



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

**INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN
CIENCIAS AGRICOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO
EDAFOLOGIA**

**EL PROCESO DE ANALISIS JERARQUICO CON BASE EN
FUNCIONES DE PRODUCCION PARA PLANEAR LA SIEMBRA
DE MAIZ DE TEMPORAL**

ANDRES MARIA RAMIREZ

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2007

La presente tesis titulada **EL PROCESO DE ANALISIS JERARQUICO CON BASE EN FUNCIONES DE PRODUCCION PARA PLANEAR LA SIEMBRA DE MAIZ DE TEMPORAL**, realizada por el alumno **Andrés María Ramírez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS
EDAFOLOGIA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: DR. VICTOR HUGO VOLKE HALLER

ASESOR: DR. ANTONIO MACIAS LOPEZ

ASESOR: DRA. ALMA DELIA BAEZ GONZALEZ

ASESOR: DR. DAVID ESPINOSA VICTORIA

ASESOR: DR. ALEJANDRO PASCUAL CEBALLOS SILVA

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados
Por la conciencia adquirida durante el Doctorado

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias
Por brindarme la oportunidad de superarme

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
Por el apoyo económico

A MI COMITÉ DE TESIS

Por su invaluable apoyo:

Dr. Victor H. Volke Haller, Dr. Antonio Macias López, Dra. Alma Delia Baéz González,
Dr. David Espinosa Victoria, Dr. Alejandro P. Ceballos Silva

A los Doctores José I. Cortés Flores y René Valdez Lazalde:

Por su sincera e invaluable amistad

A:

Dr. Reggie J. Laird, Dr. Benedicto Valdéz Sergio, M.C. Jorge Alvarado López, Dr. Remigio Guzmán Plazota, Dr. Abel Muñoz Orozco, Dr. Rogelio Carrillo González, Dr. Roberto Núñez Escobar, Dra. Ma. Del Carmen Gutiérrez Castorena, Dr. Carlos A. Ortiz Solorio, Dr. Antonio Trinidad Santos, Dr. Arturo Gálvis Spíndola, Dr. Roberto Reyna Robles, Dr. Prometeo Sánchez García, M.C. Guillermo Medina García, M.C. Carlos Mejía Ávila, Dr. Diego Reygadas, M.C. Francisco Moreno S., M.C. Rosalía Teliz, Dr. Felipe Legorreta Padilla, Dr. Rodrigo Aveldaño Salazar, Dr. J. Ariel Ruiz Corral, Dr. J. Jaime Velázquez García, M.C. Ceferino Ortiz Trejo, Dr. Josué Gámez Vázquez, Dr. René Gómez Mercado, M.C. Israel Rojas Martínez, Dr. Agustín Limón Ortega, Dr. H. Eduardo Villaseñor Mir, M.C. Juan Pablo Pérez Camarillo, M.C. Miguel Ángel Pérches Ávila, M.C. Gabriel Díaz Padilla, M.C. José Muruaga, Dr. José Luis Arellano Vázquez, Dr. Héctor González Rosas, Dr. Alejandro Espinosa Calderón, Dr. Antonio Turrent Fernández, M.C. Casiano Tut y Couoh, M.C. Ciria A. Torres Estrada, Dra. Ma. Del Rosario Tovar G., Dr. Hilario García Nieto, Dr. José Alfredo Tapia Naranjo, M.C. Arturo Vázquez Carrillo, Moisés Aguilar Castillo, Dra. Martha B.G. Irizar G.

A la secretaria de Fertilidad de Suelos
Sra. A. Araceli Espejel Estrada

Texcoco, estado de México, junio del 2007.

DEDICADO A

A los productores de maíz de la región de Huamantla, Tlaxcala:

Ciro de Gante Juárez, Artemio de los Santos Parada, Eloy Hernández Palafox, Floriberto Hernández Posadas, Joel Degante Juárez, Julio Ortiz Moreno, Marciano Rodríguez B., Anatalio Ortiz Huerta, Maximino Ortiz Olivares, Idelfonso Rodríguez Briones, Rosario F. Rojas Ramírez, Felipe Guadalupe Santos, José F. Méndez V., Ángel A. Cercado López, José Hernández García, Constantino Hernández Luna, Baldomero trinidad Hernández, Anastasio J. Filomeno Herrera, J. Gonzalo Trinidad Hernández, Meliton Sánchez de la Cruz, Francisco Trinidad de Ramón Guadalupe Cervantes Sánchez, Antonio López Osorio, Evelia Ferrer Cervantes, M. Julia. Lima S., Cirilo Bacilo Baez, Gonzalo F. Romero Bacilio, José Rogelio Gómez Ferrer, Marcelino Reyó Rivera, Petra V. Román González, Santiago Fera Basilio , Aurora Bautista, Francisco López Hernández, Emelia Montiel, Armanda Hernández de Fermín, J. Guadalupe Santiago Dolores , J. Claudio L. García Ortega, I. Lucio García Saldaña , Benjamín García García, Joaquín García García , Noe Cuevas Acuña, Adrián Cuevas Acuña , Marcelino Cuevas García, F. Javier Cuevas de Hilario, Salomón Hernández Palafox, Isidro Martines López, Francisco Montes Hernández, Alfonso Flores Sánchez, J. Julián García López, Anselma López Hernández, Jorge Carrillo Hernández, Guadalupe Martínez García, Martín D. García López, Andrés García Calderón, Gaudencio Hernández Cuevas , Carmelo Contreras, J. Jorge Briteño López, Juan Martines, Gilberto Bonilla , Delfino Juárez Lozano, Gaudencio Mora Pérez, Jorge Sánchez Lima , Adrian Islas López, Martín Cervantes Calderón, Gabino Gutiérrez Martínez, Julia Huerta Baez, Cruz Huerta Baez, Anastacio Huerta Romero, Antonio Gutiérrez, Efrén de los Santos P., de quienes recibí información muy valiosa para estructurar y llevar a cabo este proyecto de investigación.

A los Sres. Esteban Fernández Sánchez, Miguel Rivera Sánchez y Francisco Huerta, por las enseñanzas que de ellos recibí, tanto técnicas como de la vida; A los señores campesinos y amigos Sr. Miguel Mexicano Cisneros, Sr. Macario Baez Islas, Sr. Samuel Baez Mozo, Sr. Guadalupe Bautista García, por su amistad y sus enseñanzas.

Del Sector Agropecuario de Tlaxcala: Ing. Aurelio Ortega Ortega, Ing. Maria Teresa Sastre Duran, M.C. Angel Hernández Olvera, M.C. Victor M. Ontiveros Alvarado, Act. Alfonso Monroy Vique

A mis compañeros estudiantes:

Ehsan Muhammad (Pakistan), Marianela, Rene, Chava, Patricio, Gustavo

A mis amigos:

Gerardo Jara Iñiguez (y familia incluida), Alfredo González Ramos, Maria Elena Díaz Leal, Familia Velasco González (Chuy, Alfonsina, Armando, Irma, Miguel, Claudia, Alex, Natalia, Alex, Alondra), Toni, Bofo, Bugs, Chayo, Leticia, Pedro, Tribi, Jesús, Carlos Martínez Labeaga, Humberto Delgadillo, Neto, Jorge (QEPD), Dagobiet Morales García (y familia incluido el foquito), a Guadalajara y mi barrio de Analco

A las familias Muñoz Flores, Muñoz Muñoz (a Diana, claro), Flores Muñoz, Carrillo Muñoz, Muñoz Diéguez, Muñoz Hernández, Muñoz Cassal, Solano Muñoz, a mi suegro Miguel y a mi querida suegra Soledad, y a la familia de la Vega Cerón.

A los vecinos: Manolo, Flavio, Nicanor, y sus familias

Texcoco, estado de México, junio del 2007.



DEDICATORIA

A DIOS

A Jesús Cristo

A mi Madre (donde esté usted)

A mí esposa María Soledad (Cholín, por su amor y paciencia) y a mis hijos Andrea Soledad (Andy, por la felicidad que me ha dado desde que nació) y Juan Salvador (mi hijo querido que me acerca más a Dios: te quiero mucho y siempre estaré contigo)

A mi hermano

Juan (y Marta y Juan Enrique, Andrés e Isaac)

A mis tíos: Nacho, Cefe, Chencho (QEPD), Rosa, Ramona, y
Primos: Nato, Nena, Paula, Chayo, Nacho, Jorge, todos.

“A mí mismo”

Texcoco, estado de México, junio del 2007

CONTENIDO

	PAGINA
INDICE DE CUADROS	vii
INDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
III. OBJETIVOS Y SUPUESTOS	12
3.1 Objetivos Generales	12
3.1.1 Objetivos específicos	12
3.2 Supuestos	13
IV. MARCO CONCEPTUAL	14
4.1 Unidad familiar rural	14
4.1.1 Unidad campesina familiar	13
4.1.2 Estrategias de sobrevivencia campesina	15
4.1.3 Unidad de producción y consumo	16
4.1.3.1 Unidad de producción	16
4.1.3.2 Mano de obra familiar	17
4.1.3.3 Actividad extrafina	17
4.1.3.4 Producción para consumo	17
4.1.3.5 Producción para autoconsumo	17
4.1.3.6 Riesgos agrícolas de producción	18
4.1.3.7 Riesgos económicos de mercado	18
4.1.4 Sistemas de producción	18
4.2 Tipos de agricultura	19
4.2.1 Agricultura tradicional	19
4.2.2 Agricultura empresarial	19
4.3 Modelos	20
4.3.1 Tipos de modelos	20
4.3.1.1 Modelos empíricos	20
4.3.1.2 Modelos teóricos	22
4.3.1.3 Modelos conceptuales	22
4.3.1.4 Modelos determinísticos	22
4.3.1.5 Modelos estocásticos	23
4.3.1.6 Función de producción/función de respuesta	23
4.4 Sistemas de Información Geográfica y modelo	24
4.4.1 Sistema de Información Geográfica	24
4.4.2 Modelado	26
4.4.2.1 Modelado matemático	26
4.4.2.2 Optimización y modelado	26

4.4.2.3 Método de simulación	26
4.4.2.4 Modelado cartográfico	27
4.5 Teoría de la decisión	27
4.5.2 Decisión en torno de los Sistemas de Información Geográfica	30
4.5.2.1 Decisor	30
4.5.2.2 Analista	30
4.5.2.3 Decisión	30
4.5.2.4 Criterio	30
4.5.2.5 Factor	31
4.5.2.6 Restricciones/limitantes	31
4.5.2.7 Regla de decisión	31
4.5.2.8 Atributo (s)	31
4.5.2.9 Alternativa	32
4.5.2.10 Objetivo	32
4.5.2.11 Evaluación	32
4.5.3 Toma de decisiones	32
4.5.3.1 Toma de decisiones	32
4.5.3.2 Toma de decisión bajo riesgo	34
4.5.3.3 Toma de decisión bajo incertidumbre	34
4.5.3.4 Decisión espacial	35
4.5.3.5 Toma de decisiones multicriterio	35
4.6 Evaluación multicriterio (EMC)	35
4.6.1 Técnicas de evaluación multicriterio	37
4.6.1.1 Ponderación lineal	37
4.6.1.2 Utilidad multiatributo	37
4.6.1.3 Relaciones de superación	38
4.6.1.4 El Proceso de Análisis Jerárquico	38
4.6.2 Evaluación multicriterio en el entorno de los Sistemas de Información Geográfica	39
4.6.2.1 Álgebra booleana	39
4.6.2.2 Lógica difusa (fuzzy) o límites de transición gradual	40
4.6.2.3 Proceso de Análisis Jerárquico y Combinación Lineal Ponderada	42
4.7 Planeación/planificación	43
V. MARCO DE REFERENCIA DE LA METODOLOGÍA	45
5.1 Evaluación multicriterio en la Investigación Operativa	45
5.2 Evaluación multicriterio en el entorno de los Sistemas de Información Geográfica	59
5.2.1 Álgebra booleana	62
5.2.2 Lógica difusa (fuzzy)	63
5.2.3 Proceso de Análisis Jerárquico	72
5.2.3.1 Descripción del método	72
5.2.3.2 Elemento del Proceso de Análisis Jerárquico	74
5.2.4 Usos de la metodología del Proceso de Análisis Jerárquico para la toma de decisiones en el entorno de los Sistemas de Información Geográfica	81
5.2.5 Discusión sobre el método de Proceso de Análisis Jerárquico	85
VI. EL ÁREA DE ESTUDIO	92

6.1. Municipio de Huamantla, Tlaxcala	92
6.1.1 Localización	92
6.1.2 Aspectos socioeconómicos	92
Población	92
Densidad de población	92
Tasa de crecimiento	92
Población urbana y rural	93
Población Económicamente Activa	93
Ocupación por sector	93
Vivienda	94
Agua potable y drenaje	94
Medios de comunicación	94
6.1.3 Relieve	94
6.1.4 Hidrografía	94
6.1.5 Climatología	94
6.1.5.1 Clima	94
6.1.5.2 Precipitación	95
6.1.5.3 Temperatura y heladas	96
6.1.5.4 Evaporación	97
6.1.6 Vegetación	98
6.1.7 Suelos	98
6.1.7.1 Tipo de suelo	98
6.1.7.2 Uso potencial del suelo	100
6.1.7.3 Uso actual del suelo	100
6.1.8 Características de las unidades de producción	101
6.1.8.1 Unidades de producción con actividades agropecuarias y/o forestales	101
6.1.8.2 Unidades de producción por tipo de tenencia de la tierra	101
6.1.8.3 Derechos sobre la tierra	103
6.1.8.4 Unidades de producción por tipo de tenencia y disponibilidad de agua	103
6.1.8.5 Unidades de producción por fuerza de tracción empleada	104
6.1.8.6 Unidades de producción y formas de tenencia de los tractores	104
6.1.8.7 Comercialización de la producción agrícola	106
6.1.8.8 Uso de tecnología agrícola	107
6.1.8.9 Ganado bovino y porcino	108
6.1.8.10 Ganado caprino y ovino	108
6.1.8.11 Especies pecuarias diversas	108
6.1.8.12 Comercialización de la producción pecuaria	109
6.1.8.13 Actividades forestales y de recolección	109
6.1.8.14 Comercialización de la producción forestal	109
6.1.8.15 Maquinaria agropecuaria o forestal	109
6.1.8.16 Forma de organización para el empleo de mano de obra externa	109
6.1.8.17 Actividades no agropecuarias ni forestales	110
6.1.8.18 Principales cultivos agrícolas	110
6.2 Los agrosistemas	112
6.2.1 Producción tradicional de maíz	114
6.2.1.1 Siembras de humedad residual	114
6.2.1.2 Siembras de temporal estricto	115

VI. EL PRODUCTOR	117
7.1 Tipificación de productores a nivel nacional	117
7.1.1 Clasificación de la CEPAL (1982)	117
Campesinos	117
Transicionales	117
Empresarios	117
Empresas pecuarias	118
7.1.2 La CEPAL (1982) de acuerdo con su capacidad de autosuficiencia alimentaria	119
Sin potencial de autosuficiencia alimentaria (SPA)	119
Unidades autosustentables a largo plazo (ALP)	119
Unidades autosustentables a corto plazo (ACP)	119
7.1.3 Clasificación de Janvry (1995)	119
Campesinos sin tierra	119
Minifundisas (infrasubsistencia)	119
Pequeños productores de subsistencia	119
Pequeños productores capitalizados	120
Agricultores comerciales	120
7.2 Tipificación de productores a nivel estatal	120
7.2.1 Clasificación de la CEPAL (1982) de acuerdo con la superficie laborable	120
Campesinos	120
Transicionales	121
Empresarios	121
7.2.2 Clasificación de la CEPAL (1982) de acuerdo con su capacidad de autosustentación alimentaria	121
Campesinos sin potencial de autosustentación alimentaria (SPA)	121
Campesinos en unidades autosustentables a largo plazo (ALP)	121
Campesinos en unidades autosustentables a corto plazo (ACP)	121
Campesinos en unidades mercantiles estables (UME)	121
7.3 Tipificación de los productores a nivel municipal	122
7.3.1 Edad	122
7.3.2 Escolaridad	123
7.3.3 Número de hijos y miembros totales de la familia	124
7.3.4 Hijos menores de 18 años	124
7.4 Actividades en la parcela	124
7.4.1 Principal actividad	124
7.4.2 Ocupación fuera de la unidad de producción	126
7.5 La parcela	126
7.5.1 Tenencia de la tierra	126
7.5.2 Número de parcelas	126
7.5.3 Profundidad del suelo en la parcela	127
7.5.4 Forma topográfica del terreno	127
7.5.5 Superficie arable total disponible	127
7.6 Cultivos sembrados	127
7.6.1 Número de cultivos sembrados	127
7.6.2 Cultivo del año anterior	128
7.6.3 Superficie sembrada con maíz	128

7.6.4	Número de años seguidos sembrando maíz	128
7.6.5	Superficie destinada a otros cultivos	130
7.7	Mano de obra familiar	130
7.7.1	Jornales contratados por hectárea de maíz	130
7.7.2	Fuente de la mano de obra	131
7.8	Conservación del terreno	131
7.9	Afectación del maíz por fenómenos climáticos	132
	Heladas tardías	132
	Heladas tempranas	132
	Granizo	132
	Vientos fuertes	132
	Sequía	132
7.10	Sistema de producción del maíz	133
7.10.1	Preparación del terreno y siembra del cultivo	133
7.10.2	Cantidad de plantas	133
7.10.3	Fertilización	133
7.10.4	Control de plagas, maleza y enfermedades	134
7.10.5	Cosecha o pizca	134
7.10.6	Rendimiento del maíz	134
7.11	Ingresos por las actividades agropecuarias y/o forestales	134
VIII.	MATERIALES Y MÉTODOS	135
8.1	Materiales	135
8.1.1	Información para las estrategias de sobrevivencia y toma de decisiones	136
8.1.2	Información para la tipificación socioeconómica de los productores	136
8.1.2.1	Clasificación según la CEPAL (1982)	136
8.1.2.2	Clasificación según líneas de pobreza (Comité Técnico para la medición de la pobreza, 2002)	136
8.1.2.3	Clasificación de Janvry (1995)	137
8.1.2.4	Información colectada de los productores para su tipificación socioeconómica	137
8.1.3	Información Censal (INEGI, 2005)	139
8.1.4	Información para obtener la función de producción	140
	Información de clima	140
	Información de suelos	140
	Información de topografía	140
	Información de manejo del cultivo	140
	Rendimiento de maíz	140
8.1.5	Información para obtener los mapa criterio para el Proceso de Análisis Jerárquico	140
	Información de clima	141
	Información de suelo	141
	Información de topografía	141
8.1.6	Conceptos	142
8.2	Métodos	142
8.2.1	Estrategias de sobrevivencia y toma de decisiones	145
8.2.1.1	Estrategias de sobrevivencia	146

8.2.1.2 Estrategias de los productores de acuerdo con la disponibilidad de superficie y nivel de ingreso per cápita	146
8.2.1.3 Toma de decisiones de los productores	147
8.2.2 Tipificación socioeconómica de los productores	147
8.2.2.1 Clasificación de la CEPAL (1982)	147
8.2.2.2 Clasificación según línea de pobreza (Comité Técnico para la Medición de la Pobreza, 2002).	148
8.2.2.3 Clasificación de Janvry (1995)	148
8.2.3 Obtención de la función de producción	149
8.2.4 Proceso de Análisis Jerárquico	152
8.2.5 Estimación de rendimientos predichos por la función de producción	154
IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	158
9.1 Estrategias de sobrevivencia y toma de decisiones	158
9.1.1 Estrategias de sobrevivencia	158
9.1.2 Estratificación de los productores de acuerdo con la disponibilidad de superficie y nivel de ingreso per cápita	161
9.1.3 Toma de decisiones	165
9.1.3.1 Decisiones internas	165
9.1.3.2 Decisiones externas	166
9.2 Tipificación socioeconómica de los productores	168
9.2.1 Tipificación según la clasificación de la CEPAL (1982)	168
9.2.2 Tipificación según la clasificación por líneas de pobreza (Comité Técnico para la Medición de la Pobreza, 2002).	169
9.2.3 Tipificación según la clasificación de Janvry (1995)	173
9.3 Obtención de la función de producción	174
9.4 Aplicación del Proceso de Análisis Jerárquico	175
9.4.1 Estructura jerárquica	175
9.4.2 Evaluación	178
9.4.2.1 Metas globales	179
9.4.2.2 Evaluación de las alternativas con respecto a los criterios y subcriterios	180
9.4.2.3 Síntesis de prioridades	182
9.5 Obtención de mapas de aptitud	185
X. CONCLUSIONES	189
XI. RECOMENDACIONES	192
XII. LITERATURA CITADA	193

INDICE DE CUADROS

CUADRO	TITULO	PAGINA
Cuadro 1.	Variación en la importancia de un criterio de acuerdo con la fuente de evaluación.	58
Cuadro 2.	Clasificación de los valores para estandarizar el criterio clima para <i>Pinus durangensis</i> .	70
Cuadro 3.	Valores para estandarizar los subcriterios precipitación, temperatura mínima y temperatura máxima para el análisis de aptitud para <i>Leucaena leucocephala</i> .	71
Cuadro 4.	Funciones de membresía para pino piñonero con partición de rangos a partir de valores óptimos de altitud, clima y suelo.	73
Cuadro 5.	Escala fundamental utilizada en la comparación por pares para el AHP.	78
Cuadro 6.	Índice de consistencia (IC) para la matriz de comparación pareada en maíz	80
Cuadro 7.	Matriz de comparación para estandarizar el subcriterio precipitación para <i>Pinus durangensis</i> .	82
Cuadro 8.	Matriz de comparación pareada para el cultivo de maíz en el DDR Toluca, México.	83
Cuadro 9.	Vector de prioridades de la matriz de comparación para maíz en el DDR Toluca, México.	83
Cuadro 10.	Índice de consistencia (IC) y razón de consistencia (RC) para la matriz de comparaciones para maíz.	84
Cuadro 11.	Matriz de comparación para evaluar criterios y subcriterios para especies forestales, por un experto.	86
Cuadro 12.	Pesos de importancia relativa para factores de clima, suelo y topografía obtenidos de las encuestas a expertos	87
Cuadro 13.	Juicios de valor en plantaciones forestales	87
Cuadro 14.	Matriz de comparación pareada de criterios para maíz (resuelta) en el DDR Toluca, México	88
Cuadro 15.	Ponderación de la importancia de criterios subjetivos mediante el conocimiento experto	90

	PAGINA
Cuadro 16. Ponderación del vector de prioridades de los criterios evaluados	90
Cuadro 17. Suma de valores de las alternativas (SVA).	91
Cuadro 18. Población rural y urbana en el municipio de Huamantla.	93
Cuadro 19. Normales climatológicas de temperatura máxima, temperatura mínima y temperatura media para la estación 29011 Huamantla.	96
Cuadro 20. Unidades de suelo, área y porcentaje, en el municipio de Huamantla.	99
Cuadro 21. Unidades de producción y superficie agrícola en el municipio de Huamantla, de acuerdo con el tipo de tenencia de la tierra.	102
Cuadro 22. Distribución de las unidades de producción rurales por tipo de tenencia de la tierra, tipo de productores y rango de superficie en el municipio de Huamantla.	102
Cuadro 23. Distribución de las unidades de producción rurales por tipo de productores y rango de superficie de acuerdo con la disponibilidad de agua en el municipio de Huamantla	103
Cuadro 24. Distribución de las unidades de producción por tipo de tenencia y tamaño de acuerdo con la fuerza de tracción empleada en ellas en el municipio de Huamantla.	105
Cuadro 25. Distribución de tractores por tipo de tenencia y de derecho sobre su uso en el municipio de Huamantla	106
Cuadro 26. Distribución de las formas de venta de los productos agrícolas por tipo de tenencia y tamaño de la unidad de producción en el municipio de Huamantla	107
Cuadro 27. Principales cultivos bajo temporal en el municipio de Huamantla en el ciclo PV 2006.	111
Cuadro 28. Principales cultivos bajo riego en el municipio de Huamantla en el ciclo PV 2006.	111
Cuadro 29. Producción de maíz en el ciclo PV 2003 (riego y temporal) de acuerdo con el tipo de tenencia de las unidades de producción en el municipio de Huamantla.	112
Cuadro 30. Producción de maíz en el ciclo OI 2003-2004 bajo riego de acuerdo con el tipo de tenencia de las UP en el municipio de Huamantla.	113
Cuadro 31. Equivalencia para ganado bovino con respecto a otras especies pecuarias.	118

	PAGINA
Cuadro 32. Tipos de productores de acuerdo con su capacidad de autosuficiencia alimentaria en Tlaxcala (Censo 1970)	122
Cuadro 33. Distribución de la edad en los productores agrícolas del municipio de Huamantla.	123
Cuadro 34. Grados escolares obtenidos por los productores del municipio de Huamantla.	124
Cuadro 35. Distribución de frecuencias del número de hijos de los productores del municipio de Huamantla.	125
Cuadro 36. Distribución de frecuencias de los hijos menores de 18 años que ayudan en las actividades agropecuarias o forestales en el municipio de Huamantla.	125
Cuadro 37. Distribución de frecuencias de las principales actividades relacionadas con la agricultura realizadas por los productores del municipio de Huamantla	125
Cuadro 38. Distribución de frecuencias del número de parcelas que manejan los responsables de las unidades de producción en el municipio de Huamantla	126
Cuadro 39. Distribución de la superficie arable disponible en las unidades de producción en el municipio de Huamantla.	127
Cuadro 40. Distribución de frecuencias de la superficie destinada al maíz en las unidades de producción en el municipio de Huamantla.	129
Cuadro 41. Distribución de los años seguidos en que se siembra maíz en las unidades de producción en el municipio de Huamantla.	129
Cuadro 42. Distribución de la superficie sembrada con maíz en el municipio de Huamantla.	130
Cuadro 43. Distribución de la superficie destinada a los cultivos diferentes al maíz en el municipio de Huamantla	130
Cuadro 44. Distribución de los jornales contratados en una hectárea de maíz en el municipio de Huamantla	131
Cuadro 45. Superficie y rendimiento de maíz y variables de clima en Huamantla (1992-2001).	144
Cuadro 46. Matriz de comparación pareada.	153
Cuadro 47. Escala fundamental utilizada en la comparación por pares para el Proceso de Análisis Jerárquico.	155

	PAGINA
Cuadro 48. Fuentes de ingreso en el sector ejidal de México desglosado por superficie del predio.	162
Cuadro 49. Nivel interno de la toma de decisiones por los productores de Huamantla.	165
Cuadro 50. Actores externos que influyen en las decisiones agrícolas de los productores de Huamantla.	166
Cuadro 51. Toma de decisiones por los productores del municipio de Huamantla.	168
Cuadro 52. Clasificación actual de los productores agrícolas de Huamantla según la metodología de la CEPAL (1982).	169
Cuadro 53. Distribución del ingreso mensual per capita en Huamantla.	172
Cuadro 54. Frecuencias por línea de pobreza.	173
Cuadro 55. Línea de pobreza de la población rural muestreada en Huamantla.	173
Cuadro 56. Clasificación actual de los productores agrícolas de Huamantla según la metodología de Janvry (1995)	174
Cuadro 57. Valores de clase (con su rango) usados para la comparación pareada de los subcriterios.	177
Cuadro 58. Efecto en kilogramos por hectárea de maíz de los criterios y subcriterios usados para el Proceso de Análisis Jerárquico, de acuerdo con la función de producción.	178
Cuadro 59. Matriz de comparación de criterios (Global).	179
Cuadro 60. Vector de prioridades (eigenvector) entre criterios (Global).	179
Cuadro 61. Vector de prioridades (eigenvector) de las alternativas con respecto al criterio topografía, subcriterio pendiente del terreno.	180
Cuadro 62. Vector de prioridades (eigenvector) de las alternativas con respecto al criterio suelo, subcriterio profundidad del suelo.	180
Cuadro 63. Vector de prioridades (eigenvector) de las alternativas con respecto al criterio. Clima, subcriterio LI S1 (Faldas de la Malinche).	181
Cuadro 64. Vector de prioridades (eigenvector) de las alternativas con respecto al criterio Clima, subcriterio LI S2 (Valle de Huamantla).	181
Cuadro 65. Vector de prioridades (eigenvector) de las alternativas con respecto al criterio Clima, subcriterio LI S3 (Lomeríos).	181

	PAGINA
Cuadro 66. Vector de prioridades (eigenvector) entre los subcriterios de Clima.	182
Cuadro 67. Vector de prioridades del Criterio Clima.	182
Cuadro 68. Obtención del vector final de prioridades de los criterios evaluados con respecto a las alternativas.	183
Cuadro 69. Valores de los vectores de prioridad de los subcriterios evaluados con el AHP y su correspondiente valor estandarizado de acuerdo con las alternativas.	183
Cuadro 70. Ejemplo de la bondad de la R^2 para detectar inconsistencia de la función de producción en la determinación de rendimientos de maíz predichos	185

INDICE DE FIGURAS

FIGURA	TITULO	PAGINA
Figura 1.	Clasificación de los tipos de modelos	21
Figura 2.	Proceso de la toma de decisiones	33
Figura 3.	Estructura y análisis del problema en la toma de decisiones	33
Figura 4.	Operaciones básicas de álgebra booleana	39
Figura 5.	Representación booleana de dos mapas	40
Figura 6.	Límites de transición gradual o difusos y un límite rígido	41
Figura 7.	Imagen booleana que representa a pueblos y ciudades en el estado de Tlaxcala (en color negro)	62
Figura 8.	Imagen booleana de las áreas aptas para <i>Pinus durangensis</i>	63
Figura 9.	Metodología de la lógica difusa (fuzzy) para determinar el potencial productivo en el DDR 004, Celaya, Guanajuato	65
Figura 10.	Clasificación de las funciones de membresía de acuerdo con el tipo de variable (continua o discreta)	67
Figura 11.	Forma de respuesta de la precipitación de acuerdo con la función de membresía continua asimétrica positiva en el programa IDRISI y su forma lineal.	70
Figura 12.	Forma de respuesta de la temperatura máxima de acuerdo con la función de membresía continua asimétrica negativa en el programa IDRISI y su forma lineal.	71
Figura 13.	Gráfica en forma lineal de la relación entre los valores de altitud y la aptitud correspondiente (1 = más apto, 0= no apto).	74
Figura 14.	Jerarquización AHP para identificar áreas aptas para plantaciones forestales	82
Figura 15.	Región de estudio: Estado de Tlaxcala, DDR 165 Huamantla y municipio de Huamantla.	93
Figura 16.	Precipitación media anual en el estado de Tlaxcala.	95

	FIGURA
Figura 17. Temperatura media anual en el estado de Tlaxcala	97
Figura 18. Evaporación media durante el periodo mayo a octubre, en el estado de Tlaxcala.	97
Figura 19. Unidades de suelo en el estado de Tlaxcala.	99
Figura 20. Áreas destinadas a la agricultura en el estado de Tlaxcala.	100
Figura 21. Ingreso total en pesos de acuerdo con la superficie disponible en los ejidos de México.	162
Figura 22. Por ciento del ingreso agrícola total con relación a la superficie disponible en los ejidos de México.	163
Figura 23. Forma de respuesta sigmoideal (<i>sigmoide</i> "en forma de s") (Eastman, 2003).	163
Figura 24. Por ciento de ingreso total obtenido fuera de la finca con relación a la superficie disponible en los ejidos de México.	164
Figura 25. Estructura jerárquica de los criterios considerados en el estudio.	176
Figura 26. Modelo cartográfico para determinar la aptitud de las tierras en Lomeríos.	186
Figura 27. Mapa de aptitud para la producción de maíz en Tlaxcala mediante el uso del Proceso de Análisis Jerárquico y una función de producción.	187
Figura 28. Aptitud de la tierra para la producción de maíz expresada en rendimiento (kg ha ⁻¹) en Tlaxcala mediante el uso del Proceso de Análisis Jerárquico y una función de producción.	187

RESUMEN

El campo mexicano se encuentra en crisis desde hace más de 30 años, si se consideran las condiciones que imperaban en él cuando se inició el proyecto Plan Puebla en 1967; aunque no en operación óptima, en ese entonces se daba una coordinación entre productores-instituciones del sector y centros de investigación y docencia (Díaz *et al.*, 1999). Esa estructura se encuentra actualmente desarticulada bajo un modelo político neoliberal gestado desde la presidencia de Miguel de la Madrid Hurtado y que continúa hoy en día con el Partido Acción Nacional en el poder, y que ha resultado en elevados niveles de pobreza en la población, con énfasis en la denominada población rural (Damián y Boltvinik, 2003) constituida por pequeños productores de subsistencia. De acuerdo con las metodologías de la CEPAL (1982), del Comité Técnico para la Medición de la Pobreza (2002), y de de Janvry (1995), en el municipio de Huamantla 80% de los productores se clasifican como de infrasubsistencia y 67% se ubica en la línea de pobreza alimentaria; su tipificación resalta la importancia de evaluar y aplicar las tecnologías de evaluación multicriterio para determinar la aptitud de las áreas con la mejor precisión posible, reduciendo la subjetividad del conocimiento experto en la metodología evaluada. La investigación desarrollada muestra la necesidad de vincular las estrategias de sobrevivencia de las unidades de producción y sus características socioeconómicas con las estratificaciones agroecológicas mediante los Sistemas de Información Geográfica y la evaluación multicriterio.

La evaluación multicriterio mediante el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) se fundamenta en el conocimiento experto para asignar la importancia relativa de los factores que se evalúan en matrices de comparación pareada. Este método es una herramienta auxiliar para la toma de decisiones que se usa extensivamente en actividades como la industria manufacturera y recientemente, en el entorno de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para estratificar las áreas por su aptitud para un uso dado. Su implementación en el programa IDRISI se ha aprovechado en los últimos años para estratificar la aptitud de las tierras para especies forestales y agrícolas en México. Algunos autores señalan la debilidad del método al depender de un conocimiento subjetivo difícilmente medible y en teoría casi perfecto, que en actividades de producción agrícola bajo condiciones limitantes de suelo, clima y manejo, y en frecuentes ocasiones con insuficiente conocimiento experto disponible, obligan a buscar una mayor precisión y confiabilidad en los resultados obtenidos. Mediante el uso de información de productividad en maíz de temporal en la región oriente de Tlaxcala se obtuvo una función de producción para identificar los factores de suelo, clima y manejo que explican el rendimiento de maíz, con fines de sustituir el conocimiento experto por los efectos mencionados para desarrollar el AHP y, con el uso de IDRISI se elaboró el modelo cartográfico que estratifica las áreas por su aptitud para la producción de maíz. El procedimiento usado permite obtener mapas en que la aptitud se expresa en rendimientos, a partir de la función de producción obtenida.

Palabras claves: pobreza, pequeños productores de subsistencia, AHP, toma de decisiones, conocimiento experto.

ABSTRACT

The Mexican agriculture has been in crisis for more than 30 years, if the conditions prevailing at the time of commencement of Plan Puebla, Mexico in 1967 are considered. Although not operating optimally, there was coordination among producers, institutions of the sector and research and teaching centers (Diaz *et al.*, 1999). This structure has been discontinued presently under a neoliberal political model formulated since the era of Miguel de la Madrid Hurtado presidency and is continued till today by National Action Party (Partido Acción Nacional), the party in power presently which has resulted in high poverty levels in the country with emphasis on rural population (Damian and Boltvinik, 2003) constituted by small subsistence farmers. According to CEPAL (1982), the Technical Committee for Poverty Measurement (2002) and de Janvry (1995) methodologies, 80% of the producers in municipality of Huamantla are classified as belonging to infrasubsistence group and 67% are found on the food poverty line. Its classification stresses the importance of evaluating and applying multicriteria evaluation technologies to determine the aptitude of areas with best possible precision. It will reduce the subjectivity of the expert knowledge in the evaluated methodology. The research carried out in this study shows the necessity of linking the survival strategies of the production units and its socioeconomic characteristics with agroecological stratifications through the use of Geographic Information Systems and the multicriteria evaluation.

The multi-criteria evaluation using the Analytic Hierarchy Process (AHP) is based on the expert knowledge to assign the relative importance of the factors which are evaluated in the matrices of paired comparison. This method is an auxiliary tool for decision making extensively used in activities such as industrial manufacturing and recently being used in the Geographic Information System (GIS) to classify the areas based on their aptitude for a given use. Its implementation in IDRISI program has been utilized in the recent years to classify the land aptitude for the forest and agricultural species in Mexico. Some authors point out the weakness of this method as being immeasurable and based on subjective knowledge while the theory presents it as a perfect one. On the other hand, agricultural production activities under limiting conditions of soil, climate and management as well as insufficient expert knowledge necessitate the search for higher precision and reliability of the obtained results. A production function, to identify the soil, climate and management factors which explain maize yield, was obtained utilizing productivity information of rainfed/ dryland maize in eastern region of Tlaxcala. The objective was to substitute the expert knowledge with the mentioned factors to develop AHP. A cartographic model was designed employing IDRISI which classifies the areas based on their aptitude for maize production. The used procedure allows obtaining maps from the production function in which the aptitude is expressed as yield.

Key words: poverty, small subsistence farmers, decision making, AHP, expert knowledge, production function

I. INTRODUCCION

La actual crisis en el campo mexicano se puede describir a partir de: a) la pobreza de la población tanto urbana como rural, b) la importación de alimentos, y c) la pérdida de la soberanía alimentaria. El conocimiento nuevo que se genere a partir de la investigación agronómica debiera fundamentarse en esta realidad para darle el sentido social del que ha carecido en lo general, y no solo en México, sino en el mundo, la ciencia, y en lo particular, la agronómica.

De acuerdo con Damián y Boltvinik (2003), la evolución de la pobreza en México muestra un signo desalentador ya que los niveles de ésta son los mismos que había hace más de 30 años. Según cifras del Banco Mundial, en 2002 la mitad de la población mexicana vivía en condiciones de pobreza y la quinta parte en pobreza extrema (Walton y López, 2005); es oportuno anotar que, según Székely (2005), los niveles de pobreza y desigualdad observados en 1984 son prácticamente los mismos que en el 2002, a la vez que en 1984 el 10% más pobre de la población obtenía 1.4% del ingreso total y el 10% más rico obtenía 39.5%, y casi dos décadas después, en el año 2002, el 10% más pobre seguía obteniendo 1.4%, mientras que el 10% más rico aumentó su participación para concentrar 40.5% del total. En cuanto a la pobreza, el porcentaje de pobres alimentarios (extremos) bajó ligeramente de 22.5 a 20.3% de la población total, mientras que la proporción en pobreza moderada permaneció casi constante —se redujo solamente de 53 a 52%—. Sin embargo, debido al crecimiento poblacional, el número absoluto de personas en situación de pobreza aumentó significativamente.

Según Baca (2006), de los aproximadamente 100 millones de habitantes (103.1 millones en 2005, de acuerdo con INEGI, 2006) que posee el país, más de 50% se encuentran por debajo de la línea de pobreza; En el sector rural la proporción de la población pobre es mayoritaria, pues según las mediciones de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), de los cerca de 26 millones de habitantes rurales, 70% carece de ingreso suficiente para cubrir los requerimientos básicos de alimentación, salud, educación y vestido y 35% no recibe un ingreso que le permita pagar al menos sus gastos en comida, por lo que se encuentra en clara vulnerabilidad alimentaria. María y Volke (2006), con información obtenida con productores agrícolas del Valle de Huamantla, Tlaxcala, y al usar el ingreso *per capita* mensual determinado por el Comité Técnico para la Medición de la Pobreza en las áreas rurales en 2002 (\$485.7, \$843.2 y \$1047.3 *per capita* mensual para las líneas de pobreza 1, 2 y 3,

respectivamente) encontraron que 60.4% de la población de productores muestreada se ubicó en la línea de pobreza 1 (pobreza alimentaria); 89.6% en la línea de pobreza 2 (pobreza de desarrollo de capacidades) y 91.7% en la línea de pobreza 3 (pobreza de desarrollo de patrimonio).

Según Calva (2006), los programas neoliberales aplicados desde 1982 hasta el presente, comprendieron un proceso de liberalización del sector agropecuario, cuyas vertientes principales son: 1) la severa reducción de la participación del Estado en la promoción del desarrollo económico sectorial; 2) la apertura comercial unilateral mediante la inclusión total del sector agropecuario en el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN); 3) la reforma de la legislatura agraria que suprimió el carácter inalienable, inembargable e imprescriptible de la propiedad campesina ejidal y comunal, instituido por la Revolución Mexicana, abriendo múltiples vías para el comercio de tierras y la concentración agraria en grandes unidades de producción. Como resultados se tiene que, en kilogramos *per capita*, la producción de los ocho principales granos en 2002-2004 resultó 9.8% inferior que la obtenida en 1980-82, la producción *per capita* de carnes rojas se redujo 29.3% durante el mismo lapso, y la producción forestal maderable en decímetros cúbicos *per capita* en 2002-04 resultó 47.1% inferior que la producida en el trienio 1980-82. Como contraparte, no obstante la reducción del consumo alimentario de los mexicanos que cayeron en la pobreza y en la pobreza extrema, las importaciones de alimentos se dispararon de 2 755.7 millones de dólares anuales durante el trienio 1980 - 1982 a 12 965.6 millones de dólares por año durante el trienio 2002-2004.

De acuerdo con Fuente, J. de la, *et al.* (1990), a partir de 1974 México deja de ser un país exportador neto de productos agrícolas y se transforma en importador de los mismos. México importó de Estados Unidos un promedio anual de 2800 millones de dólares en productos agrícolas en el trienio 1989-1991 mientras que las exportaciones representaron un promedio anual de 2 500 millones de dólares (Banco Mundial, 1994). Las importaciones de maíz pasaron de 361.9 millones de dólares en el trienio 1980-1982 a 987.5 en el trienio 2002-2004; las de trigo fueron de 154.7 millones de dólares a 440.1 para el mismo periodo y las de frijol de 225.4 a 49.9 millones de dólares (Calva, 2006). Salazar *et al.* (2006) reportan que los dos principales instrumentos de política de apoyo a la producción de maíz han sido el Programa de Apoyos Directos al Campo (Procampo) y el Programa de Apoyos a la Comercialización, y según las proyecciones del mercado del maíz en México obtenidas, de mantenerse los apoyos, las importaciones serían de 11 168 927 toneladas en 2010, de 13 806 981 toneladas en 2015 y de 15 609 013 en 2020; en cambio, de terminar los apoyos en 2008, las importaciones serían de 12 732 998 en

2010, de 16 259 351 en 2015 y de 18 389 148 en 2020. Concluyen en su estudio que la dependencia de maíz del exterior era de poco más de 22% en 2004 y que de seguirse aplicando la política actual, para 2010 éste será de 41%, para 2015 de 47% y para 2020 de 51%, y en caso de eliminarse dichos apoyos, para 2010 será de 46%, para 2015 de 55% y para 2020 de 60%; toda vez que las importaciones de maíz van en aumento, con o sin los apoyos de Procampo y el Programa de Apoyos a la comercialización, las proyecciones indican que la aplicación de la actual política de apoyos no es suficiente para lograr la autosuficiencia en el futuro, lo cual implica cada vez mayor dependencia alimentaria del exterior.

De acuerdo con Gómez y Schwentesius (2004), a 10 años del TLCAN México está perdiendo su soberanía alimentaria por una mayor dependencia de las importaciones, que han generado una gran fuga de divisas. Ello contradice lo reportado en el Capítulo XVII de la Ley de Desarrollo Rural Sustentable referente a la Seguridad y Soberanía Alimentaria, en que se menciona que el Estado establecerá las medidas para procurar el abasto de alimentos y productos básicos estratégicos a la población, promoviendo su acceso a los grupos sociales menos favorecidos y dando prioridad a la producción nacional; y deberá conducir su política agropecuaria a fin de que los programas y acciones para el fomento productivo y el desarrollo rural sustentable, así como los acuerdos y tratados internacionales propicien la inocuidad, seguridad y soberanía alimentaria, mediante la producción y abasto de los productos básicos y estratégicos.

El campo mexicano tiene un retroceso de más de 38 años, si se considera las condiciones que prevalecían al inicio del Plan Puebla en 1967¹ y de aquel triángulo estratégico agricultores- técnicos – instituciones, y las condiciones que predominan actualmente en el campo mexicano (Díaz *et al.*, 1999), cada vez se observa más aislados y abandonados a los primeros y desconcertados e inseguros a los terceros por la propuesta del ex presidente Vicente Fox, sexenio 2001-2006 (fuente: Art. 2º. transitorio, Propuesta de egresos 2004) y Egresos), para desincorporarlos del sector público agropecuario. Como resultado de las políticas neoliberales implementadas desde 1982, el productor agrícola de subsistencia ha sido abandonado por el Estado Mexicano; se encuentra descapitalizado (sin crédito ni seguro agrícolas), con una extensión de tierra cultivable en temporal inferior a 4 ha (frecuentemente de

¹ Modelo de difusión de innovaciones (Sepúlveda, 1992) que integró un equipo técnico interdisciplinario, el cual desarrolló actividades de investigación agronómica, divulgación científica y tecnológica, evaluación socioeconómica y coordinación interinstitucional y sectorial en Puebla, México (Díaz *et al.*, 1999).

mediana a baja productividad) y sin el apoyo de la investigación y la asistencia técnica en las áreas que no poseen ventajas comparativas (como las de los cultivos de riego) (Calva, 2006).

De acuerdo con Laird (1977), generalmente los objetivos del desarrollo agrícola de una nación se expresan en términos de los aumentos proyectados en la producción de cultivos o ganados específicos; las razones principales para dar prioridad y concentrar recursos en la producción de determinadas actividades agropecuarias son: reducir las deficiencias domésticas de alimentos y fibra, disminuir las importaciones de productos agrícolas o aumentar las exportaciones de éstos. Así, en la agricultura de subsistencia, el objetivo central de su desarrollo consiste en lograr los cambios en la producción agropecuaria que resulte en mayores ingresos netos para la población rural; ello representa el paso esencial y primordial en el mejoramiento de la calidad de vida en esas áreas rurales. Los bajos ingresos agrícolas de los agricultores tradicionales son una consecuencia directa de las superficies pequeñas de tierra que cultivan y de la baja productividad de ésta; para lograr los aumentos en los ingresos agrícolas de estos pequeños productores es necesario aumentar la superficie de tierra que cultivan, reducir los costos de producción o incrementar la productividad de sus tierras (Laird, 1977).

A la luz del conocimiento actual es claro que las políticas neoliberales de los últimos 25 años en nuestro país no están orientadas a fortalecer las actividades agropecuarias de los productores de subsistencia ni a disminuir su pobreza. Según Navarro (2007), solo 10% de los agricultores nacionales se queda con 54% de los recursos de Alianza para el Campo, o como lo asegura Escalante (2007), en el sector agropecuario el gobierno federal se ha ocupado de financiar a los productores más ricos del país, a los que destina 75% de los apoyos para el campo, mientras que a los pequeños productores, que son la mayoría, solo les destina el 25% restante. Tampoco se vislumbra un mejoramiento en el gasto público para el fomento de las actividades agropecuarias y forestales; el porcentaje empleado en este rubro pasó de 3.12 del PIB en 1980 a 0.82 en 1993 (Calva, 1997); de tal modo que a partir de 1981, la investigación agropecuaria y forestal se vio afectada por una drástica reducción presupuestaria de aproximadamente 46.9 por ciento de decremento, equivalente a una tasa media anual de decremento de 11.9 por ciento (Moncada, 1991). De acuerdo con Ekboir *et al.* (2001), el gasto presupuestal del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) pasó de 106 millones de dólares en 1981 a 58 en 1990 y a 48 millones de dólares en 1995; el del Colegio de Postgraduados (CP) fue de 53, 20 y 21 millones de dólares en esos años, respectivamente.

Por otro lado, en los estudios de potencial productivo realizados por el INIFAP, (Medina *et al.*, 1997; María *et al.*, 2003) se ha considerado que los factores de estratificación de las áreas como el cociente precipitación/evaporación, profundidad del suelo, pendiente del suelo, altura, etc., tienen una misma importancia o efecto en el desarrollo de los cultivos; ellos han sido usados por las instituciones del sector agropecuario y forestal para reorientar la aplicación de programas de apoyo al campo (Pérez, 1997). Algunos autores han cuestionado la validez de ese supuesto, y han propuesto procedimientos metodológicos como el enfoque de límites difusos (García *et al.*, 1999; García *et al.*, 2004) y la evaluación multicriterio (EMC) (Ceballos-Silva y López-Blanco, 2003) para mejorar la precisión de las estratificaciones de las áreas agrícolas.

El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés) es uno de los métodos de EMC para el auxilio en la toma de decisiones más utilizados en la actualidad, tanto en el entorno de la investigación operativa como en el de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), en una diversidad de actividades humanas como la industria (Barbarosoglu y Yazgac, 1997; Dey y Gupta, 2000) y los recursos naturales (Schmoldt y Peterson, 2000; Ávila, 2000; Merritt, 2006), y en México recientemente, para estratificar las áreas de acuerdo con su aptitud para la plantación de especies vegetales (Ceballos-Silva y López-Blanco., 2003; Bustillos, 2006; Olivas, 2006). No obstante el amplio uso del AHP, algunos autores reportan que la subjetividad (expresada por un conocimiento experto) usada para asignar los pesos de las preferencias es una debilidad de este procedimiento (Ávila, 2000; Hahn, 2003; Hahn, 2004; Prakash, 2003; Barzilai, 2007).

En México este método, bajo el entorno de los SIG, ha sido empleado recientemente para determinar la aptitud de tierras agrícolas (Ceballos, 2002; Ceballos-Silva y López-Blanco, 2003) y forestales (Olivas, 2006; Bustillos, 2006); sin embargo, en esos estudios no se hace referencia a algunas limitaciones que presenta esa metodología, como son la subjetividad de los juicios para asignar los pesos de importancia de las preferencias del decisor (Ávila, 2000; Hahn, 2003; Hahn, 2004; Prakash, 2003; Barzilai, 2007).

De acuerdo con lo anterior, se requiere revisar las estrategias que utilizan los productores agrícolas para mantener en operación sus unidades de producción, tipificarlos socioeconómicamente (clasificación según la Comisión Económica para América Latina, CEPAL, 1982; líneas de pobreza, Comité Técnico para la Medición de la Pobreza, 2002, y clasificación de Janvry, A. de, 1995, citado por Mata, 2002), bajo el supuesto de que de ello depende el tipo de estrategias que siguen y decisiones que

toman, así como establecer relaciones a partir de la información experimental disponible de maíz sobre el efecto de los factores de suelo, topografía, clima y manejo en la productividad del cultivo de maíz para con su efecto expresado en kilogramos por hectárea hacer la evaluación de la matriz de comparación de las metas globales en el método de EMC del AHP y con ello desarrollar un modelo que pueda influir en las decisiones de los productores y la planificación de sus actividades agrícolas.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

México cuenta con una superficie de alrededor de 200 millones de hectáreas de tierras aptas para uso agropecuario, forestal y acuícola; 101 millones de ellas dedicadas a la ganadería, 61 millones a la forestería y 28 millones a la agricultura; de la superficie agrícola, sólo 21.4% cuenta con riego y el resto se siembra bajo temporal; de la agricultura de temporal, 50% se dedica a la producción de granos básicos (Guevara, 1988; Mata, 2002). La población del campo representa un tercio de la población del país y se ha incrementado en términos absolutos y no disminuirá en los próximos años, lo que significa una mayor presión sobre los recursos, Ramírez *et al.* (1995).

Guevara (1988) menciona que en la agricultura los campesinos suman alrededor de 5 millones; de éstos aproximadamente 2.4 millones son ejidatarios, 1.2 millones de pequeños propietarios y 1.4 millones jornaleros asalariados (al parecer, sin tierra), sin incluir a los familiares de los productores. Sin embargo, Mata (2002) reporta que de acuerdo con la Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAGAR), las unidades de producción rural se cuantifican en 3.8 millones, de las cuales 500 mil son empresariales, 900 mil son de subsistencia y 2.4 millones son unidades de producción con potencial aún no desarrollado.

De acuerdo con Janvry, A. de, *et al.* (1995), citados por Mata (2002), se pueden establecer cinco categorías de productores agrícolas en México, diferenciados por su participación en los mercados alimentario y laboral: campesinos sin tierra, minifundistas o de infrasubsistencia, pequeños productores de subsistencia, pequeños productores capitalizados, y agricultores comerciales.

Para la CEPAL (1982), de un total de 2 557 070 productores agrícolas, 86.6% son campesinos, y de éstos 71.9% son de infrasubsistencia y subsistencia y poseen 21.9% de la superficie laborable de temporal; 14.7% son estacionarios y excedentarios y poseen 34.9% de la superficie laborable de temporal; 11.6% son transicionales y poseen 22.4% de la superficie laborable de temporal; y 1.8% son productores empresariales y poseen 20.8% de la superficie laborable de temporal.

Algunas características de los productores de subsistencia en los ejidos de México, de acuerdo con López y Graillet (2001), AGROASEMEX (2006), y Lanjouw (2007), son:

- poseen nivel bajo de educación (mayormente primaria),
- reciben remesas de algún pariente en el extranjero,
- tienen poca participación en cultivos comerciales (por bajos precios de la cosecha y problemas de comercialización),
- recurren a prestamistas por crédito,
- poseen tamaño reducido de parcela, (menos de 5 ha en 60-80% de los casos),
- tienen baja participación en actividades de gestión-cesión de tierras (renta, al tercio, a medias), y
- residen en ejidos con bajo capital social.

Otras características, según Turrent, (1986), Omaña, (1999), Zúñiga y Gómez, (2002), Bellon *et al.* (2004) y Verner, (2005), son:

- producen para el autoconsumo (principalmente maíz y frijol),
- carecen de trabajo remunerado (jornal agrícola familiar no remunerado),
- carecen de sistemas de seguridad social (salud, educación, principalmente),
- carecen de oportunidades laborales, se desempeñan como jornaleros (que conlleva a desatender el predio familiar; jornales con baja remuneración),
- producen cultivos básicos de autoconsumo, y pequeña ganadería (agricultura de subsistencia y traspatio),
- producen en condiciones de lluvia escasa e irregular (más de 8 millones de hectáreas con temporal irregular),
- obtienen baja calidad de la cosecha (por dosis bajas de fertilización); obtienen bajos rendimientos de la cosecha (maíz, 1.77 t ha⁻¹ bajo temporal en México en el periodo 1990-1996),
- tienen baja capacidad de generación de ingresos,
- carecen de tecnología moderna de producción (alto costo de los insumos),
- carecen de infraestructura básica de almacenamiento de cosechas para prevenir fluctuaciones de los precios de las cosechas,
- carecen de asistencia técnica para mejorar la productividad de sus tierras (asistencia técnica privada),
- carecen de facilidades de organización ante los mercados (desorganización campesina),
- poseen alta variabilidad del ingreso familiar, y baja capacidad de ahorro,

- son objeto de discriminación racial (ser indígena, hablar lengua indígena),
- poseen suelos con pendiente mayor que 5% y propensos a erosión.

Además de la degradación del bienestar de las familias, principalmente las rurales, de acuerdo con la SEMARNAT-CP (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Colegio de Postgraduados) (2002), actualmente México presenta suelos degradados por actividades del hombre en 45.1% de su territorio; el principal proceso degradativo es químico (18.3%), le sigue la erosión hídrica (11.4%), la erosión eólica (9.4%), y en menor proporción, la degradación física (5.9%). A nivel estatal, Tlaxcala es el que presenta la mayor extensión de suelos degradados con 73.9%, seguido por Yucatán (71.3%) y Tabasco (70.5%); en la entidad tlaxcalteca, los procesos degradativos son del orden de 26.57% de erosión eólica, 23.54% degradación química, 18.27% de erosión hídrica y 5.56% degradación física; Tlaxcala y Chihuahua son los estados con mayor porcentaje de suelos dañados por erosión eólica.

La erosión eólica e hídrica implica pérdida y deformación del suelo; la degradación química se relaciona principalmente con la pérdida de nutrientes en el suelo y la degradación física con la compactación y encostramiento del suelo, SEMARNAT-CP (2002); de acuerdo con ello, los sistemas agrícolas de producción en Tlaxcala se desarrollan en suelos sometidos a procesos degradativos.

Según Grassi (1983), en gran parte de los estados de Tlaxcala y Puebla, las heladas limitan la estación de crecimiento y hacen riesgosa la producción de cultivos de interés económico como el maíz, frijol, trigo, cebada, avena, entre otros; este factor de riesgo se asocia directamente con la fecha de siembra de los cultivos y el ciclo vegetativo de las variedades utilizadas.

Las estratificaciones del ambiente para determinar la aptitud de las tierras para la producción de especies vegetales actualmente disponibles en la mayor parte de los estados del país, como son los estudios de potencial productivo del INIFAP, se realizaron considerando una misma importancia de los factores o variables que intervinieron en la estratificación; no consideraron las relaciones de los factores edafoclimáticos y de manejo en la respuesta en rendimiento de los cultivos y especies a nivel de la región de interés, o bien, se asumió que ellas eran de tipo lineal y de igual importancia.

Medina (1980), reporta que en el área de Huamantla, Tlaxcala, las variables que más influyen en los rendimientos de maíz de temporal son la dosis de fertilizante, el uso de herbicidas y los costos de

producción por hectárea. Reportó que a pesar del alto esfuerzo y atención prestada al cultivo, éste no correspondía en rendimiento en forma proporcional a aquellos, lo que significaba que los ejidatarios no eran eficientes en términos económicos en el manejo del maíz.

Actualmente, el desmesurado incremento de los precios de los insumos de la producción, los bajos rendimientos (debidos a siembras bajo temporal con lluvias irregulares, en suelos de baja productividad y uso de tecnologías tradicionales con bajo o nulo uso de insumos mejorado), el bajo precio del grano, la poca superficie disponible y la cada vez más alta necesidad de diversificar sus actividades para complementar su ingreso familiar, resulta en una menor inversión en tiempo y capital por el productor al cultivo; ello hace necesario fortalecer estrategias de investigación que contribuyan a una mejor planificación en la producción de cultivos.

En áreas de bajo potencial productivo para maíz en la región de estudio, Pérez (1997) encontró que ante el retiro de apoyos institucionales (crédito, seguro y asistencia técnica, principalmente), los agricultores continuaron sembrando ese cultivo, aunque en menor superficie, siguiendo la estrategia de incrementar sus actividades extrafinca, para con el ingreso generado por ello y la venta de maíz, financiar la actividad agrícola y los escasos recursos institucionales que podían captar (PROCAMPO, Crédito a la Palabra), destinarlos a reponer la inversión por la preparación de tierras y compra de fertilizantes, así como a la compra de comida, zapatos y de otros bienes necesarios. Ello resalta la necesidad de conocer las estrategias de sobrevivencia de las unidades de producción que conforman el modelo de toma de decisiones en la planeación de las actividades agrícolas. Así mismo, y como reportan Salazar *et al.* (2006), actualmente el PROCAMPO es el principal programa de apoyo institucional para la agricultura en México y está programado para terminarse en 2008; este programa, junto con los programas de la Alianza Contigo, constituyen el marco de referencia del modelo de toma de decisiones de las instituciones del sector agropecuario, con respecto a las actividades agrícola de los productores.

Ante el escenario de pobreza del sector rural en general, las políticas neoliberales actualmente aplicadas en el campo mexicano que favorecen a la agroindustria y a un pequeño grupo de productores empresariales, la disminución de los apoyos a las instituciones de enseñanza e investigación agropecuaria y forestal, la creciente degradación de los recursos naturales y la condición de riesgo e incertidumbre por las condiciones de suelo, topografía, clima y manejo, así como las condiciones

socioeconómicas de los productores de maíz bajo temporal, se torna necesario darle un sentido social al conocimiento científico expresado en nuevas herramientas metodológicas, y que se genera para una sociedad en lo general, y para la sociedad rural en lo particular, entendiéndolo como sentido social, el buscar la mayor precisión en la aplicación de las nuevas herramientas metodológicas como es la evaluación multicriterio en el entorno de los sistemas de información geográfica, para el auxilio en la toma de decisiones, cuando el destinatario de los resultados de la investigación es el productor agrícola de subsistencia.

En esta investigación se propone identificar las estrategias de sobrevivencia de los productores de subsistencia (los productores empresariales no producen para sobrevivir) y tipificarlos en función de la disponibilidad de tierra laborable e ingreso *per capita*, así como estratificar la aptitud de las tierras mediante un procedimiento metodológico que considere los factores modificables e inmodificables de la producción, mediante la evaluación multicriterio (EMC) en los sistemas de información geográfica (SIG) y el AHP, con la asignación de los pesos de importancia de los factores derivados de una función de producción, que sea útil a los productores y las instituciones del sector agropecuario y forestal para una mejor toma de decisiones y planificación de las actividades agrícolas productivas.

III. OBJETIVOS Y SUPUESTOS

3.1 Objetivos Generales

- Identificar las estrategias de sobrevivencia de los productores de subsistencia y sus características socioeconómicas que fundamentan el sentido social que debe darse a las nuevas herramientas metodológicas, como es la evaluación multicriterio (EMC), y el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) para la estratificación de la aptitud de las tierras laborables.
- Aplicar la metodología de evaluación multicriterio (EMC) del Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) con base en una función de producción que relacione al rendimiento de maíz con los factores que lo afectan, y mediante los rendimientos predichos asignar los pesos de importancia en la matriz de comparación como una opción al conocimiento experto insuficiente y con ello determinar la aptitud de la tierra para la producción de maíz en la región oriente de Tlaxcala para mejorar la toma de decisiones en la planeación de las actividades agrícolas en el municipio de Huamantla, Tlaxcala.

3.1.1 Objetivos Específicos

- Identificar las estrategias de sobrevivencia de los productores agrícolas de subsistencia.
- Estratificar a los productores del municipio Huamantla de acuerdo con la disponibilidad de superficie laborable y nivel de ingreso *per capita*.
- Establecer relaciones a partir de la información disponible sobre el efecto de los factores de suelo (profundidad), topografía (pendiente), clima (precipitación, temperatura, heladas) y manejo (cultivos, variedades, fecha de siembra) sobre la productividad del cultivo de maíz para conocer cuales de ellos pueden influir las decisiones de los productores y la planificación de sus actividades agrícolas.
- Realizar la evaluación multicriterio (EMC) considerando variables de suelo, topografía, clima y manejo para desarrollar un modelo cartográfico con el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) que auxilie al productor en la toma de decisiones.

3.2 Supuestos

- Las estrategias de sobrevivencia campesina son en conjunto el modelo de toma de decisiones de los productores agrícolas, pecuarios y/o forestales, particularmente de los llamados de infrasubsistencia y subsistencia.
- La metodología para tipificar a los productores agrícolas mexicanos determinada por la CEPAL (1982), la reportada por Janvry, A. de, (1995) citado por Mata (2002), y los tres niveles de pobreza definidos por el Comité Técnico para la Medición de la Pobreza pueden usarse para tipificar a esos productores agrícolas en el área de estudio, actualizando para ello los parámetros usados en cada una de ellas.

La suficiente información documental existente permite afirmar que la crisis agrícola en el campo mexicano tiene una duración mayor a 30 años, y toda vez que la política federal continúa en la línea del liberalismo económico, ella continuará y será un reto para los investigadores generar tecnología pertinente en un campo pobre, descapitalizado y con bajos niveles de educación (Fuente, J. de la, *et al.*, 1990; Díaz *et al.*, 1999; Calva , 2003; Gómez y Schwentesius, 2004; Székely, 2005; Walton y López, 2005; Baca, 2006; Calva, 2006).

IV. MARCO CONCEPTUAL

Esta investigación tiene que ver con las actividades agrícolas que realizan los productores campesinos, especialmente los de subsistencia, aunque puede tener la misma utilidad para el resto de los productores, y con la disponibilidad de herramientas metodológicas que les pueden ser de utilidad para mejorar la planeación de ellas; también se relaciona con los factores de suelo, clima y topografía que afectan la producción de cultivos y con los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la evaluación multicriterio (EMC). Por tanto, se considera que es pertinente definir algunos conceptos que se usarán en el presente trabajo, a fin de dar claridad a los objetivos de: identificar las estrategias de sobrevivencia de los productores que intervienen en el proceso de toma de decisiones agrícolas; tipificar socioeconómicamente a los productores agrícolas temporaleros, establecer relaciones a partir de la información disponible sobre el efecto de los factores de suelo (profundidad), topografía (pendiente), clima (precipitación, sequía, temperatura, heladas) y manejo (cultivos, variedades, fecha de siembra) sobre la productividad del cultivo de maíz; y realizar la evaluación EMC considerando variables de suelo, topografía, clima y manejo para estratificar la aptitud de la tierra para la producción de maíz de temporal y que ello pueda ser considerado en el modelo de toma de decisiones de los productores y las instituciones del sector público.

4.1 Unidad familiar rural

La población rural está organizada en unidades familiares conformadas por un jefe de familia, la esposa, los hijos y otros familiares; esas unidades se ubican en comunidades rurales y tienen o no tierras para la producción agropecuaria y forestal y medios de producción; sus actividades las desarrollan en sus parcelas, o bien, son de naturaleza extrafincas, de tiempo completo o de forma temporal y la producción agropecuaria o forestal, sujeta a riesgos climáticos y económicos, se destina al autoconsumo mayormente y al mercado en menor medida, para adquirir bienes o servicios necesarios a la unidad familiar y todo ello fundamenta su existencia y contribuye a su reproducción social (Wittgenstein, 1988).

4.1.1 Unidad campesina familiar

Entre las actividades que realiza la unidad familiar se encuentran desde la agricultura, cría de animales, artesanías y comercio a pequeña escala hasta el trabajo asalariado (venta de fuerza de trabajo) en las empresas capitalistas agrarias, servicio doméstico, la construcción, la industria manufacturera, etc. (Jiménez, 1987; Díaz, 2002). Para distribuir la fuerza de trabajo, que es el principal bien capital que posee, la unidad familiar se basa en la estructura conformada por sus miembros, género y sus edades; ya sea remunerado o no, dentro o fuera de la unidad de producción, participa en el trabajo la mayoría de los miembros de la familia (Zapata y López, 1996; Díaz, 2002).

4.1.2 Estrategias de sobrevivencia campesina

Una *estrategia* hace referencia a la formulación de tareas organizacionales básicas, propósitos, objetivos y políticas para lograrlos, así como los métodos necesarios para asegurar que se implementen las actividades para alcanzar los fines deseados (Galbrait y Kazanjian, 1978; Steiner *et al.*, 1982; Székely, 2005). Referida a la unidad familiar, la estrategia se define como la capacidad que tienen los miembros para, por un lado, autoabastecerse de los alimentos básicos y, por el otro, asegurar la reproducción de la unidad familiar, instrumentando para ello mecanismos de respuesta al modo capitalista de producción (Pérez, 1997); normalmente subestimada y subvalorada, dentro y fuera de la unidad familiar, la intensa labor doméstica de la mujer en el hogar actúa como una estrategia de supervivencia de la unidad familiar al impedir la desintegración de la unidad familiar por su ausencia (Zapata y López, 1996).

Las estrategias de sobrevivencia hacen referencia a acciones y actividades económicas, sociales, culturales y demográficas que las unidades familiares campesinas siguen para hacer frente al problema del acceso a recursos y satisfactores de sus necesidades básicas, y asegurar la sobrevivencia y reproducción social (continuar siendo campesino), tanto al interior de la unidad de producción como en su relación con el modo de producción capitalista (Barlett, 1984; Díaz, 2002; Ibarra, 2005). En otras palabras, las estrategias son respuestas de los campesinos a las condiciones ecológicas, tecnológicas, socioeconómicas y políticas que limitan su sobrevivencia y reproducción (Ibarra, 2005).

Con relación a la unidad familiar campesina, se pueden distinguir algunas estrategias como producir para asegurar el autoconsumo de alimentos; diversificar las fuentes de ingreso familiar mediante la venta de la fuerza de trabajo, etc.

Tal vez resalta por su importancia el concepto de la estrategia de diversificación de la fuente de ingreso para complementar los ingresos obtenidos dentro de la unidad de producción; por ejemplo, Taylor y Núñez (1999) encontraron con campesinos del estado de Michoacán que mientras que el peso del ingreso agrícola (maíz y frijol y cultivos comerciales) en el ingreso total de los hogares era de 22%, el ingreso proveniente de las actividades no-agrícolas locales fue de 23%, y el aportado por el trabajo asalariado (local y regional) fue de más de 37%. Además, las remesas enviadas por los miembros emigrantes del hogar (nacional e internacional) explicaron casi 15% del ingreso total de los hogares. Estos autores concluyen que si se toma en cuenta que cuando menos 50% de los salarios proviene del trabajo realizado en actividades no agrícolas, aproximadamente 55% del ingreso de los hogares encuestados proviene de fuera del sector agrícola. En el mismo tenor coinciden Janvry, A. de, y Sadoulet (2002), quienes afirman que, en promedio, las actividades desarrolladas fuera del predio agrícola generan más de la mitad de los ingresos de los hogares agrícolas en el sector ejidal mexicano; según estos autores, la mayoría de los pobres de las zonas rurales realizan actividades fuera del predio porque no tienen acceso a extensiones de tierra suficientes como para hacer de la agricultura una estrategia de ingresos viable y porque las fallas de mercado en materia de créditos y seguros los impulsa a estas otras actividades para diversificar los riesgos y procurarse fuentes de efectivo que emplearán en la agricultura.

Como se menciona antes, las estrategias mencionadas tienen como objetivo final la sobrevivencia de la unidad familiar, así como la solución de limitaciones en el proceso de producción agropecuaria (Ibarra, 2005; Pérez, 1997; Zapata y López, 1996; Silva, 1993).

4.1.3 Unidad de producción y consumo.

4.1.3.1. Unidad de producción

La unidad de producción se refiere al conjunto de terrenos, infraestructura, maquinaria y equipo, animales, y otros bienes que son utilizados durante las actividades agropecuarias y no agropecuarias

por el grupo familiar que vive bajo una misma administración, y que normalmente comparte una misma vivienda (Pérez, 1997).

4.1.3.2 Mano de obra familiar

Es aquella conformada por los miembros de la familia capaces de realizar las prácticas agropecuarias y de recolección (plantas, animales, leña, etc.), principalmente, según sus habilidades personales, y puede incluir aquella de algún pariente o vecino cercano sin que medie pago de salario y el cual por lo común se retribuye con trabajo equivalente al apoyo prestado y en el que el compromiso es generalmente verbal (Jiménez, 1987).

4.1.3.3 Actividad extrafinca

Son los trabajos realizados por los miembros de la unidad familiar fuera de la unidad de producción, y pueden ser agropecuarios o no (Pérez, 1997).

4.1.3.4 Producción para consumo

Según el *VII Censo Agrícola del INEGI (1991)*, la cantidad de productores agrícolas que no venden excedentes en el mercado es de 1 757 611, lo que representa aproximadamente 46% del total de los productores agrícolas. Aunque ésta es una cifra agregada para todo tipo de productores y todo tipo de cultivos, posiblemente corresponde muy estrechamente a quienes cultivan el maíz para consumo doméstico (Nadal, 1999).

4.1.3.5 Producción para autoconsumo

Se refiere a la producción de especies vegetales cultivadas, así como de ganado, con la finalidad de cubrir las necesidades de alimentación que exige el patrón de consumo de la familia campesina, así como la de sus animales (Jiménez, 1987). El *VII Censo Agrícola del INEGI (1991)* reporta que la cantidad de productores para quienes el maíz es el principal cultivo es de 2 752 020. Con base en estas cifras puede estimarse la proporción de productores de maíz que no venden excedentes en el mercado, y que es de aproximadamente 64%. Por consiguiente, alrededor de 36% de los productores de maíz venden en el mercado (Nadal, 1999).

4.1.3.6 Riesgos agrícolas de producción

Están relacionados con la pérdida o disminución de rendimiento de los cultivos por agentes meteorológicos y biológicos; dentro de los riesgos meteorológicos, los más importantes suelen ser la precipitación, sequía, heladas y granizo; dentro de los riesgos biológicos se encuentran las plagas y enfermedades (Pérez, 1997).

4.1.3.7 Riesgos económicos de mercado

Son los riesgos causados por la variación de los costos de producción del cultivo, incertidumbre en la comercialización, y la inestabilidad de los precios en el mercado (Pérez, 1997).

4.1.4 Sistemas de producción

Un sistema comprende una colección de partes o componentes organizados con un propósito (Coyle, 1978); en relación con la producción agropecuaria y forestal en las áreas rurales, el sistema es una parte de un universo de producción, o bien, un subsistema de éste; de ese modo, en cuanto a las actividades agrícolas, se le puede referir como sistema agrícola de producción; en las actividades pecuarias será un sistema de producción pecuaria, etc. En ellos se producen bienes agrícolas, pecuarios o forestales, comúnmente en condiciones de riesgos climáticos y económicos, y cuyo fin es mayormente la alimentación de la unidad familiar y la venta de algún volumen de ellos para adquirir otros bienes que necesita y no produce. En esta investigación se hace referencia a los sistemas agrícolas de producción, sin embargo se reconoce que en la unidad familiar rural se integran en un sistema común las actividades agrícolas, pecuarias, forestales y de recolección (de especies animales o vegetales, principalmente)

Para muchos productores los sistemas de producción son sistemas agropecuarios y/o forestales y están formados por un conjunto de cultivos o especies pecuarias o forestales que trabaja el productor; en el caso de especies agrícolas hace referencia a monocultivos o a cultivos asociados, secuenciados en un patrón determinado por las condiciones ecológicas, de suelo, clima, disponibilidad de riego y los objetivos socioeconómicos del productor (Laird, 1977; Zúñiga, 1987).

4.2 Tipos de agricultura

La agricultura que se practica en México corresponde a la diversidad de condiciones ecológicas y socioeconómicas en que se desarrolla y con relación a la aplicación de insumos tecnológicos, productividad y aspectos socioeconómicos; Castillo *et al.* (2005) reconocen tres tipos de agricultura: la empresarial o moderna, la de subsistencia o tradicional, y la agricultura transicional, sin embargo, en este trabajo son de interés la tradicional y la comercial, ya que ambas representan los tipos de agricultura que predominan en la región de estudio.

4.2.1 Agricultura tradicional

Bajo un enfoque etnoagroecológico, se le denomina agricultura tradicional al uso de los recursos naturales basado en: a) una prolongada experiencia empírica que ha conducido a configurar los actuales procesos de producción y las prácticas de manejo utilizadas; b) un íntimo conocimiento físico-biótico del medio por parte de los productores; c) la utilización apoyada por una educación no formal para la transmisión de los conocimientos y las habilidades requeridas; y d) un acervo cultural en las mentes de la población agrícola (Hernández, 1985). Bajo un enfoque de productividad, la agricultura tradicional es la que practica el subsector agrícola de subsistencia que está constituido por un gran número de productores que trabajan a un bajo nivel tecnológico, ocupan importantes superficies de tierra de labor y en gran medida se encuentran excluidos de los beneficios del sistema económico; producen fundamentalmente a un nivel de subsistencia e infrasubsistencia y con base en tecnologías tradicionales, que carecen de suficiente capital para el desarrollo de su actividad agropecuaria y están sujetos a la extracción de sus excedentes a través de relaciones de intercambio desigual, lo que no les permite acumular capital para salir de su condición de pobreza (Volke y Sepúlveda, 1987); en la región de estudio, se practica mayormente bajo condiciones de temporal en parcelas no mayores de 4 hectáreas.

4.2.2 Agricultura empresarial

De acuerdo con Sepúlveda (1992), la agricultura empresarial muestra las siguientes características: disponibilidad adecuada de financiamiento y de insumos, en el momento oportuno; suelos de buena calidad y en general, con capacidad para enfrentar riesgo, disponibilidad de riego y/o con disponibilidad de seguro agrícola; especialización de la producción en cultivos únicos, para favorecer la mecanización

y algunas prácticas de manejo; mecanización intensiva de las actividades de producción, por lo que se requieren superficies más o menos planas; maximización de ingresos por unidad de superficie como objetivo, uso intensivo de capital y sistemas adecuados de información sobre precios, mercados y transporte de insumos y productos y; alto grado de organización en la administración de los factores de la producción; en la región de estudio, se practica mayormente bajo condiciones de riego o de temporal con humedad residual en parcelas mayores de 4 hectáreas.

4.3 Modelos

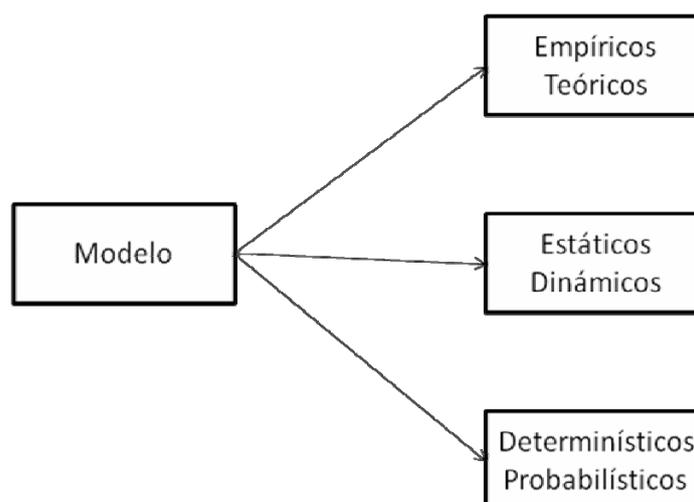
De acuerdo con Krone (1980), la habilidad para elaborar teorías y modelos usando el pensamiento y lenguaje simbólico proporciona la mayor distinción entre el hombre y los animales; mediante los modelos se representa algún aspecto de la realidad, la cual se trata de influir, controlar o entender con más precisión; un modelo también puede ser una representación de datos, como es el caso de un modelo de elevación digital, el cual representa datos de topografía en un Sistema de Información Geográfica (Johnston, 1998). Si es un “buen” modelo puede usarse para hacer predicciones o para planificar. Sin embargo, los resultados de los modelos no deberán sobreestimarse ni subestimarse más allá de la realidad que pretenden representar. Ante la pregunta ¿qué es más importante, la situación actual o la que el modelo predice?, y se debe considerar que a veces el modelo va muy lejos y se vuelve más importante que la realidad que representa (Coyle, 1978; Donald, 1979; Connor, 1981); en el caso de los sistemas agrícolas, al menos, los resultados que de ellos se obtengan debieran ser analizados a la luz de la experiencia práctica y los experimentos de campo, más aún si los cultivos se producen en los extremos del rango de condiciones bajo las cuales crecen normalmente (Keulen y Wolf, 1986).

4.3.1 Tipos de modelos

Los modelos se pueden clasificar de acuerdo a sus características distintivas, como son: a) tipo, b) comportamiento en el tiempo, y c) su accesibilidad para documentarse, como se aprecia en la Figura 1.

4.3.1.1 Modelos empíricos

Los modelos empíricos son aquellos que predicen cómo una variable afecta una respuesta y no por qué la afecta, por lo que no se logra entender la totalidad de un sistema, además de que puede tener menor



Fuente: Modificado a partir de Arsham (2004).

Figura 1. Clasificación de los tipos de modelos

capacidad predictiva. Son modelos que se basan en aproximaciones empíricas producto de la observación o experimentación y se pueden considerar como un conjunto de ecuaciones heurísticas (gr. *Heurisko*, hallar, experiencia); cada una de esas ecuaciones es usualmente la descripción estática de una relación entre el proceso considerado y las condiciones ambientales. Estos modelos representan un regreso al concepto de análisis de regresión, aunque en un nuevo nivel cualitativo; los modelos empíricos no son versátiles y pueden requerir mucho tiempo para identificar los parámetros de cada cultivo. Con ellos nunca se tendrá la certeza de que el modelo desarrollado será útil para describir a otro cultivo expuesto a diferente suelo y clima; la ventaja esencial es que estos modelos están disponibles y pueden usarse con éxito en la toma de decisiones agrícolas, lo cual no tienen los modelos teóricos (Poluektov y Topaj, 2001).

Los modelos empíricos se determinan a través de técnicas de regresión, y establecen la relación entre el rendimiento de cultivos y los factores que lo afectan; este tipo de modelos han sido usado en productividad de cultivos (García, 1999).

Dentro del enfoque empírico puede considerarse que la especificación de un modelo debería de basarse en la observación de la forma de la relación entre una variable de respuesta y los factores que la afectan (Volke *et al.*, 2005).

4.3.1.2 Modelos teóricos

Los modelos teóricos se basan en una propuesta o teoría de entendimiento del fenómeno en estudio. Sin embargo, algunos fenómenos, principalmente de naturaleza biológica, no han sido estudiados con suficiente detalle, por lo que estos modelos requieren para su elaboración, de personal entrenado en varias ramas de la ciencia (Poluektov y Topaj, 2001). De acuerdo con Volke *et al.* (2005), el modelo teórico, puesto que se basa en una teoría, será correcto siempre y cuando la teoría lo sea y sólo para el ámbito de condiciones para el cual ella sea propuesta.

4.3.1.3 Modelos conceptuales.

De acuerdo con Greca y Moreira (1998), en general, un modelo conceptual es una representación externa, creada por investigadores que facilita la comprensión o la enseñanza de sistemas o estados de cosas del mundo; estas representaciones externas pueden materializarse tanto en la forma de formulaciones matemáticas, analogías o en artefactos materiales; es decir, son una representación simplificada de objetos, fenómenos o situaciones reales y no necesitan de una teoría que los expliquen. De esta manera, un *modelo conceptual* también se puede concebir como una idea acerca de cómo funciona algo y con frecuencia se describe con diagramas que muestran los procesos, sistemas mayores y las relaciones cualitativas entre las entidades (Johnston, 1998).

4.3.1.4 Modelos determinísticos

Los modelos determinísticos son los que hacen predicciones definidas de cantidades, dentro de cualquier distribución de probabilidades; también se les puede definir como aquellos que se aplican a problemas en los que hay un solo estado de la naturaleza, y dónde variables, limitaciones y alternativas son, después de que se aceptan los supuestos, conocidos, definibles, finitos y predecibles con confianza estadística. Algunos modelos, herramientas o técnicas determinísticas son: programación lineal, análisis de Markov, costo/beneficio, etc. (Krone, 1980; López, 2001). En otras palabras, un modelo determinístico se construye para una condición de certeza supuesta, y el modelo asume que solo hay un resultado posible (el cual es conocido) para cada acción o curso alternativo (Malczewski, 1999).

4.3.1.5 Modelos estocásticos

Los modelos estocásticos contienen elementos aleatorios distribuidos dentro del modelo; de tal manera que predicen el valor previsto o una cantidad en términos de probabilidad de ocurrencia; también se les puede definir como aquellos modelos cuantitativos en los que hay más de un estado de la naturaleza y donde cada estado debe estimarse o definirse para permitir el cálculo de los resultados condicionales de cada alternativa de decisión en cada estado; cuando riesgo e incertidumbre están implicados en el problema de decisión, se emplean los modelos probabilísticos cuantitativos (Krone, 1980; López, 2001).

En el programa IDRISI el comando STCHOICE (Elección Estocástica) crea un mapa estocástico de cubierta terrestre al evaluar las probabilidades condicionales de que cada cubierta terrestre pueda existir en cada ubicación de píxel en contra de una distribución aleatoria rectilínea de probabilidades. Esto se hace generando un número aleatorio. Las probabilidades condicionales para cada clase luego son sumadas comenzando con la primera imagen de la lista en el archivo de grupo. Se asigna la clase representada por la imagen que hace que la suma exceda el umbral aleatorio. La imagen resultante parecerá cubierta con bastantes pozos. Debido a que se introduce el elemento aleatorio, puede ser que la imagen de salida resulte diferente cada vez que se ejecuta el módulo (Eastman, 2003a).

4.3.1.6 Función de producción/función de respuesta

La función de producción o función de respuesta, es un modelo matemático que se estima mediante el análisis de regresión, y que permite expresar a una variable dependiente como una función continua de una o más variables independientes; para el caso de experimentos de productividad agrícola, la variable dependiente es el rendimiento del cultivo y las variables independientes, los diferentes factores que afectan a la variable de respuesta, con el fin de estimar la relación existente entre el rendimiento y los diversos factores (Volke, 1981).

La especificación del modelo matemático se realiza con base en un modelo teórico, de acuerdo con una teoría sobre la relación entre la variable de respuesta y los factores que la afectan, o un modelo empírico que parte de la observación de la forma de la relación entre la variable de respuesta y los factores que la afectan, de acuerdo con la información colectada en las condiciones experimentales

observadas y las no experimentales, aunque esto no excluye el conocimiento teórico que se tenga del fenómeno y las expectativas al respecto (Volke *et al.*, 2005).

En términos de la estimación de un mejor modelo de regresión, resulta fundamental proponer un modelo con base en la observación de la forma de la relación entre la variable de respuesta y los factores que la afectan, que permita ajustar un modelo lo más similar a lo verdadero (Volke *et al.*, 2005).

4.4 Sistemas de Información Geográfica y modelado

Los Sistemas de Información Geográfica son poderosas herramientas para la planeación de las actividades agropecuarias y forestales, entre otras, cuando se dispone de bases de datos espaciales que comprendan la variabilidad espacial de los factores físicos y biológicos que determinan o ayudan a determinar la aptitud de las tierras para la producción de especies vegetales y animales. Por ello es conveniente adiestrarse en sus características y aplicaciones, para tener un mejor entendimiento de sus potencialidades, dado el vertiginoso desarrollo de nuevas capacidades en el ambiente SIG. Para fines de la investigación que se describe en este estudio, el uso del SIG fue para, mediante el modelado cartográfico, determinar distintas aptitudes para la producción de maíz de temporal en el área de estudio, por lo que se anotan los conceptos de modelado matemático, de simulación y cartográfico, así como aquellos términos que se usan en la teoría de la decisión y la toma de decisiones.

4.4.1 Sistema de Información Geográfica/SIG

De acuerdo con Burrough (1991) un Sistema de Información Geográfica (SIG) es un conjunto de herramientas para coleccionar, almacenar, retroalimentar, transformar y desplegar datos espaciales del mundo real, descrito en un sistema de referencia (latitud, longitud) relacionado con la tierra, establecido para satisfacer necesidades de información específicas y respondiendo a un conjunto de preguntas concretas, por ejemplo: considerando la profundidad y pendiente del suelo con relación al cultivo de maíz ¿cuáles son las áreas de mejor aptitud?, ¿cuáles son las áreas marginales?, ¿dónde están? Ello hace de los SIG una potente herramienta de planificación cuando se dispone de una base de datos suficientemente amplia para los fines que se plantean (Barredo, 1996); una de sus aplicaciones más útiles en la planeación y manejo de recursos naturales, es el análisis y mapeo de la aptitud de la tierra, así como explorar un rango de escenarios posibles para que en la planificación y toma de decisiones se

prevean las consecuencias de los cursos de acción y ayudar a evitar que los errores sean irreversibles en el terreno (Burrough, 1991).

Componentes

La funcionalidad de los SIG (herramientas), se puede establecer a partir de los cuatro principales componentes o subsistemas:

- Entrada de datos. Se refiere al proceso de identificar y reunir los datos necesarios para una aplicación específica; incluye: mapas, cuadros, figuras, datos digitales existentes (datos de población, topografía, hidrología, clima, vegetación, infraestructura pública, etc.).
- Almacenamiento y manejo de datos. Este componente incluye las funciones necesarias para almacenar y recuperar datos de la base. Dicha base de datos en los SIG puede verse como la representación de un modelo de los sistemas geográficos del mundo real en un formato digital, es decir, un modelo de datos. Los datos espaciales se ordenan en dos formas: *raster* o *vector*. Los datos en formato *raster* se almacenan en celdas denominadas píxeles; en el formato *vector* los datos se representan por líneas, puntos y polígonos, de coordenadas. En la presente investigación se usa mayormente el formato raster en el programa IDRISI.
- Manejo de datos y análisis. Los datos se manejan y analizan para obtener información útil para una aplicación particular. Las funciones fundamentales incluyen mediciones, (re)clasificaciones, operaciones de overlay (sobreposición que genera una nueva capa o tema en función de dos o más capas) y escalares (sumas, restas, divisiones, multiplicaciones), y operaciones de conectividad (como el análisis de proximidad, que forma zonas equidistantes concéntricas) y vecindad.
- Salidas o productos resultantes (mapas, cuadros, histogramas, etc.).

Para ser útiles en la toma de decisiones espaciales, los SIG deben tener la capacidad de manejar datos estadísticos con base en modelos teóricos (Malczewski, 1999).

4.4.2 Modelado

4.4.2.1 Modelado matemático

El modelado matemático implica el uso de ecuaciones matemáticas que se pueden implementar en los SIG, o bien, ejecutarse en un modelo separado vinculado con un SIG (Johnston, 1998). Los dos mayores propósitos del modelado matemático en un ambiente SIG son la optimización y la simulación; básicamente cada una representa una aproximación diferente para resolver un problema.

4.4.2.2 Optimización y modelado

Un método de optimización es un método de modelado que busca encontrar la mejor solución (maximizar o minimizar) para un problema de manejo definido; éste es uno que se ha estructurado de modo que pueda utilizarse un método de optimización. La característica común en los métodos de optimización es la maximización o minimización de manera cuantificable; lo que usualmente se conoce como el *objetivo*, o *función criterio*; estos problemas típicamente tienen un conjunto de limitantes a la *variable de decisión*. El siguiente es un modelo de optimización:

$$\begin{array}{l} \text{Minimizar o maximizar } f(x) \\ \text{Sujeto a } x \in X \end{array}$$

Donde $f(x)$ es una función criterio, x es un conjunto de variables de decisión, y X es un conjunto de posibles alternativas; si el problema involucra una función criterio individual, el problema se denomina como un modelo de decisión de un criterio individual; cuando se optimizan más de una función criterio, al modelo se le llama como problema de decisión multicriterio.

4.4.2.3 Método de simulación

Un método de simulación es una metodología para interpretar información usando un modelo del sistema mundo real; la optimización inicia con la definición de los objetivos del sistema y especifica las acciones que satisfacerán esos objetivos al nivel óptimo; una vez que se establecen las condiciones óptimas se analiza la proximidad del punto óptimo para determinar el efecto de las variaciones en el

sistema; el método se resuelve repetidamente usando diferentes parámetros y diferentes variables de decisión cada vez; a medida que se cambian los valores, se obtiene un rango de soluciones para el problema, y se escoge la mejor solución dentro de ese rango (Malczewski, 1999).

De acuerdo con García (1999), los modelos de simulación de desarrollo de cultivos, pueden considerarse como una representación simplificada de los mecanismos físicos, químicos y biológicos de las plantas y los procesos de desarrollo de los cultivos.

4.4.2.4 Modelado cartográfico

El modelado cartográfico comprende el análisis con SIG de datos espaciales con operaciones matemáticas o booleanas, con frecuencia usadas para identificar áreas con características únicas de combinación en mapas con entidades georreferenciadas (por ejemplo la aptitud de la tierra para la producción de cultivos agrícolas) (Johnston, 1998).

Las operaciones en el SIG o en el modelo se pueden hacer por separado o estrechamente asociados con un programa de cómputo que los vincule de modo que los datos pasen del modelo al SIG o viceversa (Johnston, 1998).

De acuerdo con Eastman (2003b), un modelo cartográfico es una representación gráfica de los datos y procedimientos analíticos que se usan en un estudio; su propósito es auxiliar en la organización del análisis y estructurar los procedimientos necesarios, así como identificar los datos necesarios para el estudio; y sirve como fuente de consulta y de referencia para el análisis.

4.5 Teoría de la decisión

Como expresa Baron (2005) con respecto a la teoría de la decisión, la idea básica es que se pueda entender lo que la gente hace, asumiendo que ellos se comportan racionalmente como individuos.

La teoría de la decisión se ocupa de analizar cómo elige una persona aquella acción que, de entre un conjunto de acciones posibles, le conduce al mejor resultado, dadas sus preferencias. El paradigma canónico de la teoría de la decisión se caracteriza por contar con un individuo que ha de tomar una

decisión (cualquiera) y de quien se dan por supuestas sus preferencias; así la teoría de la decisión no entra a considerar la naturaleza de las preferencias de los individuos, ni por qué éstos prefieren unas cosas en vez de otras; lo único que importa es que dichas preferencias satisfagan ciertos criterios básicos de consistencia lógica, entre los que cabe destacar, por su importancia, los siguientes:

- Transitividad: para todo X, Y y Z , si X es preferida estrictamente a Y , Y es preferida estrictamente a Z , X será preferida a Z ,
- Exhaustividad: para todo X y todo Y , o bien X es preferida a Y , o Y es preferida a X , o el individuo es indiferente a ellas,
- Asimetría: si X es preferida estrictamente a Y , Y no es preferida estrictamente a X ,
- Simetría de las diferencias: para todo X e Y , si X es indiferente a Y , Y es indiferente a X .

El segundo criterio corresponde a lo que Ferguson y Gould (1984) refieren en “la teoría de la preferencia del consumidor” como la condición: para dos conjuntos de bienes cualesquiera, A y B , la unidad consumidora puede determinar cuál proporciona mayor satisfacción; si A proporciona más satisfacción que B , se dice que A es preferido a B , y si B provee mayor satisfacción que A , se dice que B es preferida a A ; si ambos conjuntos proporcionan la misma satisfacción, se dice que el consumidor es indiferente entre A y B , y si A es indiferente o equivalente a B , B es indiferente a A .

Si estos cuatro requisitos no se cumplen a la vez, será imposible saber qué es lo que el individuo prefiere; no se podrán ordenar, jerarquizar, sus preferencias, y la teoría de la decisión considerará que dicho individuo no elige racionalmente, es decir, de forma lógica y consistente. Cumplir con el requisito de la transitividad implica que no se tome una decisión de tal manera que se resulte perjudicado eligiendo al principio opciones que se prefieran más, X frente a Y , e Y frente a Z , para terminar con una mala opción si elegimos Z frente a X . La exhaustividad exige que el sujeto compare entre sí todas sus opciones y se decida por una de ellas o manifieste su indiferencia (que es una forma de decisión). A la vez, la simetría y la asimetría resultan evidentes de por sí y no parecen imponer una exigencia lógica desmedida al individuo que ha de elegir entre varias opciones: si el individuo es indiferente entre la opción A y la B (o entre la C y la D) no se puede afirmar que prefiera a B sobre A (o a C sobre D); si prefiere estrictamente a B sobre A , se dudará de su coherencia si afirma, a la vez, que también prefiere

a A sobre B. Así pues, si estos requisitos se cumplen, se podrá atribuir al individuo una función de utilidad, es decir, un índice o número a cada una de sus preferencias, de forma que se puedan ordenar de menor a mayor, de lo menos preferido a lo más preferido (Aguilar, 2004).

Tipos de decisión

La decisión puede ser:

- Bajo riesgo: se refiere a conocer el riesgo.
- Bajo incertidumbre: cuando hay riesgo, la incertidumbre es la percepción particular que se tenga del riesgo de una decisión, o de no saber lo que puede ocurrir u ocurra un año dado (en el caso de cultivos: por clima, por precios, etc.), y el productor responde de una manera determinada a ello, según su percepción y capacidad de enfrentar el riesgo

Según Krone (1980), cuando se puede especificar la probabilidad de estados futuros de la naturaleza, entonces es posible obtener la decisión bajo riesgo calculado. Luego, el riesgo es esencialmente el valor esperado de lo que se podría perder.

La decisión bajo riesgo se refiere a la condición en la que hay un número dado de estados de la naturaleza y el decisor conoce la probabilidad de ocurrencia de cada uno de ellos (Thierauf, 1978). Por ejemplo, según Agroasemex (2006), por sus propias características y la ubicación geográfica del país, la actividad agrícola en México es altamente vulnerable a la presencia de eventos climáticos extremos, principalmente asociados al exceso o falta de precipitación pluvial. Así, 98% del riesgo de base catastrófico que enfrenta el país responde a sequías principalmente, y que se agrava por la corriente de *El Niño*, y fenómenos ciclónicos.

La decisión bajo incertidumbre se refiere a que las probabilidades de ocurrencia para los distintos estados de la naturaleza se desconocen (Thierauf, 1978). El uso de nuevas variedades híbridas de maíz en lugar de las variedades criollas es un ejemplo de una decisión bajo incertidumbre. Cuando la probabilidad calculada para un estado de la naturaleza es menor que 1.0, se está trabajando en una decisión bajo incertidumbre (Krone, 1980). De acuerdo con Isaaks y Srivastava (1989), las palabras incertidumbre, fiabilidad, confianza, giran alrededor del reconocimiento de que el valor de probabilidad reportado es, en más de un sentido, solo un supuesto razonable de lo que el desconocido valor podría

ser y se tiene la esperanza de que ese valor esté cerca del valor verdadero, sin embargo se reconoce que cualquier método que se use para determinarlo, tendrá siempre algo de error. Cano (1971) menciona que el hombre debe hacer planes para el futuro aún cuando no pueda calcular la probabilidad de los hechos futuros, y luego decidir que resultado es el más probable y con base a ese resultado planificar sus actividades.

4.5.2 Decisión en el entorno de los SIG.

Como menciona Fallas (2002), la literatura en el tema de toma de decisiones se caracteriza por la ausencia de consenso en cuanto a la definición de sus términos y conceptos. Por tanto, se presentan algunos conceptos tomados principalmente de Eastman (2003a).

4.5.2.1 Decisor

Es aquella persona que se plantea el problema de decisión

4.5.2.2 Analista

Es aquella persona que utiliza todos sus conocimientos y toda la información disponible por parte del decisor para ayudar a éste en su toma de decisión (Font, 2000).

4.5.2.3 Decisión

La decisión es una elección entre alternativas; las alternativas pueden representar diferentes caminos de acción, diferentes hipótesis sobre la naturaleza de una característica, diferentes clasificaciones, etc. Un proceso de decisión exitoso resulta en el desarrollo de decisiones y en la ejecución de esfuerzos que apoyan los objetivos de una organización, como es el caso de una unidad familiar de producción (National Research Council, 1999; Eastman, 2003a).

4.5.2.4 Criterio

Un criterio es la base para una decisión que puede medirse y evaluarse, y puede ser de dos tipos: factores y limitaciones o restricciones; también se puede decir que es un juicio estándar o una regla

para probar la deseabilidad de decisiones alternativas; también es un término genérico que incluye objetivos y atributos, y cualquier problema de decisión multicriterio implica un conjunto de objetivos, un conjunto de atributos, o ambos. No obstante, la distinción entre objetivos y atributos es de la mayor importancia en el proceso de toma de decisiones (Malczewski, 1999; Eastman, 2003a).

4.5.2.5 Factor

Un factor es un criterio que mejora o reduce la aptitud de una alternativa específica para la actividad en consideración, y comúnmente se mide en una escala continua. También se le conoce como variable de decisión en la literatura de programación matemática; la pendiente del suelo es un factor que puede afectar la aptitud de un terreno para la siembra de cultivos (Eastman, 2003a).

4.5.2.6 Restricciones/limitantes

Una restricción sirve para limitar a las alternativas en consideración, como puede ser, por ejemplo, la exclusión de áreas con más de 12% de pendiente del suelo para la producción comercial de maíz (Eastman, 2003a).

4.5.2.7 Regla de decisión

Una regla de decisión es el procedimiento por el cual se eligen y combinan los criterios para llegar a una evaluación particular, y por el cual son comparadas y aplicadas las evaluaciones.

4.5.2.8 Atributo(s)

Son las propiedades de los elementos del sistema del mundo real o también una cantidad o calidad medible en un sistema (Malczewski, 1999), o también son aquellos valores que el decisor utiliza para caracterizar las distintas alternativas, es decir, las componentes, características y propiedades de los objetos estudiados en el proceso de decisión y se usa para medir el desempeño del atributo en relación a un objetivo. Estos valores pueden medirse con relativa independencia de los deseos y necesidades del decisor, siendo generalmente susceptibles de expresarse como una función matemática de las variables de decisión. Cuando el número de atributos es muy grande, éstos suelen presentarse en una estructura jerárquica (Font, 2000).

4.5.2.9 Alternativa

Es cada uno de los objetos, decisiones o proyectos mutuamente excluyentes que serán explorados en el proceso de decisión; muy pocos estudios se han dedicado a la generación de alternativas (Font, 2000).

4.5.2.10 Objetivo

El objetivo es una perspectiva o propósito que sirve para guiar la estructuración de las reglas de decisión, o también es la afirmación acerca del estado deseado del sistema bajo consideración. Los objetivos están funcionalmente relacionados a los atributos, o se derivan de ellos (Malczewski, 1999; Eastman, 2003a).

4.5.2.11 Evaluación

Es el proceso de aplicar la regla de decisión (Eastman, 2003a).

4.5.3 Toma de decisiones

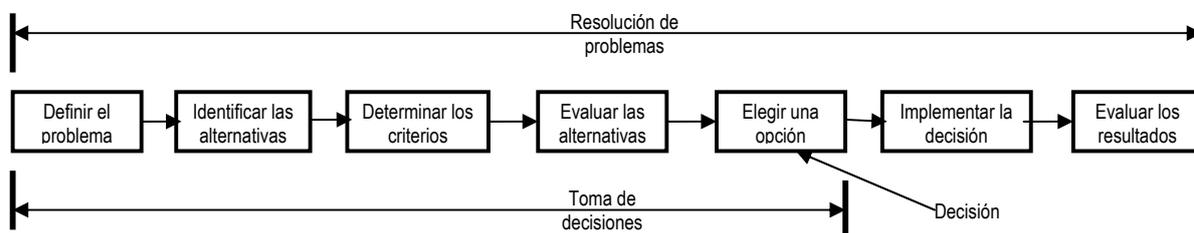
4.5.3.1 Toma de decisiones

La toma de decisiones consiste en que alguien denominado decisor (o grupo de decisores), para alcanzar ciertos objetivos, debe determinar, conjuntamente con el apoyo de un analista de sistemas, la alternativa que cumpla en mayor medida con sus expectativas, es decir, su mejor decisión (Elineema, 2002). En la unidad familiar son generalmente el esposo y la esposa quienes toman las decisiones.

Para Trewatha y Newport (1979), la toma de decisión implica la selección de un curso de acción de entre dos o más alternativas posibles, para así llegar a la solución de un problema dado. Para estos autores, las etapas del proceso de toma de decisiones incluyen:

1. definir el problema de acuerdo a los objetivos perseguidos,
2. identificar soluciones alternativas,
3. analizar las posibles consecuencias de cada alternativa, y
4. seleccionar una alternativa para su implementación subsiguiente.

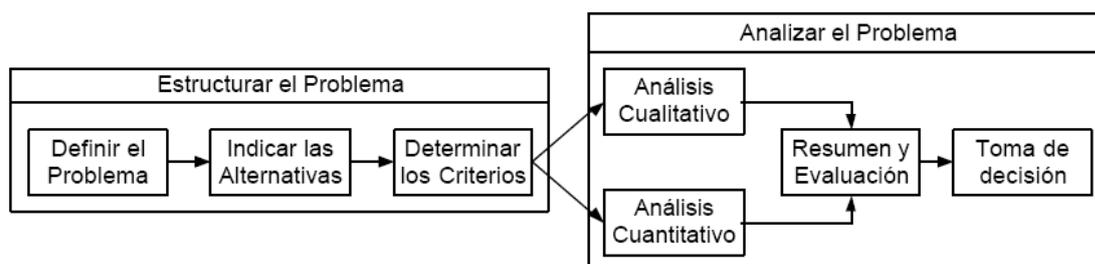
De acuerdo con Toskano (2005), el proceso de la toma de decisiones puede representarse con el modelo de la Figura 2.



Fuente: a partir de Toskano (2005).

Figura 2. Proceso de la toma de decisiones.

Las tres primeras fases del proceso decisorio constituyen la “estructuración del problema” y las dos últimas fases son el “análisis del problema”, las cuales se representan en la Figura 3.



Fuente: a partir de Toskano (2005)

Figura 3. Estructura y análisis del problema en la toma de decisiones.

Según Taha (1995), cuando los modelos se formulan y resuelven disponiendo de información *perfecta*, se dice que la toma de decisiones se hace bajo condiciones de certeza; la disponibilidad de información *imperfecta* o parcial de un problema lleva a dos nuevas categorías de casos en la toma de decisiones:

1. Decisiones con riesgo, y
2. Decisiones con incertidumbre.

Esto resume lo presentado antes sobre riesgo e incertidumbre. Según Aguiar (2004) La distinción entre riesgo e incertidumbre fue establecida por F. Knight en 1921, quien en su obra *Risk, Uncertainty and*

Profit se refería a la primera como aquella situación en la que no existe certeza sobre el resultado de la decisión, aunque se conoce la probabilidad de los distintos resultados alternativos. Las situaciones de incertidumbre se caracterizarían, en cambio, por el hecho de que no sólo desconocemos el resultado final, sino que no podemos predecirlo en términos de probabilidades objetivas.

Toma de decisión bajo riesgo

En la categoría de decisiones con riesgo, el conocimiento de un fenómeno o presencia de algo se expresa como una función densidad de probabilidad que presenta datos, mientras que en la segunda categoría de decisiones, con incertidumbre, no puede disponerse de ninguna función densidad; en otras palabras, desde el punto de vista de disponibilidad de información, la *certeza* y la *incertidumbre* representan los casos extremos, mientras que el *riesgo* es la situación intermedia entre ellos; se le puede definir como la probabilidad de que una variable de interés, como puede ser el rendimiento de un cultivo o el ingreso, caiga por debajo de un valor crítico debido al efecto de un factor aleatorio; el riesgo estima, con base en la distribución de la variable de interés, la probabilidad de que ella tome un valor igual o menor a un valor crítico en un año determinado (Volke, 1988). Las decisiones bajo riesgo implican situaciones en las que las probabilidades que se asocian con el resultado potencial son conocidas para los distintos estados de la naturaleza; es decir, no se dispone de información perfecta, pero se puede estimar la probabilidad de ocurrencia (Markland y Sweigart, 1987).

Toma de decisión bajo incertidumbre

Como se mencionó antes, la decisión bajo incertidumbre se refiere a que las probabilidades de ocurrencia para los distintos estados de la naturaleza se desconocen (Thierauf, 1978).

En una situación de decisión, existen dos tipos básicos de incertidumbre: la asociada con información limitada, acerca de un factor o un resultado; y la incertidumbre asociada a información imprecisa; es decir, que los problemas de decisión bajo incertidumbre se pueden dividir en probabilísticos (estocásticos) y de decisión fuzzy o difusos (Malczewski, 1999).

El desconocimiento del valor que puede tomar el factor aleatorio causante de riesgo en un futuro inmediato da lugar a lo que se conoce como incertidumbre, entendida en términos de lo que puede

ocurrir con el factor causante de riesgo y sus consecuencias sobre lo que se persigue (Volke, 1988). Las decisiones bajo incertidumbre implican situaciones en las que las probabilidades que se asocian con el resultado potencial no son conocidas o no pueden estimarse (Markland y Sweigart, 1987).

De acuerdo con Malczewski (1999), en el análisis de decisión la estrategia básica consiste en dividir el problema de decisión en partes pequeñas e incluso inentendibles; se analiza cada parte y se integran (las partes) de una manera lógica para producir una solución coherente. Según este autor, mucho del enfoque en el desarrollo del análisis de decisión se hizo en la investigación operativa.

4.5.3.4 Decisión espacial

A los problemas de decisión que implican datos geográficos (con coordenadas de latitud-longitud) se les refiere como problemas de decisión espacial o geográfica; y se dice que un dato es geográfico si se le puede asociar con un sitio o localidad.

4.5.3.5 Toma de decisiones multicriterio

Se puede entender a la toma de decisiones multicriterio como un conjunto de conceptos, aproximaciones, modelos y métodos, para auxiliar a los decisores a describir, evaluar, ordenar, jerarquizar, seleccionar o rechazar objetos con base en una evaluación expresada por puntuaciones, pesos o intensidades de preferencia de acuerdo a varios criterios (Barredo, 1996).

Una manera básica de saber si los métodos y técnicas de toma de decisiones son buenos, es que la decisión permanezca fuerte, sólida, a posteriori, de acuerdo con los resultados, donde el término fuerte significa que la decisión consideró todos los resultados posibles y sus probabilidades de ocurrencia y que no hubo otra mejor decisión con la información disponible u obtenible en su momento (National Research Council. 1999).

4.6 Evaluación multicriterio (EMC)

De acuerdo con Pietersen (2006), el objetivo general de la evaluación multicriterio es auxiliar al decisor a escoger la mejor alternativa entre un rango de alternativas en un entorno de criterios en competencia y conflicto; y los objetivos pueden ser económicos, ambientales, sociales, institucionales, técnicos y

estéticos (Montis, A. de, et al., 2000); cuando las decisiones implican alcanzar varios objetivos o criterios, ellas se denominan decisiones multiobjetivo o decisiones multicriterio, respectivamente (Elineema, 2002).

De acuerdo con Chakhar (2003), casi todas las técnicas de EMC consisten en una primera etapa, del diseño de una matriz con los criterios y las alternativas definidos; la siguiente etapa consiste en la agregación de las distintas puntuaciones de los criterios, con el uso de algún procedimiento de agregación (la aplicación de alguna técnica de EMC) específico, tomando en cuenta la preferencia de los decisores expresada en término de pesos que se asignan a los diferentes criterios; ese procedimiento o técnica permite al decisor comparar entre las diferentes alternativas con base a los pesos asignados.

Evaluación multicriterio en la Investigación Operativa

La investigación en programación matemática tradicional (programación lineal operativa), en el modelado de las decisiones agrícolas, descansa en ciertos supuestos básicos acerca de la situación modelada y el decisor mismo; así, un supuesto fundamental es que el decisor busca optimizar un objetivo individual bien definido; sin embargo, usualmente el decisor esta buscando una decisión óptima entre distintos objetivos, muchos de los cuales pueden estar en conflicto entre sí (Romero y Rehman, 1989). En este tipo de investigación (operativa) los economistas prefieren el uso de modelos rígidamente estructurados (Johnson, 1984), sin embargo, cuando se trata de decisiones que deben tomar los productores agropecuarios, especialmente de producción bajo condiciones de riesgo e incertidumbre, esos modelos de programación operativa o lineal suelen ser incapaces de considerar o interpretar adecuadamente los objetivos y metas de aquellos.

Según Tkach y Simonovic (1997), la evaluación de alternativas mediante las técnicas multicriterio se basa en valores de criterios asociados a cada alternativa y los objetivos y preferencias de los decisores; los criterios pueden ser de naturaleza cuantitativa o cualitativa, y con frecuencia exhiben variabilidad espacial. Las técnicas convencionales de EMC, como la programación compromiso no tienen la capacidad de abocarse a la irregular distribución espacial de los valores de los criterios en la evaluación de alternativas. Por ello, en el siguiente apartado se tratará de las evaluaciones multicriterio en el ambiente de los SIG que sí pueden considerar la variabilidad espacial de los atributos.

4.6.1 Técnicas de evaluación multicriterio

De acuerdo con Tkach y Simonovic (1997), las técnicas multicriterio se caracterizan por una gran diversidad metodológica y pueden agruparse en tres principales grupos de técnicas: a) de ordenamiento o jerarquías; b) de utilidad multiatributo o multicriterio, y c) técnicas de programación matemática. Las primeras requieren de comparaciones pareadas o globales entre alternativas, y no son prácticas cuando el número de alternativas es grande; las segundas se basan en modelos multiplicativos simples o aditivos para agregar o agrupar criterios simples y por ello no son adecuados para analizar sistemas ambientales complejos; las terceras se utilizan en un contexto continuo para identificar soluciones muy cercanas a la solución ideal introduciendo la medida de la distancia en unidades métricas (Bocco *et al.*, 2002); éstas técnicas se desarrollaron en el enfoque de la programación lineal (investigación operativa).

Según Ávila (2002) y Toskano (2005), los principales métodos de evaluación y decisión multicriterio discreto son: Ponderación Lineal, Utilidad Multiatributo (MAUT), Relaciones de Superación y AHP.

4.6.1.1 Ponderación lineal

La ponderación lineal es un método que permite abordar situaciones de incertidumbre o con pocos niveles de información, y es un método fácil y utilizado ampliamente en el mundo; en este método se construye una función de valor para cada una de las alternativas y es completamente compensatorio y puede resultar dependiente y manipulable en la asignación de pesos a los criterios o en la escala de medida de las evaluaciones.

4.6.1.2 Utilidad Multiatributo

En la utilidad multiatributo, para cada atributo se determina la correspondiente función de utilidad (parcial), y luego se agregan en una función de utilidad multiatributo de forma aditiva o multiplicativa; al determinarse la utilidad de cada una de las alternativas se obtiene una ordenación completa del conjunto finito de alternativas. El método de utilidad multiatributo supone la transitividad de preferencias o la comparabilidad, utiliza “escalas de intervalo”, y acepta el principio de “preservación de orden” (rank preservation). La condición de independencia preferencial mutua entre los atributos suele aceptarse casi axiomáticamente, e implícitamente es cuestionable y no refleja la estructura de preferencias del agente decisor. El rigor y rigidez de los supuestos teóricos de este método usualmente son

controvertidos y difíciles de contrastar en la práctica, lo que obliga a relajarlos, aunque permiten abordar fluidamente cuestiones de incertidumbre y riesgo.

4.6.1.3 Relaciones de superación

Las relaciones de superación usan como mecanismo básico el de las comparaciones binarias de alternativas, es decir comparaciones de dos en dos de las alternativas, y de dos en dos de los criterios. De esta forma puede construirse un coeficiente de concordancia C_{ik} asociado con cada par de alternativas (a_i, a_k).

Existen dos métodos de la escuela francesa: ELECTRE y PROMETHEE. Del método ELECTRE (Elimination et Choix Traduisant la Réalité) se encuentran disponibles varias versiones que usan pseudocriterios y la teoría de conjuntos difusos. El método PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation) se ha aplicado, con predicción para problemas de ubicación.

4.6.1.4 El Proceso de Análisis Jerárquico

El AHP fue desarrollado por el matemático Thomas Saaty, y consiste en formalizar la comprensión intuitiva de problemas complejos mediante la construcción de un modelo jerárquico. El propósito del método es permitir que el agente decisor pueda estructurar un problema multicriterio en forma visual, mediante la construcción de un modelo jerárquico que básicamente contiene tres niveles: meta u objetivo, criterios y alternativas (Ávila, 2002; Toskano, 2005)

Una vez construido el modelo jerárquico, se realizan comparaciones en pares entre dichos elementos (criterios-subcriterios y alternativas) y se atribuyen valores numéricos a las preferencias señaladas por las personas, entregando una síntesis de las mismas mediante la agregación de esos juicios parciales. El fundamento del proceso de Saaty descansa en el hecho que permite dar valores numéricos a los juicios dados por las personas, logrando medir cómo contribuye cada elemento de la jerarquía al nivel inmediatamente superior del cual se desprende. Para estas comparaciones se utilizan escalas de razón en términos de preferencia, importancia o probabilidad, sobre la base de una escala numérica propuesta por el mismo Saaty, que va desde 1 hasta 9. Una vez obtenido el resultado final, el AHP permite llevar a cabo un análisis de sensibilidad (Ávila, 2000).

4.6.2 Evaluación multicriterio en el entorno de los Sistemas de Información Geográfica

En el entorno de los SIG, la EMC se logra comúnmente a través de uno de dos procedimientos diferentes: el primero que implica una supercapa booleana, por la cual todos los criterios se reducen a declaraciones lógicas de adecuación y luego combinados por uno o más operadores como la intersección (AND) y la unión (OR); el segundo se conoce como *combinación lineal ponderada* (WLC) donde los criterios continuos (factores) se estandarizan en un rango numérico común, y luego se combinan por medio de un promedio ponderado. El resultado es un mapa de aptitud continua que puede ser acotado por una o más limitaciones booleanas e imponer finalmente un umbral para producir una decisión final (Eastman, 2003a).

La EMC se puede realizar mediante el uso de los SIG con alguna técnica multicriterio, como el álgebra booleana, la lógica difusa o el Proceso Jerárquico Analítico (con o sin el uso de los SIG), o bien por medio de la investigación operativa.

4.6.2.1 Álgebra booleana

Según Malczewski (1999), con el álgebra booleana se genera un nuevo mapa a partir de dos o más mapas de entrada mediante operadores lógicos como: intersección (AND), unión (OR) y complemento (NOT); dichos operadores se ejecutan en variables y pueden tomar dos estados: presencia o ausencia, denotados por valores de 1 y 0, respectivamente. El operador AND en dos conjuntos A y B es similar a multiplicar A por B; el operador OR equivale a la suma de A y B; y NOT se entiende como el inverso; es decir, si $A=0$, entonces $B=1$ y viceversa, como se ve en la Figura 4.

AND (C=A*B)		
A	B	C
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

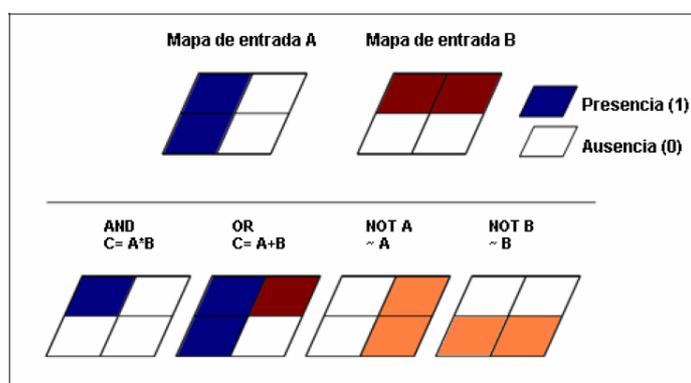
OR (C=A+B)		
A	B	C
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

NOT	
A	B
0	1
1	0

Fuente: Malczewski (1999).

Figura 4. Operaciones básicas de álgebra booleana.

Gráficamente se puede representar a estas operaciones como se muestra en la Figura 5.



Fuente: Malczewski (1999); Olivas (2006)

Figura 5. Representación booleana de dos mapas

El uso del método booleano en la modelación espacial provoca la acumulación y propagación de errores que se acentúan al no considerar el peso de los factores de estratificación; por ejemplo, supóngase que los factores relevantes para la producción de un determinado cultivo bajo condiciones de riego son intervalos definidos de temperatura, profundidad de suelo y pendiente del terreno. Al delimitar las áreas aptas para dicho cultivo, de acuerdo con cada uno de los factores mencionados, se observa que toda el área en estudio es apta por temperatura, sin embargo, se reduce en 50% al restringir el área por la pendiente del terreno y en 75% al considerar además la profundidad del suelo. Si en la realidad la temperatura es el factor con mayor impacto en el rendimiento del cultivo, mientras que la profundidad y la pendiente del suelo tienen poco impacto en el rendimiento del mismo, se puede asumir que una cantidad de superficie se descarta, por efecto de la profundidad y la pendiente, a pesar de ser casi tan buena como la seleccionada (García *et al.*, 1999).

4.6.2.2 Lógica difusa (fuzzy) o límites de transición gradual

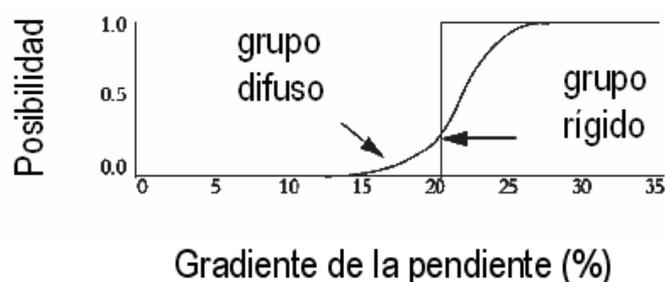
El análisis de aptitud de la tierra se ocupa de factores que son continuos en la naturaleza, como son las características del suelo y las variables climáticas. Por consecuencia, con el uso de la lógica booleana es muy difícil modelar cuando la información con respecto a un fenómeno es totalmente desconocida, y no se debe aplicar cuando ella es imprecisa e incompleta. En esta situación la lógica difusa es una técnica cartográfica que ayuda a la representación más exacta de la información imprecisa, incompleta

o incierta, implícita en la opinión de los expertos en la toma de decisiones (Prakash, 2003). La teoría matemática de la lógica difusa fue propuesta por Zadeh en 1965, y se basa en la existencia de diferentes grados de pertenencia entre lo falso y lo verdadero (deseado, no deseado; apto, no apto); es decir, valores como “moderado”, “bajo”, “alto”, entre otros (variables lingüísticas), en lugar de expresarse como “sí” o “no” similar al concepto del álgebra booleana. Mediante la lógica difusa, un problema se puede representar en términos de conjuntos difusos, los cuales pueden derivarse de procedimientos cuantitativos o cualitativos (Prakash, 2003).

Sirva el siguiente ejemplo para aclarar el concepto “difuso”, ¿qué es una pendiente suave? Si se especifica que una pendiente es suave cuando tiene una gradiente menor a 5%, ¿significa esto que una pendiente de 5.5 o 4.5 o 4.0% no es suave? Obviamente no hay un criterio bien definido aquí. Esos grados de asignación a una clase se denominan función de pertenencia o función de membresía (Zhu *et al.*, 2001; Eastman, 2003a).

Con relación a los estudios sobre la aptitud de la tierra, la condición básica en la aplicación de la metodología de la lógica difusa, o de límites de transición gradual, es determinar las funciones de pertenencia o de membresía de las propiedades relevantes de la tierra y la asignación de un valor ponderado a cada función de membresía para la determinación de la aptitud total (Davison *et al.*, 1994, citados por García *et al.*, 1999).

En la Figura 6 se muestra un ejemplo de los límites de transición gradual o difusos y de un límite rígido como es la lógica booleana:



Fuente: Eastman (2003a).

Figura 6. Límites de transición gradual o difusos y un límite rígido.

Cuando se usa el enfoque fuzzy o de límites difusos para la estandarización de factores, se define el grado de membresía usando números fuzzy; éstos son un conjunto de valores graduales, definido en el entorno de los números reales, que poseen las cualidades de normalidad y convexidad y que además proporcionan las bases para definir variables lingüísticas o variables fuzzy. Así, los números fuzzy son estados de una variable lingüística representados por conceptos como “muy buena”, “buena”, “mediana” y “baja” productividad (Malczewski, 1999).

Aunque la lógica difusa es una técnica cartográfica que ayuda a la representación más exacta de la información imprecisa, incompleta o incierta, implícita en la opinión de los expertos en la toma de decisiones, como se anota antes, una aceptación de límites imprecisos en la función de membresía sin un análisis exhaustivo de los requerimientos edafoclimáticos puede orillar a la obtención errada de tierras aptas para la producción de alguna especie vegetal.

4.6.2.3 Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) y combinación lineal ponderada

La técnica AHP para la asignación de pesos de importancia, de acuerdo con las preferencias del decisor e implementada en el programa IDRISI, es la de comparaciones por pares desarrollada por Saaty (1980) en el contexto de un proceso de toma de decisión conocido como el Proceso de Análisis Jerárquico. En ella los pesos pueden derivarse tomando el *vector principal o de prioridades* (eigenvector) de una matriz recíproca cuadrada de comparaciones por pares entre criterios; las comparaciones se ocupan de la importancia relativa de los dos criterios involucrados al determinar la adecuación para el objetivo planteado. Los puntajes se asignan en una escala continua del 1 al 9 en una matriz de comparación que considera también los recíprocos de esos puntajes (ver la sección 5.2.3.2 *Elementos del AHP*). En el programa IDRISI se ha desarrollado un módulo especial llamado WEIGHT para calcular el *vector de prioridades* directamente. Es de observar que estos pesos sumarán uno, como lo requiere el procedimiento de combinación lineal ponderada (WLC).

La *combinación lineal ponderada* (WLC) es un procedimiento o técnica para la EMC, donde los criterios continuos (*factores*) se estandarizan en un rango numérico común, y luego se combinan por medio de un promedio ponderado. El resultado es un mapa de aptitud continua que luego puede recortarse por una o más restricciones booleanas para dar lugar a los criterios cualitativos, y finalmente se impone un

umbral o limitante para producir una decisión final. A pesar de que estos dos procedimientos están bien establecidos en los SIG, frecuentemente conducen a resultados diferentes porque realizan declaraciones muy diferentes acerca de cómo deben evaluarse los criterios (Eastman, 2003a).

4.7 Planeación/Planificación

Usualmente por planeación se entiende a la acción y efecto de trazar un plan y planificación como el plan general para obtener un objetivo determinado, en esta investigación se usarán como sinónimos, aunque generalmente la planificación se proyecta a mediano y largo plazo y la planeación a corto plazo; en la agricultura las actividades agrícolas durante el ciclo de producción son ejemplo de planeación.

La *planificación* es un ejercicio de previsión y toma de decisiones que examina sistemáticamente propuestas de acción alternativas para alcanzar determinadas metas y objetivos, y comprende la descripción de la futura situación deseada y de las acciones necesarias para materializar esa situación (FAO, 1994), y tiene los siguientes atributos: a) es un proceso, es decir, una actividad continua, b) implica la preparación de planes alternativos, c) se orienta al futuro en términos de corto, mediano y largo plazo, y d) da un valor alto al enfoque racional (Dinahuer *et al.*, 1979).

Cuando se aplica al aprovechamiento de la tierra se refiere a la evaluación sistemática de los factores físicos, sociales y económicos que es preciso ponderar para ayudar a los usuarios de la tierra en su búsqueda de los mejores medios para alcanzar un bienestar de carácter duradero, en el respeto de la sostenibilidad de los recursos, y satisfaciendo las necesidades de la colectividad (FAO, 1994).

De acuerdo con Annetts y Audsley (2002), la planeación estratégica en la unidad de producción considera escoger los mejores sistemas, asociaciones de cultivos, mano de obra e insumos cada año, sujetos a limitantes o restricciones; el mejor plan debe ser sustentable a largo plazo, no solo en un año; las principales restricciones físicas en la unidad de producción son el clima particular y las características del suelo en la localidad; además, el productor ha desarrollado preferencias de acuerdo con su experiencia, por el cultivo a sembrar, rotaciones de cultivos, sistema de cultivo, siembra y cosecha, dosis de fertilizantes, plaguicidas y otros químicos y las fechas de las labores; la planeación agrícola debe satisfacer tres criterios generales: físicamente factible, económicamente eficiente y culturalmente aceptable (Castillo, 2001).

En la toma de decisiones, la planeación agrícola considera las siguientes etapas (Friedmann, 2001):

- formulación de metas y objetivos.
- identificación y diseño de las principales alternativas para alcanzar las metas identificadas en la situación de toma de decisiones.
- predicción de las principales consecuencias que se esperan al adoptar cada una de las alternativas.
- evaluación de las consecuencias en relación con los objetivos deseados.
- decisión basada en la información proporcionada en las etapas anteriores.
- implementación de la decisión.
- valoración a la luz de la nueva situación para la toma de decisiones.

Entendida así, la planificación es aplicable a empresas e instituciones públicas y privadas que con alguna frecuencia hacen una valoración de su toma de decisiones, sin embargo, cuando a la planificación se la quiere identificar con el proceso de toma de decisiones que suelen hacer los campesinos de México, mayormente los minifundistas, las etapas deberán adecuarse a sus condiciones económicas, sociales y de cultura.

En este sentido, es importante lo que reportan Steiner *et al.* (1982), quienes afirman que hay dos tipos básicos de planeación: una planeación intuitiva basada en el pensamiento reflexivo y una planeación formal. La primera usualmente es el trabajo de una sola persona, puede o no resultar en un conjunto de planes escritos y se basa en experiencias pasadas, en un sentido de la intuición; en contraste, la planeación formal se organiza y desarrolla con base en un conjunto de procedimientos, es explícita en el sentido de que la gente conoce lo que se está haciendo, se basa en la investigación, implica el trabajo de mucha gente y típicamente resulta en un conjunto de planes escritos.

V. MARCO TEÓRICO DE LA METODOLOGÍA

Las metodologías de EMC son útiles para ayudar a la toma de decisiones en la planeación de las actividades agropecuarias y forestales, y los resultados obtenidos se pueden aplicar para mejorar alguna o algunas de las etapas de la planeación, documentarse y hacerse públicos para su difusión en el área de influencia de ellos; para ello se debe anotar la metodología y documentación usada, especificando metas, objetivos, alternativas, factores y criterios y cómo influyen en las decisiones; estas metas deben estar sujetas a revisiones críticas continuamente, toda vez que son ellas las que ayudan a la toma de las decisiones (National Research Council. 1999), especialmente en ambientes de decisiones complejas, como son las de los productores minifundistas.

De las técnicas de EMC, para los fines de esta investigación, interesa particularmente la del AHP, por ser la mejor fundamentada estadísticamente y actualmente una de las de mayor uso en el mundo. Por ello se hará una breve revisión de resultados de la aplicación del AHP tanto como técnica de la investigación operativa convencional como en el entorno de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

5.1 Evaluación multicriterio en la investigación operativa

Norris (1992) desarrolló un estudio cuyo propósito fue evaluar la importancia relativa de seis técnicas de manejo de empresas para mejorar la eficiencia y efectividad de la manufactura (reducción de tiempo, tecnología de grupo, uniformidad en las plantas, sistema de arrastre, mantenimiento preventivo total y compras). Para ello utilizó el AHP, el cual requiere que el problema se reduzca a una estructura jerárquica en la que el nivel superior es la meta, es decir, mejorar la eficiencia y efectividad del manufacturado; el siguiente nivel son las sub-metas u objetivos, es decir, los aspectos que deben mejorarse (reducción de existencias, mejoramiento de la calidad e incremento de la productividad); el tercer nivel corresponde a las seis técnicas que se podrían introducir separadamente al proceso de manufacturado (es decir, son las alternativas).

A nivel general, se observó que la sub-meta u objetivo más importante para alcanzar la meta general fue incrementar la productividad con una importancia relativa de 55.0%; en el tercer nivel de las alternativas en lo general el más importante fue el mantenimiento preventivo total con 21.0% de

importancia relativa; sin embargo, a nivel de alternativas con relación a cada una de las tres sub-metas, se obtuvo que, si lo que interesa es reducir el inventario de existencias, la alternativa más importante es la reducción del tiempo para armar una máquina; si lo que interesa es mejorar la calidad entonces la alternativa más importante es el mantenimiento preventivo total; pero si lo que interesa es incrementar la productividad, entonces la alternativa más importante es la reducción del tiempo necesario para armar una máquina. El autor concluye que los resultados obtenidos pueden dar a la organización una mejor idea de cómo proceder para obtener mayores beneficios; por ejemplo, si la meta fuera mejorar la calidad en el sistema, el estudio ofrece alguna orientación de que el mantenimiento preventivo total y la tecnología de grupos son las alternativas más probables para lograrlo. De esta investigación resalta la importancia de definir adecuadamente la estructura jerárquica y los criterios con los que se evalúan las alternativas.

Partovi y Hopton (1994) reportaron un ejemplo de la aplicación del AHP para seleccionar la mejor alternativa entre tres proveedores con base a los criterios de precio, calidad, tiempo y servicio, como un ejercicio a principiantes en el entrenamiento en el AHP para el manejo de inventarios. De acuerdo con esos autores, aunque existen modelos de la programación lineal para auxiliar en la toma de decisiones, hay ciertos aspectos cualitativos que influyen en las decisiones en los que el AHP puede ser de mayor utilidad, como puede ser el dividir la compra de grandes volúmenes entre varios proveedores. Con una Razón de Consistencia (RC) de 0.099, que asegura que las comparaciones fueron consistentes, determinaron que uno de los proveedores fue la mejor alternativa con 58.1% de las preferencias; no cuestionan los autores la valoración subjetiva de los juicios, sino más bien lo consideran una cualidad del método AHP.

De acuerdo con Barbarosoglu y Yazgac (1997), un problema de decisión multicriterio engloba muchos factores tangibles e intangibles y su evaluación requiere del conocimiento experto en una estructura jerárquica, la cual a su vez requiere de la descomposición y síntesis de esos factores. El proceso AHP, según dichos autores, proporciona un marco para hacer frente a las situaciones que implican aspectos intuitivos, racionales, cualitativos y cuantitativos; para ellos, el AHP es una teoría exitosa porque sus supuestos son consistentes con los datos experimentales disponibles, hace predicciones que se pueden probar con base en experimentos y ello explica su funcionamiento. Su estudio consistió en diseñar un modelo AHP para resolver el problema de selección del proveedor en la industria turca de pavo. Una conclusión que los autores reportan por demás importante, y que merece tenerse presente cuando se

trabaje con este procedimiento, es que los resultados obtenidos con su aplicación pueden cambiar con el tiempo y por ello se debe considerar un proceso de decisión dinámico y repetir completamente el proceso, cada cierto tiempo, reinsertando los nuevos juicios en las matrices de comparación, lo cual indica, según los autores, la flexibilidad de modelado del AHP, al proporcionar a los decisores la oportunidad de revisar y justificar sus decisiones.

En un estudio acerca de la aplicación de técnicas analíticas para la toma de decisiones y la planeación en el manejo de recursos naturales, Schmoldt y Peterson (1997) explican que la aplicación del AHP puede fácilmente usarse para auxiliar la toma de decisiones en el manejo de recursos y ser útil para definir estrategias a largo plazo e implementar niveles de planificación del manejo de esos recursos (tácticas); reportan que los componentes matemáticos y cálculos en el AHP pueden resultar un desafío para administradores de recursos así como para científicos, sin embargo, dicen, la disponibilidad de programas de cómputo comerciales ayudan a los usuarios con esos detalles, de modo que no sea un requisito indispensable el entendimiento técnico de los aspectos computacionales para una efectiva aplicación del AHP.

Font (2000), en un estudio para la gestión de información que permita implementar el AHP para la toma de decisiones de nuevos productos para su explotación en el sistema de información de una empresa en lo general, explica que es fundamental estudiar los diferentes flujos de información involucrados en el proceso; para ello el autor utilizó las metodologías de planificación y desarrollo de sistemas de información Merise (Francia), SSADM (Inglaterra) y Métrica (España).

Font (2000) define como primera actividad la de identificar el problema y los atributos (lista de atributos y subatributos, alternativas y diagrama de la jerarquía), determinar los recursos de información (información disponible), e identificar los parámetros correspondientes a los subatributos; la segunda actividad se orienta a la aplicación del AHP: asignación de pesos ponderados (matrices de comparaciones binarias, vectores de prioridad de pesos), y determinación de la mejor alternativa. La tercera actividad se refiere al diseño de la arquitectura física: diseño de la estructura, descripción de interfaces y definición de componentes. La cuarta y última actividad se refiere al diseño de las pruebas: diseño y preparación de pruebas, realización de pruebas. Concluye que es vital para la implementación de cualquier herramienta de apoyo a la toma de decisiones, la interacción de ella con los sistemas de información existentes en la organización.

Font (2000), considera eficiente al AHP porque: a) permite una organización jerárquica del problema en distintos niveles, b) permite realizar una evaluación de la situación de toma de decisiones por niveles, y c) incluye la asignación de las preferencias en términos de su importancia relativa mediante "pesos" que se asignan a los atributos considerados, lo cual facilita la tarea de "extraer" de la mente del decisor esta información de una forma confiable.

Este autor señala que es importante advertir que el AHP siempre ha despertado cierta polémica respecto al significado exacto de los pesos asignados y obtenidos; sin embargo le reconoce los méritos de:

- detectar y aceptar, dentro de ciertos límites, la incoherencia de los decisores humanos.
- permitir emplear de forma natural una jerarquización de los criterios,
- no requerir información cuantitativa acerca del resultado que alcanza cada alternativa en cada uno de los criterios considerados, sino tan sólo los juicios de valor del centro decisor.

De acuerdo con Schmoldt y Peterson (1997), el AHP es útil para casi cualquier aplicación de manejo de ecosistemas que requiera de varias opiniones y participantes o de un proceso complejo de toma de decisiones; considerando la complejidad de la mayoría de temas sobre manejo de ecosistemas, el AHP se podría extender a un amplio rango de tareas de dirección y planificación. Por ejemplo, el manejo y planificación de microcuencas puede incluir temas relacionados con la calidad y cantidad de agua, manejo forestal, manejo de la vida salvaje y recreación; para ello se requiere de la participación de expertos de cada una de esas disciplinas a fin de establecer las prioridades y tomar decisiones de acuerdo con la distribución espacial y temporal de los recursos; además, debido a que las microcuencas generalmente comprenden el flujo de materiales entre tierras privadas y públicas (por ejemplo pequeña propiedad, y tenencia ejidal), se requiere considerar las condiciones y valor de los recursos con respecto a los aspectos sociales, legales y políticos.

De acuerdo con Schmoldt y Peterson (1997), son dos los componentes de la metodología AHP que facilitan el análisis de problemas complejos: 1) estructurar el problema en una jerarquía que contiene una meta y facetas subordinadas del problema, y 2) la comparación pareada entre elementos de cada nivel. Estos autores trabajaron con el manejo de recursos en el Olympic National Park de Washington para determinar la utilidad del AHP para planear y desarrollar proyectos. En trabajo de equipo

multidisciplinario se seleccionaron ocho proyectos; la comparación pareada se hizo con un programa de cómputo (Expert Choice), todos los juicios o valoraciones subjetivas se hicieron por consenso con el equipo de manejo de recursos; a medida que el equipo se sintió más cómodo con el procedimiento AHP, las decisiones se obtenían con un mínimo de discusión. También en equipo se decidió definir dos prioridades en el análisis: todos los objetivos tienen el mismo peso, y el manejo de toma de decisiones tiene prioridad exclusiva.

Los autores concluyen que el AHP permite a individuos e instituciones participar en un proceso cuantitativo y no sesgado, más que subjetivo o tendencioso; si ellos pueden trabajar alrededor de una matriz y cuantificar el nivel de importancia de los factores, se puede desarrollar un verdadero trabajo de equipo y la evaluación final se deberá a la participación de todos y todos sentirán suya esa evaluación.

Schmoldt y Peterson (2000) desarrollaron una metodología de grupos (formales o temporales) de toma de decisiones a partir de una creciente importancia de ello en el manejo de recursos naturales, como los forestales, y las aplicaciones científicas asociadas; toda vez que ello implica el uso de distintos valores en espacio y tiempo, se necesitan múltiples especialistas en recursos y deben incluirse varios usuarios en el proceso de decisión; en dicha metodología combinaron sesiones con el fin de generar ideas: el AHP para producir juicios, manejar conflictos, permitir el consenso e implementar un plan y una plataforma de discusión. Los resultados se pueden analizar estadísticamente para determinar en donde coinciden los miembros del grupo y donde los valores de las prioridades son significativamente diferentes. Una aplicación del proceso desarrollado señaló que el trabajo en grupo con el AHP auxilió al grupo a enfocar las discusiones, mitigar las indecisiones, alentar la interacción individual, identificar juicios irracionales y proporcionar una gran cantidad de información cuantitativa útil acerca de las preferencias del grupo. Esta metodología, concluyen los autores, puede ayudar a auxiliar las evaluaciones científicas y otros procesos de toma de decisiones en el manejo de recursos.

De acuerdo con Schmoldt *et al.* (2001), el AHP proporciona un mecanismo sistemático, explícito, riguroso y fuerte para obtener y cuantificar juicios subjetivos y se ha aplicado en muchas situaciones de planeación económica.

Según de Steiguer *et al.* (2003), el AHP parece ser el método de EMC más ampliamente usado, y lo seleccionaron para recomendar un manejo integrado de una microcuenca; mencionan esos autores que

el AHP posee un conjunto de atributos deseables como ser: un proceso de decisión estructurado y cuantitativo que puede documentarse y repetirse; aplicable a situaciones de decisión que impliquen a múltiples criterios y juicios subjetivos; usar datos tanto cualitativos como cuantitativos; proporcionar una medida de la consistencia de las preferencias; existir una amplísima documentación de su aplicación en la literatura académica y programas de cómputo para aplicarlo; y ser apropiado para trabajos de toma de decisión en grupos.

Dey y Gupta (2000) utilizaron el AHP para seleccionar la mejor ruta para oleoductos en la parte este de la India evaluando los criterios de longitud, operatividad, mantenimiento, accesibilidad, constructibilidad y aceptabilidad y definiendo cuatro rutas alternativas; para ello reunieron personal experto para definir con base a qué necesidades o características evaluar a cada criterio. Luego determinaron la estructura jerárquica del problema y al resolver las matrices de comparaciones encontraron que el criterio más importante era el de la longitud, y aunque la ruta con mejor evaluación resultaba más cara en su construcción sus costos de operación eran más de 50% menores con respecto a la ruta más corta, además que tenía mejor capacidad de expansión y mantenimiento que el resto de las alternativas, lo que según los autores, valida la aplicación del modelo definido con el AHP.

Para Dey y Gupta (2000), la escala verbal de Saaty (1980) permite al decisor incorporar la subjetividad, experiencia y conocimiento y con ello proporcionar a éste bases racionales para la toma de decisiones.

Una descripción más detallada de la metodología del AHP convencional se encuentra en Toskano (2005) y se sintetiza en esta revisión con el objetivo de describir su desarrollo. Este autor reporta la aplicación del AHP en la selección del proveedor de suministros para una empresa dedicada a la impresión de envolturas flexibles en Perú; tales suministros son importados de Ecuador, Italia y China. La selección del proveedor depende de las características físicas requeridas del producto a elaborar y el precio al cobrar (es decir, la venta final del producto); debido a ello la empresa no ha podido estandarizar su producción y precios de venta, por lo que ha considerado la posibilidad de estandarizar su producción y precios de venta escogiendo un único proveedor; el problema se cree es complejo porque considera varios criterios en evaluación, unos cuantitativos y otros cualitativos, y todos ellos en conflicto entre sí. Según Toskano (2005), el problema anterior se puede ajustar a un modelo de decisión multicriterio discreto, específicamente el AHP. Para aplicar el AHP se utilizó el programa Expert Choice 2000; se realizaron talleres de trabajo con el personal involucrado con las actividades del caso, con los

que se definieron objetivos, criterios a evaluar y las alternativas de decisión. La información utilizada fue aquella técnica del material de los proveedores, los datos históricos de ventas, datos históricos de producción, datos históricos de control de calidad e información contables. Después de establecer el modelo jerárquico, se hizo la comparación pareada; primero con los criterios relacionados con la meta global y luego con cada uno de los criterios. A continuación se muestra una síntesis de la metodología reportada por Toskano (2005), de la aplicación del AHP para el ejemplo mencionado:

- Cálculo de las prioridades de los criterios respecto de la meta global: para la prioridad respecto a la meta global se obtuvo la siguiente matriz de comparación y vector de prioridades:

	FP	FC	CP
FP	1	3	4
FC	0.333	1	0.5
CP	0.25	2	1

$$\Rightarrow \begin{bmatrix} 0.620 \\ 0.156 \\ 0.224 \end{bmatrix}$$

1.00

FP = factores de producción
 FC = factores contables
 CP = confiabilidad del proveedor

Los números con negritas corresponden a comparaciones realizadas. Se observa que el vector de prioridades de los criterios con respecto a la meta global es:

	MG
FP	0.620
FC	0.156
CP	0.224

El índice de consistencia (IC) de esta matriz tiene un valor de 0.055 y el valor de la razón de consistencia (RC) es de 0.094.

- Enseguida se calculan los vectores de prioridad y razones de consistencia de las siguientes matrices: para factores de la producción se obtuvo la matriz de comparaciones y el vector de prioridades siguiente:

	TE	CM	FTM
TE	1	0.17	0.5
CM	6	1	5
FTM	2	0.2	1

$$\Rightarrow \begin{matrix} & \text{FP} \\ \text{TE} & \begin{bmatrix} 0.103 \\ 0.723 \\ 0.174 \end{bmatrix} \\ \text{CM} \\ \text{FTM} \end{matrix}$$

TE = tiempo de entrega
 CM = calidad del material
 FTM = facilidad de uso del material
 IC = 0.015, RC = 0.025

Para el criterio factores de la producción se obtuvo la matriz de comparaciones y el vector de prioridades siguiente:

	V	P	FP
V	1	5	8
P	0.2	1	4
FP	0.125	0.25	1

$$\Rightarrow \begin{matrix} & \text{FC} \\ \text{V} & \begin{bmatrix} 0.723 \\ 0.206 \\ 0.070 \end{bmatrix} \\ \text{P} \\ \text{FP} \end{matrix}$$

V = ventas de producción
 P = precios del material
 FP = facilidades de pago
 IC = 0.048, RC = 0.083

Para el criterio confiabilidad del proveedor se determinó que éste no tuvo subcriterios, por lo que se evaluó directamente.

Para la evaluación de las alternativas, éstas se identificaron como:

EC = procedente de Ecuador

IT = procedente de Italia

CH = procedente de China

Para tiempo de entrega (TE), la matriz y el vector fueron:

	EC	IT	CH
EC	1	4	6
IT	0.25	1	2
CH	0.167	0.5	1

 \Rightarrow

	TE
EC	0.700
IT	0.194
CH	0.107

$$IC = 0.005, RC = 0.008$$

Para calidad del material, la matriz de comparaciones y el vector de prioridades fueron:

	EC	IT	CH
EC	1	2	4
IT	0.5	1	3
CH	0.25	0.333	1

 \Rightarrow

	CM
EC	0.557
IT	0.320
CH	0.123

$$IC = 0.009, RC = 0.016$$

Respecto a la facilidad del uso del material, la matriz de comparaciones pareadas fue:

	EC	IT	CH
EC	1	2	4
IT	0.5	1	6
CH	0.25	0.167	1

 \Rightarrow

	FTM
EC	0.544
IT	0.346
CH	0.110

$$IC = 0.027, RC = 0.046$$

Respecto a las ventas producidas, la matriz de comparaciones pareadas fue:

	EC	IT	CH
EC	1	2	0.5
IT	0.5	1	0.25
CH	2	4	1

 \Rightarrow

	V
EC	0.286
IT	0.143
CH	0.571

$$IC = 0.000, RC = 0.000$$

En cuanto al precio del material, la matriz de comparaciones pareadas fue:

	EC	IT	CH
EC	1	0.333	0.167
IT	3	1	0.333
CH	6	3	1

 \Rightarrow

		P
EC		0.096
IT		0.251
CH		0.653

$$IC = 0.009, RC = 0.016$$

Con relación a las facilidades de pago, se obtuvo la siguiente matriz de comparaciones pareadas:

	EC	IT	CH
EC	1	2	0.5
IT	0.5	1	0.333
CH	2	3	1

 \Rightarrow

		FP
EC		0.297
IT		0.164
CH		0.539

$$IC = 0.005, RC = 0.008$$

Respecto a la confiabilidad en el proveedor, la matriz de comparaciones obtenida fue:

	EC	IT	CH
EC	1	3	8
IT	0.333	1	5
CH	0.125	0.2	1

 \Rightarrow

		CP
EC		0.657
IT		0.275
CH		0.068

$$IC = 0.022, RC = 0.038$$

- Para todas las matrices, como se observó en cada matriz, la razón de consistencia (RC) es igual o menor que 0.10, indicando con ello que los juicios anotados en las matrices fueron consistentes.
- Cálculo de las prioridades globales: para calcular las prioridades de las alternativas con respecto a la meta global, se construye la siguiente matriz, que corresponde a las alternativas con respecto a los subcriterios:

	TE	CM	FTM
EC	0.700	0.557	0.544
IT	0.194	0.320	0.346
CH	0.107	0.123	0.110

Respecto a los factores contables:

	V	P	FP
EC	0.286	0.096	0.297
IT	0.143	0.251	0.164
CH	0.571	0.653	0.539

Con respecto a la confiabilidad del proveedor, no se construye una matriz ya que no cuenta con subcriterios.

Las matrices resultantes se multiplican con los vectores de prioridad de los subcriterios con respecto al criterio de jerarquía superior.

Para factores de producción, los subcriterios son: TE, CM y FTM, resultando el siguiente producto matricial:

	TE	CM	FTM
EC	0.700	0.557	0.544
IT	0.194	0.320	0.346
CH	0.107	0.123	0.110

$$* \begin{matrix} & & & \text{FP} \\ \text{TE} & \left[\begin{matrix} 0.103 \\ 0.723 \\ 0.174 \end{matrix} \right] & & \\ \text{CM} & & & \\ \text{FTM} & & & \end{matrix} \Rightarrow \begin{matrix} & & & \text{FP} \\ \text{EC} & 0.566 & & \\ \text{IT} & 0.318 & & \\ \text{CH} & 0.116 & & \end{matrix}$$

De igual manera, V, P y FP son subcriterios de factores contables y resulta el siguiente producto de matrices:

	V	P	FP
EC	0.286	0.096	0.297
IT	0.143	0.251	0.164
CH	0.571	0.653	0.539

$$* \begin{matrix} & & & \text{FC} \\ \text{V} & & & \\ \text{P} & & & \\ \text{FP} & & & \end{matrix} \begin{pmatrix} 0.723 \\ 0.216 \\ 0.070 \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{matrix} & & & \text{FC} \\ \text{EC} & & & \\ \text{IT} & & & \\ \text{CH} & & & \end{matrix} \begin{pmatrix} 0.247 \\ 0.167 \\ 0.586 \end{pmatrix}$$

Los resultados de estos productos de matrices son los vectores de prioridades de las alternativas con respecto a los criterios.

Como ya se calculó el vector de prioridades de las alternativas con respecto a la confiabilidad del proveedor, se tiene:

$$\begin{matrix} & & & \text{CP} \\ \text{EC} & & & \\ \text{IT} & & & \\ \text{CH} & & & \end{matrix} \begin{pmatrix} 0.657 \\ 0.275 \\ 0.068 \end{pmatrix}$$

Con los vectores resultantes en el paso anterior, se construye la matriz de prioridades de las alternativas con respecto a los criterios:

$$\begin{matrix} & & & \text{FP} & \text{FC} & \text{CP} \\ \text{EC} & & & \\ \text{IT} & & & \\ \text{CH} & & & \end{matrix} \begin{pmatrix} 0.566 & 0.247 & 0.657 \\ 0.318 & 0.167 & 0.275 \\ 0.116 & 0.586 & 0.068 \end{pmatrix}$$

- Enseguida, la matriz resultante se multiplica con el vector de prioridades de los criterios con respecto a la meta global; el vector resultante contiene las prioridades de las alternativas con respecto a la meta global, es decir:

$$\begin{matrix} & & & \text{FP} & \text{FC} & \text{CP} \\ \text{EC} & & & \\ \text{IT} & & & \\ \text{CH} & & & \end{matrix} \begin{pmatrix} 0.566 & 0.247 & 0.657 \\ 0.318 & 0.167 & 0.275 \\ 0.116 & 0.586 & 0.068 \end{pmatrix} * \begin{matrix} & & & \text{MG} \\ \text{FP} & & & \\ \text{FC} & & & \\ \text{CP} & & & \end{matrix} \begin{pmatrix} 0.620 \\ 0.156 \\ 0.224 \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{matrix} & & & \text{MG} \\ \text{EC} & & & \\ \text{IT} & & & \\ \text{CH} & & & \end{matrix} \begin{pmatrix} 0.537 \\ 0.285 \\ 0.179 \end{pmatrix}$$

- De acuerdo con los resultados obtenidos con la aplicación del AHP se obtiene que EC (Ecuador) es la mejor alternativa como proveedor de material con una prioridad de 53.7%; la segunda mejor alternativa es IT (Italia) con una prioridad de 28.5%; la peor alternativa resultó CH (China) con una prioridad de 17.9%.

Ávila (2000) explica la aplicación de la metodología AHP para determinar el uso de la tierra mediante la formulación de planes de desarrollo silvoagropecuario sostenibles en Brasil. Antes de aplicar la metodología, el autor sugiere que al interior del grupo interdisciplinario de trabajo se resuelvan las interrogantes: ¿qué se busca institucionalmente con la aplicación del AHP?, ¿qué actores deben participar (directos, indirectos)?, ¿cuál es el perfil requerido de los participantes?, ¿de qué información se dispone y/o qué información adicional se requiere?, ¿cuál es la mejor manera de presentar la información a los participantes?, definición o continuidad del plan de trabajo, logística de la(s) sesión (es), entre otros. Para la construcción del modelo de aplicación del AHP se utilizó tanto el programa de cómputo Expert Choice como el procedimiento manual con cartulinas y pizarrón.

El problema identificado fue la baja rentabilidad y la alta erosión en el suelo por las actividades agropecuarias en una microcuenca; el objetivo fue priorizar escenarios de usos de la tierra para minimizar la erosión y aumentar la rentabilidad de las actividades; mediante la técnica de Diagnóstico Rural Participativo se identificaron las condiciones o factores más importantes (criterios y subcriterios) para evaluar los escenarios de uso de la tierra (alternativas); las alternativas correspondieron a dos escenarios de usos de la tierra: mínima erosión y alta rentabilidad; para emitir los juicios de importancia, sugiere tres maneras posibles para emitirlos:

- verbal (moderado, fuerte, débil, etc.)
- numérico (usar escala de Saaty, 1980), y
- gráfica (mediante uso de gráfica de barras, que representen los elementos que se comparan).

En este estudio se encontró que la asignación de pesos de preferencias puede variar de acuerdo con las características de los participantes, como se observa en el ejemplo del Cuadro 1.

Cuadro 1. Variación en la importancia de un criterio de acuerdo con la fuente de evaluación.

Grupo	Importancia del criterio "comercialización" (%)
Productores	29.2
Extensionistas	23.8
Investigadores	51.0
Valor consensado	34.2

Fuente: Ávila (2000).

En el Cuadro 1 se observa la desigualdad del peso asignado a un mismo criterio teniendo la opinión de los productores la menor desviación con respecto al valor medio consensado; ello, para el autor es una ventaja porque permite la evaluación de alternativas de acuerdo con los intereses de los diferentes actores de la toma de decisiones en los procesos de planificación.

De acuerdo con Ávila (2000), los resultados obtenidos en el trabajo participativo para la evaluación y priorización de escenarios de los usos de las tierras en la microcuenca se constituyen en valiosa información para: las entidades, organizaciones e instancias que trabajan para el desarrollo del municipio y participan en la formulación del plan de desarrollo municipal, en los programas agropecuarios municipales; y en el diseño y ajuste de instrumentos de política, como incentivos y regulaciones, tendientes a estimular sistemas de producción sostenibles, viables económicamente y aceptables socialmente y a enfocar su oferta de recursos y servicios hacia las necesidades e intereses reales de la comunidad.

El autor concluye que con base en la experiencia lograda en el caso de Brasil, es posible aplicar el método AHP en las diferentes etapas del establecimiento de un plan de uso del suelo, para realizar evaluaciones o toma de decisiones de cuestiones referentes a su diseño, implementación, validación, control y evaluación, entre otras. El método es simple y flexible, y permitió organizar, visualizar el problema por medio del modelo, analizarlo sistemáticamente y obtener una síntesis. El AHP permitió analizar por separado la contribución de cada componente del modelo al objetivo general. El análisis permitirá a los planificadores, tomadores de decisiones u otros actores profundizar su conocimiento de la realidad de la microcuenca, analizar y emprender acciones, teniendo en cuenta las necesidades e

intereses de la comunidad y la visión que tienen de su propio futuro en lo concerniente a los usos de las tierras, incluidos los riesgos y oportunidades a los que conllevaría cada posible solución. No obstante todo lo anterior, de acuerdo con el autor, la sola aplicación del AHP no garantiza la mejor decisión; ésta es simplemente una técnica de análisis que permite que la decisión que se recomiende o se adopte, se base en el análisis minucioso de un problema y en la síntesis de la información relevante, formada por el conocimiento, experiencia, opiniones y preferencias de los diferentes actores que se hayan involucrado en el proceso de toma de decisión.

5.2. Evaluación multicriterio en el entorno de los Sistemas de Información Geográfica

Romero y Rehman (1989), reportan la Programación Objetiva (Goal Programming), la Programación Multiobjetivo (Multiobjective Programming) y la Programación Compromiso (Compromise Programming), para la EMC con respecto a decisiones agrícolas; estas técnicas, en el entorno de la investigación operativa, que comúnmente no toman en cuenta la variabilidad espacial de los criterios, consideran situaciones de decisión de dos tipos: problemas que implican un solo criterio u objetivo, y problemas que toman en cuenta varios objetivos, comúnmente en conflicto entre sí, y que son frecuentes en la agricultura.

Sher y Amir (1994) utilizaron la programación lineal en combinación con restricciones o limitantes de la lógica difusa (fuzzy) en la planeación de actividades agrícolas bajo temporal; las restricciones se refieren a distintos planes posibles para siembras bajo temporal, que dependen de las probabilidades de lluvia; cada decisión es un plan óptimo, que al desarrollar el procedimiento indica, entre otros resultados, el tamaño de las parcelas. El método obtenido se comparó con un procedimiento de programación lineal convencional y concluyeron que el procedimiento obtenido tiene como principal ventaja sobre el convencional, el permitir reducir la incertidumbre usando la misma información.

La estructura lógica de las técnicas de EMC convencionales consideran atributos, objetivos, metas y limitaciones (restricciones); los atributos son valores de decisión asociados a una realidad objetiva y se pueden medir a partir de las preferencias de los decidores; con frecuencia se expresan en una función matemática de las variables de decisión, como pueden ser el valor agregado y el nivel de empleo; un objetivo es un nivel de aspiración e implica el mejoramiento de uno o más atributos en algún aspecto, como puede ser la obtención de los máximos rendimientos de un cultivo o bien, la minimización de los

costos de producción en ese cultivo; la combinación de un atributo con un objetivo resulta en una meta, por ejemplo, cuando el decisor desea un patrón de cultivos que le reditúe al menos una relación beneficio-costo de 2.5 (Romero y Rehman, 1989). Es oportuno mencionar que tales técnicas consideran en su ejecución la asignación de pesos de importancia, análisis de sensibilidad, restricciones o limitaciones y situaciones de riesgo e incertidumbre.

La constante degradación de los recursos naturales en el mundo, la necesidad de mejorar la planeación de las actividades agropecuarias de los países en desarrollo, son algunos de los motivos que han influido en el desarrollo de nuevas técnicas de decisión que consideren la variabilidad espacial de los factores, mediante el uso de los SIG y el modelaje matemático de las relaciones e interacciones entre los factores (edafoclimáticos y de manejo, en el caso de las actividades agropecuarias y forestales).

Tkach y Simonovic (1997) desarrollaron una investigación para combinar la técnica convencional de programación compromiso (técnica de la investigación operativa de análisis multicriterio, que se utiliza para identificar soluciones que están cerca de la solución ideal, determinada por una medición de distancia) con la tecnología de los SIG. La principal contribución de la técnica desarrollada fue su capacidad de considerar la irregular distribución espacial de valores de los criterios asociados con varias alternativas, lo cual no pueden realizar las técnicas de EMC convencionales (las de la investigación operativa, algunas de las cuales describen Romero y Rehman, 1989); a ella le llamaron Programación Compromiso Espacial, la cual combina la Programación Compromiso y la tecnología de los SIG.

En la programación compromiso, la solución ideal es la que proporciona el valor extremo para cada criterio considerado en el análisis; la distancia de la solución ideal a cada alternativa se mide como distancia métrica. Este valor, que se calcula para cada solución alternativa, está en función de los valores de los criterios mismos, la importancia relativa de los distintos criterios y de la desviación máxima de la solución ideal. La siguiente ecuación es la que se usa para calcular la familia de distancias métricas (L_j) para un conjunto n de criterios y m alternativas:

$$L_j = \left[\sum_{i=1}^n w_i^p \left| \frac{f_i^* - f_{ij}}{f_i^* - f_{iw}} \right|^p \right]^{1/p}$$

donde:

L_j es la distancia métrica;

f_i^* es el valor óptimo del i avo criterio;

f_i, w es el peor valor del i avo criterio;

f_i, w es el valor de del i avo criterio por la alternativa j ;

$f_{i,j}$ es el valor del i avo criterio por la alternativa j ;

w_i son los pesos que indican las preferencias del decisor;

p es un parámetro ($1 \leq p \leq \infty$);

i indica el número de criterios $i = 1, 2, \dots, n$, y

j indica el número de alternativas $j = 1, \dots, m$. (Tkach y Simonovic, 1997).

Como el parámetro p refleja la importancia de la desviación máxima del punto ideal, el procedimiento de la Comparación Compromiso implica un esquema de asignar pesos dos veces, mientras que en el AHP sólo una vez se asignan los pesos de importancia según las preferencias del decisor, comúnmente con el auxilio del conocimiento experto. La referencia de la investigación de Tkach y Simonovic, (1997) es para señalar un antecedente de las técnicas multicriterio combinadas con los SIG para auxiliar a la toma de decisiones. Tal vez la mayor complejidad de la metodología operativa descrita, combinada con una mayor sencillez de la técnica AHP y su implementación en los SIG, hace que ésta última sea de un uso amplio en el mundo para auxiliar a la toma de decisiones en una variedad de actividades humanas, no solo con las relacionadas al manejo y planeación de los recursos naturales.

Debido a que la investigación en este estudio se refiere a atributos con distribución espacial mediante el uso de los SIG, se dará seguimiento a las técnicas de EMC en este entorno como las reportan Ávila (2000) y Toskano (2005); asimismo, se considera de interés anotar que según Hahn (2003), en las metodologías de EMC, en las que se inserta el AHP, los errores en los juicios de valor para asignar los

pesos de las preferencias se consideran inexistentes o de importancia despreciable, es decir, los juicios de valor se consideran ciertos y por ello se pueden representar con valores escalares; sin embargo, concluye dicho autor, esos juicios pueden contener errores.

5.2.1 Álgebra booleana

El procedimiento booleano se utilizó por el INIFAP en sus estudios de Potencial Productivo en México desde 1992, para identificar las áreas que reunían todas las condiciones de clima, suelo y topografía propicias para el desarrollo de las especies vegetales (Sánchez y Sánchez, 1995; María *et al.*, 2003). En los mapas booleanos, comúnmente el 1 corresponde a las áreas que interesan y 0 a las áreas con limitaciones. Las Provincias Agronómicas de Maíz, definidas de acuerdo con los criterios de cociente Precipitación/Evaporación de junio a septiembre y la profundidad del suelo, definidas por Turrent *et al.* (1992), se delimitaron siguiendo un enfoque booleano en Tlaxcala (Rojas, 2006, Comunicación personal²).

En la Figura 7 se muestran los pueblos y ciudades en una imagen booleana, cuya área se excluye de las tierras con potencial productivo de especies vegetales determinados por INIFAP en Tlaxcala (María *et al.*, 2003).



Fuente: María *et al.* (2003).

Figura 7. Imagen booleana que representa a pueblos y ciudades en el estado de Tlaxcala (en color negro).

² Rojas Martínez, Israel. Investigador de INIFAP-Tlaxcala.

Olivas (2006) realizó una evaluación de tres técnicas multicriterio (técnica booleana, AHP y AHP-lógica difusa). En la Figura 8 se muestran las áreas con aptitud para *Pinus durangensis* obtenidas con el método booleano para el estado de Durango:



Fuente: Olivas (2006)

Figura 8. Imagen booleana de las áreas aptas para *Pinus durangensis*

Olivas (2006) concluye que de las técnicas evaluadas (booleana, AHP y AHP-Lógica difusa), el álgebra booleana es la más restrictiva en la clasificación, dado que clasifica la aptitud de la tierra en dos categorías (apto y no apto), es decir, es la técnica más tajante y discriminante con aquellas áreas que incumplen algún criterio considerado en el análisis, debido a que asume que todos los criterios y subcriterios influyen en un mismo grado (o tienen la misma importancia) en la determinación de la aptitud del terreno para el establecimiento de plantaciones forestales. Asimismo, el álgebra booleana, según este autor, no necesariamente resulta eficaz en las áreas menores, y el resultado depende de la definición de los rangos empleados para cada criterio y subcriterios considerados: rangos demasiado amplios resultan en la identificación de áreas más extensas, con la consecuente pérdida de precisión (Bustillos, 2006).

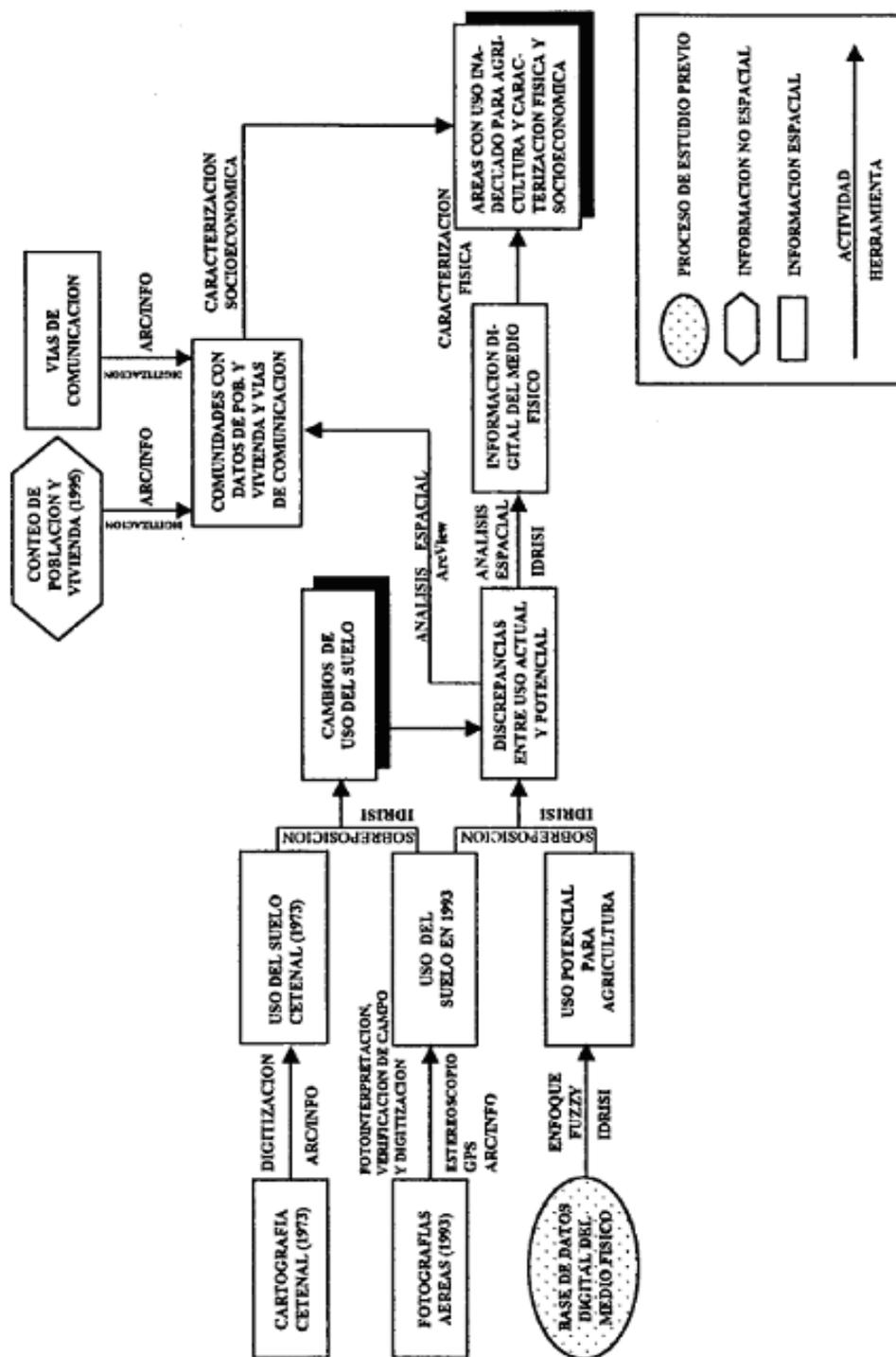
5.2.2 Lógica difusa (fuzzy)

García *et al.* (2000) delimitaron y caracterizaron, desde el punto de vista físico y socioeconómico, las tierras con uso inadecuado de la agricultura, a partir de la clasificación del potencial productivo agrícola del Distrito de Desarrollo Rural 004 Celaya, Guanajuato, mediante el enfoque de la lógica difusa (fuzzy).

Estos investigadores mencionan que los estudios de Provincias Agronómicas (Turrent *et al.*, 1992) y los de Potencial Productivo (Medina *et al.*, 1997) realizados por el INIFAP, se han abocado a realizar un inventario del medio ambiente físico y a determinar la aptitud de dicho medio para acoger las actividades agropecuarias y forestales considerando únicamente criterios biológicos y de productividad para la factibilidad de las especies, lo que no les permite cumplir con el objetivo de proponer acciones para el reordenamiento del uso del suelo. Con el propósito de superar las deficiencias de tales estudios de clasificación de tierras para la producción de especies vegetales, aplicaron el enfoque de límites de transición gradual entre clases (lógica difusa o fuzzy).

Lo relevante del estudio de García *et al.* (2000) es que los factores de estratificación para los cultivos se definieron con base a un análisis de regresión múltiple entre el rendimiento del cultivo (variable independiente) y factores de la producción de clima y suelo, como variables independientes, usando la técnica de regresión stepwise; las funciones de membresía se determinaron mediante ecuaciones de regresión simple entre el rendimiento del cultivo y cada uno de los factores definidos en la regresión múltiple. La ponderación de la importancia (asignación de pesos) se definió con base en los coeficientes de determinación (R^2) de las ecuaciones de regresión simples; las ecuaciones de regresión (funciones de membresía) se convirtieron en mapas con valores continuos y reales de rendimiento expresado en kilogramos por hectárea; los valores reales se normalizaron (estandarizaron) a valores entre 0 y 1 y se les asignó el peso de ponderación, de modo que al sumar todos los mapas (los factores de la producción más importantes del cultivo) se obtuvo un mapa de aptitud total con un valor máximo posible de 1.0 correspondiente a las áreas con la máxima aptitud.

En la Figura 9 se muestra la metodología empleada por García *et al.* (2000). De acuerdo con estos autores, los pasos para la aplicación del enfoque de la lógica difusa (fuzzy) se pueden resumir en: a) definición de los factores de estratificación, b) determinación de las funciones de membresía entre el cultivo a estratificar y los factores de estratificación, c) ponderación de las funciones de membresía, d) normalización de las funciones de membresía, y e) determinación de la aptitud total por cultivo. La aplicación de los tres primeros pasos puede realizarse de dos maneras: a) con base en la experiencia de especialistas, y b) aplicando métodos estadísticos cuando se dispone de información de productividad de los cultivos; en el primer caso se trata del conocimiento experto y en el segundo del uso de datos estadísticos de productividad de los cultivos.



Fuente: García *et al.* (2000)

Figura 9. Metodología de la lógica difusa (fuzzy) para determinar el potencial productivo en el DDR 004, Celaya, Guanajuato.

Cuando no se cuenta con datos de productividad para alguna especie vegetal, García (1999) reporta que la aplicación del enfoque de lógica difusa (fuzzy) consiste de:

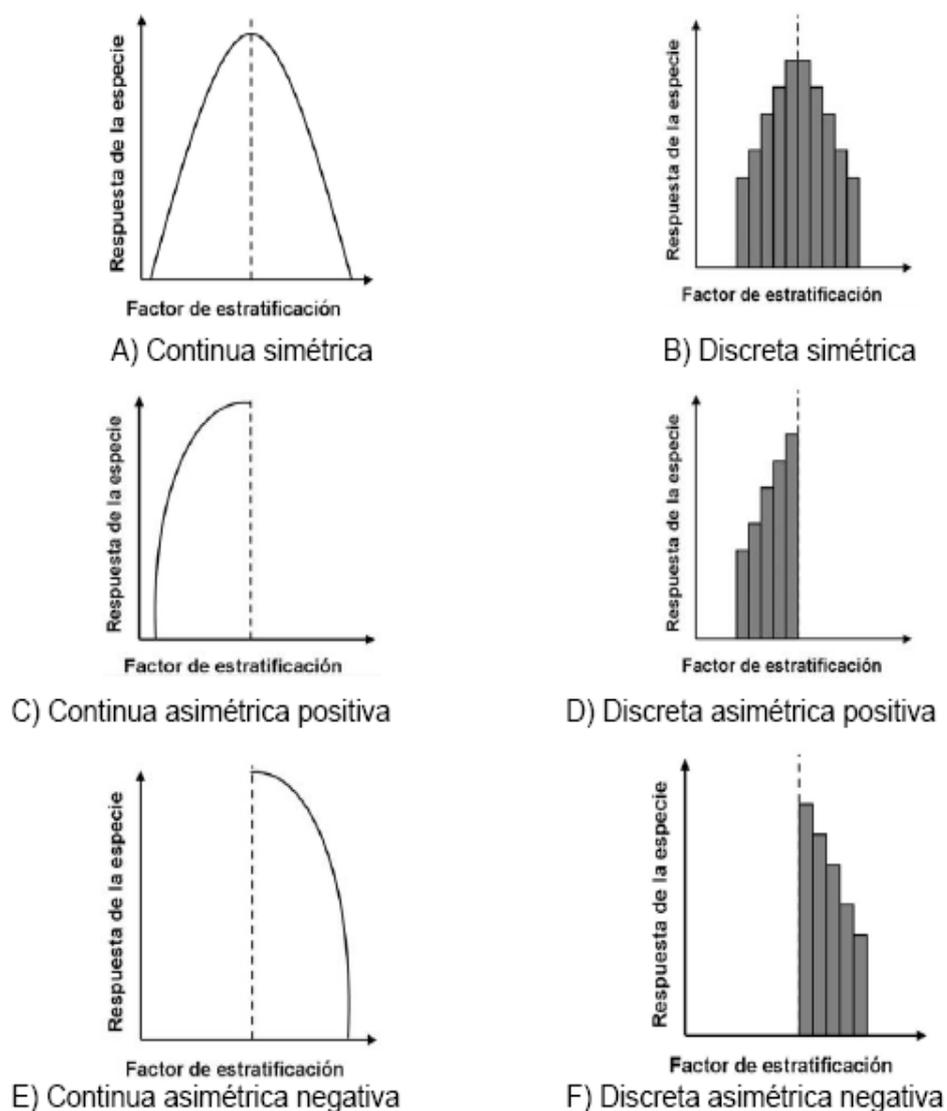
- selección de los factores de estratificación de acuerdo con la experiencia de especialistas en la especie,
- generación de funciones de membresía particionando el rango de requerimientos definido como óptimo por los expertos de cada especie,
- ponderar la importancia de las funciones de membresía para cada especie con base en el coeficiente de correlación de los cultivos de temporal,
- normalizar las funciones de membresía, y
- determinar la aptitud total del las áreas.

Es importante recalcar, como lo hacen García *et al.* (1999), que la definición de los factores de estratificación, la determinación de las funciones de membresía y la ponderación de acuerdo con el efecto de las mismas en el rendimiento de los cultivos, debería considerar la variación climática y edáfica (factores de la producción de cultivos) del área en estudio, mediante experimentos de productividad de cultivos donde el manejo de cultivos fuera constante en niveles óptimos.

Los datos requeridos para definir los factores de estratificación fueron los rendimientos medios, ponderados por municipio, como variables dependientes, y los factores de la producción de cultivos (suelo, topografía y clima), ponderados por municipio, como variables independientes; las variables continuas consideradas fueron: temperatura media, precipitación, evaporación, índice de precipitación sobre evaporación, altitud y pendientes; las variables discretas consideradas fueron: profundidad de suelo, porcentaje de Bajío³ y un índice de aptitud edáfica definido de acuerdo con criterios de la metodología de Zonas Agroecológicas de la FAO (García *et al.*, 1999).

En la Figura 10 se muestran las funciones de membresía más comunes en la metodología de la lógica difusa (fuzzy):

³ Definido como el área con altitudes entre 1 600 y 1 800 m, suelos con más de 1.0 m de profundidad y pendientes menores de 4.0% (García *et al.*, 1999).



Fuente: García (1999).

Figura 10. Clasificación de las funciones de membresía de acuerdo con el tipo de variable (continua o discreta).

Respecto a la partición de los rangos de los requerimientos ambientales de cada especie, García (1999) reporta que ello se hizo de acuerdo con el tipo de variable (continua o discreta) y el tipo de respuesta de la especie a cada uno de los factores de estratificación (simétrica, asimétrica positiva o asimétrica negativa); según éste autor, los casos que en teoría se pueden presentar son:

- Funciones continuas simétricas: en que el rango original de los requerimientos se dividió en 7 ó 9 intervalos y se asignó el valor de membresía de 1.0 (óptimo) al intervalo central. Por ejemplo, al intervalo 4 cuando el total de intervalos era 7; así, a los intervalos 3 y 5 les correspondió el valor de membresía de 0.9, y éste fue de 0.8 para los intervalos 2 y 6 y de 0.7 a los intervalos 1 y 7; de igual forma se degradó hasta los intervalos que les correspondió un valor de membresía de 0; un ejemplo de una variable que presenta este tipo de respuesta es la temperatura.
- Funciones continuas asimétricas positivas: cuando se presentó este tipo de funciones, se asignó el valor de membresía de 1.0 al intervalo con los máximos valores del factor y se degradó en intervalos de igual amplitud hasta alcanzar el valor de membresía de 0; un ejemplo de una variable que presenta este tipo de respuesta es la precipitación.
- Funciones continuas asimétricas negativas: en este caso se asignó un valor de membresía de 1.0 a los valores de altitud óptima (altitud es una variable que presenta este tipo de respuesta) y se degradó en la medida que se incrementaron los valores.

García (1999), decidió trabajar con 11 intervalos con una amplitud de 0.1 para el caso de factores con valores continuos, de tal manera que al intervalo con los valores considerados óptimos le correspondió el máximo valor de membresía (1.0) y al más distante de éste le correspondió el valor de membresía de 0; este procedimiento no es aplicable a factores con valores discretos (por ejemplo profundidad del suelo), en que se asignan valores de membresía de acuerdo con el reducido número de clases en los mapas digitales de suelos; en este caso, se decidió asignar un valor de membresía de 1.0 a los suelos sin fases físicas por considerar que a la profundidad de más de 100 cm no existen restricciones para el crecimiento de los cultivos; a los suelos con fases físicas lítica y dúrica profunda (entre 50 y 100 cm) se les asignó un valor de membresía de 0.25 y a los litosoles (menos de 10 cm) un valor de 0.

El enfoque de la lógica difusa (fuzzy) también fue usado por Ceballos (2002) para estandarizar o normalizar mapas con variables continuas y mapas derivados de información categórica. Los mapas continuos fueron: temperatura mínima, temperatura máxima, precipitación, pH del suelo, altitud y pendiente, y los mapas categóricos fueron: profundidad del suelo y textura del suelo. Para los primeros se utilizó la función sigmoïdal con varios tipos de membresía: de incremento monotónico, de

decremento monótonico y simétrica, según fuera el caso. Los valores de no membresía (0) y membresía completa (1) se asignaron de acuerdo con la función y tipo de membresía utilizada y los requerimientos ambientales de cada factor. El valor de membresía 0 se asignó al nivel considerado como de muy baja productividad; el valor de membresía de 1 se asignó al nivel considerado como de muy alta productividad para cada factor.

Para los mapas categóricos (profundidad y textura del suelo) se definieron cinco categorías de potencialidad: muy bueno (5), bueno (4), medio (3), bajo (2) y muy bajo (1).

En el programa IDRISI se usó la opción de función definida por el usuario y el grado de membresía para cada categoría se definió usando números fuzzy, como fue el caso de la profundidad del suelo (Ceballos, 2002), que son un conjunto de valores graduales definidos en el campo de los números reales, los cuales poseen las propiedades de normalidad y convexidad y proporcionan la base para definir las variables lingüísticas o variables "fuzzy"; éstas a su vez son conceptos lingüísticos como *muy corto*, *corto*, *medio*, *largo*, *muy largo*, y así sucesivamente (Malczewski, 1999).

Sin embargo, a diferencia de García (1999), Ceballos (2002) no reporta detalles de la definición de la función de membresía, de la cual se da el valor de no membresía o no pertenencia y el de membresía completa para siete especies agrícolas cultivadas bajo temporal. Olivas (2006) reporta que para estandarizar los criterios en evaluación se utilizaron funciones de membresía, definidas e implementadas en el programa IDRISI a través del módulo GIS Analysis/Decision Support/Fuzzy. En este proceso se consideraron los requerimientos ecológicos de cada especie y cada mapa subcriterio se estandarizó mediante una función de membresía a valores entre 0 y 1; posteriormente, el procedimiento implicó considerar los juicios de valor de los expertos asignados a cada criterio en evaluación.

De acuerdo con este autor, en su investigación se definieron cinco niveles de aptitud para cada uno de los subcriterios identificados como relevantes: S1, S2, S3, N1 y N2; donde S1 representa el cumplimiento ideal del subcriterio de interés, cumplimiento que decrece en sus valores hasta N2, que corresponde al nivel más bajo de aptitud o aquel de menor cumplimiento del subcriterio. En el Cuadro 2 se ejemplifica este proceso para los criterios y subcriterios considerados.

Cuadro 2. Clasificación de los valores para estandarizar el criterio clima para *Pinus durangensis*.

Precipitación (mm)				Temperatura mínima (°C)				Temperatura máxima (°C)			
Rango		Clase		Rango		Clase		Rango		Clase	
400	a	500	0	-14	a	-12	S3	26	a	28	S1
500	a	600	0	-12	a	-10	S2	28	a	30	S1
600	a	800	S3	-10	a	-8	S1	30	a	32	S1
800	a	100	S2	-8	a	-6	S1	32	a	34	S1
1000	a	1200	S1	-6	a	-4	S1	34	a	36	S2
1200	a	1500	S1	-4	a	-2	S1	36	a	38	S3
1500	a	1800	S1	-2	a	0	S1				
				0	a	2	S1				
				2	a	4	S1				
				4	a	6	S1				

Fuente: Olivas (2006).

Si se grafican los valores de precipitación con la aptitud correspondiente siendo S1 = 4, se obtiene la Figura 11 donde a la izquierda se ve la forma de respuesta asumida y a la derecha la graficada con los valores mencionados.

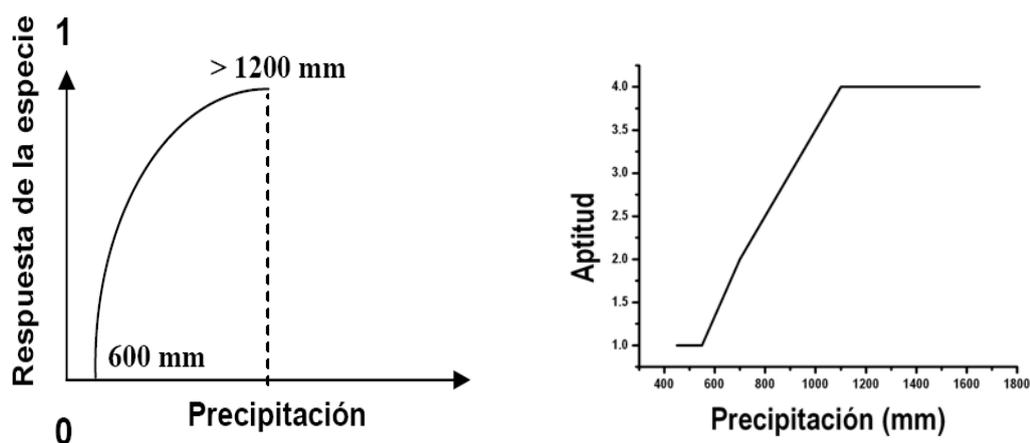


Figura 11. Forma de respuesta de la precipitación de acuerdo con la función de membresía continua asimétrica positiva en el programa IDRISI y su forma lineal.

Si se hace lo mismo con la temperatura máxima con respecto a la aptitud, a la izquierda de la Figura 12 se muestra la respuesta asumida y a la derecha la correspondiente a los valores dados en forma lineal:

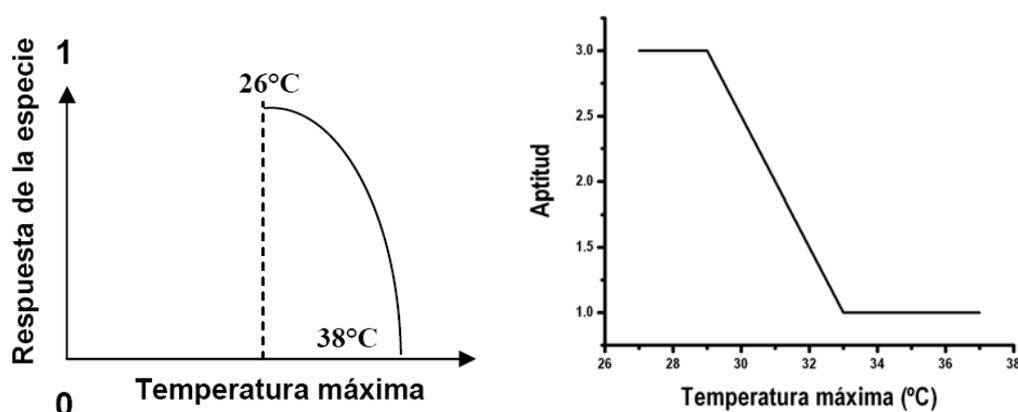


Figura 12. Forma de respuesta de la temperatura máxima de acuerdo con la función de membresía continua asimétrica negativa en el programa IDRISI y su forma lineal.

En el Cuadro 3 se muestran los valores para estandarizar el criterio clima para *Leucaena leucocephala* usados en la investigación de Bustillos (2005).

Cuadro 3. Valores para estandarizar los subcriterios precipitación, temperatura mínima y temperatura máxima para el análisis de aptitud para *Leucaena leucocephala*.

Precipitación (mm)				Temperatura mínima (°C)				Temperatura máxima (°C)			
Rango		Clase		Rango		Clase		Rango		Clase	
400	a	600	S1	<4	-	-	0	42	a	44	N2
600	a	800	S2	4	a	6	N2	40	a	42	N1
800	a	1000	S3	6	a	8	N1	38	a	40	S3
1000	a	1200	N1	8	a	10	S3	36	a	38	S2
1200	a	1500	N2	10	a	12	S2	<36			S1
>1500			0	12	a	14	S1				

Fuente: Bustillos (2006).

En el Cuadro 4 se muestran las funciones de membresía usados por García (1999) para pino piñonero, de acuerdo con los factores de estratificación definidos por los expertos y los rangos particionados de los requerimientos a partir de un óptimo según opinión de dichos expertos.

Si se grafican en forma lineal los valores de altitud (msnm) y la aptitud correspondiente (1 = más apto, 0= no apto) la forma de respuesta asumida según el valor de clase se muestra en la Figura 13.

Es claro que esta forma de respuesta entre precipitación, temperatura y altitud, respectivamente, con relación a aptitud, se graficó linealmente; lo correcto sería graficar con el mismo procedimiento del programa de cómputo usado, así como reunir las evidencias experimentales que justifiquen la forma de respuesta asumida.

5.2.3 Proceso de Análisis Jerárquico (AHP)

De acuerdo con Vaidya y Kumar (2004), citados por Hahn (2004), el AHP es una metodología útil para la EMC que ha tenido un amplio uso; en ella, el decisor provee sus preferencias relativas (en términos de asignación de pesos de importancia) a las distintas alternativas por medio de una serie de comparaciones en pares o pareadas, con las que se forma una matriz de comparación; las prioridades o importancia relativa de las alternativas (eigenvector) se obtienen a través de un método determinístico: la descomposición del eigenvalor (medida de la consistencia del juicio u opinión) (Saaty, 1980).

En su investigación sobre una técnica para incorporar un procedimiento estocástico a la asignación de peso de las preferencias en el método AHP, Hahn (2004) reporta que ésta es una de las técnicas de EMC en la que los juicios de valor (pesos de las preferencias) se procesan matemáticamente en un ambiente de certeza (el error no existe o es despreciable).

5.2.3.1 Descripción del método

El AHP se basa en el principio fundamental de que la experiencia y el conocimiento de la gente respecto a un problema en cuestión, es tan valioso como los datos que se usan (Saaty, 1980; Elineema, 2002). El método fue desarrollado por el matemático Thomas L. Saaty (1980), y consiste en formalizar

Cuadro 4. Funciones de membresía para pino piñonero con partición de rangos a partir de valores óptimos de altitud, clima y suelo.

Altitud (m)	Precipitación (mm anuales)	Temperatura (media anual en °C)	Profundidad de suelo (cm)	Valor asignado
2200-2299	500-549	14.5-15.4999	50-100 ¹	1
2100-2199	475-499	14.0-14.4999		0.9
230-2399	550-574	15.5-15.9999		
2000-2099	450-474	13.5-13.9999		0.8
2400-2499	575-599	16.0-16.4999		
			0-50 ²	0.75
1900-1999	425-449	13.0-13.4999		0.7
2500-2599	600-624	16.5-16.9999		
1800-1899	400-424	12.5-12.9999		0.6
2600-2699	625-649	17.0-17.4999		
1700-1799	375-399	12.0-12.4999		0.5
2700-2799	650-674	17.5-17.9999		
1600-1699	350-374	11.5-11.9999		0.4
2800-2899	675-699	18.0-18.4999		
1500-1599	325-349	11.0-11.4999		0.3
2900-2999	700-724	18.5-18.9999		
			>100 ³	0.25
1400-1499	300-324	10.5-10.9999		0.2
3000-3099	725-749	19.0-19.4999		
1300-1399	275-299	10.0-10.1999		0.1
3100-3199	750-774	19.5-19.9999		
<1300	<275	<10.0	<50 ⁴	0.0
≥3200	≥775	≥20.0		

¹Suelos sin fases físicas.

²Suelos con fases físicas: lítica somera, dúrica somera y petrocálcica

³Suelos con fases físicas: lítica y dúrica profunda

⁴Litosaes

Fuente (García, 1999).

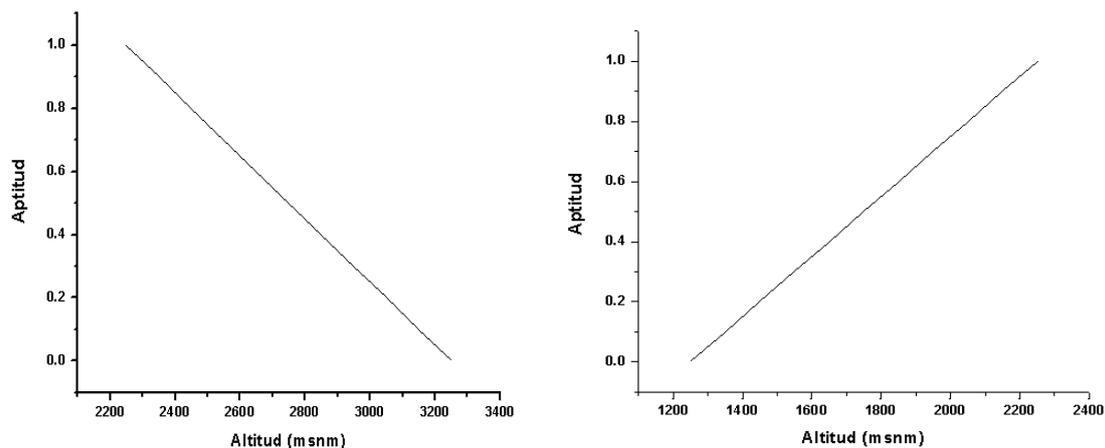


Figura 13. Gráfica en forma lineal de la relación entre los valores de altitud y la aptitud correspondiente (1 = más apto, 0= no apto).

la comprensión intuitiva de un problema multicriterio complejo, mediante la construcción de un modelo jerárquico, que le permite al decisor estructurar el problema en forma visual. El modelo jerárquico básicamente contiene tres niveles: meta u objetivo, criterios y alternativas.

Según Saaty (1980), la teoría indica lo que parece ser un método innato de operación del cerebro humano: cuando se presenta una cantidad o conjunto de elementos, controlables o no, que componen una situación compleja, ella los agrega en grupos según compartan ciertas propiedades; el método AHP repite este proceso y a los elementos que identifica con propiedades comunes los considera como los elementos de un nuevo nivel en el sistema; esos elementos pueden reagruparse a su vez de acuerdo a otro conjunto de características y constituir otro nivel superior, y así hasta que se alcanza el máximo nivel, al cual se le puede identificar como la meta del proceso de toma de decisiones. Ese agrupamiento en niveles es lo que se conoce como jerarquía.

5.2.3.2 Elementos del AHP

- *Modelo Jerárquico*

Una jerarquía es un sistema de niveles estratificados, constituido cada uno de varios elementos o factores; es también una abstracción de la estructura de un sistema para estudiar las interacciones

funcionales de sus componentes y sus impactos sobre el sistema entero (Saaty, 1980); Según Bustillos (2006), al construir la jerarquía se debe considerar el ambiente que afecta el problema e identificar los aspectos o atributos que describen a la solución, los factores asociados con el problema, las posibles alternativas de solución y todo aquel factor relevante que intervenga en el problema.

Para establecer el modelo jerárquico, el primer paso consiste en descomponer el problema de decisión en una jerarquía que considere los elementos más importantes del problema, siendo el nivel más alto de la jerarquía el objetivo o meta del problema de decisión. La jerarquía desciende entonces de lo general a lo específico hasta alcanzar el nivel de atributos, el nivel más bajo de la jerarquía y contra el que se evalúan las alternativas de decisión. En un problema de decisión de tipo espacial, las alternativas son representadas en una base de datos SIG, donde cada capa o mapa contiene los valores de los atributos asignados a las alternativas y cada alternativa se relaciona con los atributos del nivel superior (Malczewski, 1999).

- *Evaluación*

Métodos de asignación de pesos de preferencias. El peso de las preferencias de los criterios o factores tiene como objetivo expresar la importancia relativa de cada criterio con respecto a los otros criterios en un nivel de la jerarquía. Algunas técnicas para asignar esos pesos son: ordenamiento (ranking), clasificación (rating), comparación pareada y análisis de compensación (trade-off).

i. Ordenamiento (ranking)

El método más simple de asignar pesos de importancia es ordenarlos, es decir, que cada criterio considerado se ordena en el orden de las preferencias del decisor; se identifican tres técnicas para el ordenamiento:

a) la suma: los pesos se calculan de acuerdo con la siguiente fórmula

$$w_j = \frac{n - r_j + 1}{\sum(n - r_k + 1)}$$

donde: w_1 es el peso normalizado (estandarizado) para el j vo criterio, n es el número de criterios en consideración ($k = 1, 2, \dots, n$), y r_j es la posición del criterio en la clasificación; cada criterio se pesa $(n - r_j + 1)$ y se normaliza por la suma de todos los pesos, esto es, $\sum (n - r_k + 1)$.

b) orden recíproco: los pesos se derivan de los recíprocos normalizados de un criterio clasificado, mediante la siguiente fórmula:

$$w_1 = \frac{1/r_j}{\sum(1/r_k)}$$

c) método exponencial: en este caso el decisor requiere especificar el peso del criterio más importante en una escala de 0 a 1; este peso entra en la siguiente fórmula:

$$w_1 = \frac{(n - r_j + 1)^p}{\sum(n - r_k + 1)^p}$$

y se asume que $p = 2$.

ii. Clasificación (rating)

Los métodos de clasificación o rating requieren que el decisor estime los pesos con base en una escala predeterminada; por ejemplo de 0 a 100; uno de los métodos más sencillos es el de aproximación por asignación de puntos y en el que 0 indica que el criterio se puede ignorar y 100 se asigna al criterio más importante; entre más puntos reciba un criterio mayor es su importancia.

iii. Comparación pareada

Comparación pareada (en pares): es un método de comparación propuesto por Saaty (1980) en el contexto del AHP, y se desarrolla mediante una matriz de comparación en la que se registran los pesos de las preferencias de acuerdo con una escala de valores del uno al nueve determinada por el mismo Saaty (1980), y su uso se describe en la definición de los elementos del proceso AHP.

iv. *Análisis de compensación*

En el análisis de compensación el decisor compara dos alternativas, (por ejemplo A y B), con respecto a dos criterios a la vez y aquilata cual alternativa prefiere; específicamente el decisor determina si prefiere a la alternativa A sobre la B, si prefiere a B sobre A, o si es indiferente entre las dos alternativas (Malczewski, 1999).

Es importante anotar que con base en nueve características o atributos, los métodos de asignación de pesos fueron evaluados por Pitz y McKillip (1984), Schoemaker y Waid (1982) y Kleimdorfer *et al.* (1993), citados por Malczewski (1999), resultando la comparación pareada un método fácil de usar, con teoría estadística/heurística, veraz, muy preciso, con disponibilidad de programas de cómputo y de uso en el entorno SIG. Sin embargo, de acuerdo con Saaty (1980), cuando se use el método de comparación pareada, el decisor se debe preocupar por la ambigüedad que se origina al asignar un valor a un juicio, de modo de no caer en el epíteto “garbage in, garbage out”. De acuerdo con Olivas (2006), la comparación por pares (alternativa-alternativa, alternativa-atributo, atributo-atributo) reduce la complejidad conceptual de la toma de decisiones ya que hace que sólo dos componentes se comparen en un tiempo dado; sin embargo ello se convierte en una desventaja cuando se consideran de 7 a más criterios, por ejemplo, si se consideran 12 criterios en la evaluación, se requieren 66 comparaciones pareadas, considerando $n(n-1)/2$. Aunque esta desventaja solo será tal cuando el procedimiento se haga manualmente.

- *Matriz de comparaciones*

Para la comparación en pares de las alternativas y atributos se requiere de una matriz, (denominada matriz de comparación), registrar los pesos de los criterios y estimar el índice de consistencia; una matriz de comparación tiene la siguiente forma:

	X_1	X_2	...	X_j	...	X_n
A_1	X_{11}	X_{12}	...	X_{1j}	...	X_{1n}
A_2	X_{21}	X_{22}	...	X_{2j}	...	X_{2n}
...
A_i	X_{i1}	X_{i2}	...	X_{ij}	...	X_{in}
...
A_m	X_{m1}	X_{m2}	...	X_{mj}	...	X_{mn}

donde $A = \{ A_1, A_2, \dots, A_m \}$ son las alternativas, X_1, X_2, \dots, X_n , son los atributos; y X_{ij} es el resultado alcanzado por la alternativa A_i , $j = 1, \dots, n$

Fuente: (Font, 2000).

- *Escala numérica para la comparación pareada*

Para hacer las comparaciones se utilizan escalas de razón en términos de preferencia, importancia o probabilidad, sobre la base de una escala numérica propuesta por el mismo Saaty (1980), que va desde 1 hasta 9, como se muestra en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Escala fundamental utilizada en la comparación por pares para el AHP (Saaty, 1982)

Intensidad de importancia	Definición	Explicación
1	Igual importancia.	Dos actividades contribuyen igualmente al objetivo.
3	Moderada importancia.	La experiencia y los juicios favorecen levemente una actividad sobre otra.
5	Fuerte importancia.	La experiencia y los juicios favorecen fuertemente una actividad sobre otra.
7	Muy fuerte a importancia demostrada.	Una actividad es mucho más favorecida sobre la otra y la dominancia es demostrada en la práctica.
9	Importancia extrema.	La evidencia que favorece una actividad sobre otra es absoluta y totalmente clara.
2,4,6,8	Valores intermedios entre los valores de escala.	Cuando es necesario un término medio.
Recíproco distinto a cero	Si se asigna a_{ij} al comparar la actividad i con la j , entonces se asigna $a_{ij} = 1/a_{ij}$ al comparar la j con la i .	Supuesto razonable.

Fuente: Olivas, 2006, a partir de Saaty (1980)

Al usar la escala se asume que la comparación es recíproca, es decir, que si el criterio A es doblemente preferido sobre B, se concluye que el criterio B es preferido 0.5 veces con respecto a A.

- Registro de pesos de las preferencias

De acuerdo con Saaty (1980), si en una matriz 4 por 4 se compara los elementos A, B, C, D:

	A	B	C	D
A				
B				
C				
D				

de acuerdo con los elementos A y B:

si A y B son igual de importantes, poner 1 donde A en la hilera coincide con B en la columna;

si A es ligeramente más importante que B, poner 3;

si A es fuertemente más importante que B, poner 5;

si A es muy fuertemente más importante que B, poner 7; y

si A es totalmente más importante que B, poner 9.

Los números 2, 4, 6, y 8 y sus recíprocos son valores intermedios para facilitar la comparación cuando los juicios difieren ligeramente; la comparación de una variable con si misma es 1, es decir, de igual importancia; en la matriz anterior los valores que resultan de comparar A con B, C y D son 5, 6, y 7 respectivamente; los de comparar B con C y D son 4 y 6, respectivamente; el valor de comparar C con D es 4; la diagonal principal de la matriz tiene 1y los valores debajo de la diagonal corresponden a los recíprocos de los de valores del lado opuesto (5,6,7; 4,6; 4). Por ejemplo, la matriz puede completarse como sigue (Saaty, 1980):

	A	B	C	D
A	1	5	6	7
B	1/5	1	4	6
C	1/6	1/4	1	4
D	1/7	1/6	1/4	1

- *Estimación del índice de consistencia*

Este índice es útil para determinar si las comparaciones son consistentes; se calcula a partir de un Índice de Inconsistencia Aleatorio (IR) y una Razón de Consistencia (RC) , para lo cual dicha razón

debe tener un valor de ≤ 0.10 ; cualquier valor superior a éste indica juicios inconsistentes en la matriz de comparaciones (Malczewski, 1999).

El índice de consistencia se obtiene mediante la fórmula:

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

dónde:

λ_{\max} = valor principal de la matriz de comparaciones;

n = número de criterios usados en la toma de decisión; y

λ = el valor promedio del vector de consistencia

En el Cuadro 6 se presenta la obtención de λ , el Índice de Consistencia (IC), y la Razón de Consistencia (RC) de acuerdo con la matriz de comparación para maíz reportada por Ceballos (2002).

Cuadro 6. Índice de consistencia (IC) para la matriz de comparación pareada en maíz.

										λ	IC	RC
0.230	0.120	0.414	0.297	0.355	0.152	0.241	0.257	2.066	8.990	8.515	0.074	0.052
0.689	0.359	0.414	0.416	0.592	0.152	0.241	0.360	3.223	8.971			
0.077	0.120	0.138	0.178	0.118	0.152	0.241	0.154	1.178	8.537			
0.046	0.051	0.046	0.059	0.039	0.118	0.080	0.051	0.492	8.286			
0.077	0.072	0.138	0.178	0.118	0.152	0.134	0.154	1.023	8.649			
0.026	0.040	0.015	0.008	0.013	0.017	0.009	0.010	0.139	8.200			
0.026	0.040	0.015	0.020	0.024	0.051	0.027	0.017	0.219	8.165			
0.046	0.051	0.015	0.059	0.039	0.084	0.080	0.051	0.428	8.324			

donde: $n = 8$, IR = Índice de Inconsistencia Aleatorio = 1.41 (depende del número de criterios comparados); $\lambda = (8.990+8.971+8.537+8.286+8.649+8.200+8.165+8.324)/8 = 8.515$, $IC = (8.515-8)/(8-1) = 0.074$, $RC = IC/IR, = 0.074/1.41 = 0.052$

El índice de consistencia relativa (CR) se interpreta como: si $CR \leq 0.10$ hay un nivel razonable de consistencia en la comparación por pares; si $RC \geq 0.10$, el valor indica juicios inconsistentes.

Si la razón de consistencia es ≥ 0.10 se debe considerar y revisar los valores de la matriz de comparación y si los ajustes son menores o no significativos, repetir el procedimiento (Elineema, 2002; Malczewski, 1999).

El fundamento del proceso AHP de Saaty (1980) descansa en el hecho que permite dar valores numéricos a los juicios dados por las personas involucradas (expertos), logrando medir cómo contribuye cada elemento de la jerarquía al nivel inmediatamente superior del cual se desprende, así como ofrecer un procedimiento para evaluar la consistencia de los valores numéricos de los juicios.

5.2.4 Usos de la metodología del Proceso de Análisis Jerárquico para la toma de decisiones en el entorno de los Sistemas de Información Geográfica.

Olivas (2006), para definir la aptitud de áreas para el establecimiento de plantaciones forestales, evaluó tres técnicas de modelación cartográfica multicriterio: álgebra booleana, AHP y AHP-lógica difusa.

La Figura 14 muestra la jerarquización general realizada como parte del planteamiento del problema para la identificación de áreas aptas para el establecimiento de plantaciones forestales reportada por Olivas (2006). En la Figura 14 PP es la precipitación, T. MIN es la temperatura mínima, T.MAX es temperatura máxima, pH es la reacción del suelo, PROF es la profundidad del suelo, TEX es la textura del suelo, ALT es altitud y PEND es la pendiente del terreno.

Una vez construido el modelo jerárquico, se realizan comparaciones en pares entre dichos elementos (criterios, subcriterios y alternativas) en una matriz de comparación y se atribuyen valores numéricos (pesos) a las preferencias señaladas por las personas involucradas (expertos), entregando una síntesis de las mismas mediante la agregación de esos juicios parciales.

En el Cuadro 7 se muestra la matriz de comparación pareada con los valores para estandarizar el subcriterio precipitación en el análisis de la aptitud para *Pinus durangensis* (Olivas, 2006).

Olivas (2006), concluye que para efectos de planificación, se deben considerar los resultados con aptitud alta y media, que fueron obtenidos mediante el AHP, debido a que esta técnica es más selectiva en la definición de las áreas con aptitud alta, con relación a las otras técnicas implementadas. Posteriormente, se pueden considerar los resultados obtenidos mediante AHP-Lógica difusa y finalmente los de álgebra booleana.

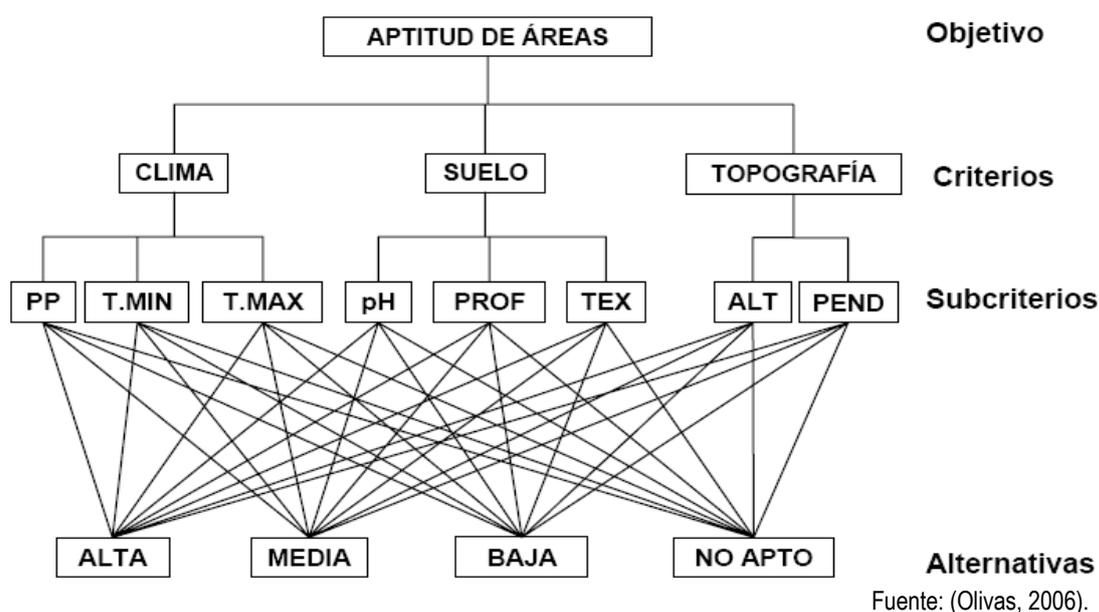


Figura 14. Jerarquización AHP para identificar áreas aptas para plantaciones forestales.

Cuadro 7. Matriz de comparación para estandarizar el subcriterio precipitación para *Pinus durangensis*.

Precipitación	S1	S2	S3	N1	N2
S1	1	3	5	8	9
S2	1/3	1	4	7	8
S3	1/5	1/3	1	6	7
N1	1/8	1/7	1/6	1	3
N2	1/9	1/8	1/7	1/3	1

Fuente: Olivas (2006)

Ceballos (2002), aplicó la EMC en un ambiente de SIG, para identificar la importancia de cada uno de los criterios en el rendimiento de los cultivos y la técnica de función de membresía en la lógica difusa (fuzzy), para estandarizar los mapas factor e identificar áreas aptas para cultivos en el DDR 04 Toluca, México, considerando variables relevantes de clima, suelo y relieve y los cultivos maíz, papa, avena, haba, amaranto y nopal.

En el Cuadro 8 se muestran los criterios y los pesos asignados en la comparación pareada a partir de datos reportados por Ceballos (2002) en maíz.

Cuadro 8. Matriz de comparación pareada para el cultivo de maíz en el DDR Toluca, México.

	Índice P/E	Temperatura mínima	Textura del suelo	pH del suelo	Profundidad del suelo	Temperatura máxima	Altitud	Pendiente
Índice P/E	1	1/3	3	5	3	9	9	5
Temperatura mínima	3	1	3	7	5	9	9	7
Textura del suelo	1/3	1/3	1	3	1	9	9	3
pH del suelo	1/5	1/7	1/3	1	1/3	7	3	1
Profundidad del suelo	1/3	1/5	1	3	1	9	5	3
Temperatura máxima	1/9	1/9	1/9	1/7	1/9	1	1/3	0.2
Altitud	1/9	1/9	1/9	1/3	1/5	3	1	1/3
Pendiente	1/5	1/7	1/9	1	1/3	5	3	1
Total	5.289	2.375	8.667	20.476	10.978	52.000	39.333	20.533

En el Cuadro 9 se muestra el cálculo del vector de prioridades para maíz (a partir de datos reportados por Ceballos, 2002). Obsérvese los valores relativos altos para la temperatura mínima, el índice P/E y la textura del suelo.

Cuadro 9. Vector de prioridades de la matriz de comparación para maíz en el DDR Toluca, México.

	índice P/E	Temperatura mínima (°C)	Textura del suelo	pH del Suelo	Profundidad del suelo (cm)	Temperatura máxima (°C)	Altitud (msnm)	Pen- diente (%)	VP
Índice P/E	0.189	0.140	0.346	0.244	0.273	0.173	0.229	0.244	0.230
Temperatura mínima	0.567	0.421	0.346	0.342	0.455	0.173	0.229	0.341	0.359
Textura suelo	0.063	0.140	0.115	0.147	0.091	0.173	0.229	0.146	0.138
pH del suelo	0.038	0.060	0.038	0.049	0.030	0.135	0.076	0.049	0.059
Profundidad del suelo	0.063	0.084	0.115	0.147	0.091	0.173	0.127	0.146	0.118
Temperatura máxima	0.021	0.047	0.013	0.007	0.010	0.019	0.008	0.010	0.017
Altitud	0.021	0.047	0.013	0.016	0.018	0.058	0.025	0.016	0.027
Pendiente	0.038	0.060	0.013	0.049	0.030	0.096	0.076	0.049	0.051
Total									1.000

donde: VP = Vector de prioridades o eigenvector de pesos de los criterios de maíz.

En el Cuadro 10 se muestra el cálculo del índice de consistencia, a partir de los datos reportados por Ceballos (2002) para la matriz de comparación de maíz.

Cuadro 10. Índice de consistencia (IC) y razón de consistencia (RC) para la matriz de comparaciones para maíz.

Índice P/E	Vector de prioridad (VP)							VC	λ	n max	IC	RC
	Temperatura mínima (°C)	Textura del suelo	pH del suelo	Profundidad del suelo (cm)	Temperatura máxima (°C)	Altitud (msnm)	Pen-diente (%)					
0.230	0.120	0.414	0.297	0.355	0.152	0.241	0.257	2.07	8.99	8.52	0.07	0.05
0.689	0.359	0.414	0.416	0.592	0.152	0.241	0.360	3.22	8.97			
0.077	0.120	0.138	0.178	0.118	0.152	0.241	0.154	1.18	8.54			
0.046	0.051	0.046	0.059	0.039	0.118	0.080	0.051	0.49	8.29			
0.077	0.072	0.138	0.178	0.118	0.152	0.134	0.154	1.02	8.65			
0.026	0.040	0.015	0.008	0.013	0.017	0.009	0.010	0.14	8.20			
0.026	0.040	0.015	0.020	0.024	0.051	0.027	0.017	0.22	8.16			
0.046	0.051	0.015	0.059	0.039	0.084	0.080	0.051	0.43	8.32			

IR para n=8 1.41

donde: VC = Vector de consistencia; $\lambda = VC/VP$, n max= número máximo de criterios o elementos que se comparan = $\sum (\lambda)/n$; IC = índice de consistencia; RC = razón de consistencia; IR = índice de inconsistencia (que depende del número de elementos que se comparan).

Como se observa en el Cuadro 10, más que el índice de consistencia, lo que mide o evalúa la consistencia en los juicios de comparación es la razón de consistencia (CR), la cual resulta de:

$$CR = IC/IR.$$

En este ejemplo el índice de consistencia es menor que 0.10, e indica que los pesos asignados a los criterios son consistentes. Así, el AHP permite llevar a cabo el análisis de sensibilidad, para interpretar los cambios que podrían surgir respecto a las preferencias (Toskano, 2005). Dado que en el ejemplo anterior el índice de consistencia fue menor que 0.10, no es necesario hacer ningún cambio en los pesos asignados.

En la investigación de Ceballos (2002), de acuerdo con el vector de prioridades, el factor más importante para la producción de maíz en la región del DDR 004 de Toluca, México, según la metodología del AHP, es la temperatura mínima (5.8 °C) con 39.5% de la importancia relativa, le sigue el índice P/E con 23.0% de la importancia y luego la textura del suelo con 13.8%.

5.2.5 Discusión sobre el método de Proceso de Análisis Jerárquico

Aunque esta metodología, de acuerdo con Ávila (2000), tiene un amplio ámbito de aplicación, como son: formulación de políticas, gestión ambiental, análisis costo beneficio y formulación de estrategias de mercado, suele ser cuestionada por la subjetividad con que se califican los juicios de preferencia en la matriz de comparación pareada, es decir, lo concerniente al denominado *conocimiento experto*. Así por ejemplo, García *et al.* (2006), al analizar técnicas multicriterio con el fin de justificar inversiones en el desarrollo de prototipos, mostraron que el *conocimiento experto* suele diferir al evaluar criterios subjetivos, y que la valoración de ellos mejora al eliminar los valores extremos, permitiendo una decisión más acertada.

Olivas (2006) y Bustillos (2006), para determinar la aptitud de la tierra para el crecimiento de especies forestales en México mediante técnicas de EMC con el uso de los SIG, utilizaron el conocimiento de 11 expertos para determinar la importancia relativa de los factores de suelo y clima considerados (no reportan revisión de literatura para definir las variables o criterios a evaluar con el procedimiento AHP). En el Cuadro 11 se muestra la construcción de la matriz de comparación por un experto forestal, que evalúa tres criterios: clima, suelo y topografía, y los subcriterios precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima para clima; textura, profundidad y pH para suelo; y altitud y pendiente para topografía.

En el Cuadro 11 se observa un valor de consistencia menor que 0.10 para los *subcriterios* (clima, suelo y topografía), lo cual indica precisamente que hubo consistencia en los juicios de preferencia tal como recomienda la metodología del AHP, pero para los *criterios generales*, el valor de consistencia es mayor que 0.10, indicando ello falta de consistencia.

En el Cuadro 12 se muestran los pesos de importancia relativa asignados por 11 expertos a los factores de suelo, clima y topografía considerados para evaluar la aptitud de las áreas para especies forestales (Bustillos, 2006) y en el Cuadro 13 los juicios de valor (pesos o importancia a partir de la información de los expertos) en plantaciones forestales que resume Olivas (2006).

Cuadro 11. Matriz de comparación para evaluar criterios y subcriterios para especies forestales, por un experto.

Criterios	Clima	Suelo	Topografía	Pesos
Clima	1			0.7147
Suelo	1/5	1		0.2185
Topografía	1/7	1/5	1	0.0668
			Consistencia=	0.16

Subcriterios de clima	Precipitación	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Pesos
Precipitación	1			0.7778
Temperatura máxima	1/7	1		0.1111
Temperatura mínima	1/7	1	1	0.1111
			Consistencia=	0

Subcriterios de suelo	Textura	Profundidad	pH	Pesos
Textura	1			0.2
Profundidad	3	1		0.6
pH	1	1/3	1	0.2
			Consistencia=	0.0

Subcriterios de topografía	Altitud	Pendiente		Pesos
Altitud	1			0.75
Pendiente	1/3	1		0.25
			Consistencia=	0.0

Fuente: Bustillos (2006).

En la información del Cuadro 12 se observa que considerando al criterio Clima, los expertos 1, 3, 4, 10 y 11 le asignan un valor de importancia similar, entre 0.715 y 0.618, mientras que los expertos 2, 5, 7 y 9, le asignan un valor de importancia entre 0.170 y 0.290; ello hace que contrasten también los valores de los criterios Suelo y Topografía, ya que la suma horizontal de las columnas 2 a 4 deben sumar la unidad, así $0.715 + 0.219 + 0.067 = 1$; la consistencia más baja y más congruente de acuerdo con la propia metodología del AHP, correspondió a los expertos 2, 4, 6 y 8, aunque 4 y 6 no reportan el valor de importancia para Suelo y Clima, respectivamente, y no se consigna por los autores mencionados cuántos valores fueron tomados en cuenta en la evaluación realizada.

A nivel de criterios, el valor de importancia más alto correspondió al Clima, luego al Suelo y después a Topografía; de los subcriterios, en cuanto a Clima los valores más altos correspondieron a Precipitación, Temperatura mínima y Temperatura máxima, respectivamente; en cuanto a Suelo los valores más altos correspondieron a Profundidad, pH y Textura, respectivamente; en cuanto a Topografía los valores más altos correspondieron a Altitud y Pendiente, respectivamente.

Cuadro 12. Pesos de importancia relativa para factores de clima, suelo y topografía obtenidos de las encuestas a expertos.

E.E	General				Clima				Suelo			Topografía		
	Clima	Suelo	Topografía	Cons	Pp (mm)	T. máx (°C)	T. mín (°C)	Cons	Tx	Pr (cm)	pH	Cons	Alt. (msnm)	Pen (%)
1	0.715	0.219	0.067	0.160	0.778	0.111		0.000		0.600	0.200	0.000	0.750	0.250
2	0.290	0.655	0.055	0.070	0.680	0.100	0.220	0.610	0.323	0.567	0.110	0.250	0.833	0.167
3	0.618	0.297	0.086	0.120	0.685	0.080	0.234	0.250	0.059	0.240	0.702	0.250	0.167	0.833
4	0.600		0.200	0.000	0.528	0.140	0.333	0.050	0.135	0.584	0.281	0.120	0.500	0.500
5	0.218	0.732	0.050	0.480	0.799	0.097	0.105	0.010	0.715	0.067	0.219	0.520	0.875	0.125
6		0.178	0.070	0.030	0.738	0.170	0.092	0.200	0.184	0.063	0.753	0.250	0.875	0.125
7	0.170	0.738	0.092	0.200	0.747	0.134		0.010	0.600	0.200	0.200	0.000		0.750
8	0.515	0.388	0.098	0.070	0.053	0.474	0.474	0.000	0.152	0.557	0.291	0.380	0.500	0.500
9	0.245	0.325	0.431	1.920	0.694	0.132	0.174	0.070	0.059	0.451	0.490		0.500	0.500
10	0.715	0.219	0.067	0.520	0.778	0.111	0.111	0.000	0.072	0.649	0.279	0.060	0.250	
11	0.715	0.219	0.067	0.520	0.651	0.223	0.127	0.250	0.391	0.279	0.330	1.580	0.750	0.250
Peso	0.539	0.355	0.106		0.625	0.171	0.204		0.244	0.433	0.323		0.568	0.432

donde: E.E=experto, Pp= Precipitación, T. max= Temperatura máxima, T. min= Temperatura mínima, Tx= Textura, Pr= Profundidad, Cons.= Consistencia, Alt= altitud, Pen= Pendiente.

Fuente: Bustillos (2006).

Cuadro 13. Juicios de valor en plantaciones forestales.

Criterios					
Criterio	Peso (w)	Criterio	Peso (w)	Criterio	Peso (w)
clima	0.5389	suelo	0.3554	topografía	0.1057
Subcriterios					
Clima	Peso (w)	Suelo	Peso (w)	Topografía	Peso (w)
Precipitación	0.6251	Profundidad	0.4333	Altitud	0.5682
T. máxima	0.1710	Textura	0.2437	Pendiente	0.4318
T. mínima	0.2039	pH	0.3230		

Fuente: Olivas (2006)

En relación con clima y suelo, los expertos parecen asignar la mayor importancia a los factores que se relacionan con la disponibilidad de humedad y espacio de desarrollo radical de las plantas; con respecto a Topografía, dichos expertos asignan una importancia similar a ambos subcriterios (altitud y pendiente).

Bustillos (2006), al observar los valores de consistencia mayores que 0.10, que reflejan inconsistencia del conocimiento experto, concluye que se observó inconsistencia en las respuestas de los expertos en al menos un subcriterio, lo que habla de la complejidad del método AHP; y menciona que las matrices inconsistentes fueron desechadas del análisis, no tomándose en cuenta para la obtención del promedio final de los pesos. Ello implicaría que las opiniones más consistentes fueron la de los expertos 2 y 8.

Ante esta situación cabe preguntar ¿cuántas opiniones expertas deben considerarse para realizar la comparación pareada?

En el caso de la investigación de Ceballos (2002) no se reportan las valoraciones individuales dadas por los expertos, por lo que no es posible saber el grado de consistencia entre ellos. La identificación de las variables relevantes, que luego se convirtieron en criterios (factores) se hizo con base a la revisión de bibliografía y el conocimiento experto de investigadores del Programa de Mejoramiento Genético de Maíz en Toluca, México. En el Cuadro 14 se muestra la matriz de comparaciones resultante (en la parte superior de la diagonal se encuentran los valores asignados a las preferencias y en la parte inferior de ella, los recíprocos de aquellos):

Cuadro 14. Matriz de comparación pareada de criterios para maíz (resuelta) en el DDR Toluca, México.

	PE	TMIN	TX	PH	PRO	TMAX	ALT	PEN	VP
PE	1	1/3	3	5	3	9	9	5	0.2390
TMIN	3	1	3	7	5	9	9	7	0.3775
TX	1/3	1/3	1	3	1	9	9	3	0.1275
PH	1/5	1/7	1/3	1	1/3	7	3	1	0.0501
PRO	1/3	1/5	1	3	1	9	5	3	0.1106
TMAX	1/9	1/9	1/9	1/7	1/9	1	1/3	1/5	0.0225
ALT	1/9	1/9	1/9	1/3	1/5	3	1	1/3	0.0225
PEN	1/5	1/7	1/9	1	1/3	5	3	1	0.0501
Suma	5.289	2.375	8.667	20.476	10.978	52.000	39.333	20.533	0.9980

donde: PE= pendiente, TMIN= T. mínima, TX= textura, PH= pH, PRO= profundidad, TMAX= T. máxima, ALT= altitud, PEN= pendiente, VP= vector de prioridades o eigenvector de pesos.

Índice de consistencia= 0.03

Fuente: Ceballos (2002).

De acuerdo con el valor del eigenvector, el factor más importante es la temperatura mínima (5.8 °C es el promedio regional) con 37.8% de preferencia del conocimiento experto; le sigue el índice P/E con 23.9%, que se relaciona con la disponibilidad de humedad disponible para las plantas. Al respecto, la temperatura mínima en el área de influencia del Distrito de Toluca, México, por su altitud mayor a los 2500 msnm debe ser importante por alargar el ciclo de las variedades de maíz disponibles, pero tal vez sería más importante cuando ese factor se refiera al fenómeno climatológico de las heladas, las cuales, de acuerdo con Grassi (1983), suelen marcar el inicio y término de la estación de crecimiento de los maíces en los Valles Altos de México, aunque ello no es reportado por Ceballos (2002).

Turrent *et al.* (1986) definieron para los Valles Altos de México las Provincias Agronómicas para el cultivo de maíz con base a los factores de profundidad del suelo y el índice P/E para el periodo junio-septiembre; en la investigación de Ceballos (2002), esos factores representaron solo 35% de las preferencias de los expertos; además del cultivo de maíz, también se aplicó la EMC para los cultivos de papa, avena, haba, amaranto y nopal. Este autor concluye que los valores asignados por los expertos para la construcción de la matriz de comparación fueron consistentes con la bibliografía revisada, confirmando por un lado la utilidad de usar el *conocimiento experto* local para valorar la importancia de los criterios usados en la EMC, y confirma, también, la utilidad del método de comparación pareada para generar los pesos específicos de cada criterio.

En la revisión de literatura para maíz no se observó ninguna referencia bibliográfica con respecto a criterios y subcriterios, de la zona de estudio en la investigación de Ceballos (2002); tampoco en las investigaciones de Bustillos (2006) y Olivas (2006) se mencionan resultados de investigación para las especies forestales en el área de estudio respectivo. Sin embargo, en la investigación de Ceballos (2002) el índice de consistencia menor que 0.10 de la aplicación del AHP en maíz, indica que los valores de las preferencias asignados a los criterios en la matriz de comparación fueron consistentes.

La forma en que el conocimiento experto influye directamente en los resultados obtenidos en la aplicación del AHP y como éste puede mejorarse mediante la eliminación de los juicios inconsistentes o extremos, se observa en el ejemplo reportado por García *et al.* (2006): para ponderar seis criterios de naturaleza subjetiva (velocidad, capacidad de carga, costo, repetibilidad, calidad del servicio, y flexibilidad de programación) los investigadores solicitaron a cinco expertos que emitieran su juicio en

una escala de 1 al 9 sobre la importancia que tiene cada uno de esos criterios, donde el valor uno significa nula importancia de ese criterio en la evaluación. Los resultados se muestran en el Cuadro 15.

Cuadro 15. Ponderación de la importancia de criterios subjetivos mediante el conocimiento experto.

Experto	V	CC	C	R	CS	FP
1	2	2	8	8	2	9
2	9	9	5	5	9	6
3	8	8	6	6	8	7
4	7	7	7	7	7	8
5	9	9	5	5	9	6

donde: V= velocidad, CC = capacidad de carga, C= costo, R= repetibilidad, CS= calidad del servicio, FP = flexibilidad de programación

Fuente: García *et al.* (2006).

Se observa que el experto 1 difiere en su valoración en todos los criterios con los demás expertos; en el Cuadro 16 se observa la ponderación de los criterios excluyendo los valores extremos, que evalúan Goh *et al.* (1996), citados por García *et al.* (2006).

Cuadro 16. Ponderación del vector de prioridades de los criterios evaluados.

Criterio	Ponderación excluyendo extremos	Ponderación sin excluir extremos
V	0.1860	0.1724
CC	0.1860	0.1724
C	0.1396	0.1527
R	0.1396	0.1527
CS	0.1860	0.1724
FP	0.1628	0.1771

Fuente: García *et al.* (2006).

Cuando se hace la suma de los valores de las seis alternativas posibles, tanto excluyendo como sin excluir los valores extremos obtenidos, el orden de ellas se observa en el Cuadro 17.

De acuerdo con el Cuadro 17, si se excluyen los valores extremos la mejor valoración corresponde a la alternativa 2, como se observa en la columna de la derecha; al no excluir los valores extremos, como se observa en la columna de la izquierda, la mejor valoración corresponde a la alternativa 4.

Cuadro 17. Suma de valores de las alternativas (SVA).

Alternativa	SVA sin excluir valores extremos	SVA excluyendo valores extremos
1	0.171467 (4)	0.176976 (2)
2	0.175231 (3)	0.177482 (1)
3	0.175807 (2)	0.174169 (3)
4	0.178716 (1)	0.174188 (4)
5	0.143010 (6)	0.140428 (6)
6	0.155766 (5)	0.156754 (5)

Fuente: García *et al.* (2006).

Así, no obstante el amplio uso que se ha hecho hasta la actualidad del AHP (Ávila, 2000; Toskano, 2005, Olivas, 2006), algunos autores reconocen la necesidad de revisar el procedimiento de asignación de pesos a las preferencias de los decisores en el Proceso de Análisis Jerárquico, como es el caso reportado por Ávila (2000) en la asignación de pesos para el criterio de “Comercialización”, en el cual la menor desviación respecto a la media, correspondió a la opinión de productores; también ello sucedió en el estudio de García *et al.* (2006).

Para reducir el error en la asignación de pesos de las preferencias, Hahn (2004) sugiere el uso de procedimientos estocásticos en esta etapa del AHP; Harouff (2006) evaluó tres procedimientos de asignación de pesos de importancia, ranqueo (clasificación), sobreposición booleana y comparación pareada, para determinar si en realidad los pesos son importantes en los resultados finales del análisis de aptitud en la EMC; aunque se estableció un comité de peritos para definir un grupo de consenso de asignación de pesos, el autor reporta que los resultados muestran que no hubo en realidad un consenso de grupo. Posiblemente, concluye Harouff (2006) podría usarse el proceso Delphi, que está diseñado para lograr consensos de grupo, para desarrollar un mejor esquema de asignación de pesos.

Asimismo, parece necesario evaluar las técnicas de determinación de la función de membresía en el enfoque de la lógica difusa, ya que en la revisión de literatura reportada por los investigadores no se hace referencia al soporte metodológico de la forma de respuesta de los rendimientos de los cultivos a los factores de suelo, clima y topografía y más bien esa relación, cuando se observan las funciones de membresía usadas, se presume que son de tipo lineal, como se mostró en esta revisión.

VI. EL ÁREA DE ESTUDIO

6.1 Municipio de Huamantla, Tlaxcala

La presente investigación se realizó en el Estado de Tlaxcala, para el cual se desarrolla la cartografía obtenida en los resultados; la investigación experimental de campo usada para determinar la mejor función de respuesta del cultivo de maíz bajo temporal se obtuvo principalmente en el área del Distrito de Desarrollo Rural (DDR) 165, Huamantla, Tlaxcala, y en menor medida en el DDR 163 de Calpulalpan, Tlaxcala y el DDR 164, Tlaxcala; sin embargo, la información socioeconómica y sobre la toma de decisiones de los productores agrícolas se recopiló, mediante la aplicación de cuestionarios, en el municipio de Huamantla, por lo que es éste la región de estudio de la presente investigación. La descripción del municipio se basa principalmente en la información del Gobierno de Tlaxcala (2001).

6.1.1 Localización

El municipio de Huamantla se ubica en el Altiplano Central mexicano a una altitud de 2500 m, en las coordenadas geográficas 19° 19' N y 97° 55' O. En la Figura 15 se ubica al municipio como parte del DDR 165 Huamantla y a éste como parte de estado de Tlaxcala. Colinda al norte con los municipios de Terrenate y Alzayanca, al sur con el municipio de Ixtenco, al oriente con los municipios de Cuapixtla y Alzayanca, al poniente con los municipios de Xaloztoc, San José Teacalco, Tocatlán y Tzompantepec. El municipio de Huamantla comprende una superficie de 354.34 km² (35 434 hectáreas), lo que representa el 8.73% del total del territorio estatal, el cual asciende a 4 060. 923 km².

6.1.2 Aspectos socioeconómicos

Población. De acuerdo con INEGI (2007), la población en el municipio es de 77 076 habitantes de los cuales 37 655 son varones y 39 421 son mujeres.

Densidad de población. En 2000 la suma de pobladores fue de 187.85 habitantes por kilómetro cuadrado, que resulta de los valores más bajos en el Estado.

Tasa de crecimiento. En 1995-2000 la tasa de crecimiento fue de 2.81 (municipio de Huamantla, 2007).



Figura 15. Región de estudio: Estado de Tlaxcala, DDR 165 Huamantla y municipio de Huamantla

Población rural y urbana. En el Cuadro 18 se muestra la población total (rural y urbana) según tipo de localidad de residencia de acuerdo con INEGI (1999).

Cuadro 18. Población rural y urbana en el municipio de Huamantla.

Año	Población total	Población rural (%)	Población urbana (%)
1950	14 762	42.2	57.8
1960	19 538	48.0	52.0
1970	26 202	40.6	59.4
1980	36 654	32.0	68.0
1990	51 989	19.2	80.6
1995	59 122	19.6	80.4

Población Económicamente Activa (PEA). De una población total de 66 561 personas en el año 2000, la PEA total fue de 23 090 y la PEA agropecuaria de 6360 personas, que representa 27.5% de la PEA total (INEGI, 2007; Anuario estadístico Tlaxcala 2003).

Ocupación por sector. De acuerdo con el Censo de Población de 1990, 35.9% de la población ocupada se dedicaba a las actividades primarias y 26.7% y 35.9% se dedicó al sector secundario (industria) y terciario, respectivamente (Gobierno de Tlaxcala, 2001).

Vivienda. En el año 2000, de acuerdo a los datos preliminares del Censo General de Población y Vivienda, efectuado por el INEGI, existían en el municipio 12 296 viviendas en las cuales en promedio habitaban 5.4 personas en cada una.

Agua potable y drenaje. El municipio tiene 17 sistemas que abastecen de agua potable a la población, integrados por 20 pozos y 7 manantiales; dichos sistemas dan servicio domiciliario a 9189 tomas domésticas.

Medios de comunicación. Por lo que se refiere a la infraestructura de comunicaciones, el municipio cuenta solo con una estación radiodifusora de amplitud modulada.

6.1.3 Relieve

En el municipio se presentan tres formas características de relieve: a) zonas accidentadas, que abarcan aproximadamente 20.0% de la superficie total municipal y se localizan al norte y sur (zona de La Malinche), b) zonas semiplanas, que ocupan aproximadamente 30.0% de la superficie y se localizan al norte y sur, como prolongación de las zonas accidentadas, y c) zonas planas, que comprenden el 50.0% restante del territorio y se ubican en el centro del municipio (Gobierno del Estado de Tlaxcala, 2001). De acuerdo con INEGI (1999) las principales elevaciones las constituyen La Malinche (Cerro Matlalcueyetl), Cerro Gordo, Cerro El Benito y Cerro Benito Juárez, con una altitud de 4420, 2660, 2560 y 2540 m.

6.1.4 Hidrografía

De acuerdo con INEGI (1999), 97.2% de la superficie del municipio se ubica en la cuenca hidrológica río Atoyac en la subcuenca Totolzingo y el resto en la subcuenca del río Alceseca.

6.1.5 Climatología

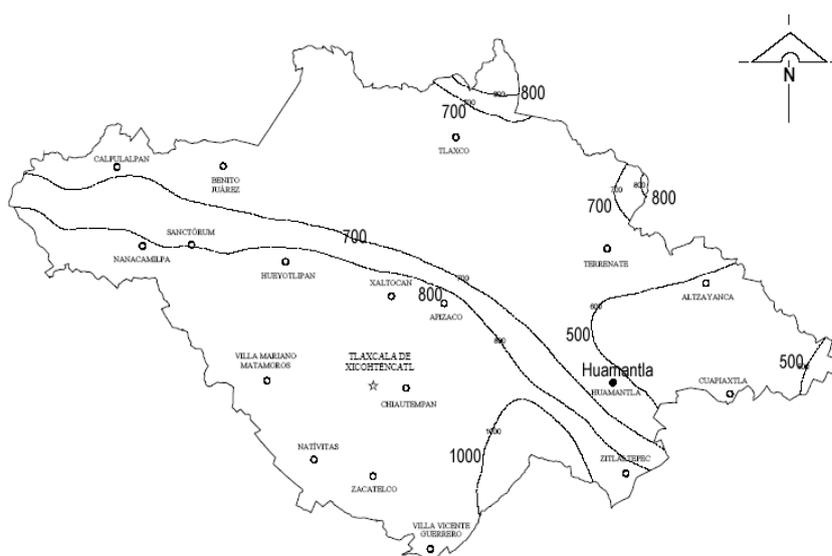
6.1.5.1 Clima

Según García (1988), el clima corresponde al tipo de los C (w), propio de los climas subhúmedos con lluvias en verano, donde la temperatura y la precipitación cambian en distancias relativamente cortas y producen importantes variaciones climáticas en lo referente al grado de humedad.

6.1.5.2 Precipitación

La precipitación presenta ligeras variaciones en cantidad media de lluvia anual con 550 mm en el municipio de Cuapixtla a 730 mm en el municipio de Zitlaltepec, lo cual significa que existe un gradiente de precipitación en dirección de oriente a suroeste (Velázquez, 1989).

En la Figura 16 se muestra la precipitación media anual en el estado de Tlaxcala (1966-2004). Según Aveldaño (1979), alrededor de 92 % de la precipitación en la zona de estudio cae en el período abril a octubre.



Fuente: INEGI (2000).

Figura 16. Precipitación media anual en el estado de Tlaxcala

En la Figura 16 se observa el gradiente de precipitación de oriente a suroeste de menor a mayor cantidad de lluvia reportado por María (1997), con mayor cantidad de lluvia en la parte sur de Tlaxcala y la región oriente con la menor cantidad de ella. De acuerdo con INEGI (1999), la precipitación media anual del año más seco es de 435 mm (1983) y la del año más húmedo es de 824.5 mm (1979); en el

periodo mayo-octubre del año más seco la precipitación es de 394 mm (1983) mientras que en el año más húmedo ese periodo es de 687 mm (1979).

6.1.5.3 Temperatura y heladas

En la estación meteorológica 29011 ubicada en el municipio el valor de la temperatura máxima y mínima para el período 1961 a 1990 se muestra en el Cuadro 19; para el período de abril a octubre la temperatura media es de alrededor de 15.5°C, con temperaturas máximas entre 21 y 26 °C y mínimas entre 6 y 8 °C. Según INEGI (1999) la temperatura media anual del año más frío es de 11.2°C y la del año más caluroso es de 16.1°C.

Cuadro 19. Normales climatológicas de temperatura máxima, temperatura mínima y temperatura media para la estación 29011 Huamantla.

Temperatura media máxima (°C)	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Normal estándar	22.1	23.1	25.2	25.9	25.8	23.6	22.4	22.8	22.4	22.8	22.6	21.9	23.4
Máxima mensual	27.4	27.2	28.2	30.4	29.1	28	24	24.9	24.2	27.2	27.2	27.7	30.4
Año de máxima	1971	1971	1970	1970	1983	1969	1967	1962	1987	1969	1970	1970	1970
Mínima mensual	19.7	20.5	22.4	23.2	23	21.7	21.1	21.3	19.7	20.4	19.1	19.5	19.1
Año de mínima	1981	1983	1966	1985	1984	1981	1976	1984	1984	1974	1976	1973	1976
Años con datos	25	25	27	25	27	25	26	26	27	28	25	25	

Temperatura media mínima (°C)	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Normal estándar	1.2	2.1	4.4	6.4	7.8	8.6	8	7.8	7.9	5.5	3.1	1.8	5.4
Mínima mensual	-2.4	-2.2	0.5	4.1	5.2	6.3	5.9	5.5	6.1	1.5	0.2	-1	-2.4
Año de mínima	1986	1976	1989	1977	1969	1969	1977	1982	1988	1987	1981	1980	1986
Máxima mensual	4.6	6.2	8.2	8.9	9.2	11.2	10.5	9.7	10	8.4	6.5	5.7	11.2
Año de máxima	1961	1962	1963	1961	1961	1961	1961	1962	1962	1962	1961	1962	1961
Años con datos	25	25	27	25	27	25	26	26	27	28	25	25	

Temperatura media	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Normal estándar	11.7	12.6	14.8	16.1	16.8	16.1	15.2	15.3	15.1	14.1	12.8	11.8	14.4

Fuente: Normales Climatológicas, Unidad del Servicio Meteorológico Nacional (consultado en marzo de 2007).

De enero a abril y de octubre a diciembre es mayor la incidencia de número de heladas y de acuerdo con Grassi *et al.* (1986), ellas establecen el fin de la estación de crecimiento de los cultivos agrícolas. En la Figura 17 se muestran las temperaturas medias anuales en la región de estudio.



Fuente: INEGI (2000)

Figura 17. Temperatura media anual en el estado de Tlaxcala

6.1.5.4 Evaporación

En la Figura 18 se muestra la evaporación media acumulada para el periodo mayo a octubre (1966-2004). Por lo general, la evaporación es siempre mayor a la precipitación; se observa un gradiente de más a menos evaporación de oriente a poniente hasta la parte centro-norte y luego de allí, un gradiente de menos a más evaporación.

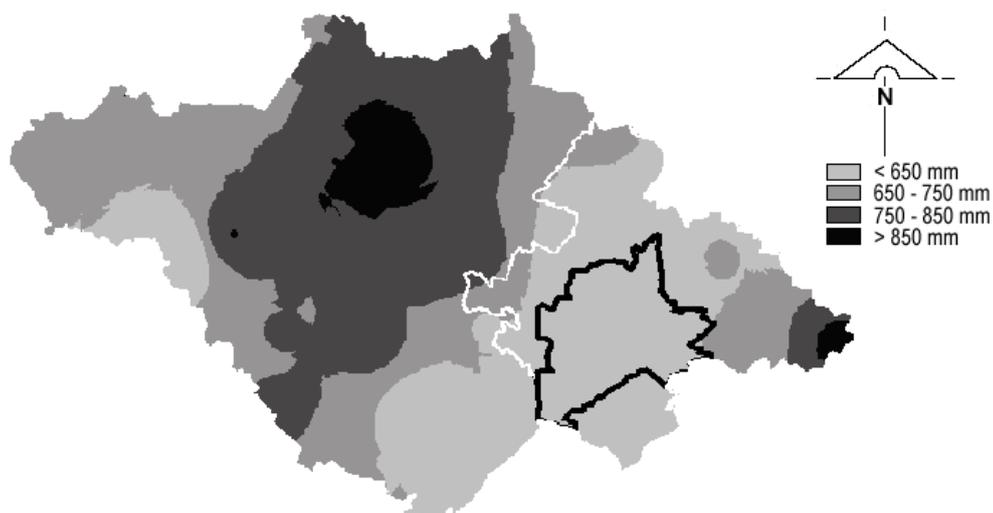


Figura 18. Evaporación media durante el periodo mayo a octubre, en el estado de Tlaxcala.

6.1.6 Vegetación

Más de la mitad del territorio del municipio está ocupado por las actividades agropecuarias. Alrededor de 35% de su superficie tiene vegetación silvestre y se localiza en el área del volcán La Malinche, ésta vegetación está dispuesta en varios estratos altitudinales. En la parte más baja se encuentra el bosque de encino (*Quercus laeta*, *Q. optusata*, *Q. crassipes*), que a menudo se encuentran conviviendo con el ocote chino (*Pinus leiophylla*); hacia arriba, el encino de hoja grande (*Q. rugosa*) se encuentra asociado al madroño (*Arbutus jalapensis*) y al pino real (*Pinus monctezumae*), además del pino blanco (*Pinus pseudostrubus*) y al ailite (*Alnus jurollensis*), así como también con especies de menor talla como el huejote (*Salix paradoxa*) y el tepozán (*Buddleia parviflora*).

6.1.7 Suelos

6.1.7.1 Tipo de suelo

De acuerdo con la Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP, 1981), no existe gran diversidad edáfica. En los llanos del municipio se encuentra el *Fluvisol eutríco*, suelo de origen aluvial, profundo o con limitante gravosa y pedregosa, que se caracteriza por estar formado de materiales disgregados acarreados por el agua. Este suelo se encuentra solo (como unidad dominante) en la mayoría de los casos, aunque en algunas zonas se presenta asociado con *Regosol eutríco*, *Cambisol eutríco* y *Feozem háplico*.

En los lomeríos localizados dentro del llano que comprende al municipio se presentan suelos de textura arenosa como el *Regosol eutríco*, solo o asociado con *Cambisol eutríco* y, en raras ocasiones, con *Litosol* y *Feozem háplico*. En las Faldas de la Malinche se presentan los *Regosoles eutrícos*, *calcáricos* y *dístricos*, de textura arenosas, con desarrollo moderado, y limitados por una fase lítica y pedregosa. Se presentan también -en esta unidad y en el lomerío suave - *Fluvisoles eutrícos* que en estos casos están formados por materiales volcánicos acarreados por el agua. Asociados a estos tipos de suelo (*Fluvisoles eutrícos*) se encuentran algunos *Cambisoles* y *Litsoles*; y en las cercanías del volcán de la Malinche se presentan, aunque en una extensión reducida, *Andosoles mólicos*, suelos de desarrollo moderado, derivados de cenizas volcánicas, con una capa superficial oscura o negra, rica en materia orgánica y nutrientes y que sustentan una vegetación de bosques de coníferas y encinos (ver Cuadro 20) (SPP, 1981). En la Figura 19 se muestran las unidades de suelo en Tlaxcala y el municipio de Huamantla.

Cuadro 20. Unidades de suelo, área y porcentaje, en el municipio de Huamantla.

No.	Superficie (ha)	(%)	Clave	Nombre
1	5018	15.1	Be	Cambisol
2	970	2.9	Hh	Cambisol
3	2234	6.7	L	Litosol
4	11335	34.2	Je	Fluvisol
5	600	1.8	Rc	Regosol calcárico
6	423	1.3	Rd	Regosol dístico
7	12587	38.0	Re	Regosol
Total	33167	100.0	-	-

Fuente: Digitalización de cartas edafológicas de INEGI 1: 50 000 (María *et al.*, 2003).

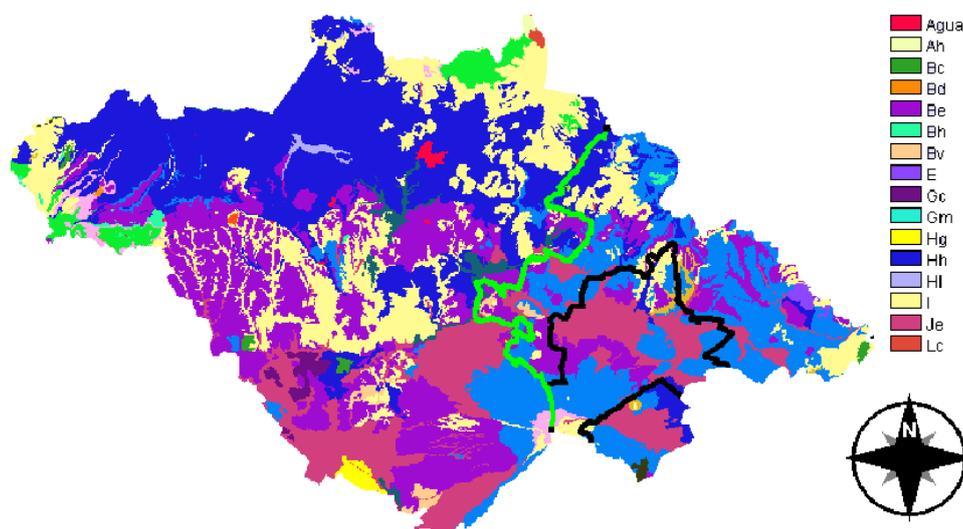


Figura 19. Unidades de suelo en el estado de Tlaxcala.

Se observa en el Cuadro 20 que los suelos fluvisol y regosol cubren 72.2% de la superficie municipal. Con respecto a los suelos regosol Pérez *et al.* (2005) reportan que éste tipo de suelo consiste de sedimentos arenosos toba, limo arenoso y arena fina y se encuentran principalmente al noroeste de Huamantla y en algunas partes al centro y sur del mismo municipio, con poca capacidad para almacenar agua. Según estos autores el tipo fluvisol, constituido de material aluvial reciente, se localiza en la bajada del volcán La Malinche, al norte del municipio. Mientras que los fluvisoles arenosos gravosos se encuentran en la ladera oriental del volcán La Malinche.

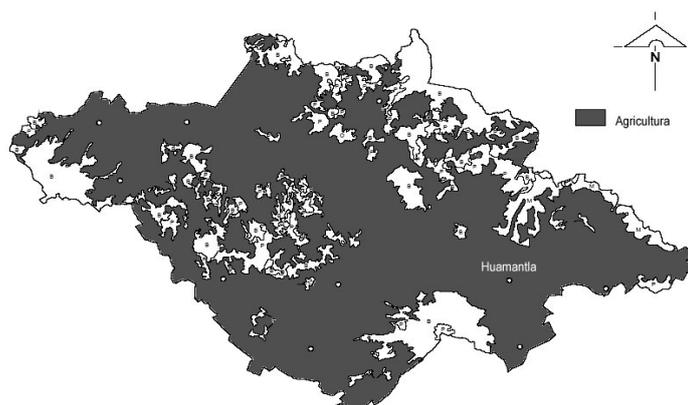
6.1.7.2 Uso potencial del suelo

Según INEGI (1999), 76.9% de la superficie municipal es apta para uso agrícola con mecanización, 11.0% es apta para uso agrícola con tracción animal, 0.7% (247 ha) es apta para un uso manual y 12.2% no es apta para la agricultura. Según este autor 79.2% de la superficie municipal tiene potencial para el desarrollo de praderas cultivadas (uso pecuario), 10.7% para aprovechamiento de la vegetación natural, 1.8% para aprovechamiento en vegetación útil para ganado caprino y 8.3% no es apto para uso pecuario; el municipio tiene potencial para actividades agrícolas o pecuarias casi en la misma proporción (INEGI, 1999), sin embargo, la mayor parte de las unidades de producción sobresalen por sus actividades agrícolas.

6.1.7.3 Uso actual del suelo

De acuerdo con Pérez *et al.* (2005), en el municipio existen 24 ejidos agrícolas y tres ejidos pecuarios y ninguno forestal o de recolección, que corresponden a 11.3% de los 238 ejidos existentes en Tlaxcala; INEGI (1996) reporta 26 ejidos con 3667 ejidatarios.

En el municipio, las unidades de producción rural (UP) ocupan una superficie de 20 703 ha, área que representa 8.6% de la superficie total del estado; de este total, 19 409 hectáreas (93.7%) constituyen las tierras dedicadas a cultivos anuales o de ciclo corto, frutales y plantaciones, 1155 ha se dedican a la ganadería, y 13 ha se encuentran con bosque o selva, 4 ha de bosque o selva mantienen pastos y 122 ha están desprovistas de vegetación (Gobierno de Tlaxcala, 2001). En la Figura 20 se muestran las áreas agrícolas de Tlaxcala.



Fuente: INEGI (2000)

Figura 20. Áreas destinadas a la agricultura en el estado de Tlaxcala

6.1.8 Características de las unidades de producción

6.1.8.1 Unidades de producción con actividades agropecuarias y/o forestales

De acuerdo con el VII Censo Agropecuario (1991) en el municipio había 4092 unidades de producción rural (INEGI, 1996), actualmente se reportan 4203 UP totales; de ellas 4152 tienen actividades agropecuarias o forestales, y 51 no tienen actividades y 321 cuentan con vivienda y animales (INEGI, 2005, a partir del Cuadro 1).

6.1.8.2 Unidades de producción por tipo de tenencia de la tierra

En el Cuadro 21 se muestra la superficie agrícola de las unidades de producción en el municipio de acuerdo con el tipo de tenencia de la tierra; según el Gobierno de Tlaxcala (2001), en 1991 había 478 UP en el sector de la pequeña propiedad, 3463 en el sector ejidal y 151 en el mixto; en cuanto a superficie, la tenencia ejidal representaba 66.4% de la superficie municipal, la pequeña propiedad representaba 29.2% y la tenencia mixta solo 4.4%; ello indica que de entonces a la fecha el sector mixto ha llegado a crecer de 151 a 1501 unidades de producción y poseer más de 30% de la superficie agrícola municipal.

En el Cuadro 22 se muestran las unidades de producción según el tipo de tenencia de la tierra, de acuerdo con INEGI (2004); cabe observar que el número de unidades de producción reportado en el Cuadro 21 (4203) no coincide con el obtenido en el Cuadro 22, de 5952 sumando la ejidal, comunal, privada y pública, pero la información es útil para conocer el tamaño de las unidades de producción por tipo de tenencia de la tierra. En el Cuadro 21 se observa, por ejemplo, que en la propiedad privada, 67.3% de las unidades de producción tienen desde 1 hasta 5 ha (138 de 205 UP); 67.2% de las UP ejidales tienen desde 1 hasta 5 ha (1664 de 2477 UP); 83.6% de las unidades de producción en la tenencia mixta tienen ese mismo rango en el sector ejidal (1248 de 1492 UP), así como 83.8% de las unidades de producción en la pequeña propiedad (1248 de 1489 UP); ello indica que en promedio 72.7% de las unidades de producción tienen entre 1 a 5 ha.

Cuadro 21. Unidades de producción y superficie agrícola en el municipio de Huamantla, de acuerdo con el tipo de tenencia de la tierra.

Tipo de tenencia	Unidades de producción (Núm.)	Superficie agrícola (ha)	Sembrada con cultivos agrícolas* (ha)	Otros usos (ha)
Privada	206	2 785.8	2 746.7	108
Ejidal	2 496	10 177.0	10 082.6	281.6
Mixta	1 501	6 130.5	5 970.0	169.5
Total	4 203	19 093.3	18 799.2	559.1

*En el ciclo Primavera-Verano (PV) 2003

Fuente: a partir de los Cuadro 2 y 3 de INEGI (2004).

Cuadro 22. Distribución de las unidades de producción rurales por tipo de tenencia de la tierra, tipo de productores y rango de superficie en el municipio de Huamantla.

Tipo de tenencia y rango de superficie	Ejidal		Comunal		P. privada	
	Núm.	superficie (ha)	Núm.	superficie (ha)	Núm.	superficie (ha)
Privada	-	-	-	-	205	2878.3
hasta 1 ha	-	-	-	-	53	15.0
> 1 a 2	-	-	-	-	32	40.3
>2 a 5	-	-	-	-	53	167.4
>5 a 20	-	-	-	-	40	347.9
>20 ha	-	-	-	-	27	2307.7
Ejidal	2477	10429.5	256	29.2	-	-
hasta 1 ha	135	67.7	19	2.2	-	-
>1 a 2	421	553.9	35	5.9	-	-
>2 a 5	1108	3402.9	136	14.9	-	-
>5 a 20	800	5560.1	66	6.1	-	-
>20 ha	13	844.9	0	0.0	-	-
Mixta	1492	5286.5	13	1.3	1489	981.5
hasta 1 ha	32	9.9	2	0.0	33	4.4
>1 a 2	92	90.1	4	0.6	90	30.7
>2 a 5	1124	3244.9	5	0.3	1125	113.0
>5 a 20	228	1450.2	2	0.3	225	246.0
>20 ha	16	491.3	0	0.0	16	587.4
Total	3969	15715.9	269	30.4	1694	3859.8

UP = Unidad de producción

Fuente: a partir del Cuadro 4 de INEGI (2004).

6.1.8.3 Derechos sobre la tierra

En 1991, de un total de 20 703 ha de las UP rurales en Huamantla, 20 397 eran usufructuadas por derechos directos y del resto con derechos indirectos: 106 en forma de renta, 25 prestadas, 168 en aparcería y 9 ha en otra forma (INEGI, 1996).

6.1.8.4 Unidades de producción por tipo de tenencia y disponibilidad de agua

En el Cuadro 23 se muestran las unidades de producción y la superficie según el tamaño de ellas y el tipo de tenencia, de acuerdo con la disponibilidad de agua en el municipio; se observa que en riego la superficie en propiedad privada (98.8%) se concentra en unidades de más de 20 ha; en la tenencia ejidal ese tamaño de unidad representa sólo 10.2%, y en la tenencia mixta ella representa 42.3%. Bajo temporal 30.4% de las UP en la propiedad privada tienen de 2 a 5 ha; en la tenencia ejidal ese tamaño de UP representa 45.1% mientras que en la mixta representa 74.5%.

Cuadro 23. Distribución de las unidades de producción rurales por tipo de productores y rango de superficie de acuerdo con la disponibilidad de agua en el municipio de Huamantla.

Tipo de tenencia y rango de superficie (ha)	UP rurales (nú m.)	Superficie total (ha)	Unidades de producción					
			Riego			Temporal		
			UP (nú m.)	Superficie (ha)	Tamaño medio (ha)	UP (nú m.)	Superficie (ha)	Tamaño medio (ha)
Privada	182	2785.8	20	1462.5	73.1	171	1323.3	7.7
hasta 1 ha	31	12.9	0	0.0	-	31	12.9	0.4
> 1 a 2	32	40.2	0	0.0	-	32	40.2	1.3
>2 a 5	52	151.0	0	0.0	-	52	151.0	2.9
>5 a 20	40	315.1	2	17.5	8.8	39	297.6	7.6
>20 ha	27	2266.5	18	1445.0	80.3	17	821.5	48.3
Ejidal	2435	10177.0	218	726.9	3.3	2337	9450.2	4.0
hasta 1 ha	97	62.1	6	3.9	0.7	91	58.2	0.6
>1 a 2	419	535.7	16	19.1	1.2	407	516.6	1.3
>2 a 5	1107	3338.2	89	220.8	2.5	1054	3117.4	3.0
>5 a 20	800	5444.5	105	409.1	3.9	774	5035.4	6.5
>20 ha	12	796.5	2	74.0	37.0	11	722.5	65.7
Mixta	1499	6130.5	133	707.9	5.3	1409	5422.6	3.8
hasta 1 ha	34	13.0	0	0.0	-	34	13.0	0.4
>1 a 2	95	122.5	6	8.1	1.3	89	114.4	1.3
>2 a 5	1126	3299.5	92	252.9	2.7	1050	3046.6	2.9
>5 a 20	228	1674.9	30	147.4	4.9	221	1527.5	6.9
>20 ha	16	1020.6	5	299.5	59.9	15	721.1	48.1
Total	4116	19093.3	371	2897.3	7.8	171	16196.0	4.1

Fuente: a partir del Cuadro 10 de INEGI (2004).

También se observa en el Cuadro 23 que en lo general 63.2% , 66.7% y 83.7% de las UP privadas, ejidales y mixtas tienen menos de 4 ha (las que están en los rangos de hasta 1 ha, más de 1 y hasta 2 ha, y más de 2 y hasta 5 ha); bajo riego, las tenencias ejidal y mixta tienen en promedio 86.3% de las UP entre menos de 1 y hasta 4 ha; en temporal, 67.3%, 66.4% y 83.3% de los tipos de tenencia privada, ejidal y mixta tienen menos de 4 ha. En otras palabras, en promedio 74.4% de la superficie total de las UP en las tenencias privada, ejidal y mixta, tienen menos de 4 ha; si a la información se le refiere como UP, 72.7% de ellas en los tres tipos de tenencia, tienen menos de 4 ha.

En el ciclo PV 1987 se sembraron 5770 ha bajo riego y 19 743 ha bajo temporal (INEGI, 1995). En el periodo 1991-1997, INEGI (1999) reportó en promedio 5313.5 ha sembradas con riego y 20 217 ha bajo temporal; en el ciclo PV 2006 se sembraron bajo riego 4 594 ha y 19 274 bajo temporal (SAGARPA, 2007), es decir, en 20 años la superficie bajo riego se redujo en 1176 ha y la de temporal en 469 ha.

6.1.8.5 Unidades de producción por fuerza de tracción empleada

En el Cuadro 24 se muestra la distribución de las unidades de producción por tipo de tenencia y tamaño de acuerdo con la fuerza de tracción empleada en ellas; se observa que en la propiedad privada, 59.8% usa tracción combinada (tractor más tracción animal); en las tenencias ejidal y mixta esta tracción representa 60.8% y 50.5% de las UP, respectivamente; ello indica lo importante que es este componente en los sistemas de producción agropecuarios y/o forestales en la región de estudio.

6.1.8.6 Unidades de producción y formas de tenencia de los tractores

En el Cuadro 25 se muestra la distribución de tractores por tipo de tenencia y de derecho sobre ellos en el municipio. En la propiedad privada, 15.9% de las UP usan tractor propio y 42.9% tiene otra forma de derecho de uso, y 41.2% de las UP privadas reportan no usar tractor. En la tenencia ejidal, solo 4.6% de las UP usan tractor propio, 59.3% tiene otra forma de derecho de uso de tractor y 36.1% dice no usar tractor. En la tenencia mixta, 7.1% usan tractor propio, 61.9% tiene otra forma de derecho sobre el tractor y 30.9% dice no usar tractor. En total, se reportan 249 tractores propios en las tenencias privada, ejidal y mixta, y la superficie media por tractor corresponde a 96.1 ha/tractor para la propiedad

Cuadro 24. Distribución de las unidades de producción por tipo de tenencia y tamaño de acuerdo con la fuerza de tracción empleada en ellas en el municipio de Huamantla.

Tipo de tenencia y rango de superficie (ha)	UP rurales totales	Fuerza de tracción			No emplean fuerza de tracción	
		UP rurales	Tractor	Animal		Tractor y animal
<u>Privada</u>	182	174	70	67	37	8
hasta 1 ha	31	30	5	21	4	1
> 1 a 2	32	30	9	13	8	2
>2 a 5	52	50	18	21	11	2
>5 a 20	40	39	14	12	13	1
>20 ha	27	25	24	0	1	2
<u>Ejidal</u>	2435	2227	872	671	684	208
hasta 1 ha	97	85	29	39	17	12
>1 a 2	419	392	135	152	105	27
>2 a 5	1107	1017	378	320	319	90
>5 a 20	800	721	324	155	242	79
>20 ha	12	12	6	5	1	0
<u>Mixta</u>	1499	1401	694	366	341	98
hasta 1 ha	34	32	9	16	7	2
>1 a 2	95	93	27	44	22	2
>2 a 5	1126	1044	530	256	258	82
>5 a 20	228	216	117	45	54	12
>20 ha	16	16	11	5	0	0
Total	4116	3802	1636	1104	1062	314

Fuente: a partir del Cuadro 12 de INEGI (2004)

privada, 90.1 y 57.3 ha/tractor para la ejidal y mixta, respectivamente, es decir, 81.2 ha/tractor en promedio para los tres tipos de tenencia (INEGI, 2004). En una muestra de 3988 UP en el municipio, 269 afirmaron tener 309 tractores de su propiedad, de los cuales 126 están funcionando (INEGI, 2005). De acuerdo con el VII Censo Agropecuario en 1991 había un total de 354 tractores (INEGI, 1996). Ello indica que el número de tractores se está reduciendo año con año y actualmente más de 50% de ellos no está en condiciones de funcionar. De ser así, el promedio de superficie de las UP rurales que se puede trabajar por tractor es de 151.3 ha.

Cuadro 25. Distribución de tractores por tipo de tenencia y de derecho sobre su uso en el municipio de Huamantla.

Tipo de tenencia y rango de superficie (ha)	UP rurales totales (núm.)	Emplean tractor			No emplean tractor (núm.)
		UP rurales que usan tractor (núm.)	Tractor propio (núm.)	Tractor otro tipo de derecho (núm.)	
Privada	182	107	29	78	75
hasta 1 ha	31	9	0	9	22
> 1 a 2	32	17	1	16	15
>2 a 5	52	29	1	28	23
>5 a 20	40	27	7	20	13
>20 ha	27	25	20	5	2
Ejidal	2435	1556	113	1443	879
hasta 1 ha	97	46	2	44	51
>1 a 2	420	241	5	236	179
>2 a 5	1106	696	25	671	410
>5 a 20	800	566	76	490	234
>20 ha	12	7	5	2	5
Mixta	1499	1035	107	928	464
hasta 1 ha	34	16	1	15	18
>1 a 2	95	49	1	48	46
>2 a 5	1126	788	57	731	338
>5 a 20	228	171	40	131	57
>20 ha	16	11	8	3	5
Total	4116	2698	249	2449	1418

Fuente: a partir del Cuadro 13 de INEGI (2004).

6.1.8.7 Comercialización de la producción agrícola

En el Cuadro 26 se muestra el destino de venta de los productos agrícolas en el municipio, a la vez que también las unidades de producción que no venden esa producción; sin embargo, es posible que la venta que no está registrada se refiera a los pequeños montos que se van vendiendo durante el resto del año para solventar situaciones de emergencia en la unidad familiar.

Se observa que 51.1% de las UP no venden su producción agrícola, y de las UP que venden, 17.7.0% lo hacen a intermediarios y 32.0% en el mercado regional, y solo 1.3% vende su cosecha al pie de la parcela.

Cuadro 26. Distribución de las formas de venta de los productos agrícolas por tipo de tenencia y tamaño de la unidad de producción en el municipio de Huamantla.

Tipo de tenencia y rango de superficie (ha)	Unidades de producción totales (UP)	Núm. de UP que venden	Venta				Núm. de UP que no venden
			al pie de parcela	a intermediario	en el mercado regional	otras formas	
<u>Privada</u>	206	90	8	28	36	18	116
hasta 1 ha	31	5	0	2	0	3	26
> 1 a 2	33	14	0	7	4	3	19
>2 a 5	58	24	0	4	14	6	34
>5 a 20	54	27	0	11	10	6	27
>20 ha	30	20	8	4	8	0	10
<u>Ejidal</u>	2459	1116	16	131	687	282	1343
hasta 1 ha	97	14	1	4	8	1	83
>1 a 2	421	84	2	12	50	20	337
>2 a 5	1114	516	4	75	284	153	598
>5 a 20	814	494	9	40	339	106	320
>20 ha	13	8	0	0	6	2	5
<u>Mixta</u>	1451	806	3	198	262	343	645
hasta 1 ha	34	9	0	3	3	3	25
>1 a 2	92	33	0	7	13	13	59
>2 a 5	1113	618	2	138	201	277	495
>5 a 20	200	137	1	46	42	48	63
>20 ha	12	9	0	4	3	2	3
Total	4116	2012.0	27	357.0	985	643.0	2104

Fuente: a partir de Cuadro 17 de INEGI (2004).

6.1.8.8 Uso de tecnología agrícola

De tres componentes tecnológicos que se usan en las siembras del ciclo primavera/verano: semilla mejorada, y fertilizante y plaguicidas, 14.3% de las UP en la propiedad privada utilizan semillas mejoradas, y 3.8 y 6.3% de las UP ejidales y mixtas, respectivamente; en promedio, 93.4% de las UP en las tres tenencias utilizan fertilizantes y 43.8% usan plaguicidas; es decir, en lo que más se diferencian es en el uso de semilla mejorada, que en promedio se usa en 8.1% de las UP (INEGI, 2004, a partir del Cuadro 14).

6.1.8.9 Ganado bovino y porcino

Solo 12.1% de las UP tienen ganado bovino; la existencia total de éste es de 4700 unidades, de las cuales 2062 pertenecen a UP de la propiedad privada, 1600 a la tenencia ejidal y 1005 a la mixta. El número promedio de estos animales es de 41.2, 4.9 y 9.0 para la propiedad privada, la tenencia ejidal y la mixta, respectivamente; es decir, 10.0% de las UP que disponen de este ganado acaparan 43.9% de las cabezas (INEGI, 2004, a partir del Cuadro 18). Con respecto al ganado porcino, INEGI (2004) reportó 613 UP con 5770 cerdos, lo que indica un promedio de 9.4 cabezas por unidad de producción, no obstante 85.1% de las UP no tienen ganado porcino.

6.1.8.10 Ganado caprino y ovino

En el municipio se reporta una existencia de 4796 cabezas de ganado caprino en 257 UP; a la propiedad privada le corresponden 32 UP con 5836 cabezas mientras que a la ejidal y mixta le pertenecen 161 y 61 UP con 2278 y 1246 cabezas, respectivamente; el número promedio de cabezas de ganado por tipo de tenencia es de 39.5, 1.4 y 20.4 para la propiedad privada, ejidal y mixta, respectivamente.

En cuanto al ganado ovino se reporta la existencia de 360 UP con 11 307 cabezas, que se distribuyen de la siguiente manera: en la propiedad privada hay 5836 en 32 UP, en la ejidal y mixta existen 3185 y 2270 cabezas en 225 y 98 UP, respectivamente. Ello indica un promedio de 182.4 cabezas por hato en la propiedad privada y 14.2 y 23.2 cabezas por hato en la tenencia ejidal y mixta, respectivamente (INEGI, 2004, a partir del Cuadro 23).

6.1.8.11 Especies pecuarias diversas

Con respecto a especies pecuarias menores, se reportan 7712 cabezas de pollo en 707 UP, lo que significa un promedio de 19.9 pollos por UP; también se consignan 12 UP con 572 cajones de colmenas de miel, que resulta en un promedio de 47.7 cajones por UP; asimismo se mencionan 3623 conejos en 172 UP, que significa un promedio de 21.1 conejos por UP (INEGI, 2004 a partir del Cuadro 24).

6.1.8.12 Comercialización de la producción pecuaria

De 4203 UP rurales agropecuarias en el municipio, solo comercializan su producción pecuaria 288 UP, que corresponden al 6.9% del total de UP, es decir, que 93.1% no comercializa su producción pecuaria. De las 288 UP que sí comercializan, 64.2% lo hacen con intermediarios y en el mercado regional (INEGI, 2004, a partir del Cuadro 25).

6.1.8.13 Actividades forestales y de recolección

Con respecto a actividades de recolección de productos forestales, INEGI (2004) reporta 419 UP que realizan esta actividad, de ellas 23 corresponden a la propiedad privada y 287 y 130 UP a las tenencias ejidal y mixta, respectivamente; la principal actividad es la recolección de leña, en la que participan 95.7% de las UP que realizan alguna actividad de recolección y también se recolectan hongos y heno, principalmente en las tenencias ejidal y mixta; de una muestra de 3988 UP del municipio, solo dos mencionan cortar árboles para su aprovechamiento comercial y ninguna UP reportó la plantación de especies forestales para su explotación en los próximos 15 años; de 4203 UP rurales agropecuarias en el municipio, en sólo siete UP se realizan actividades de reforestación (INEGI, 2005).

6.1.8.14 Comercialización de la producción forestal

De 404 UP que tienen producción forestal, al parecer referido a los productos recolectados, 3.5% vende la misma y 96.5% no vende su producción; los que comercializan son ocho y seis UP ejidales y mixtas, respectivamente (INEGI, 2004, a partir del Cuadro 28).

6.1.8.15 Maquinaria agropecuaria o forestal

En el municipio se reporta la existencia de 15 trilladoras en 14 UP ejidales y mixtas, y 77 equipos (no especificados) pertenecientes a nueve UP de la propiedad privada y 17 y 20 UP ejidales y mixtas, respectivamente (INEGI, 2004, a partir del Cuadro 31).

6.1.8.16 Forma de organización para el empleo de mano de obra externa

De 4152 UP en el municipio, 3464 tienen alguna forma de organización con relación a la toma de decisiones y el empleo de mano de obra externa (toma de decisiones individualmente, toma de

decisiones con el auxilio de la familia, y toma de decisiones por el grupo u organización); de estas 3464 UP, 652 corresponden a la propiedad privada y 1110 y 1702 a la ejidal y mixta, respectivamente, es decir, 18.8, 32.0 y 49.1 % de las UP. A la forma de organización familiar corresponden 3128 UP (75.3%), es decir que 75.3% de las UP toman las decisiones de forma familiar o en familia), mientras que a la individual y en grupos les corresponden 902 y 122 UP, respectivamente, es decir, 21.7 y 2.9%, respectivamente; en las tres formas de organización, la tenencia ejidal es la que más participa en UP (53.8, 61.6 y 43.4% para lo individual, familiar y en grupo, respectivamente) (INEGI, 2004, a partir del Cuadro 32).

6.1.8.17 Actividades no agropecuarias ni forestales

Solo 100 UP realizan alguna actividad que no es agropecuaria o forestal; de ellas 18 se dedican a la extracción de materiales como arena, grava, etc., y el resto a otras actividades, como son el aprovechamiento de los recursos naturales con fines de recreación, la transformación de materias primas, el aprovechamiento de especies acuáticas, etc. (INEGI, 2004, a partir del Cuadro 33).

6.1.8.18 Principales cultivos agrícolas

- Bajo temporal

La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2007) reporta la siembra de 19 274 ha en condiciones de temporal en el municipio en el ciclo PV 2006, según se observa en el Cuadro 27.

- Bajo riego

En el Cuadro 28 se muestran los principales cultivos sembrados bajo riego en el municipio en el ciclo PV 2006; este tipo de siembras comúnmente se hace con “punta de riego” o “riego de presiembra”.

Como se observa en el Cuadro 27, el maíz es el cultivo más importante, tal es así que en condiciones de temporal representó 76.8% de la superficie sembrada y en riego (Cuadro 28) representó 72.3% de la superficie sembrada.

Cuadro 27. Principales cultivos bajo temporal en el municipio de Huamantla en el ciclo PV 2006.

Cultivo	Superficie sembrada (ha)	Rendimiento medio (t ha ⁻¹)
Avena, forraje	200	8.00
Cebada, grano	90	1.82
Frijol	1700	0.75
Maíz, forraje	1400	38.01
Maíz, grano	14811	2.00
Trigo, grano	1073	3.00
Total	19274	-

Fuente: SAGARPA (2007).

Cuadro 28. Principales cultivos bajo riego en el municipio de Huamantla en el ciclo PV 2006.

Cultivo	Superficie sembrada (ha)	Rendimiento medio (t ha ⁻¹)
Avena forraje	22	12
Brócoli	100	17
Frijol	215	0.9
Lechuga	18	25
Maíz, forraje	500	50
Maíz, grano	3 320	4.5
Papa	162	28.02
Tomate, verde	207	17.25
Zanahoria	50	32
Total	4594	

Fuente: SAGARPA (2007).

En el Cuadro 29 se muestra la distribución por rangos de los tamaños de parcela por tipo de tenencia para el cultivo de maíz en el ciclo PV 2003, de acuerdo con INEGI (2004). Se observa que por tipo de tenencia el rendimiento de maíz es mayor en la propiedad privada con 3.0 t ha⁻¹, por 2.6 y 2.3 t ha⁻¹ de la ejidal y mixta, respectivamente. Por el tipo de tenencia de la tierra, en la propiedad privada el rendimiento más elevado (4.0 t ha⁻¹) se obtiene en las UP con más de 20 ha; el mayor rendimiento (3.5 t ha⁻¹) se obtiene en las UP de hasta 1 ha, en tanto que en la mixta, el rendimiento más elevado (3.7 t ha⁻¹) se obtiene en las UP de hasta 1 ha y en UP con más de 20 ha.

Cuadro 29. Producción de maíz en el ciclo PV 2003 (riego y temporal) de acuerdo con el tipo de tenencia de las unidades de producción en el municipio de Huamantla

Tipo de tenencia y rango de superficie (ha)	UP (núm.)	Superficie sembrada (ha)	Rendimiento medio (t ha ⁻¹)
<u>Privada</u>	157	959.1	3.0
hasta 1 ha	39	22.8	2.6
> 1 a 2	25	33.4	2.2
>2 a 5	48	148.2	1.7
>5 a 20	28	217.8	1.5
>20 ha	17	537.0	4.0
<u>Ejidal</u>	2295	6870.3	2.6
hasta 1 ha	339	287.7	3.5
>1 a 2	477	738.2	3.0
>2 a 5	1002	2967.7	2.8
>5 a 20	469	2612.6	2.1
>20 ha	8	264.1	1.9
<u>Mixta</u>	1431	4624.0	2.2
hasta 1 ha	68	46.3	3.7
>1 a 2	163	254.3	2.9
>2 a 5	1047	2948.2	2.0
>5 a 20	144	945.2	1.9
>20 ha	9	430.0	3.6
Total	3883	12453.5	

Fuente: INEGI (2004, a partir del Cuadro 6).

En el Cuadro 30 se muestra la distribución de los tamaños de parcela por tipo de tenencia para el cultivo de maíz en el ciclo Otoño-Invierno (OI) 2002, de acuerdo con INEGI (2004); se observa que en la propiedad privada se sembraron 7 ha, y 38.2 y 10.3 ha en las tenencias ejidal y mixta, respectivamente con un rendimiento medio de 2.5 t ha⁻¹.

6.2 Los agrosistemas

La decisión de seleccionar al municipio de Huamantla como la región de estudio se tomó con base a que la mayor cantidad de información experimental usada para generar la función de producción que sirvió para determinar la importancia de los factores de suelo, clima y manejo en la producción de maíz

Cuadro 30. Producción de maíz en el ciclo OI 2003-2004 bajo riego de acuerdo con el tipo de tenencia de las UP en el municipio de Huamantla

Tipo de tenencia y rango de superficie (ha)	UP (núm.)	Superficie sembrada (ha)	Rendimiento medio (t ha ⁻¹)
<u>Privada</u>	2	7.0	1.7
hasta 1 ha	0	0.0	-
> 1 a 2	1	2.0	2.0
>2 a 5	0	0.0	-
>5 a 20	1	5.0	1.6
>20 ha	0	0.0	-
<u>Ejidal</u>	18	38.2	2.1
hasta 1 ha	1	0.2	7.0
>1 a 2	6	5.5	4.7
>2 a 5	7	13.3	2.6
>5 a 20	4	19.3	0.9
>20 ha	0	0.0	-
<u>Mixta</u>	5	10.3	4.4
hasta 1 ha	0	0.0	-
>1 a 2	1	0.5	1.6
>2 a 5	2	2.8	1.3
>5 a 20	2	7.0	5.9
>20 ha	0	0.0	2.5
Total	25	55.5	

Fuente: INEGI (2004, a partir del Cuadro 6).

se generó en el área del DDR 165 Huamantla, y que Huamantla es el único municipio de los que constituyen a éste que comprende los tres agrosistemas conocidos, a saber:

- Siembras de maíz en temporal con humedad residual sobre suelos arenosos en las Faldas de La Malinche, del 19 de febrero al 21 de marzo.
- Siembras de maíz en temporal con humedad residual sobre suelos arenosos del Valle de Huamantla, del 11 de marzo al 10 de abril.
- Siembras de maíz en temporal estricto sobre suelos arenosos delgados de Lomeríos, del 31 de marzo al 30 de abril (Aveldaño, 1979; María, 1997).

De acuerdo con María y Volke (1999), a las Faldas de La Malinche corresponden las siembras tempranas, al Valle de Huamantla conciernen las siembras intermedias, y a los Lomeríos las siembras tardías; el valor de clase (definido a través de la media aritmética) para la fecha de siembra en esos agrosistemas es 15 de marzo, 5 de abril y 25 de abril, para las siembras tempranas, intermedias y tardías, respectivamente. Cabe observar que en los tres agrosistemas se puede dar la condición de las siembras tardías.

6.2.1 Producción tradicional de maíz

En la región de estudio se distinguen tres condiciones de producción de maíz de temporal: siembras con punta de riego, siembras de temporal con humedad residual y siembras de temporal estricto. Las primeras se realizan generalmente en suelos profundos y semiplanos, principalmente en las faldas de La Malinche y el Valle de Huamantla, en tanto que las otras son más comunes en los suelos someros, con o sin pendiente considerable. En el desarrollo de la investigación se tomó en cuenta a las siembras de temporal, tanto con humedad residual en el suelo como de temporal estricto.

6.2.1.1 Siembras de humedad residual

De acuerdo con Turrent *et al.* (1992), la condición de siembra en temporal con humedad residual se desarrolló como una variante de manejo del suelo para adelantar la fecha de siembra en suelos profundos que cuentan con un horizonte superficial grueso y de textura ligera arenosa, areno migajosa o migajón arenoso. Según estos autores, la condición de humedad residual en el suelo es común en el eje neovolcánico, de ahí la persistencia de ella en el cultivo del maíz. Esta condición de humedad se mejora mediante prácticas de “arropo de la humedad” como son el barbecho y la rastra inmediatamente después de cortar y amogotar las plantas de maíz (las plantas se hacinan en manojos distribuidos a lo largo del surco para terminar su madurez y secado) o pizcar mecánicamente la mazorca (Velázquez, 1989).

Las siembras de humedad residual se localizan en las laderas de La Malinche y su característica principal es que se efectúan desde la última semana de febrero hasta fines de marzo, lo que da a los productores la oportunidad de sembrar dos meses antes del inicio de lluvias (Aveldaño, 1979). Estas siembras también se realizan, ocasionalmente, en el Valle de Huamantla, a partir de la segunda

quincena de marzo hasta la penúltima semana de abril. En las faldas de La Malinche las siembras de humedad residual se hacen más temprano debido a que por su mayor altitud, las temperaturas son más bajas y alargan el ciclo del maíz.

Bajo esta condición de siembra, se corre el riesgo de que no se presenten lluvias durante el tiempo que transcurre entre la siembra y la germinación y emergencia de las plántulas, lo que puede provocar la muerte de ellas en etapas tempranas de desarrollo; por esta situación es común observar fallas en las densidades de población del cultivo.

Sin embargo, al parecer actualmente en la zona de estudio se está presentando un desfase en las fechas de siembras debido a un retraso de las lluvias por efectos del denominado cambio climático (Castillo, 2007), lo que ha provocado desconcierto tanto a productores como investigadores respecto a los cambios que deben introducirse en los sistemas de producción; por ejemplo, en la semilla a usar, las prácticas agrícolas para conservar humedad, fechas de las labores, cantidad y métodos de aplicación de los fertilizantes, etc.

6.2.1.2 Siembras de temporal estricto

Estas siembras se realizan a partir de la segunda quincena de abril hasta la primera semana de mayo, que es cuando se inician normalmente las lluvias. Según Villalpando (1975), los suelos delgados con horizonte B arcilloso y los suelos delgados de lomerío, cuya morfología no les permite conservar la humedad del perfil (debida a las escasas lluvias de fin del año anterior y los primeros meses del año en que se va a sembrar), se manejan bajo esta condición; sin embargo, en muchas de las ocasiones, éste tipo de siembras se efectúan en suelos profundos, aquellos que no fueron preparados con oportunidad y no conservaron la humedad.

En ambos tipos de siembras (temporal con humedad residual y temporal estricto) predominan las variedades criollas de color blanco o cremoso, fertilizadas con nitrógeno y fósforo en la primera escarda, y con nitrógeno en la segunda escarda, aplicando el fertilizante de forma mateada; comúnmente las fuentes de fertilizantes son urea, superfostato de calcio triple y fosfato diamónico. Es frecuente observar que el fertilizante se aplique cuando hay presencia de maleza en el cultivo y sin humedad en el suelo.

Cuando el grano de maíz está en estado lechoso-masoso, algunos productores acostumbran despuntar la planta; es decir, cortarla desde el nudo superior de la mazorca, hacia arriba, con el objeto de, por una parte, acelerar la madurez del grano y por la otra de aprovechar el forraje verde, sin que se tenga el antecedente de alguna disminución del rendimiento de grano por el uso de esta práctica.

Cuando el maíz llega a su madurez fisiológica, o pocos días antes, es costumbre cortar las plantas para hacinarlas en monos o mogotes; ésta práctica se hace para completar la madurez fisiológica del grano y protegerlo de las heladas tempranas, así como preparar el suelo para conservar la humedad. Actualmente se ha observado que algunos productores, con el fin de reducir la inversión o el pago por jornales extras por el amogotado de las plantas, esperan a que éstas se sequen en pie lo mayor posible y luego las cortan y tienden en el suelo y las pizcan directamente.

VII. EL PRODUCTOR

7.1 Tipificación de productores a nivel nacional

7.1.1 Clasificación de la CEPAL (1982)

De acuerdo con la CEPAL (1982) a los agricultores mexicanos se les puede clasificar como:

Campesinos, ya sean de:

- **Infrasubsistencia:** que poseen menos de 4 ha (ETN¹), contratan menos de 25 jornales al año, su potencial productivo es insuficiente para la alimentación familiar.
- **Subsistencia:** poseen entre 4 a 8 ha, disponen de tierra laborable suficiente para sobrepasar la alimentación básica y generar ingresos que permiten alcanzar el consumo esencial de una familia.
- **Estacionarios:** poseen entre 8 y 12 ha, disponen de tierra laborable suficiente para sobrepasar la alimentación básica y generar ingresos que permiten alcanzar el consumo esencial de una familia y disponen de área para generar un fondo de reposición de los medios de producción.
- **Excedentarios:** poseen más de 12 ha, son como el estacionario pero también son potencialmente excedentarios.

Transicionales: poseen más de 25 ha y contratan menos de 500 jornales en el año agrícola

Empresarios:

- **Pequeños:** la mano de obra familiar es importante, contratan menos de 4 jornales al año.
- **Medianos:** la mano de obra familiar es poco importante, contratan entre 4 a 12 jornales al año.
- **Grandes:** la mano de obra familiar no es importante, contratan más de 12 jornales al año.

¹ Hectárea equivalente temporal: 4 ha ETN (Equivalente Temporal Nacional) = la superficie necesaria para producir 3.98 toneladas de maíz por año por familia de 5.5 miembros. CEPAL (1982)

Empresas pecuarias: contratan más de 12 jornales al año y el valor de la producción pecuaria es mayor a 50% del valor total de la producción:

- Pequeñas: poseen menos de 50 novillos/equivalente²
- Medianas: poseen más de 50 pero menos de 300 novillos/equivalente.
- Grandes: poseen más de 300 novillos/equivalente.

En el Cuadro 31 se puede consultar una tabla de equivalencias para el valor estimado en especie del ganado bovino, de acuerdo con la FAO-SAGARPA (2003).

Cuadro 31. Equivalencia para ganado bovino con respecto a otras especies pecuarias.

Equivalencias para ganado	
Especie	Equivalencias a un bovino
Bovinos	1
Ovinos	5
caprinos	6
Porcinos	3
Aves	100
Abejas (colmenas)	5
Animales de trabajo	1
Otras	50

Fuente: Evaluación Alianza Contigo 2003 (FAO-SAGARPA).

De acuerdo con la tipología de la CEPAL (1982), cuya información se basa en el censo ejidal de 1970, el que según Calva (2007²) es el más completo que se ha realizado en nuestro país, la clasificación de los agricultores de México era la siguiente: 2 212 406 de campesinos, que representaban 86.6% del total; 297 367 productores transicionales, que representaban 11.6% del total, y 47 297 productores empresarios, que representaban solo 1.8% del total de productores. De los campesinos (2 212 406), 64.3% eran de infrasubsistencia, 18.7% eran de subsistencia, 7.5% estacionarios y 9.5% campesinos

² José Luis Calva, 2007. Comunicación personal

excedentarios. En 2005 el Registro Agrario Nacional reportó 3 907 270 beneficiarios de 26 354 núcleos agrarios en México (RAN, 2007).

7.1.2 La CEPAL (1982)

La CEPAL (1982) propone reclasificar a los campesinos de acuerdo con su capacidad de autosuficiencia alimentaria en las siguientes categorías:

- Sin potencial de autosuficiencia alimentaria (SPA), con unidades de producción en las que los recursos que controlan, en particular la tierra de labor, están apreciablemente por debajo de los mínimos requeridos para alcanzar, por lo menos, una producción equivalente a las necesidades alimentarias básicas de una familia, incluso si se le incorpora la mejor de las opciones técnicas disponibles o posibles.
- Unidades autosustentables a largo plazo (ALP), con unidades de producción en que el logro de la seguridad alimentaria implicaría la elevación significativa de los rendimientos a partir de la adopción de tecnología apropiada localmente, del desarrollo de una infraestructura adecuada, y de medidas de reorganización parcelaria y dotaciones complementarias.
- Unidades autosustentables a corto plazo (ACP), con unidades de producción que con una política de insumos y de financiamiento apropiada y con la aplicación de opciones tecnológicas eficientes estarían en condiciones de superar el umbral de una producción regular de autosostenimiento al cabo de menos de 5 ciclos agrícolas.

7.1.3 Clasificación de Janvry (1995)

De acuerdo con su participación en los mercados alimentario y laboral, Janvry, A. de, (1995) clasifica a los agricultores mexicanos como:

- Campesinos sin tierra (600 mil): alta participación en el mercado laboral local y migración estacional.
- Minifundistas (o de infrasubsistencia, y constituyen 50% del total de campesinos): con 1.7 ha en ejido y menos de 4 ha en propiedad privada, producen principalmente maíz para autoconsumo; su ingreso se deriva de actividades extrafinca.
- Pequeños productores de subsistencia (o de subsistencia y estacionarios, representan 20-25% de los campesinos): con 7.5 ha en ejido y menos de 12 ha en propiedad privada, producen para el

autoconsumo y su ingreso agrícola es insuficiente para la subsistencia familiar y la reproducción de la unidad de producción.

- Pequeños productores capitalizados (o excedentarios, representan 10-15% de los campesinos): con 25 ha en ejido y menos de 40 ha en propiedad privada, obtienen un excedente agrícola superior a sus necesidades familiares y productivas que les permite cierto grado de capitalización.
- Agricultores comerciales (campesinos transicionales y empresarios, representan 10-15% de los campesinos): con 15 ha en ejido y 80 ha en propiedad privada; emplean grandes cantidades de trabajo asalariado y producen para el mercado y cultivan casi 50% de la tierra laborable.

7.2 Tipificación de productores a nivel estatal

7.2.1 Clasificación de la CEPAL (1982) de acuerdo con la superficie laborable.

En el estado de Tlaxcala, según el Censo Agropecuario de 1970, se reportaban 74 130 productores; la estratificación, de acuerdo con la CEPAL (1982, a partir del Cuadro 3, México, tipo de productores agrícolas por región y entidad federativa), es la siguiente:

Campesinos

- 78.4% son campesinos de infrasubsistencia (con tierra de labor insuficiente para generar el producto necesario para satisfacer las necesidades de consumo alimentario de una familia promedio, con 5.5 miembros).
- 12.5% son campesinos de subsistencia (disponen de tierras de labor que proporcionan más de lo necesario para la alimentación y llegan a cubrir con su producto las necesidades totales de consumo de la familia).
- 4.7% son campesinos estacionarios (disponen de una superficie de labor que les permite generar un producto equivalente tanto a las necesidades de consumo como a las de un fondo de reposición para sostener en el tiempo el proceso productivo).
- 0.7% son campesinos excedentarios (disponen de una mayor superficie de labor que los productores estacionarios).

Transicionales

- 3.2% son productores transicionales,

Empresarios

- 0.2% son pequeños empresarios,
- 0.2% son medianos empresarios, y
- 0.1% son grandes empresarios.

Si se considera que en ese entonces (1970) los productores agrícolas del país contaban con la política de estado de apoyos al campo como son: PRONASE, BANRURAL, ANAGSA, precio de garantía, subsidios a fertilizantes, pesticidas, maquinaria, seguro agrícola, servicio de extensión, etc., no resultará descabellado afirmar que actualmente esa clasificación es, por lo menos, similar a la existente.

7.2.2 Clasificación de la CEPAL (1982) de acuerdo con su capacidad de autosuficiencia alimentaria.

Esta clasificación está destinada para una propuesta de desarrollo rural en unidades de producción de menos de 12 ha de equivalente temporal, y comprende:

- Campesinos sin potencial de autosustentación alimentaria (SPA): son unidades de producción para las que la seguridad alimentaria no se podría alcanzar a base de medidas políticas agrícolas, para las que sería preciso encontrar ocupación extrafinca; tienen menos de 2 ha de equivalente temporal.
- Campesinos en unidades autosustentables a largo plazo (ALP): unidades de producción en que el logro de la seguridad alimentaria implicaría la elevación significativa de los rendimientos a partir de a) la adaptación y especificación para las condiciones ecológicas locales de las recomendaciones de producción, b) el desarrollo de una infraestructura, y c) reorganización parcelaria y de dotaciones complementarias; tienen más de 2 ha de equivalente temporal.
- Campesinos en unidades autosustentables a corto plazo (ACP): unidades de producción con una política de insumos y de financiamiento apropiada, y la aplicación de opciones tecnológicas conocidas y de eficiencia demostrada; tienen más de 8 y menos de 12 ha de equivalente temporal.
- Campesinos en unidades mercantiles estables (UME): estaría constituido por aquellas unidades de producción que obtienen regularmente una producción que supere a la requerida para el sostenimiento de la familia y de la unidad de producción; tienen menos de 12 ha de equivalente temporal.

De acuerdo con la CEPAL (1982), los campesinos de Tlaxcala tendrían la distribución que se muestra en el Cuadro 32.

Cuadro 32. Tipos de productores de acuerdo con su capacidad de autosuficiencia alimentaria en Tlaxcala (Censo 1970)*.

SPA	ALP	ACP	UME	Subtotal	Empresarios plenos	Total
47 062	20 405	3468	2513	73 448	682	74 130
63.9	27.5	4.7	3.4	99.1	0.9	100%

*SPA= sin potencial de autosuficiencia, ALP= autosuficiencia a largo plazo, ACP= autosuficiencia a corto plazo, UME= unidades mercantiles estables.

Fuente: CEPAL (1982) a partir del Cuadro 38.

De acuerdo con lo anterior, la mayoría de las unidades de producción rural en Tlaxcala se ubican como unidades sin potencial de autosustentación alimentaria (SPA), toda vez que no existen elementos para suponer que la economía de ellas haya mejorado a la fecha. Recientemente, el Registro Agrario Nacional (RAN, 2007) reportó 238 núcleos agrarios y 55 337 beneficiarios en Tlaxcala.

A continuación se registran las características que permiten tipificar a los responsables de las unidades de producción rural en el municipio; la información se obtuvo a partir de 69 encuestas aplicadas en comunidades rurales del área de estudio.

7.3 Tipificación socioeconómica de los productores a nivel municipal

Durante el año 2005 se aplicaron 69 cuestionarios a productores agrícolas de 11 comunidades del municipio con el auxilio de la Presidencia Municipal con fines de tipificación.

7.3.1 Edad

En el Cuadro 33 se muestran los rangos de la edad de los productores, que tuvieron una edad promedio de 52.0 años; Reyna *et al.* (1981) reportan para la región de Huamantla, una edad promedio de 44.2 años.

Méndez y Sahagún (1984) citan a Chalita (1968), quien elaboró una escala en la cual asignó 100% de eficiencia a trabajadores agrícolas, con edades entre 18 y 55 años, y aquellos fuera de ese rango les asignó 50%. Dichos autores propusieron una escala en la que se asignó 100% a los trabajadores agrícolas entre 20 y 65 años; de 66 a 70 años, 75 % y a los mayores de 70 años, 50%. Si ello lo aplicamos a la región de estudio, de acuerdo con Chalita, (Méndez y Sahagún, 1984) 63.6% de los productores está en su edad productiva (18 a 55 años); y de acuerdo con Méndez y Sahagún (1984), 84.9% está en su edad productiva (20 a 65 años). Según INEGI (2005b), los productores rurales masculinos que tienen entre 25 y 49 años participan con 85.0% de la PEA en México, rango de edad que puede ser utilizado para referirse a la edad productiva de los productores agropecuarios y forestales, aunque ello implicaría que 54.6% de los productores de Huamantla esté fuera de ese rango.

Cuadro 33. Distribución de la edad en los productores agrícolas del municipio de Huamantla.

Rango de edad (años)	Frecuencia		Frecuencia acumulada	
	num.	%	num.	%
20-29	1	1.52	1	1.52
30-39	11	16.67	12	18.18
40-49	18	27.27	30	45.45
50-59	19	28.79	49	74.24
60-69	9	13.64	58	87.88
70-79	7	10.61	65	98.48
≥80	1	1.52	66	100.00

7.3.2 Escolaridad

En el Cuadro 34 se muestra el grado de educación cursado por los productores del municipio; 70.6% de los productores cursaron algún año de primaria, 16.2% estudiaron secundaria y 2.9% estudió una licenciatura. Reyna *et al.* (1981) reportan para la región de Huamantla, una escolaridad promedio de 2.2 años cursados en la escuela; el valor obtenido en campo fue de 4.2 años; ello es importante, por ejemplo, en la planeación de actividades de capacitación y transferencia de tecnología.

Cuadro 34. Grados escolares obtenidos por los productores del municipio de Huamantla.

Escolaridad	Frecuencia		Frecuencia acumulada	
	num.	%	num.	%
Sin	7	10.29	7	10.29
Primaria	48	70.59	55	80.88
Secundaria	11	16.18	66	97.06
Técnico o profesional	2	2.94	68	100.00

7.3.3 Número de hijos y miembros totales de la familia

En el Cuadro 35 se muestra la distribución de frecuencias del número de hijos de los productores del municipio; se observa que 34.3% de los productores tiene de 4 a 6 hijos y 29.9% de ellos tiene de 1 a 3 hijos, el promedio es de 5.4 hijos por familia. Esta variable es importante porque se relaciona directamente con el tamaño de parcela: a más hijos, menor será la superficie que le corresponda a cada uno de ellos, en caso de que se dediquen a actividades de campo, aún cuando no se modifiquen los derechos del titular. El número total de miembros en la familia es 7.1 en la muestra analizada.

7.3.4 Hijos menores de 18 años

El número total de hijos menores de 18 años, que eventualmente son los que más ayudarían a las labores agropecuarias o forestales de las UP, se muestra en el Cuadro 36; se observa que 72.7% tiene a lo más 2 hijos menores de edad, por lo cual el máximo número de hijos que ayudan en las actividades agropecuarias o forestales es de 2 en 81.7% de los casos.

7.4 Actividades en la parcela

7.4.1 Principal actividad

La principal actividad de los responsables de las UP en el municipio se muestra en el Cuadro 37; se parte del supuesto de que ellos se dedican principalmente al campo, y se observa que la actividad agrícola es la principal (76.5%) entre las realizadas por los productores de Huamantla, y en menor medida, la agrícola – ganadera con 13.2% de las respuestas.

Cuadro 35. Distribución de frecuencias del número de hijos de los productores del municipio de Huamantla.

Núm. de hijos	Frecuencia		Frecuencia acumulada	
	num.	%	num.	%
0	2	2.99	2	2.99
1	3	4.48	5	7.46
2	7	10.45	12	17.91
3	10	14.93	22	32.84
4	10	14.93	32	47.76
5	8	11.94	40	59.70
6	5	7.46	45	67.16
7	2	2.99	47	70.15
8	7	10.45	54	80.60
9	5	7.46	59	88.06
10	3	4.48	62	92.54
11	3	4.48	65	97.01
14	1	1.49	66	98.51
15	1	1.49	67	100.00

Cuadro 36. Distribución de frecuencias de los hijos menores de 18 años que ayudan en las actividades agropecuarias o forestales en el municipio de Huamantla.

Hijos menores de 18 años (num)	Frecuencia		Frecuencia acumulada	
	num.	%	num.	%
0	25	37.9	25	37.9
1-2	23	34.8	48	72.7
3-4	13	19.7	61	92.4
5-6	4	6.1	65	98.5
>6	1	1.5	66	100.0

Cuadro 37. Distribución de frecuencias de las principales actividades relacionadas con la agricultura realizadas por los productores del municipio de Huamantla.

Principal actividad	Frecuencia		Frecuencia acumulada	
	num.	%	num.	%
Agrícola	52	76.5	52	76.5
Agrícola y otra	7	10.3	59	86.8
Agrícola – ganadera	9	13.2	68	100.0

7.4.2 Ocupación fuera de la unidad de producción

En relación con el tipo de actividades que realizan fuera de su UP, 42.7% de los productores dijo que no realizaba ninguna actividad económica fuera de su parcela, en tanto que 30.7% mencionó que además de las actividades en la UP también se dedicaba al comercio y 20% dijo además contratarse como jornalero; esta situación es importante si se considera el tamaño promedio de superficie que se siembra, el rendimiento del cultivo, la relación beneficio- costo de esa actividad y los ingresos que se generan, especialmente cuando existe la tendencia a pensar en la actividad agrícola como la única que genera ingresos rurales.

7.5 La parcela

7.5.1 Tenencia de la tierra

Respecto al tipo de tenencia de la tierra, 78.6% de los productores informó que su parcela era de tipo ejidal, 14.3% que dijo que era pequeña propiedad y 7.2% mixta. Ello coincide con lo encontrado por otros investigadores, así Loza (1985) reporta que 73% de los productores son ejidatarios y el resto son pequeños propietarios; Mendoza (1985) encontró que en el municipio había 4 242 productores, de los cuales 88.7% eran ejidatarios y 11.2% pequeños propietarios.

7.5.2 Número de parcelas

En el Cuadro 38 se muestra el número de parcelas que los responsables de las UP utilizan en sus actividades agropecuarias o forestales, ya sea como titulares de las mismas o alguna forma de aparcería. Se observa que aproximadamente 70% de los productores utilizan entre dos a tres parcelas.

Cuadro 38. Distribución de frecuencias del número de parcelas que manejan los responsables de las unidades de producción en el municipio de Huamantla.

Número de parcelas	Frecuencia		Frecuencia acumulada	
	num.	%	num.	%
1	20	30.3	20	30.3
2	23	34.8	43	65.2
3	23	34.8	66	100.0

7.5.3 Profundidad del suelo en la parcela

En su mayoría, las parcelas tienen suelos con más de 100 cm de profundidad, y en 22.5% de las veces la profundidad varía entre 50 y 100 cm, y 20% de los terrenos tienen menos de 30 cm de profundidad.

7.5.4 Forma topográfica del terreno

De acuerdo con los productores, 50% disponen de terrenos planos y semi-ondulados con pendiente del suelo menor de 4% y el resto, terrenos ondulados con pendientes mayores que 4%.

7.5.5 Superficie laborable total disponible

En el Cuadro 39 se muestra la distribución de tamaños de la superficie disponible para las UP en el municipio: 36.2% de los productores manifestó tener una superficie laborable entre 0.1 a 4.0 hectáreas, y 58.6% entre 0.1 a 5.0 hectáreas. Cabe observar que la superficie disponible no es necesariamente la superficie acreditada o asignada legalmente a los productores y por ello puede incluir algún monto en otra forma de derecho como puede ser la renta, aparcería, etc.

Cuadro 39. Distribución de la superficie laborable disponible en las unidades de producción en el municipio de Huamantla.

Superficie (ha)	Frecuencia		Frecuencia acumulada	
	num.	%	num.	%
0.1-1.0	5	8.62	5	8.62
1.1-2.0	5	8.62	10	17.24
3.1-4.0	11	18.97	21	36.21
4.1-5.0	13	22.41	34	58.62
5.1-20	24	41.38	58	100.00

7.6 Cultivos sembrados

7.6.1 Número de cultivos sembrados

Durante el ciclo PV 2003, 42.7% de los productores mencionó haber sembrado sólo maíz, 32.3% además de maíz sembró otros dos cultivos, y 23.5%, además de maíz sembró también otros tres cultivos. Es decir, 57.3% de los productores optan por la siembra de varios cultivos, lo que puede

ayudar a reducir riesgos de siniestros agrícolas; esos cultivos fueron frijol, avena, calabaza, alfalfa, haba, y trigo, principalmente.

7.6.2 Cultivo del año anterior

Al disponer de más de un terreno en la UP, la mayoría de los productores siembran más o menos cultivos además de maíz, dependiendo del número de terrenos; de esta manera se determinó que 48.8% sembró maíz el ciclo anterior y el resto sembró otro cultivo como frijol, haba, trigo o avena forrajera el año anterior. Estos cultivos pueden sustituir al maíz en caso de convenir una reconversión productiva en las parcelas.

7.6.3 Superficie sembrada con maíz

En el Cuadro 40 se muestra la superficie con maíz en las UP del municipio, y se observa que 71.6% de los productores siembra entre 1 a 4 ha; por otra parte, en 92.3% de los casos el cultivo se sembró solo y en el resto en forma intercalada o asociada, mayormente con haba o frijol; ello concuerda, por ejemplo, con lo reportado en el V Censo Agrícola-Ganadero y ejidal (DGE, 1975) para maíz en Tlaxcala en el ciclo PV 1969, cuando se sembró maíz en unicultivo en 95.6% de la superficie e intercalada en el resto. Cabe mencionar que los productores del área de estudio suelen recordar que antes de que las instituciones del sector interactuaran con sus actividades agrícolas, obligándoles a sembrar al maíz solo para otorgarles crédito y seguro, ellos acostumbraban a sembrar el maíz en forma intercalada o asociada con otros cultivos para reducir el riesgo de pérdidas por fenómenos climatológicos.

7.6.4 Número de años seguidos sembrando maíz

En el Cuadro 41 se muestra el número de años seguidos en que se siembra maíz en el municipio, observándose que 86.1% de los productores siembran de 1 hasta 4 años seguidos en el mismo terreno.

En el Cuadro 42 se muestra la superficie sembrada con maíz en el periodo 1992 a 2001 en el municipio. Como se observa, no existe variación significativa con respecto al valor medio de superficie sembrada anualmente, lo cual indica que cuando se siembra más de un cultivo en el año agrícola, ellos se van rotando en los terrenos que conforman la UP, manteniendo así dicho promedio. Sin embargo, esa superficie tiende a reducirse significativamente en la actualidad. Así, en el pasado ciclo PV 2006 se sembraron 20 031 ha con este cereal, es decir, casi 14% menos que el promedio sembrado en ese periodo (SAGARPA, 2007).

Cuadro 40. Distribución de frecuencias de la superficie destinada al maíz en las unidades de producción en el municipio de Huamantla.

Superficie (ha)	Frecuencia		Frecuencia acumulada	
	num.	%	num.	%
1	7	10.45	7	10.45
1.5	2	2.99	9	13.43
2	7	10.45	16	23.88
2.5	1	1.49	17	25.37
3	11	16.42	28	41.79
3.5	4	5.97	32	47.76
4	16	23.88	48	71.64
4.5	1	1.49	49	73.13
5	7	10.45	56	83.58
5.5	1	1.49	57	85.07
6	5	7.46	62	92.54
12	1	1.49	63	94.03
16	1	1.49	64	95.52
20	1	1.49	65	97.01
50	1	1.49	66	98.51
1300	1	1.49	67	100.00

Cuadro 41. Distribución de los años seguidos en que se siembra maíz en las unidades de producción en el municipio de Huamantla.

Años seguidos	Frecuencia		Frecuencia acumulada	
	num.	%	num.	%
1	9	25	9	25
2	4	11.11	13	36.11
3	7	19.44	20	55.56
4	11	30.56	31	86.11
10	1	2.78	32	88.89
20	3	8.33	35	97.22
43	1	2.78	36	100.00

Cuadro 42. Distribución de la superficie sembrada con maíz en el municipio de Huamantla.

Año	Superficie (ha)
1992	23 670
1993	24 320
1994	23 458
1995	22 887
1996	23 281
1997	24 343
1998	21 944
1999	22 699
2000	22 503
2001	23 585
promedio	23 269

7.6.5 Superficie destinada a otros cultivos

La superficie con otros cultivos diferentes al maíz, en 55.8% de las UP fue de 1.1 a 2.0 ha en el municipio, como se observa en el Cuadro 43; lo reducido de esa superficie se explica porque más de 80% de la superficie total en el ciclo P-V se siembra con maíz; en el ciclo PV 2006 ese cereal ocupó 83.6% de la superficie total sembrada (SAGARPA, 2007).

Cuadro 43. Distribución de la superficie destinada a los cultivos diferentes al maíz en el municipio de Huamantla.

Superficie (ha)	Frecuencia		Frecuencia acumulada	
	num.	%	num.	%
0	30	43.8	30	43.48
1.1-2.0	38	55.8	68	81.4
2.1-30	1	1.5	69	100.00

7.7 Mano de obra familiar

7.7.1 Jornales contratados para la siembra de maíz

Se encontró que 32.7% contrata entre 10 a 20 jornales por hectárea, 24.5% entre 22 a 30 jornales y 22.4% entre 22 a 40 jornales, mientras que 20.4% dijo no contratar jornales. El promedio de jornales contratados resultó de 24.8 por hectárea (ver Cuadro 44). Es muy importante aclarar que cuando se

analizó la respuesta de 3988 productores del municipio (Censo 2004), sobre si en las actividades agropecuarias o forestales, aparte del responsable y su familia, ¿participaron otras personas en estas labores?, solo 12.6% respondió afirmativamente y 83.5% dijo que no participó nadie más; es decir, que en 83.5% de los casos las actividades agropecuarias o forestales se realizaron solo con mano de obra familiar, porcentaje similar al de la respuesta al origen de la mano de obra empleada en la UP (ver punto 7.7.2) por lo que lo reportado en el Cuadro 44 debe tomarse con reservas o recelo.

Cuadro 44. Distribución de los jornales contratados en una hectárea de maíz en el municipio de Huamantla*.

Jornales contratados (Núm.)	Frecuencia		Frecuencia acumulada	
	num.	%	num.	%
0	10	20.41	10	20.41
6-10	3	6.12	13	26.53
11-15	6	12.24	19	38.78
16-20	7	14.29	26	53.06
21-25	6	12.24	32	65.31
26-30	6	12.24	38	77.55
31-35	7	14.29	45	91.84
36-40	4	8.16	49	100.00

* Ver aclaración en el párrafo correspondiente

7.7.2 Fuente de la mano de obra

Respecto a si había problemas para conseguir la mano de obra contratada, 32.6% de los productores entrevistados respondió afirmativamente, y tocante a la fuente de la mano de obra empleada en la UP, 78.3% de los productores afirmó que ella era familiar y el resto era en forma de intercambio, contratación de tiempo completo o de medio tiempo, etc.

7.8 Conservación del terreno

Un 47.1% de los productores entrevistados no reconoció la erosión en sus terrenos, sin embargo el resto mencionó tener formas de erosión laminar, arroyos, cárcavas y arroyos con cárcavas, combinado con la erosión eólica por vientos fuertes. De ello resulta lógico que 76.1% de los productores mencionaron tener bordos de contención en sus terrenos para reducir el efecto de la erosión eólica e hídrica, construidos en su mayoría por ellos mismos y a los que dan mantenimiento por lo común cada

año (65.3%). Para indagar si se asociaba la condición de erosión con una baja en la productividad de los cultivos, se preguntó a los agricultores si creían que el terreno tenía menos profundidad y menos fertilidad que hace 20 años, y se determinó que 65.6% creía que el terreno era menos profundo y 82.1% que era menos fértil que ese entonces.

7.9 Afectación al maíz por fenómenos climáticos

- Heladas tardías. Estas son las que dañan o pueden dañar a las plántulas de maíz en cualquier etapa vegetativa; 50.0% de los productores mencionaron que se presentaban, en un promedio de tres cada 10 años; el resto respondió que se presentaban desde cuatro hasta 10 veces en 10 años (una helada cada año); por otra parte, 68.0% dijo que la afectación era de regular a leve. Las heladas más dañinas son las que se presentan entre mayo y junio, según mencionó 63.8% de los productores.
- Heladas tempranas. Estas son las que afectan o pueden afectar al cultivo después de la floración y antes de su madurez; 47.8% de los entrevistados reportó que ellas se presentaban, en promedio en tres años de cada 10; el resto mencionó que ellas se presentaban desde cuatro hasta 10 veces en 10 años, y a su vez, 71.2% dijo que la afectación era de regular a fuerte. Estas heladas suelen presentarse entre septiembre y octubre, según lo afirmó 85.5% de los productores.
- Granizo. Este fenómeno suele afectar al maíz en cualquier etapa de su ciclo y, a juzgar por las respuestas de los productores, su presencia no es muy frecuente en el sistema de producción de este cultivo; 73.4% de los entrevistados mencionó que el granizo se presenta hasta en tres de cada 10 años; 86.5% dijo que la afectación era de regular a leve, y 71.9% mencionó que el granizo afecta más al maíz entre julio, agosto y septiembre.
- Vientos fuertes. Estos suelen afectar mayormente a las variedades criollas de maíz por su susceptibilidad al acame o caída de las plantas; así, 73.5% de los entrevistados anotó que ellos afectaban al cultivo de maíz hasta en tres de cada 10 años, y 87.5% que el daño era de regular a leve.
- Sequía. Esta suele afectar al maíz de forma recurrente durante el periodo de la floración y llenado de grano; 71.0% de los productores mencionó que ella afecta al cultivo desde cuatro veces en 10 años hasta todos los años, y 75.8% dijo que el daño era fuerte; además, 80.9% de ellos mencionó que la lluvia en la zona era insuficiente para obtener una buena producción de maíz.

7.10 Sistema de producción del maíz

En este apartado se describen las prácticas comunes que se realizan para la producción de maíz en las parcelas del municipio bajo el supuesto que la variación en ellas resulta en los diferentes sistemas de producción de este cereal, por ejemplo: cuando las siembras se realizan en febrero, en marzo o en abril; si se usa semilla criolla o alguna variedad mejorada; si la siembra es en las Faldas de la Malinche, Valle de Huamantla o en Lomeríos, etc.

7.10.1 Preparación del terreno y siembra del cultivo

La preparación del terreno para la siembra de maíz en el municipio se hace mayormente con tracción mecánica (64.7%) y equipo rentado (52.4%); si se prepara después de amogotar las plantas y el terreno es profundo, se puede conservar humedad para adelantar la siembra. De este modo, 38.8% de los productores dice sembrar con humedad residual en el suelo y 62.2% que siembra en abril. Los métodos de siembra más comúnmente usados son tractor con sembradoras mecánicas (64.2%) y tracción animal con sembradora mecánica (25.4%). El equipo propio para sembrar es ligeramente mayor (49.2%) que el rentado o prestado (44.4%).

7.10.2 Cantidad de plantas

La cantidad de semilla suele ser de 20 a 25 kilos, generalmente criolla (80.3%), en surcos de 80 a 85 cm de distancia entre ellos (79.1%), y 40 a 60 cm entre matas, con 2 a 3 semillas por mata, lo cual resulta en una densidad de 45 mil a 50 mil plantas/ha.

7.10.3 Fertilización

La fertilización suele hacerse en dos ocasiones, usándose urea y superfosfato de calcio triple en la primera aplicación, por lo común en la primera labor o “primera escarda” (mitad de nitrógeno y todo el fósforo), y urea en la tercera labor o “segunda escarda” (la otra mitad de nitrógeno) — después de la primera labor o primera escarda se realiza una segunda labor llamada “labra”—; la fórmula frecuentemente es 92-46-00, es decir, 92 kilos de nitrógeno y 46 de fósforo (P_2O_5) por hectárea. La cantidad de fertilizante puede ser diferente de acuerdo con el agrosistema. El fertilizante se aplica en forma mateada la más de las veces. Aunque no es zona con ganadería intensiva, 65.2% de los

productores mencionó hacer aplicaciones de abono orgánico, con frecuencia de ganado equino y bovino.

7.10.4 Control de plagas, maleza y enfermedades

La maleza suele controlarse mediante escardas y aplicación de herbicidas mayormente (68.8%), las plagas con algún insecticida (no se preguntó porque usualmente no se controlan las plagas) y las enfermedades no suelen ser problema en la producción de maíz, por lo que no se hace ningún tipo de control de ellas.

7.10.5 Cosecha o pizca

Las plantas generalmente se cortan y amogotan en los meses de octubre, noviembre y diciembre y se pizcan manualmente después de esas fechas y antes de la preparación del terreno para la siguiente siembra.

7.10.6 Rendimiento del maíz

Mediante la respuesta de 40 productores se determinó un rendimiento promedio de 1.77 t ha⁻¹. El rendimiento máximo o rendimiento obtenido cuando existieron buenas condiciones climáticas para el cultivo se estimó en 3.2 t ha⁻¹ y cuando las condiciones fueron muy malas climáticamente el rendimiento es 1.0 t ha⁻¹. Esta información se detallará en el apartado de resultados.

7.11 Ingresos por las actividades agropecuarias y/o forestales

De acuerdo con INEGI (2005), de 4152 UP agropecuarias o forestales, 3921 (94.4%) obtienen ingresos de estas actividades y 139 no reportan ingresos; de las UP que obtienen ingresos por esas actividades, 2794 (71.3%) obtienen más del 50% de sus ingresos totales de las actividades agropecuarias o forestales y 1127 obtienen menos de 50% de su ingreso total por dichas actividades. En otras palabras, de los productores que obtienen ingresos por actividades agropecuarias o forestales (3912), 71.3% obtiene más de 50% de sus ingresos totales de su unidad de producción mientras que 28.7% obtiene menos de esa cantidad.

VIII. MATERIALES Y MÉTODOS

Es particularmente importante dejar constancia de la insuficiencia de conocimiento en áreas diferentes a las de formación y desarrollo profesional como investigador, debido a las insuficiencias (de planeación y de recursos humanos y materiales apropiados) de las escuelas e instituciones de docencia e investigación en la formación de su personal científico, al favorecer el trabajo individual en menoscabo del trabajo interdisciplinario; ello puede constatarse, por ejemplo, en los mecanismos de estímulos al desempeño profesional. Pero también es debido al abandono en que el sector oficial mantiene al campo mexicano y a las dependencias que en él inciden. Ello se puede deducir del fomento de la investigación para identificar áreas con potencial productivo que deriven en sistemas de producción con ventajas comparativas de mercado, que son explotadas por una minoría de productores empresariales cuyo destino de la producción es, preferentemente, la exportación. Ello obligó a un esfuerzo extra (muy útil) de entender que dentro del desarrollo rural se investigan, entre otras líneas, las estrategias que usan los responsables de las unidades de producción para reproducir su modelo de unidad familiar, como una razón de vida, así como los procedimientos metodológicos para definirlos. También se observó que dichas estrategias no son estructuradamente estudiadas en los programas de desarrollo rural de manera que permitan una síntesis ordenada de sus características y su diferenciación entre los responsables de esas unidades de producción en las diferentes áreas del país y los diferentes sistemas agropecuarios. Asimismo, el autor también percibió una deficiencia en sus conocimientos de economía agrícola, cuyos fundamentos debieran ser del dominio de los investigadores de otras áreas del conocimiento, como por ejemplo la de productividad de agrosistemas y fertilidad de suelos. De la misma manera se podría argumentar con relación a áreas como genética, ganadería, bosques, ecología, fitopatología, entomología, estadística, nutrición de plantas, etc., que ante la imposibilidad de capacitarse en todas ellas con una suficiencia apropiada queda el recurso del trabajo interdisciplinario.

A continuación se presentan los métodos y herramientas metodológicas de la investigación que se siguieron para afrontar el problema de estudio y dar cumplimiento a los objetivos e hipótesis planteados.

El procedimiento metodológico se ordenó de acuerdo con la disposición de los objetivos específicos a cumplir, que son: a) identificar las estrategias de sobrevivencia de los productores que intervienen en el proceso de toma de decisiones agrícolas, b) tipificar socioeconómicamente a los productores,

c) establecer relaciones a partir de la información experimental disponible de maíz sobre el efecto de los factores de suelo (profundidad), topografía (pendiente), clima (precipitación, sequía, temperatura, heladas) y manejo (cultivos, variedades, fecha de siembra) en la productividad del cultivo de maíz para con su efecto expresado en kilogramos por hectárea hacer la evaluación de la matriz de comparación de las metas globales en el Proceso de Análisis Jerárquico, y d) realizar la EMC.

8.1 Materiales

8.1.1 Información para las estrategias de sobrevivencia y toma de decisiones.

Para las estrategias de sobrevivencia se revisó literatura pertinente, especialmente del área de desarrollo rural. Para la toma de decisiones se analizó información de un cuestionario aplicado a propósito de la investigación a 69 productores del municipio, así como los resultados preliminares de un censo agropecuario realizado por INEGI en el estado de Tlaxcala en 2004; en este último caso, la información se desglosó por tamaño de superficie de la unidad de producción. A partir de la investigación de Janvry, A. de, y Sadoulet (2002) se consideró de interés establecer relaciones gráficas, con respecto a la estrategia del ingreso no agrícola, entre el tamaño de superficie laborable con la proporción de ingreso agrícola y no agrícola en ejidos mexicanos, bajo el supuesto de que ello es aplicable a los productores agrícolas del municipio.

8.1.2 Información para la tipificación socioeconómica de los productores

8.1.2.1 Clasificación según la CEPAL (1982)

Se utilizó la información del cuestionario aplicado en la investigación así como los resultados preliminares del censo agropecuario de INEGI en 2004 en Tlaxcala (la concerniente al municipio).

8.1.2.2 Clasificación según líneas de pobreza (Comité Técnico para la Medición de la Pobreza, 2002)

Se utilizó la información del cuestionario aplicado en la investigación y se tomó en cuenta la definición del Comité Técnico para la Medición de la Pobreza (2002) en las áreas rurales en 2002 en términos de ingreso *per capita*.

8.1.2.3 Clasificación de Janvry, (1995)

Se utilizó la información del censo agropecuario de INEGI en 2004 en Tlaxcala (la concerniente al municipio).

8.1.2.4 Información colectada de los productores para su tipificación socioeconómica

Se elaboró un cuestionario con 68 preguntas que se aplicó directamente a productores agrícolas de 13 comunidades del municipio.

- Tamaño de muestra para la aplicación del cuestionario

Con el objetivo de determinar el tamaño de muestra de los productores del municipio a quienes se aplicó el cuestionario, y con información proporcionada por la Delegación de la SAGARPA en el estado de Tlaxcala, se definió la varianza poblacional de los datos del rendimiento medio de maíz bajo temporal en un periodo de 10 años (1992 a 2001) en la región de estudio, la cual resultó de un valor de $S^2 = 0.4921 \text{ t ha}^{-1}$.

Para determinar el tamaño de muestra se uso la fórmula (Hernández, 2004)³:

$$N = \frac{N \cdot t^2_{\alpha/2} \cdot S^2_n}{(Nd^2 + t^2_{\alpha/2} \cdot S^2_n)}$$

dónde:

n= es el tamaño de muestra,

N es el tamaño de la población objetivo (4116 productores del municipio)

$t^2_{\alpha/2}$ es el valor de t Student, que para 95% de confiabilidad, es igual a 1.96

S^2_n es la varianza muestral, que en este caso es de 0.4921,

d^2 es la precisión para el estudio; se consideró 8% con respecto a la media, que fue de 2.05, por lo que $d^2 = 0.0269$.

³ Hernández Toledano (2004).

Se determinó un tamaño de muestra de 69 productores, es importante mencionar que se usó el muestreo simple aleatorio por las condiciones orográficas del municipio (comprende tres condiciones de siembra por tipo de suelo) Guzmán (2005).

- Características del cuestionario

El cuestionario constó de 68 preguntas directas en cinco secciones así como la parte de control del mismo (fecha, nombre del encuestador, localidad, etc.).

En la primera sección se identificaron aspectos demográficos y socioeconómicos como son la edad del agricultor, su escolaridad, el número de hijos y cuántos de ellos eran menores de 18 años, el número de hijos que ayudan en las actividades de campo y los que ayudan a los gastos del hogar; así como la principal actividad del productor, la ocupación fuera de la UP, el ingreso aproximado mensual total, la forma de tenencia de la tierra y número de parcelas que siembra, la superficie de los cultivos que siembra y el número de ellos, la cantidad de maíz dedicada al autoconsumo de acuerdo a lo producido en el ciclo primavera-verano 2005, la forma de sembrar al maíz (solo o asociado), el cultivo anterior, los años seguidos de sembrarlo y mano de obra familiar utilizada.

La segunda sección se dedicó al componente climático; la forma de pregunta fue ¿en cuántos años en los últimos 10 años su cultivo ha sido afectado (por ejemplo), por heladas antes de la siembra?, si la lluvia en el área se consideraba suficiente, insuficiente o excesiva, si se presentaba sequía y cuál era el rendimiento si se presentaba la sequía durante el ciclo de producción, etc.

En la tercera sección se abordó el componente suelo, como denominación regional, características generales, profundidad, erosión, bordos, mantenimiento; una pregunta relevante fue si consideraba si el terreno era cada vez menos profundo y menos fértil que hace 20 años.

En la cuarta sección se hizo referencia a la información correspondiente al componente tecnológico: preparación del terreno, tracción empleada, control de plagas, condición de la siembra, método de siembra, semilla por hectárea, variedad, ancho de surco, abonos usados, método de fertilización, condiciones de humedad en el suelo al fertilizar, uso antropocéntrico de la maleza, daños al cultivo por

fenómenos naturales, corte y amogote de plantas, pizca y mano de obra y rendimiento de maíz en un año medio, un año climáticamente malo y un año climáticamente bueno.

En la quinta sección se hizo preguntas referentes a la oportunidad de los insumos de producción, así como situaciones de toma de decisiones (variedades, cultivos, fechas de siembra, técnicas de fertilización, solicitud de crédito, asistencia técnica, maquinaria y precios), y en los entornos de toma de decisiones: solo, en familia, con la ayuda de amigos, consultando con SEFOA y SAGARPA, u otros.

La información se ordenó en EXCEL en forma de variables para facilitar su análisis. Es importante insistir en lo anotado en la sección 8.1 referente a la insuficiencia de conocimiento en áreas diferentes a las del desarrollo profesional, en este caso, la falta de adiestramiento en técnicas de obtención de información como la entrevista, la encuesta, etc. El cuestionario se elaboró tomando distintos modelos del área de productividad así como uno proporcionado por el Dr. Antonio Macias López, del Campus Puebla, Colegio de Postgraduados.

8.1.3 Información censal (INEGI, 2005)

Esta información consistió en una base de datos de los resultados del Censo Agropecuario realizado por INEGI en todo el estado de Tlaxcala en 2004. Su presentación fue en tres secciones: un tabulado especial de 16 informes a nivel municipal, 33 tabulados desagregados por tamaño de superficie de las unidades de producción a nivel general para cada municipio y por los tipos de tenencia privada, ejidal y mixta, y una última sección con 11 archivos con la información individual de 53 968 productores.

Cada información se analizó en forma individual registrando los datos pertinentes, sin embargo, la información usada para respaldar los datos de tipificación procedió principalmente de la información individual de los productores del municipio, de los cuales se ubicó en forma precisa a 3988 de 4116 que son en total; ello se hizo mediante un análisis de cada una de las 29 localidades censadas en el municipio, omitiendo las faltantes por inconsistencias de ubicación; para ello se tuvo contacto directo con autoridades de INEGI en Tlaxcala, con el fin de ahondar en el proceso metodológico de la información referida.

8.1.4 Información para obtener la función de producción

Información de productividad de maíz. La base de datos de productividad en maíz, reportada por María y Volke (1999), se amplió con información de experimentos y parcelas semicomerciales establecidas en la región de estudio en los años 2000 a 2003, de ese modo el número de observaciones que consideró el modelo fue 179.

- Información de clima. La información de clima usada fue temperatura media máxima durante el ciclo del cultivo, temperatura media mínima durante el ciclo del cultivo, precipitación total durante el ciclo del cultivo, evaporación total durante el ciclo del cultivo, la cantidad de lluvia de 30 días antes de la fecha de floración masculina, la cantidad de lluvia de 20 días después de la floración masculina, la precipitación del periodo junio a septiembre y la evaporación durante ese mismo periodo. Esta información se obtuvo del programa SICATLAX (Medina et *al.*, 2003).
- Información de suelos. Se utilizó la profundidad de suelo determinada en el sitio experimental, como reportaron María y Volke (1999). Para ello se observó que los experimentos se ubicaron en sitios con suelos profundos de más de 2 m las más de las veces, 42 experimentos se localizaron en sitios con menos de 1.0 m y solo cinco presentaron menos de 0.55 m de profundidad.
- Información de topografía (pendiente) del terreno. Esta variable se tomó directamente en el sitio experimental y está reportada en porcentaje, como lo reportaron María y Volke (1999).
- Información de manejo del cultivo. Las variables consideradas fueron región agroecológica o agrosistema, dosis de nitrógeno, dosis de fósforo y densidad de plantas, todos ellos por hectárea.
- Rendimiento de maíz. Se usó el rendimiento medio de los experimentos multiplicado por 0.8 para eliminar el efecto por manejo y estimar un rendimiento comercial.

8.1.5 Información para obtener los mapas criterio para el AHP

Los mapas criterio se refieren a la representación espacial de los factores (criterios) de topografía, suelo y clima, identificados mediante la función de producción, que afectan al rendimiento de maíz en la zona de estudio.

Información de clima. La información de temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación y evaporación se obtuvo del programa de cómputo SICATLAX (Medina *et al.*, 2003) y del Programa de Investigación de Potencial Productivo del INIFAP, del Campo Experimental Toluca, estado de México. Se obtuvieron los valores medios decenales históricos de dichas variables en 26 estaciones climáticas del estado de Tlaxcala, así como las vecinas de los estados de México (13), Puebla (16) e Hidalgo (5) que estuvieron ubicadas a menos de 30 min del límite estatal; mediante el programa IDRISI Kilimanjaro se interpolaron decenalmente las variables de precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima y evaporación, que resultaron en 144 mapas base con dichas variables de clima.

Información de suelo. La profundidad de suelo se obtuvo a partir de las fases físicas de suelo, de las cartas edafológicas escala 1:50 000 de INEGI, como lo reportan García *et al.* (1999); es decir, primero se determinaron las clases de profundidad de suelo a partir de las fases físicas: de 0 a 50 cm (lítica somera y dúrica somera), de 50 a 100 cm (lítica y dúrica profunda) y mayor de 100 cm (sin fases físicas). Mediante verificaciones de campo, se consideró que las fases físicas pedregosa y gravosa no afectan la profundidad del suelo, aunque si afectan el manejo de los cultivos, como es el caso de la preparación del terreno y siembra del cultivo con tracción mecánica o tracción animal; a los suelos sin fases físicas se les asignó un valor de 100 cm por considerar que a partir de esa profundidad no existen restricciones para el desarrollo de las raíces de los cultivos. Se revisaron las 12 cartas edafológicas que cubren a Tlaxcala y se ubicaron 148 puntos de control con las fases físicas lítica somera y dúrica somera (0 a 50 centímetros) y 55 puntos de control con las fases lítica profunda y dúrica profunda (50 a 100 centímetros); en ellas se registró la profundidad de suelo del punto de control y la fase física correspondiente, para comprobar la relación entre profundidad de suelo y fase física reportada por García *et al.* (1999). En el mapa de las cartas digitalizadas de las fases físicas se identificaron las fases: dúrica somera, dúrica profunda, fase gravosa, lítica somera, y fase pedregosa a las cuales mediante el módulo RECLASS de IDRISI, se les asignó el valor estandarizado del peso de importancia obtenido con la matriz de comparación pareada para el subcriterio de profundidad del suelo.

Información de topografía (pendiente del terreno). La pendiente del terreno se obtuvo a partir del modelo de elevación digital de INEGI, en el Programa de Potencial Productivo del INIFAP, del Campo Experimental Pabellón, Aguascalientes, a una resolución aproximada de 1.0 ha por celda o píxel (misma resolución de todos los mapas usados). Esta imagen se reclasificó en clases expresadas en porcentajes de 0 a 2, 2 a 4, 4 a 6, 6 a 8, 8 a 10, 10 a 12, y más de 12%.

Para realizar las operaciones aritméticas del AHP con los valores o pesos de importancia tanto de los criterios como de los subcriterios se utilizó EXCEL de Microsoft de Office; las gráficas de los factores *versus* rendimiento de grano se hicieron en el programa Origin 7.0 (Origin, 2002).

8.1.6 Conceptos

Se utilizaron los conceptos de agrosistema y factores de diagnóstico, donde: un agrosistema es una parte del universo ocupado por un cultivo, en la que los factores de diagnóstico fluctúan dentro de un ámbito definido por conveniencia; y los factores de diagnóstico de un agrosistema son aquellos factores incontrolables de la producción de suelo, clima y manejo, cuyo ámbito de variación afecta directamente al potencial productivo del cultivo (Turrent *et al.*, 1992).

8.2 Métodos

Se consideró el procedimiento mencionado por García *et al.* (2000), en que los factores de estratificación para los cultivos en la investigación que realizaron se definieron con base a un análisis de regresión múltiple entre el rendimiento del cultivo (variable independiente) y factores de la producción de clima y suelo, como variables independientes, usando el análisis de regresión; las funciones de membresía para la aplicación del enfoque de límites de transición o límites fuzzy se determinaron mediante ecuaciones de regresión simple entre el rendimiento del cultivo y cada uno de los factores definidos en la regresión múltiple; la ponderación de la importancia (asignación de pesos) se definió con base en los coeficientes de determinación (R^2) de las ecuaciones de regresión simples. Sin embargo, en su trabajo los datos requeridos para definir los factores de estratificación fueron los rendimientos medios, ponderados por municipio, como variable dependiente, y los factores de la producción de cultivos (suelo, topografía y clima), ponderados por municipio, como variables independientes.

De acuerdo con Volke (2007, comunicación personal)⁴, cuando se usan en la regresión datos medios para estratos o clases, como los reportados por García (1999) y como los del ejemplo que se da a continuación, para definir una función de respuesta o de producción, las R^2 resultan altas debido a la reducción de la fuente de variación debida a repeticiones dentro de una clase, estrato, etc. En el Cuadro

⁴ Profesor Investigador, Edafología, Colegio de Postgraduados

45 se muestra la superficie sembrada, cosechada, siniestrada, rendimiento de maíz, temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación anual y evaporación anual en el municipio de 1992 a 2001.

Al hacer un análisis de regresión múltiple considerando sólo a la precipitación y a la superficie cosechada, se generó el siguiente modelo:

$$Y = -14.9996 + 0.412PP - 0.000003PP^2 + 0.0002SC$$

Este modelo tuvo una R^2 de 0.93 y confirma lo mencionado antes respecto a valores altos de la R^2 . La precipitación tiene un efecto positivo hasta los 800 mm y luego tiene un efecto negativo; la superficie cosechada muestra un efecto positivo con el rendimiento, es decir, que a más superficie cosechada se obtiene mayor rendimiento de grano; una mayor superficie cosechada puede indicar a la vez una menor superficie siniestrada y con ello rendimientos más altos.

García *et al.* (2000) usaron los promedios ponderados de los factores de suelo y clima y los rendimientos de maíz por carecer de información experimental sobre la productividad del cultivo. Para la región de estudio existe una considerable cantidad de información sobre experimentos de productividad en maíz, como lo reportaron María y Volke (1999), por lo que se decidió usar ésta para generar la función de producción que permitiera identificar los factores de suelo, clima y manejo que determinan el rendimiento del maíz en Huamantla.

Por otro lado, para determinar la aptitud de las tierras, el procedimiento inicial contemplaba el uso del programa IDRISI Kilimanjaro y la EMC para la toma de decisiones mediante el módulo Gis Analysis y los sub-módulos de Decision Support, y en éste a la EMC; la evaluación multicriterio es un proceso mediante el cual varios mapas o capas se combinan o evalúan para originar un mapa que muestra la aptitud de la tierra para un cultivo o propósito en particular (Eastman, 2003a); cuando se combina la EMC con la teoría de decisiones, ello da lugar a la toma de decisiones multicriterio en la que se evalúan, combinan y transforman datos espaciales en elementos de decisión (Bustillos, 2005). La EMC en IDRISI Kilimanjaro permite la aplicación de los métodos de intersección booleana (boolean intersection), promedio ordenado ponderado (ordered weighted average, OWA) y combinación lineal ponderada (weighted linear combination, WLC). Tanto OWA como WLC requieren que se proporcione tanto el número de factores que se evalúan como el número de restricciones o limitantes que se impondrán a la aptitud.

Cuadro 45. Superficie y rendimiento de maíz y variables de clima en Huamantla (1992-2001).

Año	SS (ha)	S C (ha)	S Sin (ha)	Y (t ha ⁻¹)	T Max (°C).	T Mín. (°C)	PP (mm)	EV (mm).
1992	20610	20610	0	3.1	21.3	5.4	790.3	1383
1993	20958	20732	226	1.4	22.6	4.9	443.9	1578
1994	19518	18802	716	2.5	23.0	5.4	662.3	1522
1995	19315	19285	30	1.7	22.6	6.1	841.0	1430
1996	19669	19620	49	2.8	23.2	4.7	656.2	1412
1997	20700	19396	1304	1.3	22.8	5.3	684.7	1316
1998	18311	18309	2	1.7	24.2	5.7	510.4	1741
1999	19070	13512	5558	1.6	23.2	4.3	608.9	1604
2000	19232	18914	318	1.1	23.6	4.6	439.5	1524
2001	19964	19964	0	2.9	23.4	5.1	660.9	1386

donde: SS = superficie sembrada (ha), SC = Superficie cosechada (ha), SSin = Superficie siniestrada (ha), Y = rendimiento en t ha⁻¹, T Max = temperatura máxima (°C), T Min = temperatura mínima (°C), PP = precipitación anual (mm), EV = evaporación (mm).

Los factores a que se hace referencia son aquellos que determinan el grado de aptitud de los terrenos; por ejemplo, para la producción de cultivos o la plantación de especies forestales; ellos pueden ser la altitud, la pendiente de las parcelas, la temperatura mínima, etc., y pueden ser los factores que se usen para estratificar las áreas. En esta investigación, mediante una función de producción se buscó determinar aquellos factores que se relacionan con el rendimiento de maíz en el área de estudio y que la estratifican en extensiones geográficas con distintas aptitudes y rendimientos de grano.

Con esos factores identificados se procede a expresarlos (los que lo permiten) en forma de mapas espaciales, y que ya estandarizados sirven de entrada para realizar la EMC y finalmente obtener el mapa de áreas con aptitud; éste último será una herramienta útil para la toma de decisiones por los productores e instituciones interesadas o involucradas en la producción de maíz.

La técnica seleccionada inicialmente para esta investigación fue la combinación lineal ponderada (WLC), la cual en IDRISI requiere se proporcionen los archivos de los mapas factor con sus pesos de importancia asignados, así como los archivos de los mapas restricción/limitante. Existen varias técnicas para asignar los pesos de importancia a los factores. Ellas se describieron en el Capítulo 5 en "Proceso de Análisis Jerárquico (AHP)" y son ordenamiento (ranking), clasificación (rating), comparación pareada, y análisis de compensación. De acuerdo con Barredo (1996), la combinación lineal ponderada y el AHP son técnicas de EMC compensatorias y aditivas; es decir, son compensatorias porque en el proceso de

agregación o evaluación un valor bajo de un factor puede ser compensado por el valor alto en otro factor, y son aditivas porque los pesos de importancia relativa de todos los factores, para el objetivo que se esté considerando, suman la unidad. El AHP, como se mencionó antes, tiene implícita la comparación pareada mediante una matriz de comparación para registrar los pesos de los criterios y estimar el índice de consistencia.

Como ya se mencionó en un capítulo anterior, el fundamento del proceso AHP de Saaty (1980) descansa en el hecho que permite dar valores numéricos a los juicios dados por las personas involucradas (expertos), logrando medir cómo contribuye cada elemento de la jerarquía al nivel inmediatamente superior del cual se desprende, y aunque esta metodología, de acuerdo con Ávila (2000) tiene un amplio aspecto para su aplicación, suele ser cuestionada por la subjetividad con que se califican los juicios de preferencia en la matriz de comparación pareada, principalmente, es decir, lo concerniente al denominado *conocimiento experto* ya que éste suele diferir en la evaluación de los criterios.

Toda vez que en la revisión del marco de referencia de la metodología no se encontraron argumentos científicos para validar el conocimiento experto en la investigación científica en la asignación de los pesos de importancia relativa de los factores o criterios que se evalúan, por ello en esta investigación se decidió desarrollar una función de producción mediante regresión múltiple usando bases de datos experimentales de productividad en maíz (ver María, 1997 y María y Volke, 1999) para identificar los factores que determinan el rendimiento de ese cultivo en la región de estudio, con el objetivo de identificar, primeramente, esos factores y luego, mediante la evaluación de su efecto, expresado en kilogramos por hectárea, determinar los pesos de importancia relativa de esos factores para su evaluación en el procedimiento AHP. Determinados los pesos de importancia relativa de los factores en la producción del maíz, se procedió a la aplicación del AHP y con ello la estratificación de la aptitud de las tierras en la región de estudio para la producción de ese cereal.

8.2.1 Estrategias de sobrevivencia y toma de decisiones

Para hacer válido el supuesto de que las estrategias de sobrevivencia obtenidas mediante la revisión de literatura son aplicables a los productores de Huamantla, se hace una comparación entre las características de los productores de Huamantla con la de aquellos que fueron sujetos de investigación

para identificar sus estrategias de sobrevivencia (Silva, 1993; Zapata y López, 1996; Pérez, 1997; Díaz, 2002; Ibarra, 2005), preferentemente con resultados obtenidos en áreas similares.

8.2.1.1 Estrategias de sobrevivencia

Para dar cumplimiento a este objetivo se hizo una revisión exhaustiva en la literatura, sobre la problemática de los productores agrícolas de México con el fin de formar un marco de referencia de ella y las circunstancias de esa población; lo que permitió acceder a literatura, principalmente del área de desarrollo rural, que condujo a identificar las estrategias de sobrevivencia de los productores campesinos. En los procesos de generación y transferencia de tecnología agrícola comúnmente el investigador ignora las estrategias de sobrevivencia de los campesinos y se centra en la metodología experimental de respuesta de los cultivos a factores de suelo, clima y manejo; el estudio de tales propósitos suelen realizarlo investigadores del área de desarrollo rural, como puede verse en los trabajos de Silva (1993), Díaz (2002) e Ibarra (2005).

Con relación a la unidad familiar campesina, se identificaron, y se enlistaron sin un orden en particular, las estrategias de sobrevivencia; ello porque pueden diferir regionalmente en el país y lo pertinente sería que fuesen los propios productores junto con investigadores en desarrollo rural quienes las jerarquizaran. Sin embargo, sí se hizo énfasis en la o las estrategias que más puedan interesar en términos de describir las características socioeconómicas de las unidades de producción en el municipio.

8.2.1.2 Estratificación de los productores de acuerdo con la disponibilidad de superficie y nivel de ingreso *per capita*.

Se consideró la investigación de Janvry, A. de, y Sadoulet (2002) quienes relacionaron el tamaño de superficie laborable con la proporción de ingreso agrícola y no agrícola en ejidos mexicanos. Se analizó gráficamente la relación entre el ingreso total del ejidatario y el tamaño de predio disponible, la relación entre el porcentaje del ingreso agrícola total por ejidatario con el tamaño de predio y la relación entre el ingreso total fuera de la finca con el tamaño de predio por ejidatario de manera porcentual. A partir del censo agropecuario (2004) del INEGI en Tlaxcala, se analizó el porcentaje de ingreso con relación a la superficie disponible; el análisis se hizo para los aspectos agrícola, pecuario, forestal, frutícola y otras actividades en el municipio.

8.2.1.3 Toma de decisiones de los productores

A partir de la aplicación de 69 cuestionarios (ver procedimiento metodológico en 8.1.2.4 Información colectada de los productores para su tipificación socioeconómica) al mismo tanto de productores de las localidades de Benito Juárez, Chapultepec, El Molino, Francisco Villa, Hermenegildo Galeana, Huamantla, Lázaro Cárdenas, La Lima, Ranchería de Torres, San Diego Xalpatlahuaya, San Francisco Tecocac, El Carmen Xalpatlahuaya y San José Xicohtencatl, se determinó la naturaleza interna y externa de la toma de decisiones agrícolas, con base en 15 aspectos relacionados con: la siembra del cultivo, fertilización, plaguicidas, cosecha, crédito, seguro agrícola, asistencia técnica, maquinaria agrícola y precios de mercado de la cosecha; con respecto a ellos se preguntó si tomaba solo la decisión, si consultaba a la familia, si lo consultaba con los amigos, o si lo consultaba con el gobierno (Secretaría de Fomento Agropecuario, SEFOA) o con la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Se determinó el porcentaje correspondiente al entorno interno y externo para cada aspecto es cuestión. Esta información se complementó con información del censo de INEGI correspondiente al municipio.

8.2.2 Tipificación socioeconómica de los productores

8.2.2.1 Clasificación de la CEPAL (1982).

Para esta tipificación se utilizó tanto la información de INEGI (2004), como la de los cuestionarios aplicados.

Según esta clasificación, los productores agrícolas de México se pueden clasificar en:

- Campesinos (infrasubsistencia, subsistencia, estacionarios, excedentarios),
- Productores transicionales
- Empresarios (pequeños, medianos, grandes)

Esta clasificación considera a un productor campesino con una familia de 5.5 miembros y que para satisfacer sus necesidades de alimentos (calorías y proteínas) necesita producir 3.98 t ha⁻¹, en una superficie denominada hectárea equivalente temporal (ETN), misma que representa un tamaño de parcela de 4.0 hectáreas.

A partir de los resultados del cuestionario, se determinó en el municipio un número medio de miembros por familia y el rendimiento medio de maíz; se consideró la misma necesidad de consumo de calorías y proteínas estimada por la CEPAL (1982) para calcular las hectáreas equivalente temporal (ETN) en la actualidad. Para esta tipificación se consideró a una población de 3988 productores (INEGI, 2005).

8.2.2.2 Clasificación según línea de pobreza (Comité Técnico para la Medición de la Pobreza, 2002).

Para esta tipificación se utilizó la información de los cuestionarios aplicados a los productores agrícolas.

Con los resultados de los cuestionarios y a partir del ingreso disponible al mes por el responsable de la unidad de producción según el número de miembros de la familia, se obtuvo el ingreso mensual *per capita* y del ingreso umbral entre las líneas de la pobreza (considerando la definición del Comité Técnico para la Medición de la Pobreza (2002), en las áreas rurales en 2002 con un ingreso de \$485.7, \$843.2 y \$1 047.3 *per capita* mensual para las líneas de pobreza 1, 2 y 3, respectivamente), se obtuvo la clasificación. Cabe mencionar que según Esquivel y Huerta (2007), el ingreso *per capita* mensual para el área urbana es de \$672.0 y de \$495.0 en la rural para la línea de pobreza 1; para la línea de pobreza 2 estos autores mencionan \$793.0 y \$587.0 *per capita* mensuales para las áreas urbanas y rurales, respectivamente; y de \$1 367.0 y \$ 946.0 para la línea de pobreza 3 en las áreas urbanas y rurales, respectivamente con pesos de referencia del año 2002.

8.2.2.3 Clasificación de Janvry, (1995)

Para esta tipificación se utilizó la información de INEGI (2004).

Según esta clasificación, en cuanto a disposición de tierra laborable los productores se clasifican como:

1. Campesinos sin tierra
2. Minifundistas o de infrasubsistencia, con 1.7 ha en ejidos y menos de 4 ha en propiedad privada;
3. Pequeños productores de subsistencia, con 7.5 ha en ejidos y menos de 12 ha en propiedad privada;
4. Pequeños productores capitalizados, de 25 ha en ejidos y menos de 40 ha en propiedad privada;
5. Agricultores comerciales que emplean cantidades importantes de trabajo asalariado y producen para el mercado; de 15 ha en ejidos y 80.

Para esta clasificación se utilizó la población de 3988 productores de Huamantla (INEGI, 2004); al no disponer de la división de la superficie en cuanto a tenencia ejidal y pequeña propiedad, se determinó sumar la superficie, de modo tal que las cinco categorías anteriores resultan en una superficie total de:

1. ha,
2. < 5.7 ha,
3. 5.7 - 19.5 ha,
4. 19.5 - 65.0 ha,
5. >65.0 ha.

8.2.3 Obtención de la función de producción

Para establecer relaciones entre los factores de suelo, topografía, clima y manejo sobre la productividad del maíz, se usó el procedimiento de desarrollar funciones de producción mediante el uso del análisis de regresión con el programa SAS versión 9.2.

El procedimiento para estimar modelos de regresión fue, según Volke (2004), el siguiente:

- Graficar las curvas de respuesta de Y (rendimiento, usualmente) *versus* los factores X_j , con fines de observar la forma de la relación entre ellos, y observar puntos atípicos, ya que ellos podrán estar asociados con valores no explicados por los factores en estudio o tener su origen en un error de la información,
- Determinar la matriz de correlaciones entre los factores X_j , con la finalidad de observar pares de factores altamente correlacionados, con un valor de $r > 0.80$ (en valor absoluto) por ejemplo, ya que ello estará indicando que dos factores tenderán a tener el mismo efecto sobre la variable Y, de tal modo que ambos no podrán estar presentes en un mismo modelo a especificar.
- Especificar un modelo base de regresión, a partir de las gráficas de respuesta de Y a los factores X_j , considerando él o los factores X_j que muestren mayor efecto sobre Y, así como la forma de la relación con base en los modelos y sus variables; con este modelo se piden los predichos y residuos y se grafican los residuales *versus* los factores, tanto de los incluidos como de los no incluidos en el modelo; en estas gráficas se observa la distribución de los puntos, y si ellos muestran alguna tendencia, querrá decir que: para los factores incluidos en el modelo se requiere

modificar el factor en sus variables, y para los factores no incluidos en el modelo, se requiere incluir el factor en el modelo en sus correspondientes variables; así se continúa con modelos sucesivos hasta que ya no se observen más factores que puedan entrar en el modelo, y las variables presenten en esta etapa, una significancia de al menos 0.20.

En esta forma se fue construyendo un modelo que incluyese variables con una significancia de al menos 0.20, en el cual a continuación se prueban las diversas interacciones posibles; el modelo final será aquel con menor cuadrado medio de error.

Para determinar el grado de importancia de los factores en la variable dependiente (rendimiento de grano), a partir de la función de producción y considerando sólo a las variables que resultaron importantes, para con ello desarrollar el AHP, se estimaron los rendimientos predichos mediante el programa SAS para los valores de interés de los factores, ya sea individuales o en medias de clase.

Para establecer los valores de clase usando la función de producción obtenida se graficó el rendimiento *versus* valores continuos del factor; a valores máximos (si el efecto del factor es positivo), mínimos (si el efecto del factor es negativo) o medios, de los demás factores incluidos en ella; por ejemplo, para la pendiente se consideró valores de 1 a 10%, de dos en dos, a valores de 180 mm para la lluvia de 30 días antes y 20 días después de la floración masculina, de 100 cm para la profundidad del suelo y del día 10 (es decir, a partir del 11 de marzo) para la fecha de siembra en el agrosistema de Faldas de la Malinche. A partir de la gráfica se establecieron las clases y el valor de clase de éstas.

En el caso de la lluvia de 30 días antes de la floración masculina y 20 días después de ella, en cada uno de los agrosistemas, se obtuvo el valor medio de ella y su desviación estándar en todos los sitios experimentales; los valores límite inferior se obtuvieron restando 1.5 veces el valor de la desviación estándar al valor medio de lluvia, pero no se usó el valor medio más 1.5 veces la desviación estándar porque los valores resultantes fueron muy elevados y no se presentan en el periodo analizado.

De igual manera, para la fecha de siembra, los valores límite inferior se obtuvieron restando 1.5 veces el valor de la desviación estándar al valor de la media; los valores límite superior se establecieron sumando 1.5 veces la desviación estándar al valor medio de la fecha de siembra, y ello se hizo para los tres agrosistemas.

Para la profundidad de suelo, mediante la función de producción se estimó el rendimiento a valores continuos entre 0 y 100 cm de profundidad, con el valor mínimo de la pendiente (2%) y máximo de lluvia (180 mm) en la fecha, por ejemplo, 31 de marzo en el Valle de Huamantla, y se graficó el rendimiento *versus* la profundidad, y a partir de la gráfica se establecieron las clases y de ellas, el valor de clase.

Con los valores de clase definidos y la función de producción determinada, mediante un procedimiento en el programa SAS se obtuvieron los rendimientos predichos en el ámbito considerado por los valores medios de clase de los factores.

Con base en las gráficas de rendimiento de grano *versus* las variables independientes, se obtuvo la diferencia entre los rendimientos correspondientes al valor de clase más alto con el valor de clase más bajo y ello se consideró que era el efecto de los factores sobre el rendimiento de grano expresado en kilogramos por hectárea; este efecto representó entonces, al peso de importancia relativa de los factores para el procedimiento de comparación pareada en el AHP. A nivel de factores o criterios, la matriz de comparación pareada se resolvió mediante el efecto expresado en kilogramos por hectárea; a nivel de subcriterios se usaron los valores de clase para desarrollar la matriz de comparaciones, con el supuesto de que la proporción entre los valores de clase corresponde a la diferencia de los rendimientos, como se hizo para las metas globales.

Los grados de aptitud de las tierras se determinaron con base a cuatro valores de clase de los factores; agrónomicamente se entiende que a la mejor aptitud correspondan los suelos más planos, de mayor profundidad y con el valor de lluvia más alto y las fechas de siembra más tempranas.

La metodología del AHP en el entorno de los Sistemas de Información Geográfica concluye con un mapa de aptitudes en el que los valores fluctúan entre 0 y 1, donde aquellos más próximos a la unidad corresponden a los de mejor aptitud, y corresponde al decisor establecer las clases o rangos de aptitudes; en esta investigación, mediante el comando RECLASS de IDRISI, se sustituyeron los valores entre 0 y 1 por sus correspondientes en rendimiento, aunque sin establecer clases para facilitar la comprensión de la metodología usada.

Cabe anotar que cuando se menciona información experimental, ella está referida a la que se evaluó con algún diseño experimental con el fin de encontrar respuesta a los factores en estudio, y cuando se

cita información no experimental, ésta puede corresponder a información tomada en el sitio experimental pero que no se evalúa con algún diseño experimental, como es el caso del rendimiento del productor, la precipitación, la fecha de floración masculina o la pendiente del terreno.

8.2.4 Proceso de Análisis Jerárquico

Se utilizó el método de EMC denominado AHP para determinar la aptitud de las tierras para producir maíz en el municipio de Huamantla, ubicado en la región oriente de Tlaxcala.

El AHP presenta algunas ventajas frente a otros métodos de decisión multicriterio, como: presentar un sustento matemático, permitir desglosar y analizar un problema por partes, permitir medir criterios cuantitativos y cualitativos mediante una escala común, incluir la participación de diferentes personas o grupos de interés y generar un consenso, permitir verificar el índice de consistencia y hacer las correcciones, si es el caso, generar una síntesis y dar la posibilidad de realizar análisis de sensibilidad, y ser de fácil uso y permitir que su solución se pueda complementar con métodos matemáticos de optimización (Ávila, 2000).

Los axiomas del AHP son:

- Comparación recíproca: el decisor deberá estar dispuesto a realizar las comparaciones (en pares) y afirmar sus preferencias. Las intensidades de estas preferencias deben satisfacer la condición recíproca de si A es n veces más preferida que B, entonces B es $1/n$ veces más preferida que A.
- Homogeneidad: las preferencias se representan en términos de una escala acotada que facilita una comparación de naturaleza o magnitudes, agregándolos en un intervalo tal que permita su comparación.
- Independencia: cuando se expresan preferencias, los criterios se asumen independientes de las propiedades de las alternativas, y
- Completez: para el propósito de tomar decisiones, la estructura jerárquica se supone completa (Elineema, 2002).

El procedimiento detallado del AHP puede consultarse directamente en Saaty (1980), Elineema, (2002) y Toskano (2005). En forma resumida, Partovi y Hopton (1994) mencionan que las etapas principales

del AHP son: a) el diseño de la estructura jerárquica del problema, b) el procedimiento de priorización o asignación de los pesos de las preferencias del decisor, y c) el cálculo de los resultados (síntesis).

La primera etapa consiste en la estructuración de la jerarquía del problema para desglosarlo en sus partes relevantes; la jerarquía mayor corresponde a la meta u objetivo principal, y en forma descendente siguen los criterios y subcriterios y en la parte más baja, las alternativas; en ese mismo orden se evalúa a criterios y subcriterios, logrando medir cómo contribuye cada elemento de la jerarquía al nivel inmediatamente superior del cual se desprende (Ávila, 2000).

En la evaluación se examinan los elementos del problema aisladamente por medio de comparaciones en pares, y las evaluaciones o juicios son emitidos por el decisor o decisores de acuerdo con sus intereses y necesidades propios (Ávila, 2000).

El aspecto fundamental del AHP es el conocimiento experto que se evalúa en una matriz de comparación en pares, cuya forma básica se muestra en el Cuadro 46.

Cuadro 46. Matriz de comparación pareada.

Alternativas	Criterios					
	X_1	X_2	...	X_j	...	X_n
A_1	X_{11}	X_{12}	...	X_{1j}	...	X_{1n}
A_2	X_{21}	X_{22}	...	X_{2j}	...	X_{2n}
...
A_i	X_{i1}	X_{i2}	...	X_{ij}	...	X_{in}
...
A_m	X_{m1}	X_{m2}	...	X_{mj}	...	X_{mn}

donde $A = \{ A_1, A_2, \dots, A_m \}$ son las alternativas; X_1, X_2, \dots, X_n , son los atributos; y x_{ij} es el resultado alcanzado por la alternativa A_i , $j = 1, \dots, n$.

Fuente: (Font, 2000).

Esta matriz se completa con los pesos de las preferencias del o los decisores. Algunas técnicas para derivar los pesos de las preferencias son:

- Ordenamiento (ranking): cada criterio considerado se ordena según las preferencias del decisor.

- Clasificación (rating): los métodos de clasificación o rating requieren que el decisor estime los pesos con base en una escala predeterminada, por ejemplo de 0 a 100; uno de los métodos más sencillos es el de aproximación por asignación de puntos y en el que 0 indica que el criterio se puede ignorar y 100 se asigna al criterio más importante; entre más puntos reciba un criterio mayor es su importancia.
- Comparación pareada (en pares): se desarrolla mediante una matriz de comparación en la que se registran los pesos de las preferencias de acuerdo con una escala de valores del 1 al 9 determinada por Saaty (1980).
- En el análisis de compensación el decisor compara dos alternativas (por ejemplo A y B) con respecto a dos criterios a la vez y aquilata cual alternativa prefiere (Malczewski, 1999).

La escala verbal de Saaty (1980) para la comparación pareada entre criterios, subcriterios y alternativas se muestra en el Cuadro 47. Una vez que se elabora la matriz de comparaciones pareadas se calcula la prioridad de cada uno de los factores criterios que se comparan; a ello se le denomina síntesis. El proceso matemático que se requiere implica el cálculo de los vectores de prioridad y consiste de: a) sumar los valores de cada columna de la matriz de comparaciones pareadas, b) dividir cada elemento de esa matriz entre el total de su columna; a la matriz resultante se le denomina matriz de comparaciones pareadas estandarizada, y c) calcular el promedio de los criterios o subcriterios de cada renglón de las prioridades relativas de los criterios o subcriterios que se comparan; cuando se obtienen las prioridades generales se ordenan las alternativas.

8.2.5 Estimación de rendimientos predichos por la función de producción

En el mapa de aptitudes para la producción de maíz los valores más altos corresponden a la aptitud más alta. Sin embargo, como los pesos de importancia de los factores se obtuvieron mediante una función de producción, que sustituyó al conocimiento experto en esta investigación, esa aptitud se puede representar en forma de kilogramos por hectárea, tanto en forma de texto como en formato espacial. Existen varios procedimientos en SAS para estimar los rendimientos predichos por una función de producción; cuando se tienen pocas combinaciones de factores para sustituir en ella los valores de clase dados, se puede usar uno como el reportado por María (1997) que tiene la forma que se muestra:

Cuadro 47. Escala fundamental utilizada en la comparación por pares para el Proceso de Análisis Jerárquico.

Comparación cualitativa	Interpretación	Escala
A y B son igual de importantes (preferible, deseado)	Ambos elementos contribuyen con la propiedad en igual forma.	1
A es ligeramente más importante que B	La experiencia y el juicio favorece a un elemento por sobre el otro.	3
A es significativamente más importante que B	Un elemento es fuertemente favorecido.	5
A es muy significativamente más importante que B	Un elemento es muy fuertemente dominante.	7
A es extremadamente más importante que B	Un elemento es favorecido, por lo menos con un orden de magnitud de diferencia.	9
Valores intermedios entre dos juicios adyacentes.	Usados como valores de consenso entre dos juicios.	2,4,6,8
Valores intermedios en la graduación más fina de 0.1 (por ejemplo 5.2 es una entrada válida).	Usados para graduaciones más finas de los juicios.	Incrementos de 0.1

Fuente: Ávila, (2000); Modarres y Zarei (2002).

data uno;

input S St Si P E v20 v21 v28 v29;

*(S= siembra, St = siembra temprana; Si = siembra intermedia, P= profundidad suelo, E= pendiente suelo, V20 = lluvia de 30 días antes de la siembra, V21= lluvia de 30 días después de la siembra, V28 =lluvia de 30 días antes de la floración masculina, V29= lluvia de 20 días después de la floración masculina);

N=0;H=0;C=0;

K=150;

$k50=k^{**0.5}$; $v212=v21*v21$; $v2150=v21^{**0.5}$; $v292=v29*v29$;

$v282=v28*v28$; $SSt=S*St$; $SSi=S*Si$; $E2=E*E$; $P75=P^{**0.75}$;

$v202=v20*v20$; $S50=S^{**0.5}$; $S75=S^{**0.75}$;

$S50St=S50*St$; $S75Si=S75*Si$;

$$Y = - 2586.581451 - 7.70023*ks + 238.87357*ks50 - 0.08741*v212 + 318.21479*v2150 + 19.78418*v28$$

$$- 1544.84890*N - 1708.44830*H + 11.26412*v29 - 0.08047*v292 - 0.05494*v282 + 2229.06158*C$$

$$+ 0.05590*v202 + 16178.64833*St + 6055.91503*Si - 1704.42703*S50St - 175.04825*S75Si$$

$$- 10.79796*E2 + 33.11690*P75;$$

CARDS;

80	1	0	120	2	5	20	105	55
80	1	0	80	2	5	20	105	55
80	1	0	100	2	5	20	105	55
80	1	0	50	2	5	20	105	55
80	1	0	120	6	5	20	105	55
80	1	0	80	6	5	20	105	55
80	1	0	100	6	5	20	105	55
80	1	0	50	6	5	20	105	55
100	0	1	120	2	10	35	70	45
100	0	1	80	2	10	35	70	45
100	0	1	100	2	10	35	70	45
100	0	1	50	2	10	35	70	45
100	0	1	120	6	10	35	70	45
100	0	1	80	6	10	35	70	45
100	0	1	100	6	10	35	70	45
100	0	1	50	6	10	35	70	45
120	0	0	120	2	25	50	65	40
120	0	0	80	2	25	50	65	40
120	0	0	100	2	25	50	65	40
120	0	0	50	2	25	50	65	40
120	0	0	120	6	25	50	65	40
120	0	0	80	6	25	50	65	40
120	0	0	100	6	25	50	65	40
120	0	0	50	6	25	50	65	40

PROC PRINT; VAR S S_t S_i P E v20 v21 v28 v29 y;

RUN;

Cuando la estimación del rendimiento es a partir de clases de los factores, se puede utilizar la opción DO en SAS:

data uno;

do P =50 to 100 by 50;

do F= 10 to 30 by 10;

do LIS1 =50 to 180 by 10;

*(P= profundidad suelo, F= fecha de siembra, LIS1 es la lluvia de 30 días antes y 20 días después de la floración masculina);

*F=F+60; dp=dp+20;

P=100; P^{0.5}=P**0.5; E=4; pp=0; Epp=E*pp; *F=20; S₁=1; F_s^{0.75}=F**0.75;

S₁F^{0.75}=S₁*F^{0.75}; S₂=0; S₂F=S₂*F; H=0; N=0;

E²=E*E; LIS1=130; LIS1²=LIS1*LIS1;

pi= 1/30; LIS1^{0.5}=LIS1**0.5; v7=0; v11=0; v13=0; v21=0; v1=0;

*if E>4 then pp=1;

$$\begin{aligned}
 Y = & -193.989 + 901.818P^{0.5} - 42.691P - 17.488E^2 - 24.585F + 2528.813S_1 - 370.043S_1F^{0.75} \\
 & + 4043.928S_2 - 105.944S_2F - 2059.451H - 1182.816N - 2616.985Pi + 14.511LIS_1 - 0.03931LI^2S_1 \\
 & + 2480.411V_7 - 1735.101V_{11} + 1170.655V_{13} - 637.408V_{21}.
 \end{aligned}$$

```

output;end;end;end;
data r1; set uno; keep P E F S1 LIS1 Y ;
data rr; set r1;
proc print; var P E LIS1 F Y;
RUN;

```

En este último caso, el número de rendimientos predichos depende del valor de la instrucción `by` en el `DO`; por ejemplo, si en el caso de profundidad del suelo la instrucción al modelo considera valores de 10 hasta 150, si la instrucción `by` es 10 resultarán 15 rendimientos predichos, suponiendo un valor de los demás factores. Si en esa misma instrucción el `by` indica 50 resultarán entonces dos rendimientos predichos.

El primer procedimiento tiene la ventaja de que se anotan únicamente las combinaciones de los valores de los factores que interesan, 24 en este caso. En el segundo ejemplo, aunque no se debe anotar cada una de las combinaciones, exige del investigador que conozca las combinaciones lógicas que interesan. Por ejemplo, en el caso de profundidad, no es importante estimar rendimientos para suelos de 15 cm o menos, ni mayores de 100 cm.

La estratificación de la aptitud de las tierras para la producción de maíz de temporal se presenta a nivel estatal porque las bases de datos edafoclimáticos tienen esa correspondencia y los datos experimentales, aunque proceden en mayor número de sitios en los Distritos de Desarrollo Rural (DDR) 163 y 165, de Calpulalpan y Huamantla, respectivamente, también incluyen del DDR 164, Tlaxcala, y en el mapa de referencia se identifican los límites del DDR 165 Huamantla, y el municipio del mismo nombre.

IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la presente investigación se decidió recopilar las estrategias de sobrevivencia de los productores agrícolas de subsistencia, con la finalidad de conocerlas y, en lo posible, a través de ellas entender la toma de sus decisiones; también se consideró necesario tipificar a esos productores mediante dos índices económicos como son la disponibilidad de tierra y de ingreso en la unidad familiar. Con lo anterior se pretendió fundamentar la necesidad de buscar la mayor precisión en la aplicación de las nuevas herramientas metodológicas como es la evaluación multicriterio en el entorno de los sistemas de información geográfica, para el auxilio en la toma de decisiones, cuando el destinatario de los resultados de la investigación es el productor agrícola de subsistencia, pues aunque el procedimiento metodológico desarrollado es aplicable tanto a las condiciones de ese productor como a la de los productores empresariales, por el avanzado estado de descapitalización del productor de subsistencia, su riesgo por pérdidas económicas a causa de deficiencias metodológicas es mayor que para los productores empresariales.

9.1 Estrategias de sobrevivencia y toma de decisiones

Referida a la unidad familiar, la estrategia se define como la capacidad que tienen los miembros para, por un lado, autoabastecerse de los alimentos básicos y, por el otro, asegurar la reproducción de la unidad familiar, instrumentando para ello mecanismos de respuesta al modo capitalista de producción (Pérez, 1997).

En general, las estrategias de sobrevivencia identificadas en esta investigación constituyen medios o formas (o mecanismos de respuesta, como reporta Pérez, 1997) para cumplir dos grandes objetivos del productor de subsistencia: asegurar la alimentación de la unidad familiar y obtener los ingresos para satisfacer necesidades básicas de salud, educación, vestido y vivienda.

9.1.1 Estrategias de sobrevivencia

Con relación a la unidad familiar campesina, se identificaron, y se enlistan sin un orden en particular y como fueron referidas por Silva, 1993; Zapata y López, 1996; Pérez, 1997; Díaz, 2002 e Ibarra, 2005,

las estrategias de sobrevivencia y se propone compactarlas cuando ellos impliquen las mismas acciones o decisiones:

1. Producir para asegurar el autoconsumo de alimentos, de acuerdo con la disponibilidad de recursos de tierra y capital; las principales unidades de producción son la parcela y el traspatio con su ganado y aves, así como árboles frutales (como cultivo principal o en bordos de contención); el consumo y autoconsumo comprende la venta de alimentos en montos pequeños para atender necesidades urgentes.
2. Diversificar las fuentes de ingreso familiar mediante la venta de la fuerza de trabajo en: a) actividades primarias y/o de servicios, ya sea dentro o fuera de la comunidad y en forma temporal o permanente; b) autoempleo, es decir, actividades en que la microempresa es particular (tendero, albañil, taxista, etc.); y c) emigración a las ciudades o al extranjero; el uso intensivo de la mano de obra familiar, es parte de la misma estrategia.
3. Diversificar o sustituir los cultivos considerando situaciones de mejor precio de la cosecha, tolerancia o resistencia a plagas y enfermedades, así como a las condiciones climáticas adversas; intensificar los cultivos tradicionales cuando los cultivos comerciales como el trigo y la cebada presentan un riesgo agrícola de producción (plagas, enfermedades, clima adverso, etc.) o comercialización (bajos precios); y la rotación de cultivos (para autoconsumo y venta de posibles excedentes, se considera que son una misma estrategia de sobrevivencia.
4. El cambio de uso de la tierra (de producción de cultivos al pastoreo de animales, por ejemplo), y la producción silvoagropecuaria, considerando que las unidades de producción tengan usos agrícolas, pecuarios y/o forestales, son parte de una misma estrategia.
5. Aprovechamiento de apoyos institucionales, como el PROCAMPO.
6. Ante la ausencia del jefe de la familia debido al trabajo extrafinca, la mujer incrementa su participación en las actividades y la toma de decisiones de la unidad familiar.

De cómo se distribuía el ingreso total de las unidades de producción de los campesinos de los Valles Altos de México, Turrent *et al.* (1994) señalan que en 1967 en el área del Plan Puebla, la distribución del ingreso era de la siguiente manera: 41.2% era extrafinca y 58.8% intrafinca; de éste último, 51.7% era por los cultivos anuales y 48.3% por actividades pecuarias; la superficie media por productor era de 2.47 ha.

En 1992, cuando ya el gobierno federal hubo retirado la mayoría de apoyos al campo, la actividad agrícola dejó de serle rentable y de interés comercial para los productores agrícolas, especialmente los pequeños. De acuerdo con Mercado (1992), en Hueyotlipan, Tlaxcala, el ingreso agrícola representaba 34.3 y el pecuario 12.3% y el ingreso extrafinca era 53.5%, del ingreso total, para una tenencia media de 5.5 ha.

Sobre la estrategia del ingreso no agrícola de las familias rurales en México, Guzmán (2005) al estudiar el empleo rural no agrícola como un elemento esencial en las estrategias de diversificación del ingreso, reporta que en dos localidades del estado de Hidalgo, en promedio las actividades fuera de la agricultura generan más de 80% del ingreso total de las unidades campesinas; en esa área, 55.7% de los productores producen en parcelas de menos de 2 ha, y 32.9% en parcelas de 2 a 4 ha; en ese mismo sentido, 28.9% de los productores en Huamantla siembran en parcelas de menos de 2 ha y 63.8% en parcelas de 2 a 4 ha.

De acuerdo con lo anterior, los ingresos por las actividades productivas en las unidades de producción se han deprimido a un nivel inferior al de los años sesentas y a ello el productor ha respondido trasladando su mano de obra a las actividades extrafinca y reduciéndola en sus sistemas de producción agrícolas, pecuarios y forestales, con la consiguiente pérdida de la rentabilidad económica de esas actividades, si es que alguna vez tuvieron rentabilidad. Ello también ha alentado la enajenación de los terrenos, como lo reporta Bouquet (1999); de acuerdo con este autor, mientras en 1991 se dio la enajenación efectiva de una sola parcela en Tlaxcala, para 1998 fueron 1330 enajenaciones o cesiones de los derechos parcelarios a otros. Esa tendencia de empobrecimiento de las pequeñas unidades de producción, reflejada en términos económicos por los bajos ingresos agrícolas que se obtienen, aunado a las exigencias de obtener mayores rendimientos de los cultivos por hectárea y reducir los costos, puede alentar el uso de semillas transgénicas que resultaría en la pérdida de biodiversidad y no solo del maíz, como lo reportan Reyes *et al.* (2005).

Si bien este estudio no intentó determinar directamente las estrategias de sobrevivencia de los productores agrícolas de la región de estudio, sí se conocen características que los asemejan a las de aquellos productores que las investigaciones de Silva, (1993), Turrent *et al.* (1994), Zapata y López, (1996), Pérez, (1997), Díaz, (2002), Ibarra, (2005) y otros han encontrado, como es la edad, 52.4 años según Díaz, (1984) y 52 años según la investigación en el municipio; años de escuela, 3.2 años de acuerdo con Turrent *et al.* (1994) y 4.2, según la investigación en el área de estudio; superficie media cultivada con maíz, 3.9 ha, como reportan Reyna *et al.* (1981) y 3.8 ha de acuerdo con la investigación de campo; rendimiento del maíz en la zona de estudio, 2.8 t ha⁻¹, según reportan Méndez y Sahagún, (1984) y 2.0 t ha⁻¹ en 2004, como se obtuvo en la investigación de campo, etc., por lo que se puede afirmar que las estrategias mencionadas antes son también las que caracterizan a los productores agrícolas del municipio.

9.1.2 Estratificación de los productores de acuerdo con la disponibilidad de superficie y nivel de ingreso *per capita*

Janvry, A. de, y Sadoulet (2002, relacionaron el tamaño de superficie laborable con la proporción de ingreso agrícola y no agrícola en ejidos mexicanos a partir de una encuesta nacional del sector ejidal realizada en 1997 por la Secretaría de la Reforma Agraria de México y el Banco Mundial; la encuesta fue, según refieren los autores, representativa del sector ejidal, tanto en el plano nacional como estatal y consistió en un conjunto de 250 encuestas a nivel ejidal y 928 encuestas a nivel de ejidatarios pertenecientes a los ejidos seleccionados (Cuadro 48).

Esta relación entre superficie laborable e ingresos agrícolas y no agrícolas se graficó para observar si había relación entre una y otra variable. En la Figura 21 se muestra gráficamente esa relación entre el ingreso total del ejidatario según el tamaño de predio.

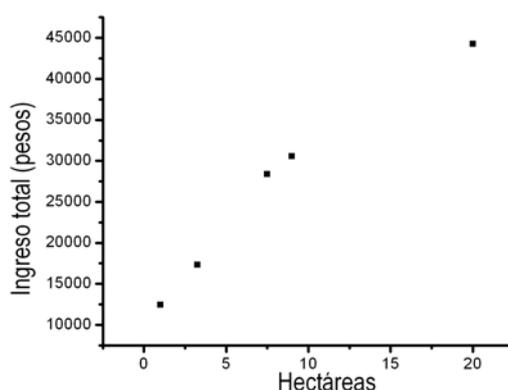
Se observa con claridad que a medida que se dispone de más superficie laborable el ingreso total es mayor. En la Figura 22 se muestra gráficamente la relación entre el porcentaje del ingreso agrícola total con respecto al ingreso total por ejidatario, de acuerdo con el tamaño de predio.

Se observa en la Figura 22 que el porcentaje de ingreso agrícola con respecto al ingreso total es mayor a medida que aumenta la superficie, pero esa relación al parecer no es exactamente lineal sino de tipo sigmoideal cuya forma se ve en la Figura 23.

Cuadro 48. Fuentes de ingreso en el sector ejidal de México desglosado por superficie del predio

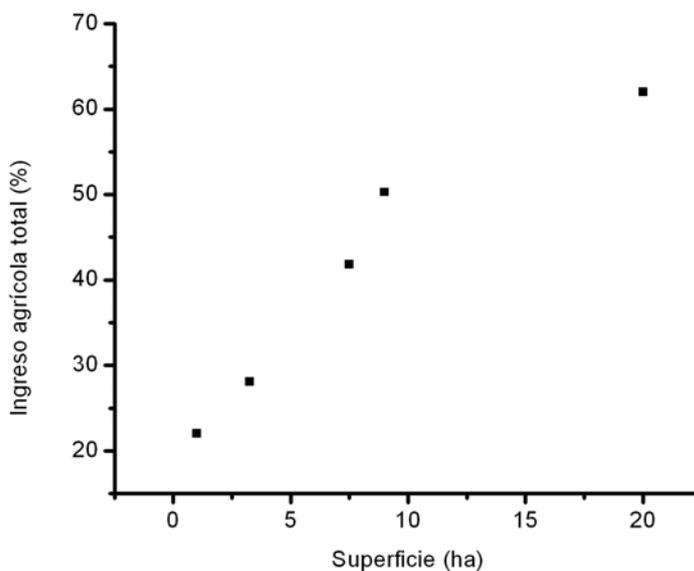
Concepto	Tamaño de predio (ha) (participación en pesos de 1997)					
	Todos	<2	2.5	5-10	10-18	>18
Número de ejidatarios	928	131	244	239	179	135
Ingreso total en pesos	25 953	12 474	17 314	28 368	30 564	44 255
Ingreso agrícola total	11 697	2 855	4 869	28 368	15 377	27 454
Ingreso total fuera del predio	14 256	9 619	12 444	16 512	15 187	16 801
Salarios	6 397	5 022	6 393	8 620	5 568	4 898
Salarios agrícolas	1 235	1 245	1 300	1 197	1 732	515
Salarios no agrícolas	5 162	3 777	5 094	7 424	3 836	4 383
Trabajo por cuenta propia	2 442	2 138	2 464	1 312	3 707	3 020
Remesas	1 683	325	942	2 523	1 845	2 636
Otros	3 735	2 133	2 644	4 057	4 067	6 247
		Participación en el ingreso total (%)				
Ingreso agrícola total	5.10	22.0	28.1	41.8	50.3	62.0
Ingreso total fuera del predio	54.9	77.1	71.9	58.2	49.7	38.0
Salarios	24.6	40.3	36.9	30.4	18.2	11.1
Salarios agrícolas	4.80	10.0	7.5	4.2	5.7	1.2
Salarios no agrícolas	19.9	30.3	29.4	26.2	12.5	9.9
Trabajo por cuenta propia	9.4	17.1	14.2	4.6	12.1	6.8
Remesas	6.5	2.6	5.4	8.9	6.0	6.0
Otros	14.4	17.1	15.3	14.3	13.3	14.1

Fuente: Janvry, A. de, y Sadoulet (2002).



Fuente: a partir de datos de Janvry, A. de, y Sadoulet (2002).

Figura 21. Ingreso total en pesos de acuerdo con la superficie disponible en los ejidos de México.



Fuente: a partir de datos de Janvry, A. de, y Sadoulet (2002)

Figura 22. Por ciento del ingreso agrícola total con relación al ingreso total de acuerdo con la superficie disponible en los ejidos de México.

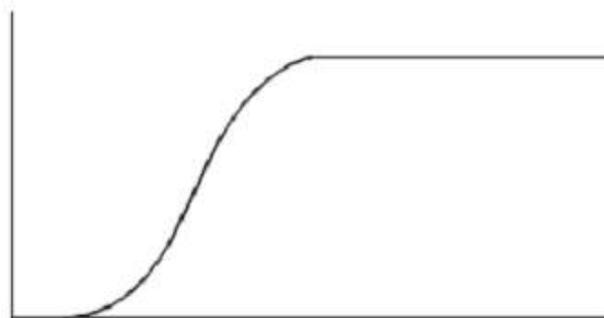
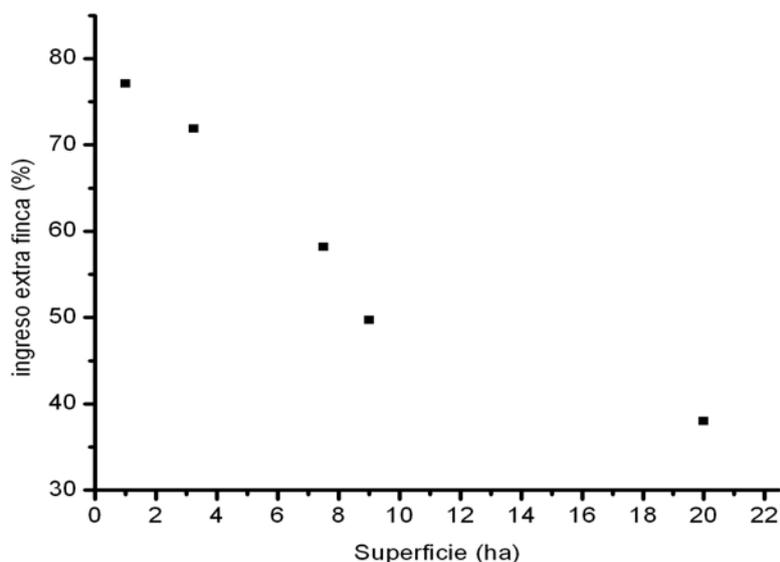


Figura 23. Forma de respuesta sigmoideal (*sigmoide* "en forma de s") (Eastman, 2003a).

En la Figura 24 se muestra gráficamente la relación entre el ingreso total fuera de la finca con respecto al ingreso total según el tamaño de predio por ejidatario, de manera porcentual. Nuevamente se observa con claridad una relación entre ambas variables, a menor superficie disponible mayor es el porcentaje del ingreso obtenido fuera de la finca.



Fuente: a partir de datos de Janvry, A. de, y Sadoulet (2002).

Figura 24. Por ciento de ingreso total obtenido fuera de la finca respecto al ingreso total con relación a la superficie disponible en los ejidos de México.

Pero con una mayor superficie sembrada ya sea con maíz o con un cultivo comercial como la cebada, el productor no siempre consigue asegurar la autosuficiencia alimentaria o reducir su pobreza. De acuerdo con Islas *et al.* (2003), en una superficie de 5.05 ha que posee en promedio un ejidatario en Tlaxcala, si se siembra con cebada, el productor obtiene un ingreso equivalente a un salario mínimo por 10.2 meses con base en los costos directos vendiendo a un precio de \$1238.00 la tonelada de cebada y a \$ 1.63 por paca de paja; si se contabilizan los costos totales ello equivaldría a un salario mínimo por 6.3 meses.

Para que una familia rural pudiera vivir exclusivamente del cultivo de la cebada, sin tener ingresos adicionales de otras fuentes y recibir al menos el equivalente a cuatro salarios mínimos mensuales durante el año, tendría que sembrar, en Tlaxcala, 23 hectáreas si solo se consideran los costos directos de producción o 36 hectáreas si se contabiliza la totalidad de los costos (Islas *et al.*, 2003).

9.1.3 Toma de decisiones

De acuerdo con las respuestas obtenidas en los cuestionarios, los actores que participan en la toma de las decisiones para la producción de maíz en el municipio son, a un nivel interno, el productor y su familia, y externamente, los vecinos, las instituciones SAGARPA y Secretaría de Fomento Agropecuario (SEFOA), y otros.

9.1.3.1 Decisiones internas

En general ellas se refieren a las decisiones relacionadas con el tipo de cultivos a sembrar, la superficie y el manejo del cultivo como la fecha de siembra, fertilización, plaguicidas, cosecha, solicitar crédito y seguro agrícola y la adquisición de maquinaria, y que se toman internamente en la familia. En el Cuadro 49 se muestra el porcentaje de respuestas con respecto a las decisiones que se toman a nivel interno de la unidad familiar, con relación a actividades relacionadas con la producción de cultivos; así, con respecto a la decisión sobre el cultivo a sembrar, 78.2% de las respuestas correspondieron a una decisión tomada en el seno de la familia y 21.8% en un entorno externo a ella.

Cuadro 49. Nivel interno de la toma de decisiones por los productores de Huamantla.

Concepto	%
Información sobre nueva variedad	47.6
Que cultivo sembrar	78.2
Que superficie sembrar con ese cultivo	89.7
En que fecha sembrar	84.9
Que variedad usar	68.2
Cuando fertilizar	77.3
Cantidad de fertilizante a usar	70.4
Que herbicida o insecticida usar	65.1
Cómo usar los plaguicidas	49.1
Cuando cosechar y pizcar	89.9
Solicitar crédito	71.7
Solicitar seguro agrícola	61.4
Solicitar asistencia técnica	33.9
Adquirir maquinaria agrícola	65.6
Información sobre precios de mercado	33.3
Media	65.7

9.1.3.2 Decisiones externas

En general ellas se refieren a las decisiones relacionadas a aspectos de asistencia técnica, precios de los productos o insumos tecnológicos nuevos como las variedades mejoradas y que se toman externamente a la familia; esos aspectos son los que tuvieron mayor número de respuestas por los productores, es decir, resultan lo inverso a las decisiones internas.

En lo general, se puede afirmar que las decisiones agrícolas se toman mayoritariamente al nivel interno, con 65.7% contra el monto externo que es 34.3%. Resulta de interés conocer a quién consideran los productores en un nivel externo en su toma de decisiones; ello se muestra en el Cuadro 50.

Cuadro 50. Actores externos que influyen en las decisiones agrícolas de los productores de Huamantla.

Situación	Vecinos	SEFOA	SAGARPA	Otros
	%	%	%	%
Información sobre nueva variedad	11.0	14.6	23.2	3.4
Que cultivo sembrar	11.5	2.6	7.7	0.0
Que superficie sembrar con ese cultivo	2.9	0.0	7.4	0.0
En que fecha sembrar	6.1	1.5	6.1	1.5
Que variedad usar	8.8	1.5	20.6	1.5
Cuando fertilizar	9.1	0.0	12.1	1.5
Cantidad de fertilizante a usar	5.6	4.2	18.3	1.4
Que herbicida o insecticida usar	7.9	4.8	19.1	3.2
Cómo usar los plaguicidas	14.6	1.8	21.8	12.7
Cuando cosechar y pizcar	4.4	1.5	4.4	0.0
Solicitar crédito	5.7	7.6	13.2	1.9
Solicitar seguro agrícola	12.3	5.3	14.0	7.0
Solicitar asistencia técnica	25.4	5.1	32.2	3.4
Adquirir maquinaria agrícola	11.5	6.6	14.8	1.6
Información sobre precios de mercado	40.5	7.0	3.5	15.8
Media	11.8	4.3	14.5	3.7

Las decisiones que más consideran la participación de los vecinos son: 1) información sobre precios de mercado, 2) solicitud de asistencia técnica, y uso de los plaguicidas; y en las decisiones en que menos se le toma en cuenta son: 1) que superficie sembrar, 2) cuando iniciar la cosecha, y 3) cantidad de fertilizante a usar (considérese que los productores no reciben asistencia técnica pública desde hace más de 10 años).

Con respecto a la Secretaría de Fomento Agropecuario del Estado de Tlaxcala (SEFOA), las decisiones en que más se le toma en cuenta son: 1) información sobre nueva variedad, 2) solicitar crédito, y 3) información sobre precios de mercado; y las decisiones en que menos se le toma en se refieren a manejo del cultivo.

Con respecto a la SAGARPA, las decisiones en que más se le toma en cuenta son: 1) solicitud de asistencia técnica, 2) información sobre nueva variedad, y 3) uso de plaguicidas.

En relación a otros agentes externos, entre los que se encuentran: casas comerciales, presidente de comunidad (el municipio está conformado por 29 comunidades, cada una de las cuales tiene un presidente de comunidad, excepto la cabecera, a la cual corresponde la presidencia municipal), acopiadores (coyotes), técnico, aseguradora, Fundación Produce Tlaxcala e INIFAP, las decisiones en que más se le toma en cuenta son: 1) información sobre precios de mercado, 2) como usar los plaguicidas, y 3) solicitar seguro agrícola; y las decisiones en que menos se le toma en cuenta se refieren al manejo del cultivo, factor que es el menos importante de los factores externos, respecto a la toma de decisiones, con 3.7% de participación en el proceso global.

De acuerdo con lo anterior, se puede afirmar que, en lo general, la entidad de mayor influencia externa es la SAGARPA, le siguen los vecinos y luego la SEFOA. En "otros", donde estarían dependencias como INIFAP y la Fundación Produce Tlaxcala, el peso de las decisiones resulta el más bajo.

En el censo agropecuario de 2004, realizado por INEGI se preguntó a los productores de Tlaxcala la forma en que tomaban las decisiones sobre el manejo de sus terrenos o sus animales, mediante las opciones: a) solo, b) con la familia, y c) con el jefe de grupo, y los resultados se muestran en el Cuadro 51.

De acuerdo con los resultados del Cuadro 51, 21.9% de los productores toman las decisiones en forma individual, 74.3% toma sus decisiones en el seno de la familia y 3.8 % en forma de grupo o con el grupo; de los que toman solos las decisiones, 44.4% tienen entre 0 y 2.0 ha; de los que toman las decisiones en conjunto con la familia, 40.7% tienen entre 0 y 2.0 ha; de los que toman en forma de grupo las decisiones, 26.0% tienen entre 0 y 2.0 ha. Así, 96.2% toman las decisiones sobre el manejo de sus terrenos o sus animales en forma interna y solo 3.8% en forma externa.

Cuadro 51. Toma de decisiones por los productores del municipio de Huamantla.

Superficie (ha)	Toma de decisiones								
	Solo			En familia			Con el jefe de grupo		
	0*	1	2	0	1	2	0	1	2
0	30	43	28	73	28	0	101	0	0
< 1.0	0	47	150	47	147	3	194	3	0
1 a 2	0	298	1061	298	1032	29	1330	29	0
>2 a 5	0	452	1660	452	1601	59	2053	59	0
>5 a 20	0	26	155	26	144	11	170	11	0
> 20	0	7	31	7	10	21	17	21	0

0 = no contestó, 1 = afirmativo, 2 = negativo

Fuente: a partir de base de datos de INEGI (2004)

9.2 Tipificación socioeconómica de los productores

9.2.1 Tipificación según la clasificación de la CEPAL (1982)

Según esta clasificación, los productores agrícolas de México se pueden clasificar en:

- Campesinos (infrasubsistencia, subsistencia, estacionarios, excedentarios),
- Productores transicionales
- Empresarios (pequeños, medianos, grandes)

Esta clasificación considera a un productor campesino con una familia de 5.5 miembros (padres e hijos) y que para satisfacer sus necesidades de alimentos (calorías y proteínas) necesita producir 3.98 t ha⁻¹, en una superficie denominada hectárea equivalente temporal (ETN), misma que representa un tamaño de parcela de 4.0 ha.

A partir de la información colectada en el municipio, se determinó un número medio de miembros por familia de 7.3 que supera al promedio usado por la CEPAL (1982), y el rendimiento medio fue de 1.75 t ha⁻¹. De acuerdo con estos datos, considerando la misma necesidad de consumo de calorías y proteínas estimada por la CEPAL (1982), actualmente se necesitan 5.28 toneladas de maíz para una familia de 7.3 miembros, considerando un rendimiento promedio de 1.75 t ha⁻¹: $((7.3 \times 3.98) / 5.5)$, las cuales se pueden producir en 3.0 hectáreas (5.28/1.75).

Tomando una población de 3988 productores (INEGI, 2005), la tipificación actual de ellos en Huamantla, de acuerdo a los criterios de la CEPAL (1982) se muestra en el Cuadro 52. En 1970 el productor de infrasubsistencia contaba con 4.0 ETN o menos, que en 2005 equivalen a 3.0 ha, o menos.

Cuadro 52. Clasificación actual de los productores agrícolas de Huamantla según la metodología de la CEPAL (1982).

Tipo de productor	Superficie total (ETN ha) (CEPAL) (ha)	Superficie total (Actual) (ha)	Número de productores (actual)	Porcentaje
Infrasubsistencia	≤4.0	≤3.0	3179	79.71
Subsistencia	4.0-8.0	3.0-6.0	672	17.08
Estacionarios	8.0-12.0	6.0-9.0	70	1.85
Excedentarios	12.0	9.0-12.0	18	0.45
Transicionales	>65	>49	26	0.73

En 1970, la proporción de los campesinos en Tlaxcala era: 78.4% de infrasubsistencia, 12.5 de subsistencia, 4.7 estacionarios, 0.7 excedentarios, 3.2 transicionales, 0.2 pequeños empresarios, 0.2 medianos empresarios y 0.1% grandes empresarios; si se suma las tres primeras categorías ello representa 95.6%, mientras que en 2005 ello significa 98.6%, es decir ha habido un incremento de 3.% de campesinos de infrasubsistencia y subsistencia, lo cual no sorprende, dada las difíciles condiciones de producción de cultivos básicos hoy día en México. Ello confirma el supuesto de que la crisis en el campo mexicano se remonta a más de 30 años atrás.

9.2.2 Tipificación según la clasificación por líneas de pobreza (Comité Técnico para la Medición de la Pobreza, 2002).

De acuerdo con Cortés *et al.* (2002), respecto de la especificación de *líneas de pobreza*, el Comité Técnico para la Medición de la Pobreza (2002) presenta tres umbrales de referencia. El primero (línea de pobreza 1) está referido a la imposibilidad de los hogares de obtener una canasta alimentaria aun haciendo uso de todos los recursos disponibles; el punto de partida para la definición de los bienes nutricionales mínimos necesarios es la cuantificación de la Canasta Básica de Alimentos (CBA) definida y calculada por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) con la colaboración de la Comisión Económica para América Latina (CEPAL); esta canasta está calculada para el ámbito

rural y el urbano, a partir de la estructura de gasto de los hogares del estrato que obtiene los requerimientos mínimos de nutrientes. El segundo umbral (línea de pobreza 2) corresponde a cuando los recursos del hogar no alcanzan para adquirir el valor de la canasta alimentaria, más una estimación de los gastos necesarios en salud, vestido, calzado, vivienda, transporte y educación. El tercer umbral (línea de pobreza 3) se asocia a la imposibilidad de adquirir el valor de los bienes anteriores, más una estimación de los gastos no alimentarios considerados como necesarios en los patrones de gasto de la población; sobre este tercer umbral de pobreza, el Comité Técnico para la Medición de la Pobreza (2002) menciona literalmente que en esta clasificación se incluye “el consumo de bienes que no necesariamente forman parte de una canasta que mida la pobreza de manera estricta, ya que refleja los gustos y preferencias de los consumidores de ese estrato”, en donde se refiere a un estrato de referencia; además, el informe puntualiza que este criterio de pobreza incluye todas las necesidades de los primeros dos criterios, “más otras necesidades que satisfacen los hogares que deciden sus gastos sin grandes limitaciones de recursos económicos”.

Para las áreas urbanas se especifican 2220 calorías diarias por persona y 40 gramos de proteínas, y para las rurales 2180 calorías y 37 gramos de proteína, por persona por día. Para estos fines, se definieron como zonas urbanas los municipios que al menos tuvieran una población mayor de 15 mil habitantes, que tuvieran un total de más de 100 mil habitantes y/o que contuvieran la capital de la entidad y/o que formen parte de las áreas metropolitanas definidas por la Encuesta Nacional de Empleo Urbano. En las últimas, ENIGH (Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares) consideró como zona urbana a las localidades de más de 15 mil habitantes

En su estudio sobre la evolución y características de la pobreza en México en la última década del siglo XX, Cortés *et al.* (2002) reportan que:

Línea 1. Considera a todos aquellos hogares cuyo ingreso es insuficiente para cubrir las necesidades mínimas de alimentación, equivalente a 15.4 y 20.9 pesos diarios por persona de agosto del año 2000, en áreas rurales y urbanas, respectivamente.

Línea 2. Incluye a los hogares cuyo ingreso es insuficiente para cubrir las necesidades de alimentación, así como para sufragar los gastos mínimos en educación y salud, equivalentes a 18.9 y 24.7 pesos diarios por persona del 2000, en áreas rurales y urbanas, respectivamente.

Línea 3. Se refiere a todos aquellos hogares cuyo ingreso es insuficiente para cubrir las necesidades de alimentación, salud, educación, vestido, calzado, vivienda y transporte público, equivalentes a 28.1 y 41.8 pesos diarios por persona del 2000, en áreas rurales y urbanas, respectivamente.

Considerando la definición del Comité Técnico para la Medición de la Pobreza (2002), en las áreas rurales en 2002 con un ingreso de \$485.7, \$843.2 y \$1047.3 per capita mensual para las líneas de pobreza 1, 2 y 3, respectivamente, se encontró que 60.4% de la muestra (n=48) se ubicó en la línea de pobreza 1 (pobreza alimentaria); 89.6% en la línea de pobreza 2 (pobreza de desarrollo de capacidades) y 91.7% en la línea de pobreza 3 (pobreza de desarrollo de patrimonio).

En el Cuadro 53 se muestra la distribución del ingreso mensual *per capita* para la muestra de productores en el municipio. El ingreso *per capita* se obtuvo dividiendo el ingreso mensual entre el número de miembros de la familia.

Al reclasificar los rangos reportados por el Comité Técnico Mexicano para la Medición de la Pobreza, se obtiene la distribución de frecuencias por línea de pobreza (Cuadro 54). Se observa que más de 66% de la población se ubicó en la línea de pobreza alimentaria. A partir del ingreso disponible al mes por el responsable de la unidad de producción, del número de miembros de la familia se obtuvo el ingreso mensual *per capita* y del ingreso umbral entre las líneas de la pobreza, se obtuvo la clasificación que se muestra en el Cuadro 54.

Cabe mencionar que según Esquivel y Huerta (2007), el ingreso *per capita* mensual para el área urbana es de \$672.0 y de \$495.0 en la rural para la línea de pobreza 1. Para la línea de pobreza 2 estos autores mencionan \$793.0 y \$587.0 *per capita* mensuales para las áreas urbanas y rurales, respectivamente, y de \$1367.0 y \$ 946.0 para la línea de pobreza 2 en las áreas urbanas y rurales, respectivamente, (pesos de referencia del año 2002). Si se consideran estas últimas cifras, las proporciones por tipo de línea de pobreza son 69.9, 77.1 y 88.5% respectivamente. Excepto la línea 1, el porcentaje de las otras líneas es inferior que las registradas en el Cuadro 55, y ambas indican que 70% de los productores no producen, incluso, para satisfacer sus necesidades de alimentos.

Cuadro 53. Distribución del ingreso mensual *per capita* en Huamantla (pesos).

Ingreso <i>per capita</i> mensual	Frecuencia		Frecuencia acumulada	
	num.	%	num.	%
50	1	1.64	1	1.64
76.9	1	1.64	2	3.28
90.9	1	1.64	3	4.92
100	2	3.28	5	8.20
109.1	1	1.64	6	9.84
125	3	4.92	9	14.75
142.9	1	1.64	10	16.39
150	1	1.64	11	18.03
153.8	1	1.64	12	19.67
166.7	1	1.64	13	21.31
214.3	2	3.28	15	24.59
222.2	1	1.64	16	26.23
250	2	3.28	18	29.51
266.7	1	1.64	19	31.15
272.7	1	1.64	20	32.79
285.7	1	1.64	21	34.43
300	2	3.28	23	37.70
320	2	3.28	25	40.98
333.3	5	8.20	30	49.18
357.1	1	1.64	31	50.82
360	2	3.28	33	54.10
375	1	1.64	34	55.74
400	4	6.56	38	62.30
428.6	1	1.64	39	63.93
457.1	1	1.64	40	65.57
500	7	11.48	47	77.05
600	2	3.28	49	80.33
666.7	1	1.64	50	81.97
750	3	4.92	53	86.89
833.3	1	1.64	54	88.52
1000	2	3.28	56	91.80
1333.3	1	1.64	57	93.44
1375	1	1.64	58	95.08
1500	1	1.64	59	96.72
2000	1	1.64	60	98.36
2500	1	1.64	61	100

Cuadro 54. Frecuencias por línea de pobreza.

Línea de pobreza	Frecuencia		Frecuencia acumulada	
	num.	%	num.	%
1	40	66.67	40	66.67
2	14	23.33	54	90.00
3	6	10.00	56	100.00

Cuadro 55. Línea de pobreza de la población rural muestreada en Huamantla.

Tipo	Pobreza (tipo)	Ingreso umbral <i>per capita</i> (\$)	Productores		
			(núm.)	%	% acum.
Línea 1	Alimentaria	485.7	40	66.70	66.67
Línea 2	De desarrollo de las capacidades	846.3	14	23.33	90.00
Línea 3	De desarrollo del patrimonio	1047.2	6	10.00	100.00

9.2.3 Tipificación según la clasificación de Janvry, (1995)

Para esta clasificación se procedió con la población de 3988 productores de Huamantla; al no disponer de la división de la superficie en cuanto a tenencia ejidal y pequeña propiedad, se determinó sumar la superficie, de modo tal que las cinco categorías que resultan son:

- 0.0 ha,
- ≤ 5.7 ha,
- 5.7 - 19.5 ha,
- 19.5 - 65.0 ha,
- >65.0 ha.

y los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 56.

Si se considera solo las primeras clases de estas tipificaciones, es decir, infrasubsistencia y subsistencia, de CEPAL (1982), líneas de pobreza 1 y 2, del Comité Técnico Mexicano para la Medición de la Pobreza, y de infrasubsistencia y subsistencia de Janvry, A. de, (1995), se obtiene que, en promedio 95.3% de los productores agrícolas se clasifican como de infrasubsistencia y subsistencia.

Cuadro 56. Clasificación actual de los productores agrícolas de Huamantla según la metodología de Janvry, A. de, (1995) citado por Mata (2002).

Superficie	Productor (tipo)	Productores		
		(núm.)	%	% acum.
0.0	Sin tierra	93	2.33	2.33
≤ 5.7	Infrasubsistencia	3697	92.70	95.03
5.7 - 19.5	Subsistencia	157	3.94	98.97
19.5 - 65.0	Pequeño productor	21	0.58	99.50
>65.0	Productor comercial	20	0.56	100.00

9.3 Obtención de la función de producción

Con base en la metodología descrita, la función de producción obtenida para el cultivo de maíz en el municipio de Huamantla fue la siguiente:

$$Y = -193.989 + 901.818P^{0.5} - 42.691P - 17.488E^2 - 24.585F + 2528.813S_1 - 370.043S_1F^{0.75} \\ + 4043.928S_2 - 105.944S_2Fs - 2059.451H - 1182.816N - 2616.985Pi + 14.511LIS_1 - 0.03931LI^2S_1 \\ + 2480.411V_7 - 1735.101V_{11} + 1170.655V_{13} - 637.408V_{21}$$

$$(CME = 473098, Pr. F = < 0.0001, R^2 = 0.70)$$

Donde: Y es el rendimiento de grano de maíz ($kg\ ha^{-1}$); P es la profundidad (cm); E es la pendiente del terreno (%); F es la fecha de siembra (días a partir del 1 de marzo); S_j son variables auxiliares para tipo de siembra: S₁ para siembras de humedad residual en las Faldas de la Malinche, S₂ para la siembra de maíz en suelos con humedad residual en el Valle de Huamantla, ambas en comparación con S₃, es decir, las siembras de temporal estricto en suelos de los Lomeríos); H y N son variables auxiliares para experimentos con daño por sequía y helada o manejo deficiente del cultivo), y Pi es una variable auxiliar para dosis bajas de fósforo; LI es la lluvia de 30 días antes y 20 días después de la floración masculina y V_j son variables auxiliares para distintos maíces: V₇ para híbridos de maíz como H-34, H-44 y H-34, V₁₁ para los híbridos H-137 y H-197, V₁₃ para los híbridos H-33 y H-40, y V₂₁ para la variedad criolla, todas ellas en comparación con el híbrido de maíz H-30, que fue la más usada en los experimentos por su amplia adaptabilidad en Tlaxcala.

De acuerdo con la metodología, se generaron cuatro clases para los factores profundidad del suelo, pendiente del terreno y lluvia, para los cuales con base en sus valores medios de clase, se obtuvieron los rendimientos medios para cada una de las combinaciones que de ello resultan.

Como se mencionó antes, la combinación lineal ponderada y el AHP son técnicas de evaluación multicriterio compensatorias y aditivas (Barredo, 1996), y en el caso de la función de producción obtenida y con el uso del modelo para predecir el rendimiento de grano de acuerdo con las variables significativas de aquella, se observó también un efecto compensatorio y aditivo no reportado en trabajos de investigación con funciones de producción (María y Volke, 1999; Hernández, 2004).

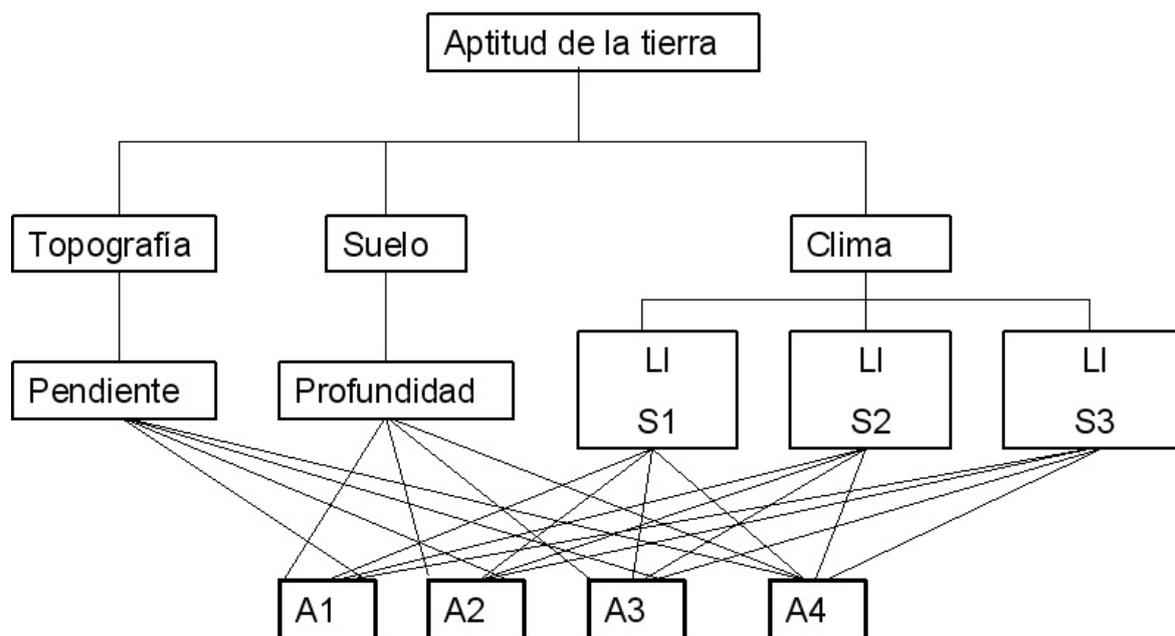
Efectivamente, la función de producción es de carácter aditivo, por lo que se debe manejar con cuidado las combinaciones de valores de los factores de modo que los rendimientos predichos por ella no se extrapolen a valores no observados e incluso ilógicos, como sería considerar una profundidad de suelo de 5 cm para la siembra de maíz. Es decir, de acuerdo con los rendimientos predichos por la función de producción, debe hacerse uso del criterio agronómico para moderar el efecto compensatorio de los factores sobre los resultados de ella, lo cual se puede lograr examinando las combinaciones de valores de los factores que originan los rendimientos predichos.

También, de acuerdo con lo anterior, se requiere investigar en la teoría de la regresión el efecto compensatorio de las funciones de producción en la confiabilidad de los rendimientos predichos mediante su aplicación, particularmente en la agricultura de temporal con productores de subsistencia e infrasubsistencia.

9.4 Aplicación del Proceso de Análisis Jerárquico

9.4.1 Estructura jerárquica

En la Figura 25 se muestra la jerarquización del problema de estudio. El problema que se abordó es el desconocimiento de la aptitud de la tierra en la región de estudio determinada por los factores de topografía, suelo, clima y manejo que afectan la producción de maíz. Como consecuencia de ello, la meta es determinar la aptitud de las tierras del municipio para la producción de maíz. De acuerdo con la función de producción obtenida, los factores que explican la respuesta del cultivo o criterios, son la



donde: LiS1 = lluvia de 30 días antes y 20 días después de la floración masculina en las Faldas de la Malinche, LiS2 y LiS3 es esa lluvia en el Valle de Huamantla y los Lomeríos, respectivamente. A1, A2, A3 y A4 son las alternativas que se evalúan.

Figura 25. Estructura jerárquica de los criterios considerados en el estudio.

topografía, el suelo y el clima. Para topografía y suelo se determinó un solo subcriterio, la pendiente del terreno y la profundidad del suelo, respectivamente. El criterio clima se constituyó, de acuerdo con la función de producción, con tres subcriterios, la lluvia de 30 días antes de la floración masculina y 20 días después de la misma en la región de las Faldas de la Malinche (LI S1), Valle de Huamantla (LI S2) y Lomeríos (LI S3), que también se identificó como LI S1, LI S2, y LI S3, respectivamente. La aptitud se clasificó en cuatro alternativas o aptitudes, A1, A2, A3 y A4; la aptitud 1, que corresponde a la mejor (A1), está determinada por los suelos con menor pendiente del terreno (valor de clase 2%), mayor profundidad del suelo (valor de clase 87.5 cm) y la mayor cantidad de lluvia de 30 días antes y 20 días después de la floración masculina (valores de clase de 150 mm en LI S1 y LI S2 y 160 mm en LI S3); en la siguiente aptitud (A2) la pendiente del terreno es de 5.5%, la profundidad del suelo es de 62.5 cm, y LI S1, LI S2 y LI S3 tienen valores de 130, 120 y 120 mm, respectivamente. Es decir, la categoría cambió al incrementarse la pendiente del terreno y disminuirse la profundidad y la cantidad de lluvia. En la categoría que sigue (A3), la pendiente del terreno es de 8%, la profundidad del suelo es de 37.5 cm, y LI S1, LI S2 y LI S3 tienen valores de 110, 90 y 80 mm, respectivamente; finalmente, la última categoría de aptitud (A4) está constituida por el valor más alto de la pendiente del terreno con 10%, la menor

profundidad del suelo con 12.5 cm así como los menores valores de lluvia con 90, 60, y 40 mm para LI S1, LI S2 y LI S3, respectivamente.

En el Cuadro 57 se muestran los valores de clase y el rango correspondiente para las alternativas o aptitudes (A1 a A4) y los subcriterios.

Cuadro 57. Valores de clase (con su rango) usados para la comparación pareada de los subcriterios¹

Aptitud	Pendiente (%)	Profundidad (cm)	LI S1 (mm)	LI S2 (mm)	LI S3 (mm)
A1	2 (0 a 4)	87.5 (75 a 100)	150 (140 a 160)	150 (135 a 165)	160 (140 a 180)
A2	5.5 (4 a 7)	62.5 (50 a 75)	130 (120 a 140)	120 (105 a 135)	120 (100 a 140)
A3	8 (7 a 9)	37.5 (25 a 50)	110 (100 a 120)	90 (75 a 105)	80 (60 a 100)
A4	10 (9 a 11)	12.5 (0 a 25)	90 (80 a 100)	60 (45 a 75)	40 (20 a 60)

¹ Donde: LIS1 = lluvia de 30 días antes y 20 días después de la floración masculina en las Faldas de la Malinche, LIS2 y LIS3 es esa lluvia en el Valle de Huamantla y los Lomeríos, respectivamente. A1, A2, A3 y A4 son las alternativas que se evalúan.

La aptitud A3 corresponde a la última categoría en que en esta investigación se recomienda, derivado de la pendiente del terreno, la producción de maíz con tracción mecánica y tracción combinada, mientras que en la aptitud A4 la siembra de maíz será con tracción animal y pala. Por ejemplo, de acuerdo con la función de producción, al cambiar la pendiente del terreno de 1 a 10% en un suelo profundo (>1.0 m) en las Faldas de la Malinche, el rendimiento de maíz disminuye 1732 kg ha⁻¹; esta cantidad, que es igual entre los agrosistemas, es la contribución o efecto de la pendiente sobre el rendimiento de maíz. Del mismo modo, al cambiar la profundidad del suelo de 87.5 a 12.5 cm, el rendimiento de maíz en cualquiera de los agrosistemas disminuye en 2046 kg ha⁻¹ y representa el efecto de la profundidad del suelo sobre el rendimiento del maíz en la zona de estudio. En el caso de la lluvia de 30 días antes y 20 días después de la floración masculina (LI) se observó una respuesta diferente en cada agrosistema, así, en las Faldas de la Malinche la diferencia entre que lloven 90 a

150 mm es de 305 kg ha⁻¹, y de 563 y 798 kg ha⁻¹ en el Valle de Huamantla y los Lomeríos, respectivamente, cantidad que representa el efecto de esa lluvia sobre el rendimiento de maíz. Estas cantidades que se muestran en el Cuadro 58 representan el efecto de las variables o factores en la producción del maíz que se usaron para la evaluación de la matriz de las metas globales, del AHP. Tales resultados deben tomarse con cautela, dado el bajo valor de la R² de la función de producción.

Cabe anotar que cuando en este estudio se hace referencia a los agrosistemas de Faldas de la Malinche, Valle de Huamantla y los Lomeríos, ello es en el contexto en que Turrent (1986) afirma que el agrosistema cubre una cierta extensión geográfica, cuando comparte, por ejemplo, un cociente Precipitación/Evaporación, temperatura media, profundidad del suelo y pendiente del terreno, y que dentro del agrosistemas puede haber uno o varios sistemas de producción, por ejemplo de maíz.

En el Cuadro 58 se muestra el efecto de los criterios y subcriterios expresado en kilogramos por hectárea de maíz, de acuerdo con la función de producción.

Cuadro 58. Efecto en kilogramos por hectárea de maíz de los criterios y subcriterios usados para el Proceso de Análisis Jerárquico, de acuerdo con la función de producción.

Criterios				
Topografía	Suelo	Clima		
Subcriterios				
Pendiente	Profundidad	LI S1	LI S2	LI S3
Rango		Rango (mm)		
(2 a 10%)	(12.5 a 87.5 cm)	(90 a 150)	(60 a 150)	(40 a 160)
1732	2046	305	563	798
1732	2046	1666		

9.4.2 Evaluación

En la matriz de comparaciones con respecto a los criterios (topografía, suelo y clima), en lugar de los valores de la escala de Saaty (1980), ellos se sustituyen por los de dichos efectos, es decir, 1679, 2046

y 1666 kg ha⁻¹. Para los subcriterios (pendiente, profundidad, LIS1, LIS2 y LIS3 en lugar de los valores de la escala de Saaty (1980) se usaron los valores de clase de ellos, que se muestran en el Cuadro 57 de "Valores de clase (con su rango) usados para la comparación pareada de los subcriterios ". En las evaluaciones de las matrices de comparaciones que siguen se uso el procedimiento que hace Toskano (2005) y que se cita en el Capítulo 5 de esta investigación en el subtema "Evaluación multicriterio en la investigación operativa".

9.4.2.1 Metas globales

En el Cuadro 59 se muestra la matriz para la comparación de criterios, y a la izquierda están los valores expresados en el efecto de los criterios sobre el rendimiento (ver Cuadro 55) y a la derecha en su forma proporcional.

Cuadro 59. Matriz de comparación de criterios (Global)¹

	TO	SU	CL		TO	SU	CL
TO	1732/1679	1732/2046	1732/1666	TO	1.000	0.847	1.040
SU		2046/2046	2046/1666	SU	1.219	1.000	1.228
CL			1666/1666	CL	0.992	0.814	1.000

¹ Donde TO = Topografía (pendiente del terreno), SU = Suelo (profundidad del suelo), CL = Clima.

En el Cuadro 60 se muestra el vector de prioridades también denominado máximo eigenvector obtenido de la comparación pareada entre criterios

En esta matriz resalta un valor 0 de la razón de consistencia (RC) y de que en términos generales la profundidad del suelo es más importante entre los factores o criterios en evaluación.

Cuadro 60. Vector de prioridades (eigenvector) entre criterios (Global)¹.

	TO	SU	CL	Vector de prioridades	RC
TO	1	0.847	1.040	0.318	0
SU	1.181	1	1.228	0.376	
CL	0.962	0.814	1	0.306	
Σ	3.143	2.661	3.268	1.000	

¹ Donde To = Topografía (pendiente del terreno), SU = Suelo (profundidad del suelo), CL = Clima.

9.4.2.2 Evaluación de las alternativas con respecto a los criterios y subcriterios

En este caso, los valores agregados en la matriz corresponden a los valores de clase anotados en el Cuadro 57, los cuales a su vez se definieron en términos del efecto de los factores o criterios en el rendimiento del maíz. Un ejercicio posterior pudiera hacer la evaluación anotando directamente las diferencias expresadas en kilogramos por hectárea en la matriz de comparación en lugar de los valores de clase. Los criterios Topografía (pendiente) y Suelo (profundidad) no tienen subcriterios, por lo que se obtiene el vector de prioridades directamente. En el Cuadro 61 se muestra la matriz de comparación para la topografía (pendiente del terreno), y en el Cuadro 62 se reporta a la matriz de comparación para el suelo (profundidad).

Cuadro 61. Vector de prioridades (eigenvector) de las alternativas con respecto al criterio topografía, subcriterio Pendiente del terreno¹.

	A1	A2	A3	A4	Vector de prioridades
A1	2/2	5.5/2	8/2	10/2	0.551
A2		5.5/5.5	8/5.5	10/5.5	0.201
A3			8/8	10/8	0.138
A4				10/10	0.110

¹ Donde: A1 = alternativa 1, A2= alternativa 2, A2 = alternativa 2, A3 = alternativa 3, A4 = alternativa 4

Cuadro 62. Vector de prioridades (eigenvector) de las alternativas con respecto al criterio suelo, subcriterio Profundidad del suelo¹.

	A1	A2	A3	A4	Vector de prioridades
A1	87.5/87.5	87.5/62.5	87.5/37.5	87.5/12.5	0.438
A2		62.5/62.5	62.5/37.5	62.5/12.5	0.313
A3			37.5/37.5	37.5/12.5	0.188
A4				12.5/12.5	0.063

¹ Donde: A1 = alternativa 1, A2= alternativa 2, A2 = alternativa 2, A3 = alternativa 3, A4 = alternativa 4

Debido a que el criterio clima tiene tres subcriterios LIS1, LIS2, y LIS3, corresponde una matriz de comparación para cada uno de ellos. Estas matrices de comparación se muestran en los Cuadros 63, 64 y 65, respectivamente, con los valores de clase como valores de juicio. Cabe recordar, para una mejor comprensión de esta parte de la metodología, que los valores de clase se obtuvieron a partir de la graficación del efecto del factor (criterio) y el rendimiento de maíz.

Cuadro 63. Vector de prioridades (eigenvector) de las alternativas con respecto al criterio Clima, subcriterio LI S1 (Faldas de la Malinche)¹.

	A1	A2	A3	A4	Vector de prioridades
A1	150/150	150/130	150/110	150/90	0.313
A2		130/130	130/110	130/90	0.271
A3			110/110	110/90	0.229
A4				90/90	0.188

¹ Donde: A1 = alternativa 1, A2= alternativa 2, A2 = alternativa 2, A3 = alternativa 3, A4 = alternativa 4
LiS1 = Lluvia de 30 días antes y 20 días después de la floración masculina.

Cuadro 64. Vector de prioridades (eigenvector) de las alternativas con respecto al criterio Clima, subcriterio LI S2 (Valle de Huamantla)¹.

	A1	A2	A3	A4	Vector de prioridades
A1	150/150	150/120	150/90	150/60	0.357
A2		120/120	120/90	120/60	0.286
A3			90/90	90/60	0.214
A4				60/60	0.143

¹ Donde: A1 = alternativa 1, A2= alternativa 2, A2 = alternativa 2, A3 = alternativa 3, A4 = alternativa 4
LiS2 = Lluvia de 30 días antes y 20 días después de la floración masculina.

Cuadro 65. Vector de prioridades (eigenvector) de las alternativas con respecto al criterio Clima, subcriterio LI S3 (Lomeríos)¹

	A1	A2	A3	A4	Vector de prioridades
A1	160/160	160/120	160/80	160/40	0.400
A2		120/120	120/80	120/40	0.300
A3			80/80	80/40	0.200
A4				40/40	0.100

¹ Donde: A1 = alternativa 1, A2= alternativa 2, A2 = alternativa 2, A3 = alternativa 3, A4 = alternativa 4.
LiS3 = Lluvia de 30 días antes y 20 días después de la floración masculina en los Lomeríos

En el Cuadro 66 se muestra la matriz de comparación para el criterio Clima con respecto a los tres subcriterios. Al igual que en la matriz de comparación de criterios que se presenta en el Cuadro 59, los valores expresan el efecto de los subcriterios sobre el rendimiento en kilogramos por hectárea. De acuerdo con el resultado, la lluvia de 30 días antes de la floración masculina y la de 20 días después de

Cuadro 66. Vector de prioridades (eigenvector) entre los subcriterios de Clima¹

	LI S1	LI S2	LI S3	Vector de prioridades
LI S1	305/305	305/563	305/798	0.183
LI S2		563/563	563/798	0.338
LI S3			798/798	0.479

¹ Donde: LiS1 = Lluvia de 30 días antes y 20 días después de la floración masculina en las Faldas de la Malinche; LiS2 y LIS3 es esa lluvia en el Valle de Huamantla y los Lomeríos, respectivamente.

ella, ocasionan una mayor diferencia de rendimientos en los suelos de los Lomeríos; ello porque en esa zona llueve menos que en las Faldas de la Malinche y el Valle de Huamantla.

En el Cuadro 67 se presenta la estandarización o normalización entre los vectores de prioridad de los subcriterios de Clima y el vector de prioridad de los subcriterios entre sí (ver Cuadros 63 a 66).

Cuadro 67. Vector de prioridades del Criterio Clima¹

CLIMA	LI S1	LI S2	LI S3		Vector de prioridades	
A1	0.313	0.357	0.400	*	0.183	0.370
A2	0.271	0.286	0.300		0.338	0.290
A3	0.229	0.214	0.200		0.479	0.210
A4	0.188	0.143	0.100			0.131

¹ Donde: LiS1 = Lluvia de 30 días antes y 20 días después de la floración masculina en las Faldas de la Malinche; LiS2 y LIS3 es esa lluvia en el Valle de Huamantla y los Lomeríos, respectivamente; A1 = alternativa 1, A2= alternativa 2, A2 = alternativa 2, A3 = alternativa 3, A4 = alternativa 4.

El asterisco indica que los valores de los vectores de prioridades de los subcriterios en las celdas se multiplican con los valores del vector de prioridades de esos subcriterios de Clima, como se muestra en el Cuadro 68.

9.4.2.3 Síntesis de prioridades

En este punto ya se tienen los vectores de prioridad de los criterios y subcriterios, los cuales se estandarizan con el vector de prioridades de los factores o criterios (vector de prioridades globales).

Esta estandarización se muestra en el Cuadro 68 y constituye el último paso de la evaluación de las matrices de comparación. Se consideró de interés anotar los valores y su estandarización, que aunque no se hizo en los Cuadros anteriores, se estandarizan de la misma manera que aquí.

Cuadro 68. Obtención del vector final de prioridades de los criterios evaluados con respecto a las alternativas¹.

	Criterios			V.P Global	Estandarización	Vector final de prioridades	
	CL	TO	SU				
A1	0.370	0.551	0.438	* 0.318	$(0.318*0.370)+(0.376*0.551)+(0.306*0.438)$	0.459	1
A2	0.290	0.201	0.313	0.376	$(0.318*0.290)+(0.376*0.201)+(0.306*0.313)$	0.263	0.573
A3	0.210	0.138	0.188	0.306	$(0.318*0.210)+(0.376*0.138)+(0.306*0.188)$	0.176	0.383
A4	0.131	0.110	0.063		$(0.318*0.131)+(0.376*0.110)+(0.306*0.063)$	0.102	0.222

¹ Donde: A1 = alternativa 1, A2= alternativa 2, A2 = alternativa 2, A3 = alternativa 3, A4 = alternativa 4; TO = Topografía (pendiente del terreno), SU = Suelo (profundidad del suelo), CL = Clima.

La priorización de las alternativas se logra asignando 1 (uno) a aquella del valor más alto y el valor correspondiente porcentual al resto de las alternativas; ello se consigna en la última columna del Cuadro 68. Un ejemplo de su interpretación es el siguiente: Si el rendimiento de maíz en la condición de pendiente más suave del terreno, con la mayor profundidad del suelo, y la cantidad más alta de lluvia de 30 días antes y 20 días después de la floración fuese de 4500 kg ha⁻¹, entonces en las alternativas A2, A3 y A4, ese rendimiento será de 2579, 1724 y 999 kg ha⁻¹, respectivamente. En el Cuadro 69 se muestran los valores de los vectores de prioridad de los criterios y subcriterios evaluados con el AHP y su correspondiente valor estandarizado de acuerdo con las alternativas.

Cuadro 69. Valores de los vectores de prioridad de los subcriterios evaluados con el AHP y su correspondiente valor estandarizado de acuerdo con las alternativas.

	Profundidad		Pendiente		LI S1		LI S2		LI S3	
	AHP	Estand.	AHP	Estand.	AHP	Estand.	AHP	Estand.	AHP	Estand.
A1	0.438	1	0.551	1	0.313	1	0.357	1	0.400	1
A2	0.313	0.715	0.201	0.365	0.271	0.866	0.286	0.801	0.300	0.750
A3	0.188	0.429	0.138	0.250	0.229	0.732	0.214	0.599	0.200	0.500
A4	0.063	0.144	0.110	0.200	0.188	0.601	0.143	0.401	0.100	0.250

En esta parte de la investigación se hace notar que el Índice de Consistencia (IC) y la Razón de Consistencia (RC) en las matrices resueltas tuvieron un valor de cero, es decir, no registraron inconsistencias en los valores de los pesos de las preferencias, y ello es así porque se usó información exacta en términos de efectos de los factores (criterios) en el rendimiento de maíz. Sin embargo, se debe tener precaución de no afirmar que ante la ausencia de inconsistencia en las comparaciones pareadas, ello resulte en la selección de la mejor o mejores alternativas. En el caso de la función de producción se debe tener presente que la falta de ajuste del modelo (valor de $R^2 < 0.70$) se pueda deber a algunas de las siguientes causas: a) no están en el modelo todos los factores que afectan al rendimiento, b) sí están presentes todos los factores que afectan al rendimiento pero no en la forma adecuada (forma de respuesta), y c) existen puntos aberrantes que no se detectaron adecuadamente. En la función de respuesta obtenida en esta investigación el valor de R^2 es 0.70, y pudiera decirse, que explica aproximadamente 70% de la variabilidad de los rendimientos con la información disponible, y que el procedimiento es útil, al menos, en aquellas circunstancias en que se carezca de “conocimiento experto” o que éste sea insuficiente, para aplicar el AHP.

De acuerdo con lo anterior, la prueba de sensibilidad (determinación del valor de la RC) puede sustituirse en investigaciones como la presente, por el valor de la R^2 de la función de la producción. Según Volke (2004), el coeficiente de determinación múltiple R^2 corresponde a la proporción de la variación total de la variable dependiente que es explicada por el modelo de regresión.

En el Cuadro 70 se muestra el ejemplo hipotético en el que se compara el rendimiento predicho por un modelo con una R^2 de 0.70, y el mismo modelo en una de sus fases preliminares con una R^2 de 0.46.

Se observa que en el Valle de Huamantla la diferencia entre el rendimiento predicho por el modelo con la R^2 de 0.70 y el de la R^2 de 0.46 es de 2233 kg ha⁻¹; sin embargo, debe recordarse que la R^2 del modelo fue precisamente 0.70, lo que indica que los rendimientos predichos serían más precisos si ella tuviera un valor más próximo a la unidad. Esta circunstancia debiera abordarse en investigaciones futuras, es decir, generar modelos que al menos tengan una R^2 de 0.75.

El procedimiento AHP aplicado hasta aquí fue sobre factores (criterios) inmodificables que afectan la producción de maíz en el municipio, pero además está el factor modificable fecha de siembra. Este factor es un criterio de decisión, particularmente para los agricultores, toda vez que podrán estimar el

Cuadro 70. Ejemplo de la bondad de la R^2 para detectar inconsistencia de la función de producción en la determinación de rendimientos de maíz predichos.

Agrosistema	R^2	Profundidad (cm)	Pendiente (%)	Lluvia (mm)	Fecha de siembra (día juliano)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Diferencia (kg ha ⁻¹)
Faldas de la Malinche	0.70	100	4	150	80	4018	92
	0.46	100	4	150	80	4110	
Valle de Huamantla	0.70	100	2	150	100	4513	2233
	0.46	100	2	150	100	6746	
Lomeríos	0.70	100	4	150	120	3498	701
	0.46	100	4	150	120	4199	

incremento o la disminución, según sea el caso, en el rendimiento de maíz obtenible al planear sembrar en fechas más tempranas o más tardías, respectivamente. Para ello solo se anota en el modelo la fecha de siembra en el agrosistema de interés o donde se ubica la parcela de los productores y se obtiene el rendimiento predicho por el modelo y para ello no necesita aplicar todo el AHP; se obvia que al referirse que solo se anota la fecha de siembra en el modelo, ello hace referencia a que su uso es por personal capacitado, que pueden ser incluso los mismos productores o sus hijos y parientes en programas de cómputo accesibles como EXCEL de Microsoft.

9.5 Obtención de mapas de aptitud

Los valores de los vectores de prioridad de pendiente del terreno (Pe), profundidad (Pr), y de lluvia de 30 días antes y 20 días después de la floración masculina (LIS1, LIS2, y LIS3) se estandarizaron a valores entre 0 y 1 en los mapas criterios con esos factores (Pr y Pe a nivel regional y LIS1, LIS2, y LIS3 para las Faldas de la Malinche, Valle de Huamantla y Lomeríos, respectivamente). De hecho, son estos valores estandarizados en los mapas criterios, los que permiten la estratificación de la aptitud de las áreas agrícolas para la producción de maíz mediante la aplicación del AHP.

En IDRISI, mediante el módulo Macro Modeler se creó el programa, para cada agrosistema, del proceso de AHP, como se muestra en la Figura 26.

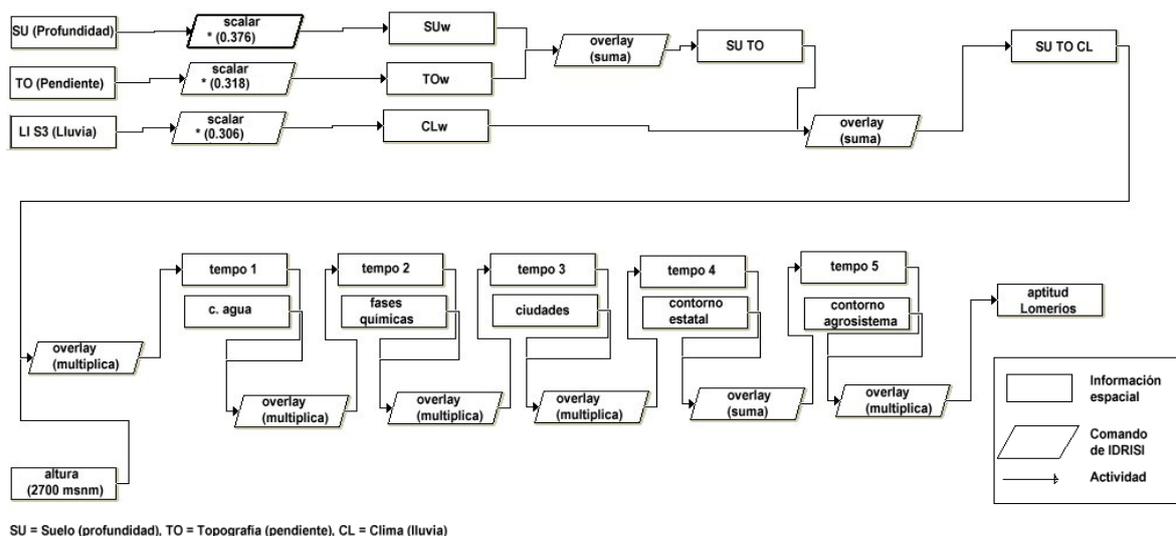


Figura 26. Modelo cartográfico para determinar la aptitud de las tierras en Lomerios.

Las limitantes o restricciones booleanas usadas fueron cuerpos de agua, fases químicas y ciudades. En este modelo se sustituyen, cuando las nuevas investigaciones lo permitan, los mapas criterios para desarrollar continuamente el proceso.

Mediante el proceso de hacer manualmente las combinaciones de los valores estandarizados de los mapas criterio por el valor del peso de importancia de los factores criterio, se identificaron las combinaciones que producen los rendimientos predichos según los valores determinados para cada combinación de aptitud.

En la Figura 27 se muestra el mapa de aptitudes; el valor 1 corresponde a la mejor aptitud; a medida que el valor se aproxime a la unidad más alta será su aptitud y viceversa, a medida que el valor se aleje de la unidad menor será su aptitud.

Usando el modelo construido en SAS para obtener los rendimientos predichos, se determinó el rendimiento de maíz que le corresponde a cada combinación de ellas, por lo que usando el módulo RECLASS de IDRISI, se sustituyó en los mapas de aptitud los valores entre 0 y 1 por el del rendimiento respectivo, obteniéndose el mapa de aptitudes expresado en rendimiento en kg ha^{-1} de maíz, que se muestra en la Figura 28; ellos tienen una correspondencia 1:1, es decir, el valor de una celda de la figura 27, que puede ser entre 0 y 1 se corresponde con el valor expresado en rendimiento en la Figura 28

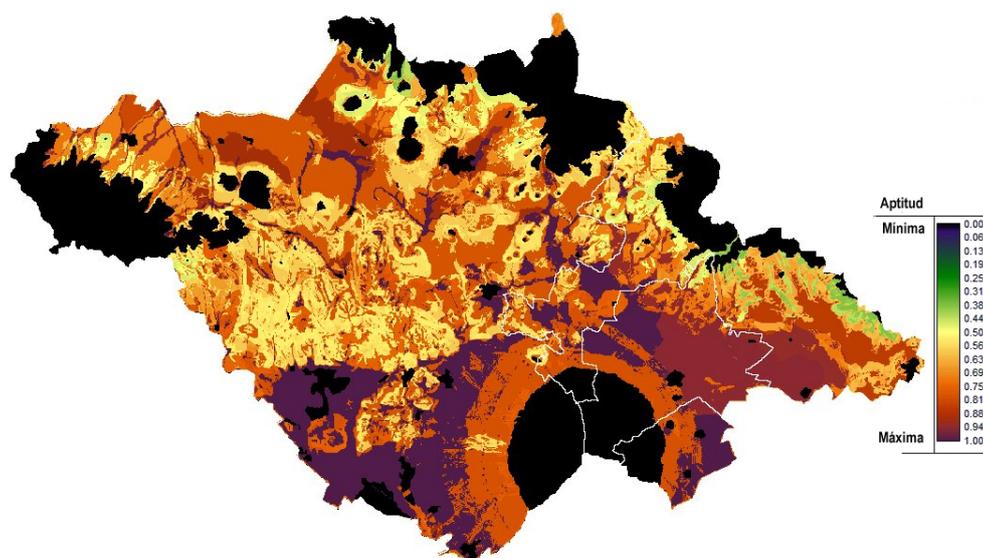


Figura 27. Mapa de aptitud para la producción de maíz en Tlaxcala mediante el uso del Proceso de Análisis Jerárquico y una función de producción.

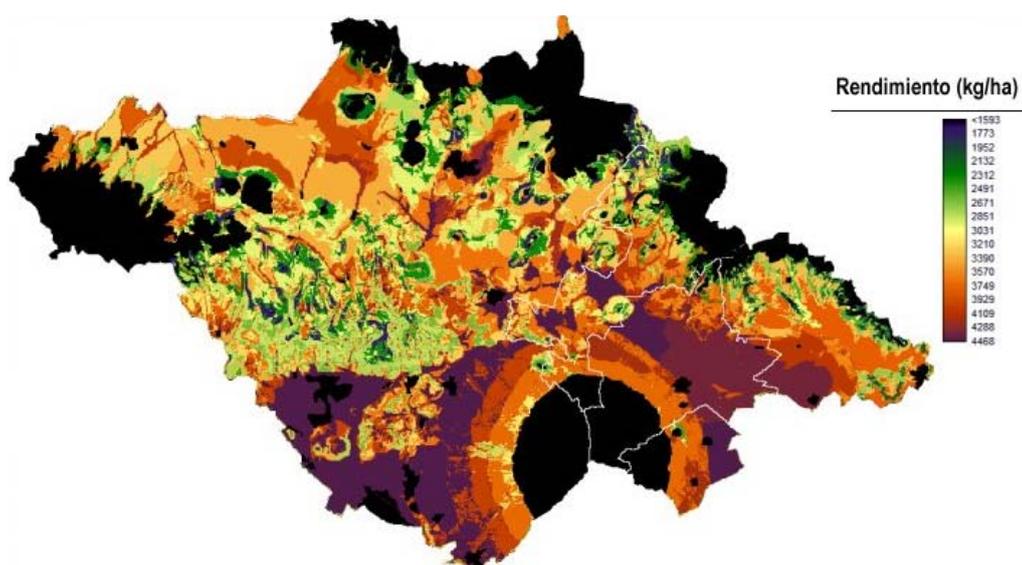


Figura 28. Aptitud de la tierra para la producción de maíz expresada en rendimiento (kg ha^{-1}) en Tlaxcala mediante el uso del Proceso de Análisis Jerárquico y una función de producción.

Este es, a saber, el primer ejercicio cartográfico mediante el uso del AHP en el entorno de los Sistemas de Información Geográfica en que la aptitud de la tierra se expresa en rendimiento de grano por hectárea en México, con el auxilio de una función de producción para determinar los pesos de importancia relativa de los factores incontrolables de la producción. Anteriormente, Turrent *et al.* (1992)

determinaron un rendimiento asociado de 3.2 t ha⁻¹ para maíz de temporal en provincias agronómicas de muy buena productividad, y de 2.7 y 2.5 t ha⁻¹ para buena y mediana productividad, respectivamente, en un ejercicio cartográfico realizado manualmente. Los estudios de potencial productivo del INIFAP, aunque están realizados en un entorno de los Sistemas de Información Geográfica, no tienen asociado en la cartografía un rendimiento dado (Medina *et al.* 1997; María *et al.*, 2003). El estudio de Ceballos (2002), que usó el AHP en el entorno de los Sistemas de Información Geográfica, tampoco le asoció algún rendimiento a la aptitud de las tierras para la producción de maíz.

X. CONCLUSIONES

De acuerdo con la Confederación Nacional Campesina (CNC, 2007), 85% de la población económicamente activa en el campo recibe menos de dos salarios mínimos, lo que ha llevado a que más de la mitad de la población rural viva en condiciones de pobreza extrema. Las estrategias de sobrevivencia de la población rural constituyen medios o formas para cumplir los objetivos básicos del productor de subsistencia: asegurar la alimentación de la unidad familiar y obtener ingresos para satisfacer necesidades básicas de salud, educación, vestido y vivienda.

El autoabastecimiento de alimentos lo hace mediante la producción de cultivos básicos en su parcela bajo condiciones de temporal, principalmente, y la satisfacción del resto de sus necesidades lo hace mediante la venta de excedentes de esa producción si los hubiere, así como de su fuerza de trabajo, como lo indica el hecho de que el ingreso por actividades extrafinca se ha incrementado desde 41.2% en 1967 (Turrent *et al.*, 1994), a 53.8% en 1992 (Mercado, 1992) y a más de 80% en 2005 (Guzmán, 2005).

Las evidencias indican que la disponibilidad de mayores superficies laborables resulta en mayores ingresos totales y mayor porcentaje de ingreso agrícola con respecto al ingreso total, en relación a la menor disponibilidad de superficie laborable (Janvry, A. de, y Sadoulet., 2002), aunque ello está influenciado por factores como la condición de siembra (riego, temporal), cultivo (comercial, básico), medios de producción (tracción mecánica, tracción animal), etc.

Por la disponibilidad de superficie laborable, según las metodologías de la CEPAL (1982) y Janvry, A. de, (1995), al menos 80% de los productores de Huamantla se tipifica como de infrasubsistencia y 66.7% no alcanza a producir los alimentos necesarios que requiere la unidad familiar según la clasificación del Comité Técnico para la Medición de la Pobreza (2002).

Las decisiones sobre el manejo de las unidades de producción se toman mayormente en un entorno familiar y solo aspectos específicos como la información sobre una nueva variedad de cultivo, la asistencia técnica o la información de precios de la cosecha, corresponden a decisiones en un entorno

externo a la familia. Por entorno familiar se entiende a las decisiones tomadas directamente por el productor, o bien, entre el productor y su esposa e hijos u otros familiares.

Las características socioeconómicas restrictivas (disponibilidad de superficie laborable, capital, condiciones edafoclimáticas, edad, educación, organización, etc.) y las subsiguientes estrategias de sobrevivencia de los productores orientadas a la consecución de asegurar la alimentación de la unidad familiar y obtener ingresos para satisfacer las necesidades básicas de salud, educación, vestido y vivienda, constituyen elementos que alertan sobre la necesidad de considerar un dominio razonable y lógico de las nuevas herramientas metodológicas que pretendan usarse para estratificar la aptitud de las tierras para la producción de cosechas de granos básicos, principalmente.

El Proceso de Análisis Jerárquico es uno de los métodos de evaluación multicriterio para la toma de decisiones más utilizados en la actualidad en una diversidad de actividades humanas como la industria (Barbarosoglu y Yazgac, 1997; Dey y Gupta, 2000) y los recursos naturales (Schmoldt y Peterson, 2000; Ávila, 2000; Merritt, 2006), y en México recientemente, para estratificar las áreas de acuerdo con su aptitud para la plantación de especies vegetales (Ceballos-Silva y López-Blanco., 2003; Bustillos, 2006; Olivas, 2006); no obstante el amplio uso de esa metodología, algunos autores reportan que la subjetividad (expresada por un conocimiento experto) usada para asignar los pesos de las preferencias es una debilidad de este procedimiento (Ávila, 2000; Hahn, 2003; Hahn, 2004; Prakash, 2003; Barzilai, 2007).

El conocimiento experto en que se fundamenta el método de evaluación multicriterio Proceso de Análisis Jerárquico, en su aplicación en la agricultura, se puede sustituir cuando él esté ausente o sea insuficiente, con una función de producción que explique el efecto de los factores de suelo, clima y manejo sobre el rendimiento a partir de información experimental o no experimental, además de que la R^2 del modelo pueda usarse en forma equivalente a la Razón de Consistencia del método AHP.

La estratificación de la aptitud de las tierras para la producción de maíz en el estado de Tlaxcala en lo general, y en el municipio de Huamantla en lo particular mediante el Proceso de Análisis Jerárquico, y en un entorno de los Sistemas de Información Geográfica realizada en la presente investigación, se diferencia de los estudios de potencial productivo del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), al considerar el efecto de cada factor de estratificación en la respuesta

del rendimiento del cultivo mediante una función de producción. También se diferencia de la estratificación de Provincias Agronómicas de Turrent *et al.* (1992), en que en ésta la estratificación cartográfica considera sólo a los factores de diagnóstico cociente precipitación/evaporación en los meses junio a septiembre y la profundidad del suelo de manera discreta, ignorando su característica continua, y a partir del número de estratos arbitrariamente definidos para cada factor se reconocen todos los agrosistemas a manera de un arreglo factorial; en cambio en la presente investigación los factores de diagnóstico se determinaron mediante la función de producción, en la que, por ejemplo, el cociente precipitación/evaporación no resultó significativo, a la vez que los estratos se definieron mediante valores de clases, determinados a su vez, mediante el análisis gráfico entre el rendimiento y los valores de la variable de diagnóstico.

XI. RECOMENDACIONES

Para una mejor comprensión de las características socioeconómicas de los productores agropecuarios y forestales, en lo general, y los productores agrícolas de subsistencia en lo particular, con fines de conformar el marco de referencia del proceso de generación y transferencia de tecnologías acordes a esas características, se requiere de profundizar en el análisis de las estrategias de sobrevivencia reportadas en esta investigación, haciendo énfasis en la distribución de los componentes del ingreso total de las unidades de producción (agrícolas, pecuarios, forestales y extrafínca), a nivel de comunidad, municipio y Estado.

También, se requiere que la tipificación de productores que se realizó a nivel del municipio de Huamantla de acuerdo con la superficie laborable disponible, mediante las metodologías de la CEPAL (1982) y Janvry A. de,(1995), se extienda al resto de los municipios de Tlaxcala con el fin de que sirvan de marco de referencia en los Consejos Municipales de Desarrollo Rural al proponer actividades productivas y de desarrollo.

Jerarquizar las características socioeconómicas restrictivas de los productores puede ayudar a relacionarlas con las estrategias de sobrevivencia, y establecida esa relación, será importante generar funciones de respuesta con variables socioeconómicas y edafoclimáticas, en forma parecida a como lo reporta Pérez (1992), que permitan determinar la importancia de los factores socioeconómicos y los factores edafoclimáticos de diagnóstico, en la aptitud de las tierras para la producción de cultivos.

En la evaluación multicriterio mediante el Proceso de Análisis Jerárquico, en el entorno de los Sistemas de Información Geográfica usado para estratificar la aptitud de las tierras laborables, se requiere de buscar procedimientos estadísticos que validen el conocimiento experto y ayuden a reducir la incertidumbre inherente a su subjetividad, como lo reporta Prakash (2003).

XII. LITERATURA CITADA

- AGROASEMEX (Institución de Seguros AGROASEMEX, S.A.). 2006. La experiencia mexicana en el desarrollo y operación de seguros paramétricos aplicados a la agricultura. Documento preliminar para discusión. México. 38 p.
- Aguiar, F. 2004. Teoría de la decisión e incertidumbre: modelos normativos y descriptivos. EMPIRIA. Revista de Metodología de Ciencias Sociales. Num. 8, 2004.pp: 139-160.
- Annetts J.E., and E. Audsley. 2002. Multiple objective linear programming for environmental farm planning. Journal of the Operational Research Society Vol. 53, No.9: 933-943
- Arsham, H.2004. Applied management science: making good strategic decisions.
<http://home.ubalt.edu/ntsbarsh/opre640S/Spanish.htm>
- Aveldaño S., R. 1979. El agrosistema, su definición y relación con la precisión en la generación de tecnología en agricultura de temporal. Evaluación de cuatro métodos para definir agrosistemas en los llanos de Huamantla, Tlax. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Ávila M., R.M. 2000. Proyecto Regional: Información sobre tierras y aguas para un desarrollo agrícola sostenible. El caso Brasil. Informe Técnico 2. FAO-Proyecto GCP/RLA/126/JPN. Santiago, Chile. 65 p.
- Baca del M., J. 2006. La seguridad alimentaria como base para el desarrollo territorial local. Foro Nacional Agenda del Desarrollo 2006-2020.Chapingo, México.
- Banco Mundial. 1994. Rainfed areas development Project. Mexico. Report No. 12533-ME. Banco Mundial.Washington, D.C. USA. 76 p.
- Barbarosoglu, G. and T. Yazgac. 1997. An application of the analytic hierarchy process to the supplier selection problem. Production and Inventory Management Journal (Turkey) 38, (1). pp:14-21
- Barlett P., F. 1984. Cost-Benefit analysis: a test of alternative methodologies. //: Agricultural decision making. Anthropological contribution to rural development. Edited by Peggy F. Barlett. Studies in Anthropology. Academic Press Inc. New York. USA.
- Baron, J. 2005. Rational choice in political behavior: Expression vs. consequences. University of Pennsylvania. Philadelphia, PA. USA.
- Barredo, J.L. 1996. Sistemas de información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio.Editorial Ra-Ma. Madrid, España.
- Barzilai, J. 2007. MCDA2 Evaluation, preference, and decisions. In 2007 Annual Conference of the Canadian Operational Research Society. Final Program. Ontario, Canada. 31 p.
- Bellon, M.R., D.P. Hodson., E. Martínez-Romero, Y. Montoya., J. Becerril, and J.W. White. 2004. Geospatial Dimensions of Poverty and Food Security – A case Study of Mexico. CIMMYT. México. D.F.

- Bocco, M., S. Sayazo y E. Tártara. 2002. Modelos multicriterio: una aplicación a la selección de alternativas productivas. *Multicriteria models: an application for the selection of productive alternatives*. Agricultura Técnica (Chile) 62 (3): 450-462. Chile.
- Bouquet, E. 1999. Mercado de tierras ejidales en Tlaxcala. Formalidad e informalidad del cambio institucional. *En Estudios Agrarios, Revista de la Procuraduría Agraria*, Núm. 11, México: 67-106
- Burrough, P. A. 1991. Principles of geographical information system for land resources assessment. Monographs on soil resources survey. Published in the United States by Oxford University Press, New York. USA.
- Bustillos H., J.A. 2006. Aptitud de áreas para el establecimiento de plantaciones forestales en Sinaloa. Tesis de Maestría en Ciencias. Programa Forestal. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Calva, J.L. 1997. Crisis agrícola en México: 1982-1996. Diagnóstico y propuesta de solución. Reporte de investigación 38. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y de la Agricultura Mundial. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México.
- Calva, J.L. 2003. La agricultura mexicana frente a la nueva ley agrícola estadounidense y la ronda de liberalizaciones del TLCAN. *En Dimensiones del Desarrollo Rural en México. Aproximaciones teóricas y metodológicas*. Beatriz de la Tejeda, Coordinadora. 1ª edición. Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente-CIDEM-UACH-SEPIDER. Morelia, Mich., México.
- Calva, J.L. 2006. Política de desarrollo agropecuario. Foro Nacional Agenda del Desarrollo 2006-2020. Chapingo, México.
- Cano G., J. 1971. Un sistema de información para elevar la productividad agrícola. Conceptualización y análisis beneficio/costo del Plan Puebla. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Rama de Divulgación Agrícola. Chapingo, México.
- Castillo P., T. 2001. Diagnóstico de la unidad de producción familiar: una estrategia para formular proyectos productivos agrícolas en los Valles Centrales de Oaxaca. Programa de Edafología. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Castillo P.T., V.Volke H., L. Jiménez S., N. Estrella Ch., C. Ortiz S., y H. Santoyo C. 2005. Formulación de proyectos productivos con base en un diagnóstico del medio físico y su potencial productivo, y socioeconómico de las unidades familiares de producción, en agricultura de subsistencia. *En: AGRICULTURA, GANADERÍA, AMBIENTE Y DESARROLLO SUSTENTABLE*, Tornero C, M.A., Silva G. S. E., Pérez A.R. y Bonilla y F. N. (Eds.). 2005. Publicación especial de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México. Pp. 107-141.
- Ceballos S., A.P. 2002. Identificación de áreas adecuadas para cultivos con el enfoque de evaluación multicriterio y SIG: el caso del DDR Toluca, México. Tesis de Doctor en Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- Ceballos-Silva. A and López-Blanco. J. 2002. Delineation of suitable areas for crops using a multi-criteria evaluation approach and land use/cover mapping: a case study in Central Mexico. *Agricultural Systems (USA)* 77: 117-136.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina). 1982. Economía campesina y agricultura empresarial: tipología de productores del agro mexicano. Primera edición. Ed. Siglo XXI. México.

- Chakhar, S. 2003. Enhancing Geographical Information Systems Capabilities with Multi-Criteria Evaluation Functions. *Journal of Geographic Information and Decision Analysis* 2003, Vol. 7, No. 2, pp. 47 – 71
- Comisión Nacional del Agua (CNA). *Programa Nacional Hidráulico 2001-2006 I* Comisión Nacional del Agua.- México. CNA. 175 p.
- CNC (Confederación Nacional Campesina). 2007. En pobreza extrema, uno de cada dos campesinos. Nota de Matilde Pérez U. *La Jornada*. 21 de mayo de 2007.
- Comité Técnico para la Medición de la Pobreza. 2002. Medición de la pobreza, variantes metodológicas y estimación preliminar. Secretaría de Desarrollo Rural, México.
- Connor, M. F. 1981. Structured analysis and design technique. *In* *Systems Analysis and Design. A foundation for the 1980's*. Edited by William W. Cotterman., J. Daniel Couger., Norman L. Enger., and Frederick Harold. Institute for Certification of Computer Professionals. Massachusetts. USA.
- Cortés F., D. Hernández., E. Hernández., M. Székely y H. Vera. 2002. Evolución y características de la pobreza en México en la última década del siglo XX*. *En* *Evolución y características de la pobreza en México en la última década del siglo XX*. Serie: Documentos de investigación 2 de la Secretaría de Desarrollo Social. México.D.F.
- Coyle, R. G. 1978. *Management System Dynamics*. A Wiley –Interscience Publication. John Wiley & Sons. N.Y. USA.
- Damian, A. y Boltvinik, J. 2003. Evolución y características de la pobreza en México. *Comercio exterior*, Vol. 53, Núm. 6. México.
- De Janvry A. y E. Sadoulet .2002. Estrategias de ingresos de los hogares rurales de México: el papel de las actividades desarrolladas fuera del predio agrícola. CEPAL. *Seminarios y Conferencias*. N° 35. pp: 107-128.
- De Montis A, De Toro P, Droste-Franke B, Omann I And Stagl S. (2000) Criteria for quality assessment of MCDA methods. *Proc. 3rd Bienn. Conf. Eur. Soc. Ecol. Econ. Vienna*.
- De Steiguer, J.E., J. Duberstein, and V. Lopes. 2003. The Analytic Hierarchy Process as a Means for Integrated Watershed Management. *Arizona, USA: 736-740*
- Dey K, P. and Gupta S, S. 2000. Decision-Support system yield better pipeline route. *Oil & Gas Journal*. (India) Vol. 98, 22: 68-83
- Díaz C. H., L. Jiménez S., R. Laird, J., A. Turrent F. 1999. *El Plan Puebla 25 años de experiencia 1967-1992*. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Díaz C., H. 1984. Evaluación de la efectividad de la estrategia de operación del Plan Puebla en el periodo 1967-1982. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Díaz C., L. 2002. *Agricultura Campesina: estrategias de supervivencia y reproducción social en el municipio de Huejutla, Hidalgo, México*. Desarrollo Rural. Tesis de Maestría en Ciencias. Desarrollo Rural. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, México.

- Dinahuer R. C., E. L. Shema., and M. Stelly. 1979. Planning the use and management of land. Edited by Marvin T. Beauty, Gary W. Petersen, Lester D. Swindale. Agronomy. American Society of Agronomy, Inc. Wisconsin, USA.
- Dirección General de Estadística (DGE). 1975. V Censo Agrícola Ganadero y Ejidal.
- Donald, A. 1979. Management information and systems. Second edition. Pergamon Press. New York. USA.
- Eastman J. R. 2003a. Guía para SIG y procesamiento de imágenes. IDRISI Kilimanjaro. Manual versión 14.0 Clark Labs. Clark University. Worcester, MA.USA.
- Eastman, J.R. 2003b. IDRISI Kilimanjaro. Tutorial. Clark Labs. Clark University. Worcester, MA.USA.
- Ekboir, J., J.A. Espinosa G., J.J. Espinoza A., G. Moctezuma L., y A.Tapia N. 2001. Análisis del contexto y funcionamiento de las instituciones financiadoras, administradoras y operativas de la investigación agropecuaria en México. CIMMYT-INIFAP. El Batán. México.
- Elineema, R. R. 2002. Análisis del método AHP para la toma de decisiones multicriterio. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 96 p.
- Escalante, R. 2007. *En* El aumento en el precio del maíz arriesga la estabilidad. Nota de Eduardo Martínez Cantaro. La Jornada 11 de abril. México.
- Esquivel, G., y A. Huerta. 2007. Remittances and Poverty in Mexico: A Mexico: Propensity Score Matching Approach. El Colegio de México. http://www.dallasfed.org/news/research/2005/05us-mexico_esquivel.pdf
- Fallas, J. 2002. Toma de decisiones y sistemas de información geográfica. Programa regional en manejo de vida silvestre y escuela de ciencias ambientales. Universidad Nacional. Heredia. Costa Rica.
- FAO. 1994. Directrices sobre la planificación del aprovechamiento de la tierra. Colección FAO: Desarrollo 1. Roma, Italia.
- Ferguson, C.E., y J. P. Gould. 1984. Teoría microeconómica. Traducción de Eduardo L. Suárez. Sexta reimpresión en español. Fondo de Cultura Económica. México. 551 p.
- Font G., E. 2000. Gestión de la información en la utilización del proceso analítico jerárquico para la toma de decisiones de nuevos productos. Revista: Anales de Documentación, No. 3. La Habana, Cuba.
- Friedmann, J. 2001. Planificación en el ámbito público. Del conocimiento a la acción. Instituto Nacional de Administración pública. Colección: Estudios. Primera ed. Princeton University Press. Madrid, España.
- Fuente de la. H.J., M.L. Jiménez E., M. González H., R. Cortes del M., R. Ortega P. 1990. La investigación agrícola y el estado mexicano 1960-1976. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México.
- Galbraith, J. R., and R. K. Kazanjian. 1978. Strategy Implementation. Structure, systems and process. Second Edition. West Publishing Company. Wapale, MA. USA.
- García A, J.L., S. A. Noriega M., J.J. Díaz N. 2006. Análisis comparativo de técnicas multicriterio para la justificación de inversiones en robots. Revista Ciencia Ergo Sum, marzo-junio, año/vol. 13, número 001. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México.

- García N, H., López B, J., Moreno S, R., Villers R, M. de L y García D, R.R. 1999. Potencial agrícola del distrito de desarrollo rural 004, Celaya, Guanajuato, México. Una aplicación del enfoque de límites de transición gradual (fuzzy) utilizando SIG. Investigaciones Geográficas (México). Boletín 38: 69-83.
- García N, H., Moreno S, R., López B, J., Villers R, M. de L y García D, R.R. 2004. Enfoque de límites difusos (Fuzzy) para clasificación de tierras en especies sin datos de producción. Agricultura Técnica en México (México) Vol. 30 Núm. 1: 5-17.
- García N.H. 1999. Aptitud de uso del suelo del distrito de desarrollo rural 004 Celaya, Guanajuato. Una aplicación del enfoque de límites de transición gradual (fuzzy) utilizando SIG. Tesis de Doctor en Ciencias. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México. D.F.
- García N.H., J. López B., R. Moreno S., M. de L. Villers R., y R. García D. 2000. Delimitación y caracterización de las tierras con uso inadecuado para la agricultura en el distrito de desarrollo rural 004, Celaya, Guanajuato. Terra. Volumen 18, Num. 1:11-21
- Gobierno del estado de Tlaxcala. 2001. Enciclopedia de los municipios de Tlaxcala. Centro Nacional de Desarrollo Municipal .Secretaría de Gobernación.
- Gómez C. M., y R. Schwentesius R.2004. Impacto del TLCAN en el sector agroalimentario: evaluación a diez años. En ¿El campo aguanta más? Rita Schwentesius Rindermann, Manuel Ángel Gómez, José Luis Calva Téllez y Luis Hernández Navarro Coordinadores. 2da edición. Chapingo, México.
- Grassi C. B.A., A. Muñoz O., A. Castillo M., y E. Camarillo C. 1986. Riesgo de primeras y últimas heladas en Puebla y Tlaxcala respecto a los cultivos básicos. Revista Agrociencia. Num. 65. Chapingo, México.
- Grassi C., B.A. 1983. Riesgo de primeras y últimas heladas en Puebla y Tlaxcala respecto a los cultivos básicos. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Greca, I.M., y M. A. Moreira. 1998. Modelos mentales, modelos conceptuales y modelización. Cad.Cat.Ens.Fís., v. 15, n. 2: p. 107-128. (Caderno Catarinense de Ensino de Física). Porto Alegre.Brasil.
- Guevara C., J. 1988. La agricultura mexicana y su desarrollo regional. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México.
- Guzmán G., I. 2005. Empleo rural no agrícola como estrategia de diversificación del ingreso agrícola. Un caso de estudio de las comunidades de Sta. María Magdalena y la Cañada de Madero en el municipio de Tepeji del Río Ocampo, Hidalgo. Tesis de Doctora en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo México.
- Hahn E. D. 2004. Link Function Selection in Stochastic Multicriteria Decision Making Models. Department of Information & Decision Sciences. Salisbury University. Salisbury, MD. USA.
- Hahn, E.D., 2003. Decision making with uncertain judgments: A stochastic formulation of the Analytic Hierarchy Process. Decision Sciences 34(3), 443-466. Haines, L.M., 1998. A statistical approach to the Analytic Hierarchy. Salisbury, MD. USA.
- Harouff, S. 2006. Multiple criteria suitability analysis for the West Virginia Foreststewardship Program Spatial Analysis Project .
- Hernández T.,J.C. 2002. Producción de maíz en la región oriente del estado de Morelos, en relación con las condiciones agroecológicas, la disponibilidad de los recursos socioeconómicos de los productores, rentabilidad económica del cultivo y su tecnología. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

- Hernández X., E.1985. Agricultura tradicional y desarrollo. En Xolocotzia. Obras de Efraim Hernández Xolocotzi. Revista de Geografía Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Ibarra E., M.T. de J. 2005. Estrategias adoptadas por pequeños productores en pequeña escala ante la crisis del café caso: municipio de Tlaola, Puebla. Tesis de Maestría en Ciencias. Desarrollo Rural. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, México.
- INAFED (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal). 2005. Enciclopedia de los Municipios de México. Secretaría de Gobernación. México.
En http://www.e-local.gob.mx/wb2/ELOCAL/ELOC_Enciclopedia.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 1996. VII Censo Agropecuario. Atlas Agropecuario del estado de Tlaxcala. Aguascalientes, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 1999. Cuaderno estadístico municipal. Huamantla, Estado de Tlaxcala.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 2000. Anuario Estadístico de Tlaxcala
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 2004. Resultados preliminares del Censo Agropecuario en el estado de Tlaxcala; Resúmenes municipales. Archivo digital. Residencia Tlaxcala.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 2005. Resultados preliminares del Censo Agropecuario en el estado de Tlaxcala; 33 anexos. Archivo digital. Residencia Tlaxcala.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 2007. Anuario estadístico Tlaxcala 2003. Empleo y relaciones laborales.
- Isaaks, E. H., and Srivastava, R. M.1989. An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press, Inc. USA.
- Islas G. J., M. Zamora D., y M. Ramírez F. 2003. Costos de producción y rentabilidad de cebada en los Valles Altos de la Mesa Central de México. Agricultura Técnica en México. Vol. 29 Núm 1: 3-10.
- Jiménez Q., M E. 1987. La tecnología agrícola campesina y sus adecuaciones en el cultivo de maíz asociado con frijol en áreas de temporal: estudio de caso del municipio de Españita y San Francisco Mitepec del estado de Tlaxcala. Tesis de Maestría en Desarrollo Rural. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Johnson, A. 1984. The limits of formalism in agricultural decision research. *In* Agricultural decision making. Anthropological contribution to rural development. Edited by Peggy F. Barlett. Studies in Anthropology. Academic Press Inc. New York. USA.
- Johnston C. A. 1998. Geographic Information Systems in Ecology. Methods in Ecology. First Edition. Blackwell Science Ltd. Malden, USA.
- Keulen van H., Wolf, J.1986. Modelling of agricultural production: weather, soils and crops. Simulation Monographs. Centre for Agricultural Publishing and Documentation. Wageningen, the Netherlands.
- Krone, R., M. 1980. Systems Analysis and Policy Sciences. Theory and practice. John Wiley & Sons, Inc. New York. USA.

- Laird J., R. 1977. Investigación agronómica para el desarrollo de la agricultura tradicional. Rama de Suelos. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Lanjouw, P. La pobreza y la economía no agrícola en los ejidos de México: 1994-1997. Banco Mundial. *En*: <http://www.rlc.fao.org/prior/desrural/pdf/lanjow1.pdf>. Consultado 19 de enero de 2007.
- López O. B.E., E. M. Graillet J. 2002. El desarrollo rural en México. Una breve revisión descriptiva de los modelos aplicados. Revista Ciencia Administrativa Número 2. 2002. Jalapa, Veracruz.
- López P., L 2001. Evaluación de los enfoques de funciones generalizadas de producción, balance nutrimental y balance nutrimental modificado, para la generación de dosis óptimas de fertilización para cultivos. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Malczewski, Jacek. 1999. Gis and multicriteria decision analysis. John Wiley & Sons, INC. Ontario, Canada.
- María R. A., H. García N., C. Ortiz T., G. Medina G. y J. Mendoza H. 2003. Sistema de Información de Zonas Potenciales para la Producción de Cultivos en el Estado de Tlaxcala, Sizpoltax. Cd, programa de cómputo. Campo Experimental Tlaxcala, CIR-CENTRO, INIFAP. Tlaxcala, México.
- María R., A. y V. Volke H. 1999. Estratificación el potencial productivo del maíz en la región oriente del estado de Tlaxcala. Terra Latinoamericana. Vol. 17:131-138.
- María R. A., y V. Volke H. 2006. Planeación de las actividades agrícolas en Tlaxcala, México. Pretexto para plantear la necesidad de vincular la educación, organización y capacitación a la problemática de un campo mexicano en crisis. *En* Políticas de desarrollo agropecuario, forestal y pesquero. Foro Nacional. Agenda del Desarrollo 2006-2020. CIESTAAM. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.
- María R., A. 1997. Potencial productivo de maíz en la región oriente del estado de Tlaxcala. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Markland, R. E., J. R. Sweigart. 1987. Quantitative methods: applications to managerial decision making. John Wiley & Sons, Inc. New York. USA.
- Mata G., B. 2002. Desarrollo Rural centrado en la pobreza. Universidad Autónoma de Chapingo. 1ª edición, Chapingo, México.
- Medina G, G., J.A. Ruiz C., R. Martínez P. y M. Ortiz V. 1997. Metodología para la determinación del potencial productivo de especies vegetales. Agricultura Técnica en México (México). Vol. 23. Núm. 1: 69-90
- Medina, J.A. 1980. Influencia de algunos factores sicosociales, económicos y tecnológicos que intervienen en el proceso de adopción de tecnología de maíz en una zona de Tlaxcala, México. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Méndez A. A. y S. Sahagún C. 1984. Rentabilidad y dinámica de las explotaciones agrícolas de maíz en la región de Huamantla, Tlaxcala. Folleto de Investigación Núm. 64. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). México.
- Mercado M. J. Estrategias de reproducción campesinas, y cambio en el patrón de cultivos, estudio de caso: Hueyotlipan, Tlaxcala. Tesis de Maestro en Ciencias. Desarrollo Rural. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

- Merritt, M. F. 2006. Development of a Draft Decision Tool to Evaluate Proposals for Change in SSL Protection Measures. North Pacific Fishery Management Council. *In* Steller Sea Lion Mitigation Committee Meeting. Seattle, USA.
- Modarres, M and Zarei, B. 2002. Application of network theory and AHP in urban transportation to minimize earthquake damages. *Journal of the Operational Research Society* (2002) 53, 1308–1316
- Moncada de la F. J. 1991. Evolución y perspectivas de la investigación agrícola en México. *En* La investigación agrícola en México en la década de los ochentas. Méndez Ramírez, Ignacio., De la fuente Hernández, Juan., González Huerta, Margarita., Jiménez Ezquerro, Ma. Luisa., Ortega Pazca, Rafael., Moncada de la Fuente, Jesús, Caetano de Oliveira, Alierro, Mendoza Mendoza, Serafín J., Perales Rivas, Martha A. (Compiladores). Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México.
- Nadal, A. 1999. Evaluación de los efectos ambientales del Tratado de Libre Comercio de América del Norte. El maíz en México: Algunas implicaciones ambientales del Tratado de Libre Comercio de América del Norte. Serie Medio Ambiente y Comercio (www.cwc.org/pubs_docs/publications/index.cfm).
- National Research Council. 1999. Decision Making in the U.S Department of Energy's Environmental Management Office of Science and Technology. Committee on Prioritization and Decision Making in the Department of Energy Office of Science and Technology, National Academies Press. USA.
- Navarro, E. 2007. *En* Simulación, consultas de la SAGARPA para conformar el PND, denuncia diputado. Nota de Matilde Pérez U. La Jornada 3 de abril. México.
- Norris, D. M. 1992. A Study of JIT Implementation techniques using the analytic hierarchy process model. *Production and Inventory Management Journal*; Third Quarter 1992; 33,3; ProQuest Science Journals pg.49. Drexel University. Philadelphia. USA.
- Olivas G., U.E. 2006. Aptitud de áreas para el establecimiento de plantaciones forestales en el estado de Durango. Tesis de Maestría en Ciencias. Programa Forestal. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Origin 7.0 SRO. 2002. OriginLab Corporation. MA, USA.
- Omaña S., J.M. 1999. La producción de maíz en México, un análisis de su estructura interna de producción. Tesis de Doctorado. Especialidad en Economía. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Ortiz S., C.A., D. Pájaro H. y V.M. Ordaz Ch. 1990. Manual para la cartografía de clases campesinas. Serie Cuadernos de Edafología Num. 15. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Partovi, F. Y., and W.E. Hopton. 1994. The analytic hierarchy process as applied to two types of inventory problems. *Production and Inventory Management Journal*; First Quarter 1994; 35, 1; ProQuest Science Journals pg.13. Drexel University. Philadelphia. USA.
- Pérez S. A., H.M. Cortez Y., Ma. De L. Sánchez G., J.D. Vázquez V., C. Hernández C. y F. Torres T. 2005. El desarrollo territorial en Tlaxcala: dimensiones rurales y opciones de ordenamiento espacial en la región oriente. Delgado Macías, Javier, coord. Primera edición. El Colegio de Tlaxcala, A.C., FOMIX, CONACYT, Gobierno del Estado de Tlaxcala, Sistema Estatal de Promoción del Empleo y Desarrollo Comunitario (SEPUDE), Tlaxcala, México.

- Pérez N., J.1992. Factores socioeconómicos relacionados con la conservación del suelo y agua en dos comunidades de la Mixteca Alta Oaxaqueña. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Pérez S., A. 1997. Estrategias de supervivencia de los productores ante el clima y crédito bancario restrictivos para la agricultura en la región oriente de Tlaxcala. Tesis de Maestro en Ciencias. Estrategias para el desarrollo agrícola regional. Colegio de Postgraduados, Puebla, Pue.
- Pietersen, K. 2006. Multiple criteria decision analysis (MCDA): A tool to support sustainable management of groundwater resources in South Africa. *In Water SA* Vol. 32 No. 2
- Poluektov R., A., and A. G. Topaj. 2001. Crop modeling: nostalgia about present or reminiscence about future. *Agronomy Journal*. Vo. 93, May-June. 2001.
- Prakash, T. N. 2003. Land suitability analysis for agricultural crops: A fuzzy multicriteria decision making approach. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC). Enschede, The Netherlands. 57 p.
- Ramírez J. J., B.V. Peña O., y L. Jiménez S.1995. Política agrícola y reforma institucional en el sector agropecuario. Periodo 1980-1992. Instituto de Socioeconomía, Estadística e Informática. Colegio de Postgraduados, Campus Puebla. Montecillo, México.
- Reyes G. G., J. Guerra N. y G. Calderón P. 2005. Condiciones de cultivo del maíz criollo en comunidades de Puebla, Tlaxcala e Hidalgo: un análisis de las economías de autoconsumo. *Aportes, Revista de la Facultad de Economía, BUAP, Año IX, Núm. 29: 63-82. Puebla, México.*
- Reyna C. E., M. Portillo V., y J.L. Sánchez C. 1981. Adopción de tecnología agrícola para el impulso de la producción de maíz de temporal en el estado de Tlaxcala. Folleto de Investigación Núm. 61. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). México.
- Romero,C., and Rehman, T.1989. Multicriteria analysis for agricultural decisions. *Development in Agricultural Economics*,5. Elsevier Science Publishers B.V. New York. USA.
- Saaty T. L. 1980. *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill. New York. USA. 269 p.
- Salazar A. J.A., J. A. Matus G., F. Cervantes E. 2006. El mercado de maíz en México: escenarios hacia el 2020. *Foro Nacional Agenda del Desarrollo 2006-2020*.Chapingo, México.
- Sánchez, M., R. y F. Sánchez M. 1995. Los Sistemas de Información Geográfica en la administración de recursos naturales: recomendaciones de las experiencias del INIFAP. *Rev. Ciencia Forestal en México* Vol. 20 Núm. 78. México D.F.
- Schmoldt D, L. and Peterson D, L. 2000. Analytical Group Decision Making in natural resources: methodology and application. *Forest Science (USA)* 46(1): 62-75
- Schmoldt D.L., and D, L. Peterson.1997.Using the Analytic Hierarchy Process for Decision-Making in Ecosystem Management. *WO/Ecosystem Management Analysis Center* January 1997 Volume 7, Issue 1 Fort Collins, Colorado.

- SEMARNAT-CP (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Colegio de Postgraduados). 2002. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana escala 1:250 000. Memoria Nacional. SEMARNAT-Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Sepúlveda G., I. 1992. El cambio tecnológico en el desarrollo rural. Primera edición. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Sher, A. and I. Amir. 1994. Optimization with fuzzy constrains in agricultural production planning. *Agricultural Systems* 45 (1994) 421-441.
- Silva G., S. E. 1993. Estrategias campesinas en el contexto de la política alimentaria. Tesis de Maestría en Ciencias. Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional. Puebla, México.
- SPP (Secretaría de Programación y Presupuesto).1981. Síntesis Geográfica del Estado de Tlaxcala. México. 90 p.
- Steiner, G. A., Miner J. B., and Gray, E. R. 1982. Management policy and strategy. Text, readings, and cases. 2nd edition. Macmillan Publishing Co., Inc: N.Y. USA.
- Székely, M. 2005. Mitos y realidades sobre la pobreza. *En* Desmitificación y nuevos mitos sobre la pobreza. Coordinador Miguel Székely. Primera edición. Editorial Miguel Ángel Porrúa. México. D.F.
- Taha, H.A. 1995. Investigación de Operaciones. Quinta edición. Alfa Omega Grupo Editor. México. D.F.
- Taylor, J. E., y A. Yúñez-Naude. 1999. Vinculaciones entre las actividades agropecuarias y no agropecuarias de pequeños productores rurales de México. En Tercer Simposio Latinoamericano de Investigación y Extensión en Sistemas Agropecuarios, Lima, 19-21 agosto 1998, Lima, Perú.
- Thierauf, R.J. 1978. An introductory approach to operations research. Inc. A Wiley Hamilton series in management and administration. John Wiley & Sons, N.Y. USA.
- Tkach, R.J., and Simonovic, S. 1997. A new approach to multi-criteria decision making in water resources. *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, vol.1, pp.25-44
- Toskano H., G. B. 2005. El proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores. Facultad de Ciencias Matemáticas. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.
- Trewatha, R. L., and Newport., M. G. 1979. Management. Functions and Behavior. Business Publications, Inc. Dallas, Texas, U.S.A.
- Turrent F, A., R. Leyva S., A. Espinosa., R. Garza G., R. Moreno D., y R. Aveldaño S. 1992. Manual de diagnóstico recomendación para el cultivo de maíz en el estado de México. I. Provincias agronómicas de riego y buen temporal de "muy buena y de buena productividad". Campo Experimental Valle de México. INIFAP. Chapingo, México.
- Turrent F. A., J.I. Cortés F., R. Mendoza R., J.L. Alonso Á., J. Díaz A., C. Bárcenas S., E. Inzunza I, y N. Estrella Ch. 1994. Desarrollo de un prototipo de explotación agropecuaria familiar para el Distrito de Desarrollo Rural de Cholula, Plan Puebla. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 228 p.

- Turrent F., A. 1986. Estimación del potencial productivo actual de maíz y frijol en la República Mexicana. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. D.F.
- Verner, D. 2005. Poverty in rural and semi-urban Mexico during 1992-2002. World Bank Policy Research Working Paper 3576. Washington, D.C. USA.
- Volke H. V., A. Turrent F., y A. Castillo M. 2005. Diseños de tratamientos y estimación de funciones de respuesta en la investigación agrícola. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México. México.
- Volke H. V., e I. Sepúlveda G. 1987. Agricultura de subsistencia y desarrollo rural. Primera edición. Editorial Trillas. México. D.F.
- Volke H., V. 1988. Generación de tecnología agrícola bajo condiciones de riesgo. Serie de Cuadernos de Edafología 12. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Volke H., V. 2004. Notas del curso EDA 662. Aplicación del análisis de regresión en la agricultura. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Volke H., V. 1981. Estimación de funciones de producción mediante regresión en experimentos con fertilizantes y densidad de plantas, con fines de determinación de óptimos económicos. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Walton, M., y G. López A. 2005. Pobreza en México, una evaluación de las condiciones, las tendencias y la estrategia del gobierno. *En* en breve No.61. Enero de 2005. Banco Mundial.
- Wittgentein, L. 1998. Investigaciones filosóficas. México-Barcelona: UNAM-Grijalbo.
- Zapata M. E., y M.B. López A. 1996. Unidad de producción campesina ante los cambios estructurales. *En* Actores del desarrollo rural: visiones para el análisis. Emma Zapata Martelo, Martha Mercado González, organizadoras. Memoria del seminario de Investigación sobre Desarrollo Rural. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Zhu A.X., B. Hudson., J. Burt., K. Lubich, and D. Simonson. 2001. Soil mapping using gis, expert knowledge, and fuzzy logic. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 1463-1472
- Zúñiga G., J.L. 1987. La innovación tecnológica y la productividad en un sistema agrícola tradicional del trópico húmedo de México. Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Zúñiga, E. y C. Gomes. 2002. Pobreza, curso de vida y envejecimiento poblacional en México. *En* La situación demográfica en México. <http://www.conapo.gob.mx/publicaciones/2002/11.pdf>