos de producción de la Cebolla por hectárea sin considerar costos por externalidades.

ACTIVIDAD	U.M.	CANT.	P. U. (\$)	TOT. (\$)
1. PRODUCCIÓN EN ALMACIGO				
Semilla	Kg	2	750.00	1,500.00
Aplicación	Jornal	45	20.00	900.00
Arranque	Jornal	3	35.00	105.00
2. PREPARACIÓN DEL TERRENO				
Barbecho	M. T.	1	250.00	250.00
Rastreo	M. T.	1	200.00	200.00
Surcado	M. T.	1	200.00	200.00
3. TRANSPLANTE				
Mano de Obra	Jornal	25	35.00	875.00
4. FERTILIZACIÓN				
Fertilizantes				
Urea	Bulto	7	98.00	686.00
Superfosfato de Calcio Triple	Bulto	4	93.00	372.00
Mano de Obra	Jornal	6	35.00	210.00
5. RIEGOS				
Cuota de riego	Hora	56	15.00	840.00
Mano de Obra	Jornal	14	35.00	490.00
6. ESCARDA	M. T.	2	200.00	400.00
7. APORQUE				
Mano de Obra	Jornal	20	35.00	700.00
8. CONTROL DE MALEZAS				
Herbicida				
Prowl	Lt	2	108.00	216.00
Mano de Obra	Jornal	2	35.00	70.00
9. CONTROL DE PLAGAS Y ENFER.				
Insecticidas				
Diazinón	Lt	4	70.00	280.00
Parathion Metílico	Lt	4	55.00	220.00
Folimat	Lt	2	295.00	590.00
Fungicidas				
Ridomil Bravo	Kg	2	280.00	560.00
Manzate	Kg	4	44.00	176.00
Mano de Obra	Jornal	10	35.00	350.00
10. COSECHA				
Mano de Obra	Jornal	50	40.00	2,000.00
TOTAL				12,190.00

Cuadro 7. Rendimientos promedio (ton/ha) registrados en el Estado de Morelos en el periodo 1988 - 1997.

AÑO	AGUACATE	HIGO	CALABACITA	MELÓN	CEBOLLA
1988	8.900	3.250	12.960	10.490	19.100
1989	10.690	3.000	11.050	10.810	18.860
1990	8.060	2.910	11.470	10.730	17.700
1991	9.390	4.000	11.170	8.670	18.550
1992	4.960	4.530	11.050	10.120	17.630
1993	5.880	4.120	11.090	13.770	24.000
1994	8.220	4.450	12.060	10.120	20.100
1995	8.190	3.550	12.500	14.100	20.510
1996	8.390	3.800	12.550	12.000	20.460
1997	7.710	4.000	12.090	13.000	19.410
PROMEDIO	8.039	3.761	11.799	11.381	19.632

Cuadro 8. Producción (ton) presentada en el Estado de Morelos durante el periodo 1988 - 1997.

AÑO	AGUACATE	HIGO	CALABACITA	MELÓN	CEBOLLA
1988	19,429	556	16,378	1,227	49,426
1989	23,338	1,014	13,153	962	53,495
1990	18,885	1,247	10,350	762	41,912
1991	22,011	1,716	11,366	572	47,258
1992	11,654	1,942	12,575	172	35,004
1993	13,805	1,766	13,247	606	43,913
1994	19,307	1,911	10,852	577	66,688
1995	19,232	1,522	14,140	437	59,183
1996	19,708	1,630	10,639	252	60,880
1997	18,109	1,716	10,679	533	55,344
TOTAL	185,478	15,020	123,379	6,100	513,103

Cuadro 9. Precios (\$/Kg) registrados en el Estado de Morelos durante el periodo 1988 - 1997.

AÑO	AGUACATE	HIGO	CALABACITA	MELÓN	CEBOLLA
1988	0.75	0.55	0.29	0.57	0.21
1989	0.76	0.65	0.59	0.74	0.23
1990	0.40	0.40	0.72	0.92	1.22
1991	2.30	1.13	0.89	0.93	1.51
1992	1.51	3.00	0.97	1.14	1.59
1993	2.77	5.44	0.76	1.07	1.66
1994	1.76	5.50	0.80	1.11	1.01
1995	1.93	5.69	1.10	1.27	1.00
1996	2.60	6.45	1.69	2.00	1.58
1997	3.02	6.80	2.03	2.53	1.72
PROMEDIO	1.78	3.76	0.98	1.23	1.17

Cuadro 10. Promedio anual del índice nacional de precios al productor (INPP), precios corrientes y precios actualizados (\$/Kg).

AÑO	INPP	AGUACATE		HIGO		CALABACITA		MELÓN		CEBOLLA	
		PC	PA	PC	PA	PC	PA	PC	PA	PC	PA
1988	47.8	0.75	3.46	0.55	2.54	0.29	1.34	0.57	2.63	0.21	0.97
1989	53.9	0.76	3.11	0.65	2.66	0.59	2.41	0.74	3.03	0.23	0.94
1990	66.1	0.40	1.33	0.40	1.33	0.72	2.40	0.92	3.07	1.22	4.07
1991	78.8	2.30	6.43	1.13	3.16	0.89	2.49	0.93	2.60	1.51	4.22
1992	88.2	1.51	3.77	3.00	12.49	0.97	2.42	1.14	2.85	1.59	3.97
1993	94.0	2.77	6.49	5.44	12.76	0.76	1.78	1.07	2.51	1.66	3.89
1994	100.0	1.76	3.88	5.50	12.12	0.80	1.76	1.11	2.45	1.01	2.23
1995	141.5	1.93	3.01	5.69	8.86	1.10	1.71	1.27	1.98	1.00	1.56
1996	190.1	2.60	3.01	6.45	7.48	1.69	1.96	2.00	2.32	1.58	1.83
1997	220.4	3.02	3.02	6.80	6.80	2.03	2.03	2.53	2.53	1.72	1.72
PROMEDIO		1.63	3.75	3.76	7.02	0.98	2.03	1.23	2.60	1.17	2.54

PC: Precio Corriente

PA: Precio Actualizado

Cuadro 11. Costos de producción del Aguacate por hectárea considerando costos por externalidades.

ACTIVIDAD	U.M.	P.U. \$	AÑO																	
			1		2		3		4		5		6		7		8		9	
			CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$
1. PREPARACIÓN DEL TERRENO																				
Barbecho	M. T.	275.00	1	275.00																
Rastreo	M. T.	220.00	1	220.00	1	220.00	1	220.00	1	220.00	1	220.00	1	220.00	1	220.00				
2. TRAZO DE PLANTACIÓN																				
Mano de Obra	Jornal	35.00	3	105.00																
3. APERTURA DE CEPAS																				
Mano de Obra	Jornal	35.00	10	350.00																
4. PLANTACIÓN																				
Material vegetativo	Planta	10.00	100	1000.00																
Mano de Obra	Jornal	35.00	6	210.00																
5. REPOSICIÓN DE FALLAS																				
Material vegetativo	Planta	10.00			10	100.00														
Mano de Obra	Jornal	35.00			1	35.00														
6. FERTILIZACIÓN																				
Abono orgánico	Ton.	200.00	1.5	300.00	2	400.00	3	600.00	3	600.00	3	600.00	3	600.00	3	600.00	3	600.00	3	600.00
Urea	Bulto	99.96	1	99.96	1	99.96	2	199.92	2	199.92	2	199.92	2	199.92	2	199.92	2	199.92	2	199.92
Superfosfato de Calcio Triple	Bulto	94.86	1	94.86	1	94.86	1	94.86	1	94.86	1	94.86	1	94.86	1	94.86	1	94.86	1	94.86
Gapol	Lt	16.32					1	16.32	1	16.32	2	32.64	2	32.64	2	32.64	2	32.64	2	32.64
Mano de Obra	Jornal	35.00	6	210.00	6	210.00	8	280.00	8	280.00	8	280.00	8	280.00	8	280.00	8	280.00	8	280.00
7. DESHIERBES																				
Mano de Obra	Jornal	35.00	6	210.00	6	210.00	9	315.00	9	315.00	9	315.00	9	315.00	9	315.00	9	315.00	9	315.00
8. CONTROL DE MALEZAS																				
Herbicida																				
Faena	Lt	135.00	2	270.00	2	270.00	2	270.00	2	270.00	2	270.00	2	270.00	2	270.00	2	270.00	2	270.00
Mano de Obra	Jornal	35.00	2	70.00	2	70.00	2	70.00	2	70.00	2	70.00	2	70.00	2	70.00	2	70.00	2	70.00
9. CONTROL DE PLAGAS Y ENFER.																				
Insecticidas																				
Metasystox R-50	Lt	195.00	2	390.00	3	585.00	4	780.00	4	780.00	4	780.00	4	780.00	4	780.00	4	780.00	4	780.00
Dipterex	Kg	111.00	2	222.00	3	333.00	3	333.00	4	444.00	4	444.00	4	444.00	4	444.00	4	444.00	4	444.00
Fungicidas																				
Cupravit	Kg	55.50	4	222.00	5	277.50	6	333.00	7	388.50	7	388.50	7	388.50	7	388.50	7	388.50	7	388.50
Benlate	Kg	367.50			1	367.50	2	735.00	3	1102.50	3	1102.50	3	1102.50	3	1102.50	3	1102.50	3	1102.50
Mano de Obra	Jornal	35.00	4	140.00	4	140.00	5	175.00	6	210.00	6	210.00	6	210.00	6	210.00	6	210.00	6	210.00
10. PINTADO DE TALLO																				
Pasta Bordelesa																				
Cal	Kg	1.50	5	7.50	10	15.00	15	22.50	20	30.00	20	30.00	20	30.00	20	30.00	20	30.00	20	30.00
Sulfato de Cobre	Kg	12.00	0.25	3.00	0.5	6.00	0.75	9.00	1	12.00	1	12.00	1	12.00	1	12.00	1	12.00	1	12.00
Mano de Obra	Jornal	35.00	1	35.00	2	70.00	3	105.00	3	105.00	3	105.00	3	105.00	3	105.00	3	105.00	3	105.00
11. PODA DE FORMACIÓN																				
Mano de Obra	Jornal	35.00	1	35.00	2	70.00	2	70.00	3	105.00	3	105.00	3	105.00	3	105.00	3	105.00	3	105.00
12. COSECHA																				
Mano de Obra	Jornal	35.00							4	140.00	6	210.00	10	350.00	15	525.00	20	700.00	23	805.00
TOTALES				4,469.32		3,573.82		4,628.60		5,383.10		5,469.42		5,609.42		5,784.42		5,739.42		5,844.42

Cuadro 12. Costos de producción del Higo por hectárea considerando costos por externalidades.

ACTIVIDAD	U.M.	P.U. \$	AÑO																	
			1		2		3		4		5		6		7		8		9	
			CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$
1. PREPARACIÓN DEL TERRENO																				
Barbecho	M. T.	275.00	1	275.00																
Rastro	M. T.	220.00	1	220.00	1	220.00	1	220.00	1	220.00	1	220.00	1	220.00	1	220.00				
2. TRAZO DE PLANTACIÓN																				
Mano de Obra	Jornal	35.00	3	105.00																
3. APERTURA DE CEPAS																				
Mano de Obra	Jornal	35.00	10	350.00																
4. PLANTACIÓN																				
Material vegetativo	Planta	10.00	100	1000.00																
Mano de Obra	Jornal	35.00	6	210.00																
5. REPOSICIÓN DE FALLAS																				
Material vegetativo	Planta	10.00			10	100.00														
Mano de Obra	Jornal	35.00			1	35.00														
6. FERTILIZACIÓN																				
Abono orgánico	Ton.	200.00	1.5	300.00	2	400.00	3	600.00	3	600.00	3	600.00	3	600.00	3	600.00	3	600.00	3	600.00
Urea	Bulto	99.98	1	99.98	1	99.98	2	199.92	2	199.92	2	199.92	2	199.92	2	199.92	2	199.92	2	199.92
Superfosfato de Calcio Triple	Bulto	94.86	1	94.86	1	94.86	1	94.86	1	94.86	1	94.86	1	94.86	1	94.86	1	94.86	1	94.86
Mano de Obra	Jornal	35.00	5	175.00	5	175.00	7	245.00	7	245.00	7	245.00	7	245.00	7	245.00	7	245.00	7	245.00
7. DESHIERBES																				
Mano de Obra	Jornal	35.00	6	210.00	6	210.00	9	315.00	9	315.00	9	315.00	9	315.00	9	315.00	9	315.00	9	315.00
8. CONTROL DE MALEZAS																				
Herbicida																				
Faena	Lt	135.00	2	270.00	2	270.00	2	270.00	2	270.00	2	270.00	2	270.00	2	270.00	2	270.00	2	270.00
Mano de Obra	Jornal	35.00	2	70.00	2	70.00	2	70.00	2	70.00	2	70.00	2	70.00	2	70.00	2	70.00	2	70.00
9. CONTROL DE PLAGAS Y ENFER.																				
Insecticida																				
C-bord	Lt	124.50	1	124.50	1	124.50	2	249.00	2	249.00	2	249.00	2	249.00	2	249.00	2	249.00	2	249.00
Fungicidas																				
Cupravit	Kg	55.50	4	222.00	5	277.50	6	333.00	6	333.00	6	333.00	6	333.00	6	333.00	6	333.00	6	333.00
Benlate	Kg	367.50			1	367.50	2	735.00	3	1102.50	3	1102.50	3	1102.50	3	1102.50	3	1102.50	3	1102.50
Mano de Obra	Jornal	35.00	4	140.00	4	140.00	5	175.00	5	175.00	5	175.00	5	175.00	5	175.00	5	175.00	5	175.00
10. PINTADO DE TALLO																				
Pasta Bordelesa																				
Cal	Kg	1.50	5	7.50	10	15.00	15	22.50	20	30.00	20	30.00	20	30.00	20	30.00	20	30.00	20	30.00
Sulfato de Cobre	Kg	12.00	0.25	3.00	0.5	6.00	0.75	9.00	1	12.00	1	12.00	1	12.00	1	12.00	1	12.00	1	12.00
Mano de Obra	Jornal	35.00	1	35.00	2	70.00	3	105.00	3	105.00	3	105.00	3	105.00	3	105.00	3	105.00	3	105.00
11. PODA DE FORMACIÓN																				
Mano de Obra	Jornal	35.00	1	35.00	2	70.00	2	70.00	3	105.00	3	105.00	3	105.00	3	105.00	3	105.00	3	105.00
12. COSECHA																				
Mano de Obra	Jornal	35.00							2	70.00	5	175.00	8	280.00	12	420.00	17	595.00	19	665.00
TOTALES				3,946.82		2,745.32		3,713.28		4,196.28		4,301.28		4,406.28		4,546.28		4,501.28		4,571.28

Cuadro 13. Costos de producción del Chapulxtle por hectárea considerando costos por externalidades.

ACTIVIDAD	U.M.	P.U. \$	AÑO																	
			1		2		3		4		5		6		7		8		9	
			CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$	CANT.	TOT. \$
1. PREPARACION DEL TERRENO																				
Barbecho	M.T.	275	1	275																
Rastro	M.T.	220	1	220																
2. TRAZO DE PLANTACION																				
Mano de Obra	Jornal	35	5	175																
3. APERTURA DE CEPAS																				
Mano de obra	Jornal	35	100	3500																
4. PLANTACION																				
Material Vegetativo	Piezas	0.60	4000	2400																
Mano de Obra	Jornal	35	16	560																
5. REPLANTACION																				
Material Vegetativo	Piezas	0.60	800	480																
Mano de Obra	Jornal	35	4	140																
6. FERTILIZACION																				
Fertilizante																				
Urea	Bulto	99.98	2	199.9	2	199.9	2	199.9	2	199.9	2	199.9	2	199.9	2	199.9	2	199.9	2	199.9
Mano de Obra	Jornal	35	4	140	4	140	4	140	4	140	4	140	4	140	4	140	4	140	4	140
7. RIEGO																				
Riego	Hora	15.9	21	333.9	21	333.9	21	333.9	21	333.9	21	333.9	21	333.9	21	333.9	21	333.9	21	333.9
Mano de Obra	Jornal	35	6	210	6	210	6	210	6	210	6	210	6	210	6	210	6	210	6	210
8. CONTROL DE MALEZAS																				
Deshierbe Manual	Jornal	35	4	140	4	140	4	140	4	140	4	140	4	140	4	140	4	140	4	140
9. CONTROL DE PLAG Y ENFER																				
Agroquímicos		450	1	450	1	450	1	450	1	450	1	450	1	450	1	450	1	450	1	450
Mano de Obra	Jornal	35	4	140	4	140	4	140	4	140	4	140	4	140	4	140	4	140	4	140
10. PODA																				
Mano de Obra	Jornal	35			6	210	6	210	6	210	6	210	6	210	6	210	6	210	6	210
11. COSECHA																				
Mano de Obra	Jornal	35			10	350	15	525	15	525	15	525	15	525	15	525	15	525	15	525
TOTALES				9364		2174		2349		2349		2349		2349		2349		2349		2349

Cuadro 14. Costos de producción de la Calabacita por hectárea considerando costos por externalidades.

ACTIVIDAD	U.M.	CANT.	P. U. (\$)	TOT. (\$)
1. PREPARACIÓN DEL TERRENO				
Barbecho	M. T.	1	275.00	275.00
Rastreo	M. T.	1	220.00	220.00
Surcado	M. T.	1	220.00	220.00
2. SIEMBRA				
Semilla	Kg	5	250.00	1,250.00
Mano de obra	Jornal	10	35.00	350.00
3. FERTILIZACIÓN				
Fertilizantes				
Urea	Bulto	6	99.96	599.76
Superfosfato de Calcio Triple	Bulto	4	94.86	379.44
Mano de obra	Jornal	6	35.00	210.00
4. RIEGOS				
Cuota de riego	Hora	56	15.90	890.40
Mano de obra	Jornal	14	35.00	490.00
5. ESCARDA	Yunta	1	131.30	131.30
6. APORQUE	Yunta	1	131.30	131.30
7. CONTROL DE MALEZAS				
Herbicida				
Faena	Lt	2	135.00	270.00
Mano de Obra	Jornal	2	35.00	70.00
8. CONTROL DE PLAGAS Y ENFER.				
Insecticidas				
Ambush	Lt	4	382.50	1,530.00
Folimat	Lt	2	442.50	885.00
Diazinón	Lt	2	105.00	210.00
Fungicidas				
Cupravit	Kg	3	55.50	166.50
Benlate	Kg	1	367.50	367.50
Mano de Obra	Jornal	9	35.00	315.00
10. COSECHA				
Mano de Obra	Jornal	100	35.00	3,500.00
TOTAL				12,461.20

Cuadro 15. Costos de producción del Melón por hectárea considerando costos por externalidades.

ACTIVIDAD	U.M.	CANT.	P. U. (\$)	TOT. (\$)
1. PREPARACIÓN DEL TERRENO				
Barbecho	M. T.	1	275.00	275.00
Rastreo	M. T.	1	220.00	220.00
Surcado	M. T.	1	220.00	220.00
2. SIEMBRA				
Semilla	Kg	4	320.00	1,280.00
Mano de Obra	Jornal	10	35.00	350.00
3. FERTILIZACIÓN				
Fertilizantes				
Urea	Bulto	5	99.96	499.80
Superfosfato de Calcio Triple	Bulto	4	94.86	379.44
Mano de Obra	Jornal	6	35.00	210.00
4. RIEGOS				
Riego	Hora	56	15.90	890.40
Mano de Obra	Jornal	14	35.00	490.00
5. ESCARDA	Yunta	1	131.30	131.30
6. APORQUE	Yunta	1	131.30	131.30
7. CONTROL DE MALEZAS				
Herbicida				
Faena	Lt	2	135.00	270.00
Mano de Obra	Jornal	2	35.00	70.00
8. CONTROL DE PLAGAS Y ENFER.				
Insecticidas				
Ambush	Lt	6	382.50	2,295.00
Thiodan	Lt	4	102.00	408.00
Folimat	Lt	2	442.50	885.00
Diazinón	Lt	4	105.00	420.00
Fungicidas				
Ridomil Bravo	Kg	4	420.00	1,680.00
Manzate	Kg	3	66.00	198.00
Mano de Obra	Jornal	12	35.00	420.00
9. PODA				
Mano de Obra	Jornal	10	35.00	350.00
10. COSECHA				
Mano de Obra	Jornal	85	35.00	2,975.00
TOTAL				15,048.24

Cuadro 16. Costos de producción de la Cebolla por hectárea considerando costos por externalidades.

ACTIVIDAD	U.M.	CANT.	P. U. (\$)	TOT. (\$)
1. PRODUCCIÓN EN ALMACIGO				
Semilla	Kg	2	750.00	1,500.00
Aplicación	Jornal	45	20.00	900.00
Arranque	Jornal	3	35.00	105.00
2. PREPARACIÓN DEL TERRENO				
Barbecho	M. T.	1	275.00	275.00
Rastreo	M. T.	1	220.00	220.00
Surcado	M. T.	1	220.00	220.00
3. TRANSPLANTE				
Mano de Obra	Jornal	25	35.00	875.00
4. FERTILIZACIÓN				
Fertilizantes				
Urea	Bulto	7	99.96	699.72
Superfosfato de Calcio Triple	Bulto	4	94.86	379.44
Mano de Obra	Jornal	6	35.00	210.00
5. RIEGOS				
Cuota de riego	Hora	56	15.90	890.40
Mano de Obra	Jornal	14	35.00	490.00
6. ESCARDA	M. T.	2	202.00	404.00
7. APORQUE				
Mano de Obra	Jornal	20	35.00	700.00
8. CONTROL DE MALEZAS				
Herbicida				
Prowl	Lt	2	162.00	324.00
Mano de Obra	Jornal	2	35.00	70.00
9. CONTROL DE PLAGAS Y ENFER.				
Insecticidas				
Diazinón	Lt	4	105.00	420.00
Parathion Metílico	Lt	4	82.50	330.00
Folimat	Lt	2	442.50	885.00
Fungicidas				
Ridomil Bravo	Kg	2	420.00	840.00
Manzate	Kg	4	66.00	264.00
Mano de Obra	Jornal	10	35.00	350.00
10. COSECHA				
Mano de Obra	Jornal	50	40.00	2,000.00
TOTAL				13,351.56

Cuadro 17. Escenario favorable, promedio y desfavorable de rendimientos (ton/ha).

ESCENARIO	AGUACATE	HIGO	CALABACITA	MELÓN	CEBOLLA
Desfavorable	4.960	4.530	11.050	10.120	17.630
Promedio	8.039	3.761	11.799	11.381	19.632
Favorable	5.880	4.120	11.090	13.770	24.000

Cuadro 18. Frecuencia de precios obtenida para cada año en el periodo 1988 - 1997.

AÑO	AGUACATE		HIGO		CALABACITA		MELÓN		CEBOLLA	
	PROD.	FREC.	PROD.	FREC.	PROD.	FREC.	PROD.	FREC.	PROD.	FREC.
1988	19,429	11	556	4	16,378	13	1,227	20	49,426	10
1989	23,338	*13	1,014	** 7	13,153	11	962	16	53,495	10
1990	18,885	10	1,247	8	10,350	8	762	13	41,912	8
1991	22,011	12	1,716	11	11,366	9	572	9	47,258	9
1992	11,654	6	1,942	13	12,575	10	172	3	35,004	7
1993	13,805	7	1,766	12	13,247	11	606	10	43,913	9
1994	19,307	10	1,911	13	10,852	9	577	9	66,688	13
1995	19,232	10	1,522	10	14,140	11	437	7	59,183	11
1996	19,708	11	1,630	11	10,639	9	252	4	60,880	12
1997	18,109	10	1,716	11	10,679	9	533	9	55,344	11
TOTAL	185,478	100	15,020	100	123,379	100	6,100	100	513,103	100

PROD.: Producción, FREC.: Frecuencia.

Ejemplo:
$$Frec * = \frac{23338}{185478} \cdot 100 = 13$$

$$Frec ** = \frac{1014}{15020} \cdot 100 = 7$$

Cuadro 19. Valor de los parámetros de la distribución probabilística Weibull de los precios de los productos para los diversos cultivos, calculados en el programa SAS.

PARÁMETRO	AGUACATE	HIGO	CALABACITA	MELÓN	CEBOLLA
b	3.578170459	9.411457401	2.163538930	2.781712891	2.676930820
c	5.602389457	1.651777476	4.856145925	8.660935776	1.704651288

Cuadro 20. Valor Terminal actualizado (\$) de los cultivos Aguacate, Higo y Chapulixtle en los tres escenarios, sin considerar externalidades (SE) y considerando externalidades (CE).

ESCENARIO	AGUACATE		HIGO		CHAPULIXTLE	
	SE	CE	SE	CE	SE	CE
Desfavorable	37,109.91	33,857.39	101,494.10	99,359.31	15,880.95	15,656.20
Promedio	69,910.89	66,658.37	82,087.44	79,952.66	17,050.20	16,825.45
Favorable	46,910.79	43,658.27	91,147.25	89,012.46	18,219.45	17,994.69

Programa 1. Programa en SAS para calcular los parámetros de la distribución probabilística Weibull para el cultivo del Aguacate.

```

OPTIONS NODATE NONUMBER;
DATA A;
INFILE 'C:\TESINA\AGUACATE.DAT';
INPUT N YEAR PRECIO PROD FREQ;
PROC SORT DATA=A OUT=A1; BY PRECIO;
DATA B; SET A1; N=100; F=_N_/N;
PROC NLIN DATA=B METHOD=MARQUARDT;
CONVERGE PARM=1E-4;

PARMS B=3.5 C=5.6;
Z=(PRECIO)/B; Y=EXP(-Z**C);
MODEL F=1-Y;
BOUNDS B>=0, C>=0;
DER.B=-Y*(C/B)*(Z**C);
DER.C=Y*(Z**C)*LOG(Z);
RUN;

```

Programa 2. Programa en SAS para calcular los parámetros de la distribución probabilística Weibull para el cultivo del Higo.

```

OPTIONS NODATE NONUMBER;
DATA A;
INFILE 'C:\TESINA\HIGO.DAT';
INPUT N YEAR PRECIO PROD FREQ;
PROC SORT DATA=A OUT=A1; BY PRECIO;
DATA B; SET A1; N=100; F=_N_/N;
PROC NLIN DATA=B METHOD=MARQUARDT;

PARMS B=9.4 C=1.6;
Z=(PRECIO)/B; Y=EXP(-Z**C);
MODEL F=1-Y;
BOUNDS B>=0, C>=0;
DER.B=-Y*(C/B)*(Z**C);
DER.C=Y*(Z**C)*LOG(Z);
RUN;

```

Programa 3. Programa en SAS para calcular los parámetros de la distribución probabilística Weibull para el cultivo de la Calabacita.

```

OPTIONS NODATE NONUMBER;
DATA A;
INFILE 'C:\TESINA\CALAB.DAT';
INPUT N YEAR PRECIO PROD FREQ;
PROC SORT DATA=A OUT=A1; BY PRECIO;
DATA B; SET A1; N=100; F=_N_/N;
PROC NLIN DATA=B METHOD=MARQUARDT;

PARMS B=2.16 C=4.84;
Z=(PRECIO)/B; Y=EXP(-Z**C);
MODEL F=1-Y;
BOUNDS B>=0, C>=0;
DER.B=-Y*(C/B)*(Z**C);
DER.C=Y*(Z**C)*LOG(Z);
RUN;

```

Programa 4. Programa en SAS para calcular los parámetros de la distribución probabilística Weibull para el cultivo del Melón.

```

OPTIONS NODATE NONUMBER;
DATA E;
INFILE 'C:\TESINA\MEL.DAT';
INPUT YEAR PRECIO;
PROC SORT DATA=E; BY PRECIO;
DATA F; SET E; N=100; F=_N_/N;
PROC NLIN DATA=B METHOD=MARQUARDT;

PARMS B=2.78 C=8.55;
Z=(PRECIO)/B; Y=EXP(-Z**C);
MODEL F=1-Y;
BOUNDS B>=0, C>=0;
DER.B=-Y*(C/B)*(Z**C);
DER.C=Y*(Z**C)*LOG(Z);
RUN;

```

Programa 5. Programa en SAS para calcular los parámetros de la distribución probabilística Weibull para el cultivo de la Cebolla.

```

OPTIONS NODATE NONUMBER;
DATA A;
INFILE 'C:\TESINA\CEBOLLA.DAT';
INPUT N YEAR PRECIO PROD FREQ;
PROC SORT DATA=A OUT=A1; BY PRECIO;
DATA B; SET A1; N=100; F=_N_/N;
PROC NLIN DATA=B METHOD=MARQUARDT;

PARMS B=2.8 C=1.8;
Z=(PRECIO)/B; Y=EXP(-Z**C);
MODEL F=1-Y;
BOUNDS B>=0, C>=0;
DER.B=-Y*(C/B)*(Z**C);
DER.C=Y*(Z**C)*LOG(Z);
RUN;

```

Programa 6. Programa en SAS, utilizado para generar los precios aleatorios.

```

OPTIONS NODATE NONUMBER;
DATA NUMALEAT;
DO OBS=1 TO 100 BY 1;
Y1=RANUNI(0); Y2=RANUNI(0);
Y3=RANUNI(0);
Y4=RANUNI(0); Y5=RANUNI(0);
OUTPUT; END;

DATA AGUACATE; SET NUMALEAT;
B=3.578170459; C=5.602389457;
PR=B*((-LOG(1-Y1))**(1/C));
TITLE 'NUMEROS ALEATORIOS -
AGUACATE-';
PROC MEANS; VAR Y1 PR;
PROC SORT; BY PR;
PROC PRINT; VAR Y1 PR B C;

DATA HIGO; SET NUMALEAT;
B=9.411457401; C=1.651777476;
PR=B*((-LOG(1-Y2))**(1/C));
TITLE 'NUMEROS ALEATORIOS -HIGO-';
PROC MEANS; VAR Y2 PR;
PROC SORT; BY PR;
PROC PRINT; VAR Y2 PR B C;

DATA CALAB; SET NUMALEAT;
B=2.163538930; C=4.856145925;
PR=B*((-LOG(1-Y3))**(1/C));
TITLE 'NUMEROS ALEATORIOS -
CALABACITA-';
PROC MEANS; VAR Y3 PR;
PROC SORT; BY PR;
PROC PRINT; VAR Y3 PR B C;

DATA MELÓN; SET NUMALEAT;
B=2.781712891; C=8.660935776;
PR=B*((-LOG(1-Y4))**(1/C));
TITLE 'NUMEROS ALEATORIOS -MELON-';
PROC MEANS; VAR Y4 PR;
PROC SORT; BY PR;
PROC PRINT; VAR Y4 PR B C;

DATA CEBOLLA; SET NUMALEAT;
B=2.676930820; C=1.704651288;
PR=B*((-LOG(1-Y5))**(1/C));
TITLE 'NUMEROS ALEATORIOS -
CEBOLLA-';
PROC MEANS; VAR Y5 PR;
PROC SORT; BY PR;
PROC PRINT; VAR Y5 PR B C;

RUN;

```


Ejemplo 1. Transformación inversa probabilística de la función de distribución probabilística Weibull.

Función de distribución probabilista Weibull igualada a un número aleatorio y de la distribución uniforme (0,1):

$$W(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c\right] = y$$

Transformación inversa probabilística:

$$1. \quad \exp\left[-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c\right] = 1 - y$$

$$2. \quad -\left(\frac{x-a}{b}\right)^c = \log(1 - y)$$

$$3. \quad \left(\frac{x-a}{b}\right)^c = -\log(1 - y)$$

$$4. \quad \frac{x-a}{b} = \left[-\log(1 - y)\right]^{1/c}$$

$$5. \quad x - a = b\left[-\log(1 - y)\right]^{1/c}$$

$$6. \quad x = a + b\left[-\log(1 - y)\right]^{1/c}$$

Ejemplo 2. Modelo de optimización con la restricción de la relación beneficio costo, para capital máximo (\$ 43,004.00) y 4.00 ha de tierra, en el escenario desfavorable sin considerar costos de externalidades.

FUNCIÓN OBJETIVO: Maximizar $Z = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^{10} U_{ij}$

	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
AGUACATE	X (1) -3896.63	X (2) -2717.27	X (3) -3365.30	X (4) -2198.93	X (5) 88.16	X (6) 2031.32	X (7) 4663.69	X (8) 7117.82	X (9) 8027.62	X (10) 44828.77
HIGO	X (11) -3550.48	X (12) -2195.82	X (13) -2807.89	X (14) 0.69	X (15) 4253.90	X (16) 8179.95	X (17) 13108.48	X (18) 19052.30	X (19) 20743.31	X (20) 122604.90
CHAPULIXTLE	X (21) -8794.23	X (22) 7025.70	X (23) 10867.09	X (24) 10449.13	X (25) 10047.24	X (26) 9660.80	X (27) 9289.24	X (28) 8931.96	X (29) 8588.42	X (30) 24139.05
CALABACITA	X (31) 9967.79	X (32) 9584.41	X (33) 9215.78	X (34) 8861.33	X (35) 8520.51	X (36) 8192.80	X (37) 7877.69	X (38) 7574.70	X (39) 7283.37	X (40) 7003.24
MELÓN	X (41) 13225.58	X (42) 12716.90	X (43) 12227.79	X (44) 11757.49	X (45) 11305.28	X (46) 10870.46	X (47) 10452.37	X (48) 10050.35	X (49) 9663.80	X (50) 9292.11
CEBOLLA	X (51) 30828.17	X (52) 29642.47	X (53) 28502.38	X (54) 27406.13	X (55) 26352.05	X (56) 25338.51	X (57) 24363.95	X (58) 23426.88	X (59) 22525.84	X (60) 21659.47

SUJETO A:

Restricciones para obligar a que en los frutales (Aguacate e Higo) y en el Chapulixtle se elija una cantidad constante de superficie en los diez años.

RESTR.	AGUACATE
1.	$X(1) - X(2) = 0$
2.	$X(2) - X(3) = 0$
3.	$X(3) - X(4) = 0$
4.	$X(4) - X(5) = 0$
5.	$X(5) - X(6) = 0$
6.	$X(6) - X(7) = 0$
7.	$X(7) - X(8) = 0$
8.	$X(8) - X(9) = 0$
9.	$X(9) - X(10) = 0$

RESTR.	HIGO
10.	$X(11) - X(12) = 0$
11.	$X(12) - X(13) = 0$
12.	$X(13) - X(14) = 0$
13.	$X(14) - X(15) = 0$
14.	$X(15) - X(16) = 0$
15.	$X(16) - X(17) = 0$
16.	$X(17) - X(18) = 0$
17.	$X(18) - X(19) = 0$
18.	$X(19) - X(20) = 0$

RESTR.	CHAPULIXTLE
19.	$X(21) - X(22) = 0$
20.	$X(22) - X(23) = 0$
21.	$X(23) - X(24) = 0$
22.	$X(24) - X(25) = 0$
23.	$X(25) - X(26) = 0$
24.	$X(26) - X(27) = 0$
25.	$X(27) - X(28) = 0$
26.	$X(28) - X(29) = 0$
27.	$X(29) - X(30) = 0$

Restricciones para obligar a que no se elija una superficie mayor de 4.00 hectáreas en cada año.

Restricción

28.	$X(1) + X(11) + X(21) + X(31) + X(41) + X(51)$	$\leq$	4
29.	$X(2) + X(12) + X(22) + X(32) + X(42) + X(52)$	$\leq$	4
30.	$X(3) + X(13) + X(23) + X(33) + X(43) + X(53)$	$\leq$	4
31.	$X(4) + X(14) + X(24) + X(34) + X(44) + X(54)$	$\leq$	4
32.	$X(5) + X(15) + X(25) + X(35) + X(45) + X(55)$	$\leq$	4
33.	$X(6) + X(16) + X(26) + X(36) + X(46) + X(56)$	$\leq$	4
34.	$X(7) + X(17) + X(27) + X(37) + X(47) + X(57)$	$\leq$	4
35.	$X(8) + X(18) + X(28) + X(38) + X(48) + X(58)$	$\leq$	4
36.	$X(9) + X(19) + X(29) + X(39) + X(49) + X(59)$	$\leq$	4
37.	$X(10) + X(20) + X(30) + X(40) + X(50) + X(60)$	$\leq$	4

Restricciones para obligar a que no se elija un capital mayor al disponible en cada año.

Restricción

38	X (1)		X (11)		X (21)		X (31)		X (41)		X (51)		
	3896.63	+	3550.48	+	8794.23	+	10750.96	+	12366.35	+	11721.15	≤	43004
39	X (2)		X (12)		X (22)		X (32)		X (42)		X (52)		
	2717.27	+	2195.82	+	1850.04	+	10337.46	+	11890.72	+	11270.34	≤	41350
40	X (3)		X (13)		X (23)		X (33)		X (43)		X (53)		
	3365.30	+	2807.89	+	1934.46	+	9939.87	+	11433.38	+	10836.87	≤	39759
41	X (4)		X (14)		X (24)		X (34)		X (44)		X (54)		
	3728.66	+	3008.06	+	1860.05	+	9557.57	+	10993.64	+	10420.06	≤	38230
42	X (5)		X (15)		X (25)		X (35)		X (45)		X (55)		
	3655.93	+	2978.66	+	1788.51	+	9189.97	+	10570.80	+	10019.29	≤	36760
43	X (6)		X (16)		X (26)		X (36)		X (46)		X (56)		
	3625.96	+	2947.08	+	1719.72	+	8836.51	+	10164.24	+	9633.93	≤	35346
44	X (7)		X (17)		X (27)		X (37)		X (47)		X (57)		
	3619.49	+	2940.12	+	1653.58	+	8496.64	+	9773.30	+	9263.40	≤	33987
45	X (8)		X (18)		X (28)		X (38)		X (48)		X (58)		
	3462.01	+	2808.77	+	1589.98	+	8169.85	+	9397.41	+	8907.11	≤	32679
46	X (9)		X (19)		X (29)		X (39)		X (49)		X (59)		
	3402.63	+	2749.92	+	1528.83	+	7855.62	+	9035.97	+	8564.53	≤	31422
47	X (10)		X (20)		X (30)		X (40)		X (50)		X (60)		
	3271.76	+	2667.8	+	1470.03	+	7553.48	+	8688.43	+	8235.13	≤	30214

Restricción para que la relación beneficio costo sea igual o mayor a 5.0.

Restricción

48

$$\begin{aligned}
 & X(1) + X(2) + X(3) + X(4) + X(5) + X(6) + X(7) + X(8) + X(9) + X(10) \\
 & -19483.17 \quad -13586.35 \quad -16826.48 \quad -17113.55 \quad -14535.56 \quad -12472.53 \quad -9814.27 \quad -6730.22 \quad -5582.89 \quad 31741.74 \\
 & + X(11) + X(12) + X(13) + X(14) + X(15) + X(16) + X(17) + X(18) + X(19) + X(20) \\
 & -17752.40 \quad -10979.11 \quad -14039.48 \quad -12031.53 \quad -7660.75 \quad -3608.39 \quad 1347.99 \quad 7817.21 \quad 9743.61 \quad 111933.66 \\
 & + X(21) + X(22) + X(23) + X(24) + X(25) + X(26) + X(27) + X(28) + X(29) + X(30) \\
 & -38528.37 \quad 5275.06 \quad 5072.17 \quad 4877.09 \quad 4689.51 \quad -31667.51 \quad 4335.71 \quad 4168.95 \quad 4008.61 \quad 3854.43 \\
 & + X(31) + X(32) + X(33) + X(34) + X(35) + X(36) + X(37) + X(38) + X(39) + X(40) \\
 & -33036.06 \quad -31765.44 \quad -30543.69 \quad -29368.94 \quad -28239.36 \quad -27153.23 \quad -26108.88 \quad -25104.69 \quad -24139.12 \quad -23210.70 \\
 & + X(41) + X(42) + X(43) + X(44) + X(45) + X(46) + X(47) + X(48) + X(49) + X(50) \\
 & -36239.81 \quad -34845.97 \quad -33505.74 \quad -32217.06 \quad -30977.94 \quad -29786.48 \quad -28640.85 \quad -27539.28 \quad -26480.07 \quad -25461.61 \\
 & + X(51) + X(52) + X(53) + X(54) + X(55) + X(56) + X(57) + X(58) + X(59) + X(60) \\
 & -16056.44 \quad -15438.89 \quad -14845.08 \quad -14274.12 \quad -13725.11 \quad -13197.23 \quad -12689.64 \quad -12201.58 \quad -11732.29 \quad -11281.04 \\
 & \geq 0
 \end{aligned}$$

