

00381

11  
2ef



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

## FACULTAD DE CIENCIAS DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

APTITUD DE USO DEL SUELO DEL DISTRITO DE  
DESARROLLO RURAL 004 CELAYA, GUANAJUATO.  
UNA APLICACION DEL ENFOQUE DE LIMITES DE  
TRANSICION GRADUAL (FUZZY) UTILIZANDO SIG.

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE  
**DOCTOR EN CIENCIAS (BIOLOGIA)**  
**P R E S E N T A**  
**HILARIO GARCIA NIETO**

**DIRECTOR DE TESIS: DR. RAFAEL MORENO SANCHEZ**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

1999

274746



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## COMITE TUTORIAL

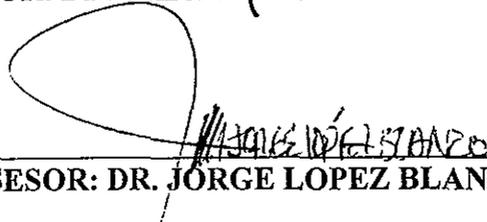
Esta tesis fue realizada bajo la dirección del Comité Tutorial indicado. Ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

### DOCTOR EN CIENCIAS (BIOLOGIA)

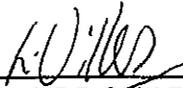
COMITE TUTORIAL:



TUTOR: DR. RAFAEL MORENO SANCHEZ



ASESOR: DR. JORGE LOPEZ BLANCO



ASESORA: DRA. Ma. DE LOURDES VILLERS RUIZ



ASESOR: DR. ROLANDO RENE GARCIA DAGUER

México, D.F., febrero de 1999

## AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Rafael Moreno Sánchez, por su amistad, por aceptar dirigir esta tesis y por sus valiosas orientaciones durante el desarrollo de la misma.

Al Dr. Jorge López Blanco por compartir sus conocimientos sobre Sistemas de Información Geográfica y su acertada asesoría sobre la investigación.

A la Dra. Ma. de Lourdes Villers Ruíz por sus valiosos conceptos sobre Ordenamiento Territorial y sus atinadas observaciones sobre este estudio.

Al Dr. Rolando René García Daguer por su apoyo al seguir muy de cerca la fase operativa de este trabajo.

A todos ellos mi amistad y mi más sincero reconocimiento.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la oportunidad que me brindaron y el apoyo económico, que hicieron posible la realización de mis estudios de doctorado.

A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), en especial a la Facultad de Ciencias y al Instituto de Geografía, por aceptarme como alumno de esa prestigiada Institución.

Al Campo Experimental Bajío (CEBAJ), por su apoyo con infraestructura, equipo de cómputo e información; a todos mis compañeros investigadores, en especial al M.C. Roberto Chacón Martínez, al Lic. Alfredo González Ramos, y al M.C. Carlos Mejía Avila, por sus aportaciones para la realización de este trabajo.

Al M.C. Juan Antonio Morales Hernández por su apoyo para realizar los análisis de regresión.

A la Dra. Teresa de Jesús Reyna Trujillo, al Dr. José López García y al Dr. Gerardo H. R. Bocco Verdinelli, por aceptar participar como sinodales y por sus acertadas sugerencias para mejorar este trabajo.

A los directivos del Distrito de Desarrollo Rural 004 Celaya, por su buena disposición para proporcionar la información disponible.

# **DEDICATORIA**

**A LA MEMORIA DE MIS PADRES**

**A MI ESPOSA E HIJOS:**

**IMELDA, DAVID ALEJANDRO Y MARTHA LAURA**

**A MIS HERMANOS Y AMIGOS**

# CONTENIDO

Página

<b>1. INTRODUCCION .....</b>	<b>1</b>
1.1. HIPOTESIS .....	4
1.2. OBJETIVOS GENERALES .....	4
1.3. OBJETIVOS PARTICULARES .....	4
<b>2. MARCO CONCEPTUAL.....</b>	<b>5</b>
2.1. CLASIFICACION DE TIERRAS .....	5
2.2. ORDENAMIENTO ECOLOGICO.....	8
2.3. LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA.....	11
2.3.1. ESTRUCTURA DE LOS DATOS .....	12
2.3.2. OPERACIONES.....	14
2.3.3. APLICACIONES .....	15
2.4. LA TEORIA DE CONJUNTOS FUZZY .....	17
2.4.1. LAS TEORIAS DE CONJUNTOS BOOLEANOS Y FUZZY APLICADAS A LOS SIG .....	17
2.4.2. LAS APLICACIONES DE LA TEORIA DE CONJUNTOS FUZZY A LA CLASIFICACION DE TIERRAS .....	20
2.4.3. INTERPRETACION DE LAS CLASIFICACIONES FUZZY .....	21
<b>3. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.....</b>	<b>22</b>
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>27</b>
4.1. GENERACION Y VERIFICACION DE LAS BASES DE DATOS .....	29
4.1.1. BASE DE DATOS DE SUELO .....	29
4.1.2. BASE DE DATOS TOPOGRAFICA .....	30
4.1.3. BASE DE DATOS DE CLIMA .....	31
4.1.4. USO DEL SUELO.....	32
4.1.4.1. USO ANTERIOR DEL SUELO (1973).....	32
4.1.4.2. USO ACTUAL DEL SUELO (1993).....	33
4.1.6. ESTADISTICAS DE PRODUCTIVIDAD DE CULTIVOS .....	34
4.1.7. REFERENCIAS DE UBICACION.....	34
4.1.8. REQUERIMIENTOS DE LOS CULTIVOS.....	35
4.2. CLASIFICACION CONVENCIONAL .....	36
4.3. CLASIFICACION FUZZY PARA ESPECIES SIN DATOS DE PRODUCTIVIDAD .....	37
4.4. CLASIFICACION FUZZY PARA CULTIVOS CON DATOS DE PRODUCTIVIDAD.....	43
4.5. PROPUESTA DE DELIMITACION DEL USO POTENCIAL PARA LA AGRICULTURA HACIENDO USO DEL ENFOQUE FUZZY.....	48
4.6. ESTIMACION DEL CRECIMIENTO DEL AREA AGRICOLA.....	49
4.7. DELIMITACION Y CARACTERIZACION DE LAS AREAS CON USO ADECUADO E INADECUADO PARA LA AGRICULTURA .....	50

<b>5. RESULTADOS Y DISCUSION .....</b>	<b>52</b>
<b>5.1. BASES DE DATOS.....</b>	<b>52</b>
5.1.1. RESULTADOS Y VERIFICACION DE LA BASE DE DATOS DE SUELOS.....	54
5.1.2. RESULTADOS Y VERIFICACION DEL MODELO DE ELEVACION DIGITAL .....	57
<b>5.2. CLASIFICACION CONVENCIONAL .....</b>	<b>60</b>
<b>5.3. CLASIFICACION FUZZY DE ESPECIES SIN DATOS DE PRODUCTIVIDAD .....</b>	<b>66</b>
<b>5.4. CLASIFICACION FUZZY DE CULTIVOS CON DATOS DE PRODUCTIVIDAD .....</b>	<b>69</b>
<b>5.5. COMPARACION DE METODOLOGIAS .....</b>	<b>83</b>
5.5.1. FUZZY CON DATOS DE PRODUCTIVIDAD VS PROVINCIAS AGRONOMICAS .....	83
5.5.2. FUZZY CON DATOS DE PRODUCTIVIDAD VS POTENCIAL PRODUCTIVO.....	84
5.5.3. FUZZY SIN DATOS DE PRODUCTIVIDAD VS POTENCIAL PRODUCTIVO.....	86
<b>5.6. CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO.....</b>	<b>89</b>
<b>5.7. DELIMITACION Y CARACTERIZACION DE LAS AREAS CON USO ADECUADO E     INADECUADO PARA LA AGRICULTURA.....</b>	<b>94</b>
 <b>6. CONCLUSIONES .....</b>	 <b>105</b>
 <b>7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	 <b>108</b>
 <b>8. ANEXOS.....</b>	 <b>115</b>
<b>8.1. ANEXO I: INFORMACION Y RESULTADOS DE LA VERIFICACION DE LAS BASES     DE DATOS DE SUELO Y TOPOGRAFIA.....</b>	<b>116</b>
<b>8.2. ANEXO II: INFORMACION Y RESULTADOS DE LA APLICACION DE LA     METODOLOGIA CONVENCIONAL .....</b>	<b>125</b>
<b>8.3. ANEXO III: INFORMACION Y RESULTADOS DE LA APLICACION DEL ENFOQUE     DE LIMITES DE TRANSICION GRADUAL PARA CULTIVOS SIN DATOS DE     PRODUCTIVIDAD .....</b>	<b>130</b>
<b>8.4. ANEXO IV: INFORMACION Y RESULTADOS DE LA APLICACION DEL ENFOQUE     DE LIMITES DE TRANSICION GRADUAL PARA CULTIVOS CON DATOS DE     PRODUCTIVIDAD .....</b>	<b>140</b>
<b>8.5. ANEXO V: INFORMACION Y RESULTADOS DE LA CARACTERIZACION     SOCIOECONOMICA DE LAS AREAS CON USO ADECUADO E INADECUALDO PARA     LA AGRICULTURA.....</b>	<b>150</b>

## INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Uso del suelo en el Distrito de Desarrollo Rural 004 Celaya, Guanajuato, de acuerdo con estadísticas de la SARH (1993).	26
2	Comparación de las características de las bases de datos de los estudios previos y del presente estudio.	53
3	Superficies (ha) con clases de productividad potencial para maíz y frijol de temporal por municipio del DDR 004, determinadas mediante la metodología de Provincias Agronómicas.	61
4	Superficies (ha) clasificadas con potencial alto para cultivos de riego y no básicos de temporal por municipio del DDR 004, determinadas mediante la metodología de Potencial Productivo.	63
5	Superficies (ha) clasificadas con potencial alto para las especies de importancia pecuaria y forestal por municipio del DDR 004, determinadas mediante la metodología de Potencial Productivo.	64
6	Valores de ponderación asignados a las funciones de membresía de los factores de estratificación para las especies de importancia pecuaria y forestal que no cuentan con datos de productividad.	67
7	Superficies (ha) por clase de aptitud resultante de la aplicación del enfoque de límites de transición gradual, para las especies de importancia pecuaria y forestal que no cuentan con datos de productividad.	68
8	Coefficientes de correlación ( $r$ ) entre el rendimiento de los cultivos (variables dependientes) y las variables del medio físico (variables independientes).	71
9	Modelos de regresión múltiple entre el rendimiento de los cultivos (variables dependientes) y variables del medio físico (variables independientes).	74
10	Funciones de membresía para los cultivos representativos del área en estudio que cuentan con datos de productividad.	76
11	Superficies (ha) por clase de aptitud resultantes de la aplicación del enfoque de límites de transición gradual, para los cultivos que cuentan con datos de productividad.	78

Cuadro		Página
12	Superficies (ha) por clase de aptitud para la agricultura de temporal y riego por municipio del DDR 004, resultantes de aplicación del enfoque de límites de transición gradual.	79
13	Uso del suelo por municipio del DDR 004 de acuerdo a CETENAL (1973).	90
14	Uso del suelo con base en fotografías aéreas escala 1:75,000 (INEGI, 1993), por municipio del DDR 004.	91
15	Relación costo-beneficio por clase de aptitud fuzzy para los principales cultivos de riego y temporal del DDR 004.	95
16	Áreas con y sin potencial para la agricultura de temporal para cada una de las clases de uso actual del suelo en los municipios del DDR 004.	97
17	Áreas con y sin potencial para la agricultura de riego para cada una de las clases de uso actual del suelo en los municipios del DDR 004.	98
18	Valores ponderados de los factores ambientales para las áreas con uso adecuado e inadecuado para la agricultura de temporal y riego en el DDR 004.	100
19	Longitud de los diferentes tipos de vías de comunicación en las áreas con uso adecuado e inadecuado para la agricultura, y áreas pecuarias y/o forestales en el DDR 004.	101
20	Características socioeconómicas promedio de las poblaciones de las áreas con uso adecuado e inadecuado para la agricultura en el DDR 004.	103

## INDICE DE CUADROS DE ANEXOS

### ANEXO I: INFORMACION Y RESULTADOS DE LA VERIFICACION DE LAS BASES DE DATOS DE SUELO Y TOPOGRAFIA

Cuadro		Página
1A	Superficie y porcentaje de las unidades y subunidades de suelo dominantes en el DDR 004.	117
2A	Características físico-químicas de las unidades y subunidades de suelo más importantes en el DDR 004.	118
3A	Superficie y profundidad de las fases físicas y unidad de suelo Litosol en los suelos del DDR 004.	119
4A	Profundidad y factibilidad de laboreo de los suelos del DDR 004, con base a las fases físicas del suelo y la unidad de suelo Litosol.	120
5A	Clasificación de las áreas con fases químicas de acuerdo a las cartas edafológicas de CETENAL (1973) y análisis de muestreos de campo.	121
6A	Localización de los puntos de muestreo y datos de altitud obtenidos a partir del Modelo de Elevación Digital (MED) y de las cartas topográficas a escala 1:50,000.	122
7A	Localización de los puntos de muestreo y datos de altitud obtenidos a partir del Modelo de Elevación Digital (MED) y de bancos de nivel (BN) de INEGI.	123
8A	Localización de los puntos de muestreo y datos de pendiente obtenidos a partir del Modelo de Elevación Digital (MED) y de las cartas topográficas escala 1:50,000.	124

## **ANEXO II. INFORMACION Y RESULTADOS DE LA APLICACION DE LA METODOLOGIA CONVENCIONAL**

<b>Cuadro</b>		<b>Página</b>
9A	Criterios de definición de las Provincias Agronómicas de las tierras de labor, bajo temporal para maíz.	126
10A	Criterios de definición de las Provincias Agronómicas de las tierras de labor, bajo temporal para frijol.	127
11A	Requerimientos climáticos y edáficos para delimitar las áreas con potencial alto para los cultivos de riego y no básicos de temporal del DDR 004, con la metodología de Potencial Productivo.	128
12A	Requerimientos climáticos y edáficos para delimitar las áreas con potencial alto para especies de importancia pecuaria y forestal en el DDR 004, con la metodología de Potencial Productivo.	129

### **ANEXO III. INFORMACION Y RESULTADOS DE LA APLICACION DEL ENFOQUE DE LIMITES DE TRANSICION GRADUAL PARA CULTIVOS SIN DATOS DE PRODUCTIVIDAD**

Cuadro		Página
13A	Funciones de membresía para zacate Buffel.	131
14A	Funciones de membresía para zacate Navajita.	132
15A	Funciones de membresía para nopal tunero.	133
16A	Funciones de membresía para pino Piñonero	134
17A	Funciones de membresía para encino.	135
18A	Funciones de membresía para mezquite.	136
19A	Archivo de comandos (.bat) para determinar las zonas potenciales para zacate Buffel, mediante el enfoque de límites de transición gradual para especies sin datos de productividad.	137
20A	Clases de aptitud (ha) por municipio, resultantes de la aplicación del enfoque de límites de transición gradual para las especies que no cuentan con datos de productividad.	138
21A	Clases de aptitud (ha) por municipio, resultantes de la aplicación del enfoque de límites de transición gradual para las especies que no cuentan con datos de productividad.	139

**ANEXO IV: INFORMACION Y RESULTADOS DE LA APLICACION DEL ENFOQUE DE LIMITES DE TRANSICION GRADUAL PARA CULTIVOS CON DATOS DE PRODUCTIVIDAD**

Cuadro		Página
22A	Rendimientos promedio (kg/ha) de maíz, frijol, sorgo y garbanzo de temporal, por municipio, del estado de Guanajuato.	141
23A	Rendimientos promedio (kg/ha) de maíz, sorgo, trigo y alfalfa de riego, por municipio, del estado de Guanajuato.	142
24A	Precipitación anual, de junio a septiembre y de octubre a febrero, e índice precipitación / evaporación de junio a septiembre P/EJS, por municipio, del estado de Guanajuato.	143
25A	Temperaturas medias (°C) de diferentes períodos, por municipio, del estado de Guanajuato.	144
26A	Evaporación acumulada (mm) de diferentes períodos, por municipio, del estado de Guanajuato.	145
27A	Altitud sobre el nivel del mar, profundidad de suelo, porcentaje de Bajío, índice de aptitud edáfica y pendiente, por municipio, del estado de Guanajuato.	146
28A	Archivo de comandos (.bat) para determinar las zonas potenciales para maíz de temporal, mediante el enfoque de límites de transición gradual a cultivos con datos de productividad.	147
29A	Clases de aptitud (ha), por municipio, resultantes de la aplicación del enfoque de límites de transición gradual a los cultivos de temporal.	148
30A	Clase de aptitud (ha), por municipio, resultantes de la aplicación del enfoque de límites de transición gradual a los cultivos de riego.	149

**ANEXO V. INFORMACION Y RESULTADOS DE LA CARACTERIZACION SOCIOECONOMICA DE LAS AREAS CON USO ADECUADO E INADECUADO PARA LA AGRICULTURA.**

Cuadro		Página
31A	Características socioeconómicas de las poblaciones ubicadas en las áreas clasificadas con uso adecuado para la agricultura en el DDR 004.	151
32A	Características socioeconómicas de las poblaciones ubicadas en las áreas clasificadas con uso inadecuado para la agricultura en el DDR 004.	157

## INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Localización, municipios y principales áreas urbanas del Distrito de Desarrollo Rural 004 Celaya, Guanajuato.	23
2	Diagrama metodológico general para sugerir la aptitud de uso del suelo del Distrito de Desarrollo Rural 004 Celaya, Guanajuato.	28
3	Diagrama general de la aplicación del enfoque de límites de transición gradual (fuzzy) para especies que no cuentan con datos de productividad.	38
4	Clasificación de las funciones de membresía con base al tipo de variable (continua o discreta) y a la respuesta de las especies a los factores de estratificación (simétrica, asimétrica positiva o asimétrica negativa).	40
5	Diagrama general de la aplicación del enfoque de límites de transición gradual (fuzzy) para cultivos que cuentan con datos de productividad.	44
6	Profundidad del suelo y factibilidad de mecanización en el DDR 004, con base en las fases físicas y la unidad de suelo Litosol (CETENAL, 1973-1974).	56
7	Modelo de elevación (MED) que abarca parte del DDR 004 y del estado de Querétaro. Se observa el gradiente altitudinal y el inicio del área definida como El Bajío Guanajuatense (< 1,800 m).	58
8	Clasificación para maíz de temporal con la metodología convencional de Provincias Agronómicas.	62
9	Clasificación para mezquite con la metodología convencional de Potencial Productivo.	65
10	Clasificación fuzzy para mezquite.	70
11	Clasificación fuzzy para maíz de temporal.	77
12	Clasificación fuzzy para agricultura de temporal.	81
13	Clasificación fuzzy para agricultura de riego.	82

Figura		Página
14	Diferencias entre el enfoque fuzzy para cultivos con datos de productividad y la metodología de Provincias Agronómicas utilizando como ejemplo la clasificación para maíz de temporal.	85
15	Diferencias entre el enfoque fuzzy para cultivos con datos de productividad y la metodología de Potencial Productivo utilizando como ejemplo el maíz de riego.	87
16	Diferencias entre el enfoque fuzzy para especies sin datos de productividad y la metodología de Potencial Productivo utilizando como ejemplo el mezquite.	88
17	Crecimiento de las áreas agrícolas en el DDR 004 durante el período de 1973 a 1993.	92
18	Relación costo-beneficio por clase de aptitud para maíz de temporal.	96
19	Ubicación de poblaciones en áreas con uso adecuado e inadecuado para agricultura de temporal y riego en el DDR 004.	102

## RESUMEN

Los estudios previos de clasificación de tierras para la producción de especies vegetales realizados por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), presentan algunas deficiencias en las bases de datos y la metodología de estratificación, así como falta de fundamentos para satisfacer el objetivo de “proponer acciones para el reordenamiento del uso del suelo” (Ortíz *et al.*, 1992; García, *et al.*, 1996). Para superar tales deficiencias, en este trabajo que tiene como área en estudio el Distrito de Desarrollo Rural 004 Celaya, Guanajuato, se llevaron a cabo las siguientes acciones: a) se generaron y verificaron bases de datos digitales del medio físico con mayor nivel de detalle y se incluyó información de uso del suelo, vías de comunicación y poblaciones; b) se utilizó el enfoque de “límites de transición gradual” (“fuzzy”) como una alternativa para superar las limitaciones derivadas de la aplicación del método “Booleano” convencional (Burrough, 1989); y c) para fundamentar mejor futuras propuestas de reordenamiento de uso del suelo, se delimitaron las áreas de uso adecuado e inadecuado para la agricultura, y se caracterizaron desde los puntos de vista físico y socioeconómico.

Se utilizó el sistema ARC/INFO (ESRI, 1994; ESRI, 1996a) para digitizar la información “vectorial” (líneas), IDRISI (Eastman, 1992a, Eastman, 1992b; Eastman, 1997) para procesar la información “raster” (celdas o píxeles) y realizar la sobreposición de mapas (modelación), y el sistema ArcView (ESRI, 1995b; ESRI, 1996b) para realizar la caracterización socioeconómica de las áreas con uso adecuado e inadecuado para la agricultura y para la edición de los mapas con fines de presentación.

A partir de las bases de datos de suelo, topografía y clima, y de acuerdo al enfoque fuzzy, se clasificó la aptitud de uso del suelo para cada una de las especies vegetales consideradas estratégicas para el área en estudio; generalizando estos resultados, se clasificó la aptitud para la agricultura de temporal y riego. El uso anterior del suelo se obtuvo mediante la digitización de la cartografía de uso del suelo a escala 1:50,000 (CETENAL, 1973-1974b). El uso actual se delimitó a partir de fotografías aéreas a escala 1:75,000 de 1993 (INEGI, 1993a). Con base en las clasificaciones fuzzy por cultivo y la consideración de un criterio económico (relación costo-beneficio), se sugirió el uso potencial para la agricultura de temporal y riego. La sobreposición del uso anterior del suelo con el uso actual, permitió determinar los cambios más importantes en el uso del suelo en un período de 20 años (1973-1993). Mientras que la diferencia entre el uso actual y potencial para la agricultura de temporal y riego, permitió la ubicación de las áreas con uso agrícola adecuado e inadecuado. La caracterización de estas áreas, desde el punto de vista físico, se realizó de acuerdo a la bases de datos digitales de suelo, topografía y clima. La caracterización socioeconómica se hizo con base en los datos del Censo Población y Vivienda de 1995 (INEGI, 1996b) y vías de comunicación (SCT, 1993).

Las bases de datos digitales de suelo, topografía y clima generadas en este trabajo son más detalladas y confiables que las utilizadas en los estudios previos. La escala de la información de suelos se incrementó de 1:500,000 a 1:50,000. La resolución de la información topográfica (altitud y pendiente) se mejoró de 900 x 900 m (aproximadamente 81 ha) a 100 x 100 m (aproximadamente 1 ha). El número de estaciones consideradas para realizar las interpolaciones climáticas

(temperaturas máxima y mínima, precipitación y evaporación) se aumentó de 149 a 331, además se generaron mapas de normales climatológicas (datos promedio) decenales en lugar de mensuales. Algunos resultados de la verificación de dichas bases de datos fueron de utilidad para adecuar los criterios de estatificación.

Los mapas de aptitud resultantes de la aplicación del enfoque fuzzy presentan valores continuos de aptitud entre 1.0 y 0. Para fines de presentación, estos mapas se reclasificaron en 10 clases con intervalos de 0.1, correspondiendo la mayor aptitud a la clase 10. En esta clase se cuantificaron únicamente 7,444 ha con la categoría máxima para agricultura de temporal, las cuales se ampliaron a 85,481 ha al considerar el potencial para la agricultura de riego. La clase de mayor aptitud para las especies de importancia pecuaria y forestal, se presentó únicamente para mezquite (*Prosopis spp*) (49,852 ha) y zacate Navajita (*Bouteloua gracilis*) (43,666 ha). En la segunda clase, el pino piñonero (*Pinus cembroides*) y el nopal tunero (*Opuntia spp*), presentaron 11,134 y 769 ha respectivamente, y la tercera clase correspondió al encino (*Quercus spp*) y al zacate Buffel (*Cenchrus ciliaris*) con 12,212 y 892 ha, respectivamente.

Se calculó una superficie de 224,690 ha utilizadas en 1973 en la agricultura. Por otra parte, se delimitó una superficie de 256,453 ha utilizadas actualmente en la agricultura (1993). Se estimó una superficie bruta de 180, 227 y 213, 240 ha con potencial para agricultura de temporal y riego, respectivamente. Por diferencia entre el uso actual con el uso del suelo en 1973 se estimó que la superficie agrícola se incrementó 31,763 ha a expensas de las áreas de uso pecuario y/o forestal. De la misma manera, al sobreponer el uso actual con el potencial para la agricultura, se cuantificaron 160,588 (63%) ha con uso adecuado y 95,870 ha (37 %) con uso inadecuado para la agricultura de temporal. Para la agricultura de riego se cuantificaron 183,277 ha (71%) y 73,181 ha (29%) con uso adecuado e inadecuado, respectivamente.

Las principales características físicas de las áreas con uso inadecuado para agricultura (riego y temporal) son: menor profundidad del suelo, mayores altitudes y pendientes pronunciadas. Estas áreas también se caracterizan por la menor densidad de vías de comunicación, el menor promedio de población total, y los mayores índices de migración, analfabetismo y pobreza. Estos resultados, aunados a la delimitación de las áreas con uso inadecuado del suelo, permitirán fundamentar mejor futuras propuestas de reordenamiento de uso del suelo.

Una de las principales desventajas de la metodología Booleana convencional con respecto al enfoque fuzzy es suponer que los factores de estratificación tienen el mismo peso sobre la productividad de las especies, lo que provoca: a) el enmascaramiento de factores clave por otros menos importantes, los cuales pueden desvirtuar las clases generales de aptitud; y b) la incapacidad para tomar en cuenta el efecto de los factores con valores cerca de los límites de la clase óptima (única), en algunos casos fuera del límite por errores inherentes a la información espacial básica.

Si bien, los datos disponibles de productividad de cultivos a nivel de municipio utilizados en este trabajo permitieron demostrar las bondades de la metodología fuzzy y sugerir la aptitud de uso del suelo para el área en estudio, la información debería ser más desagregada y más confiable, por lo que es importante trabajar a futuro en este sentido.

## SUMMARY

Land classification studies carried out by the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) have methodological shortcomings and insufficient data to support proposed alternatives to current land use. In an effort to overcome these shortcomings, the study here presented took the following actions: 1) the level of detail of the digital spatial database for the study area was improved and new information on land use, roads and population centers was included. 2) Fuzzy set theory instead of Boolean sets was applied to the definition of land suitability classes. 3) Two sets of areas were identified: a) those with potential for agricultural use which are currently being used for agriculture, and b) those that currently are being used for agriculture which do not have potential for agricultural use. Each of these sets was characterized by its physical environment as well as by its socio-economic characteristics. This was done with the intention of supporting future proposals of reallocation of areas to land uses. The study area is located in the State of Guanajuato in Central Mexico, within the limits of the Rural Development District 004 Celaya.

The ARC/INFO (ESRI, Redlands, CA) Geographic Information System (GIS) was used to process the vector data. The IDRISI (Clark University, Worcester, MA) GIS system was used to process the raster data and to perform the spatial modeling required in the study. Finally, the ArcView (ESRI, Redlands, CA) GIS was used to produce maps and carry out the socio-economic characterization of the previously mentioned areas.

Using the information on soils, climate and the digital elevation model, the study area was classified according to its potential to successfully grow several crops, grasses and forestry species that are considered of strategic importance for the region. The fuzzy sets theory approach was used to define the suitability classes. Also the study area was classified according to its potential to support non-irrigated and irrigated agriculture. The 1973-1974 land use information at a 1:50,000 scale was digitized from the National Institute for Statistics, Geography and Information (INEGI) maps for those dates. The current land use was obtained from aerial photographs scale 1:75,000 for 1993. The areas with potential for non-irrigated and irrigated agriculture were identified using the results of the fuzzy sets classification for the areas with potential for each crop. The information from the 1995 population census, roads density and the cost/benefit ratio were used as economic criterion. The main changes in land use in the 1973-1993 period were identified by overlaying the information for each period. The areas identified as having potential for agriculture (both non-irrigated and irrigated) were compared with the areas that currently sustain agriculture, giving as result the areas with adequate and inadequate current use.

The digital spatial database generated in this study includes: 1) Soils obtained from 1:50,000 scale maps. 2) Digital Elevation Model at the 3 second arc resolution (roughly 90x90 meters cell size). 3) Averages for ten-day periods for minimum temperature, maximum temperature, precipitation and evaporation. The weather information was derived by interpolating information from 331 weather stations in the region.

The land suitability maps resulting from the application of the fuzzy sets theory approach contain continuous values between 0 and 1. However, for purposes of presentation of the results these continuous values were divided into 10 classes. The following areas were identified with the highest suitability values: a) 7,444 hectares (ha) for non-irrigated agriculture, b) 85,481 ha for non-irrigated and irrigated agriculture, c) 49,852 ha for mezquite (*Prosopis spp*), and d) 43,666 ha for the bluegramma grass (*Bouteloua gracilis*). Second best suitability was identified for: a) 11,134 ha for the pine *Pinus cembroides*, and b) 769 ha for prickly pear cactus (*Opuntia spp*). Finally, in the third best class the following areas were identified: a) 12,212 ha for oak (*Quercus spp*), and b) 892 ha for the buffel grass (*Cenchrus ciliaris*).

An area of 224,690 ha was used for agriculture in 1973. In contrast, in 1993 agricultural activities occupied 256,453 ha. The increment of 31,763 ha came from areas previously occupied by forests and grasslands. When comparing these values with the land suitability values 95,870 ha have inappropriate use as non-irrigated agriculture, and 73,181 ha have inappropriate use as irrigated agriculture. These areas have shallow soils, higher elevations and slopes than are ideally required for agricultural uses. These areas also have a low roads density, less total average population, and high values of migration, illiteracy and poverty.

One of the main disadvantages of the traditional Boolean methodology compared with the fuzzy sets theory approach is that the first one assumes that all the classification factors have the same weight in influencing the productivity of the species. This causes: a) masking of key factors by other less important ones, and b) inability to take into account the effect of the classification factors close to the limits of the suitable Boolean class. In contrast, the fuzzy set theory approach assigns a weight to the classification factor through regression analysis of the values of crop productivity against the levels of each factor.

The data on crops productivity used in this study was at the municipal (county) level. This data was good enough to show the benefits of the fuzzy sets approach over the traditional Boolean methodology. Ideally this information should be more desegregated spatially and temporally in order to obtain better results.

# 1. INTRODUCCION

La Clasificación de Tierras consiste en la identificación, reconocimiento y delimitación del área de ocurrencia de las diferentes propiedades de la tierra. Tales propiedades se consideran desde el punto de vista de la influencia que ejercen sobre el uso actual y futuro de la tierra por el hombre. El uso del suelo debería estar en función directa con su aptitud para las diferentes actividades humanas, con el propósito de lograr mejores resultados, fincados en una mayor racionalidad en el uso de los recursos. Para lograr este ideal, el objetivo fundamental de la Clasificación de Tierras es apoyar la planificación racional del uso del suelo.

La clasificación de las propiedades de la tierra a gran detalle en áreas geográficas extensas y utilizando muchas variables, no es posible con métodos manuales tradicionales por la gran cantidad de operaciones que hay que realizar. Por el contrario, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) instalados en computadora, son herramientas que permiten hacer más eficientes las tareas de obtención y procesamiento de la información requerida para la clasificación de tierras. Además, la Percepción Remota (PR) y los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) integrados con los SIG, complementan y actualizan la información en áreas donde el uso del suelo puede cambiar en un período corto de tiempo.

Algunos investigadores se han enfocado en cómo preparar las capas individuales de información y reunir las bases de datos completas que requiere el SIG, porque la diversidad de escalas, la antigüedad de los datos y la falta de referencias geográficas dificultan su uso para generar las bases de datos digitales (Gómez-Orea, 1980). Uno de los principales problemas en la generación de estas bases es el conflicto entre la amplitud y la profundidad de las mismas (Robinette, 1991), de modo que ha sido un gran desafío obtener datos de un área extensa con suficiente detalle, por lo cual se ha sugerido compilar información con el mayor nivel de detalle posible, lo que permite generalizar la información cuando se necesite a escalas menos detalladas.

Otros usuarios de los SIG enfocados en la modelación espacial, buscan un refinamiento y expansión de las capacidades de estas herramientas. Recientemente se ha cuestionado los límites entre clases definidos con líneas cortantes en las bases de datos de levantamientos de suelos y clasificaciones de tierras, entre otros, porque se ignoran importantes aspectos. Esto es debido al uso de modelos rígidos combinados con los métodos del "álgebra Booleana" (lógica de verdadero o falso) disponibles en los SIG. Estos métodos, además de provocar considerables pérdidas de información, no toman en cuenta los supuestos que debe cumplir una clase definida con límites cortantes como son: a) la pureza interna de las entidades; b) la no variación espacial dentro de las unidades de mapeo; y c) la ausencia de error experimental de los atributos medibles de las entidades (Burrough, 1989). Una alternativa útil a la metodología convencional es la "teoría de conjuntos fuzzy" (Burrough, 1989), la cual es una generalización del álgebra Booleana a situaciones en las cuales los atributos tienen zonas de transición gradual, más bien que límites cortantes.

En México, las últimas clasificaciones de tierras realizados por el INIFAP (Ortíz *et al.*, 1992; García, *et al.*, 1996) se han enfocado a delimitar las zonas potenciales para la producción de especies vegetales de importancia agrícola, pecuaria y forestal con el objetivo final de proponer acciones de reordenamiento de uso del suelo en tales sectores. En este trabajo de investigación, aplicado al Distrito de Desarrollo Rural 004 Celaya (DDR 004), localizado en el sureste del estado de Guanajuato, se proponen algunas alternativas para superar las principales deficiencias de los estudios anteriores denominados: *Provincias Agronómicas y Potencial Productivo*. A continuación se describen las características y limitaciones de estos estudios.

En 1990, el INIFAP inició un proyecto de clasificación de las tierras del país de acuerdo a su aptitud para la producción de cultivos. Esta primera etapa se realizó para maíz, frijol, arroz y trigo, bajo condiciones de temporal, en 10 estados seleccionados por su alto nivel de producción. Este trabajo se realizó siguiendo el procedimiento aplicado en el estudio *Provincias agronómicas de las tierras de labor bajo temporal en México* (Turrent, 1986; González *et al.*, 1990). Para maíz y frijol se utilizaron métodos estadísticos para definir la relación precipitación / evaporación (P/E) de junio a septiembre, la profundidad del suelo y la altitud, como los principales criterios para estratificar las tierras de labor de las entidades federativas en cinco categorías: muy buena, buena, mediana y baja productividad y tierras marginales. La misma metodología se adaptó para arroz y trigo. Además, se utilizó el concepto de agrosistemas para definir la tecnología específica a nivel de sitio y para cada una de las categorías. La escala de trabajo fue 1:250,000 y 1:50,000 para los estados que cuentan con información de suelos a esta escala. La elaboración de mapas fue manual y su presentación fue en fotografías a tamaño carta.

Como consecuencia de no contar con una base de datos digital, estas clasificaciones se caracterizaron por la baja eficiencia para manejar la sobreposición de mapas y cálculo de superficies, así como la baja calidad de los mapas de presentación. En el caso del estado de Guanajuato se pudieron generar mapas georeferenciados y se mejoró la calidad de presentación de resultados mediante el uso del paquete cartográfico MICROMAP-SUPERBASE (García *et al.*, 1992).

En una segunda etapa, en 1992, se retomaron los estudios de *Provincias Agronómicas* con el título de *Determinación del Potencial Productivo de Especies Vegetales en México* (Ortíz *et al.*, 1992), donde se empezaron a utilizar los SIG como herramienta para realizar las clasificaciones. Se trabajó con las 31 entidades federativas y el Distrito Federal y abarcó no solamente el área agrícola, sino que se extendió a las áreas pecuaria y forestal. Además de los cultivos básicos se incluyeron otros de temporal y riego, y especies de importancia pecuaria y forestal. Los principales componentes de la base de datos digital fueron las variables topográficas (altitud y pendiente), variables climáticas de períodos mensuales (temperaturas máxima y mínima, precipitación, y evaporación), y la clasificación de suelos FAO/UNESCO escala 1:250,000 —y en algunos casos más pequeñas (1:500,000 y 1:1000,000). La resolución final de los resultados fue en celdas de 900 m por lado (aproximadamente 81 ha).

Para los cultivos básicos de temporal se siguió con algunas modificaciones la metodología de Provincias Agronómicas. Para los cultivos de temporal no básicos, los cultivos de riego y las especies no cultivadas, únicamente se determinó una categoría que se denominó “áreas con alto potencial productivo”. Los requerimientos ambientales de las especies agrícolas, pecuarias y forestales, utilizados para determinar las áreas con alto potencial productivo, fueron definidos con apoyo de los investigadores (especialistas en cada especie) del INIFAP.

A partir de esta etapa, con el uso de los SIG, se mejoró la eficiencia en la captura, manejo y procesamiento de la información para generar mapas de aptitud para la producción de especies vegetales. Sin embargo, con base en el análisis de los estudios mencionados y la opinión de los principales usuarios, se detectaron algunas deficiencias importantes como: a) errores, omisiones e información obsoleta en la base de datos debido a la antigüedad de la información básica y/o la falta de una verificación posterior a la generación de la misma; b) la producción de resultados a diferentes niveles de desagregación (estatal, distrital y municipal) sin considerar la resolución y la escala de la información básica; c) ignorar el concepto de proyección cartográfica; y d) no incluir suficientes referencias de ubicación espacial (poblaciones, caminos y vías de comunicación, entre otros).

La clasificación de tierras para los cultivos básicos a los que se aplicó la metodología de Provincias Agronómicas, resultó de mayor utilidad, pues permitió identificar gradientes de aptitud y la factibilidad de proponer alternativas para cada una de las clases. Por el contrario, en los estudios de Potencial Productivo aplicado a los cultivos de temporal no básicos, de riego y especies pecuarias y forestales, su utilidad fue más restringida por la aplicación de métodos Booleanos muy simples, generando con ello mapas con sólo una clase (potencial alto) y el resto de la superficie sin definir su grado de aptitud. La aplicación de esta metodología propició: a) suponer que todos los factores de estratificación tienen la misma importancia en la producción de las especies; b) incertidumbre en cuanto a los requerimientos de las especies debido a diferencias en opiniones entre especialistas; c) poca utilización de la información existente al reclasificarla de acuerdo a los requerimientos de las especies expresados en rangos muy amplios; y d) una indebida interpretación de los resultados por parte de los usuarios al considerar como inflexibles los límites entre clases.

La agricultura es una de las actividades más importantes de explotación del sistema natural; explotación que se debe ajustar a las áreas aptas para esta actividad. En el Distrito de Desarrollo Rural 004 Celaya, la agricultura ha rebasado dichas áreas (Soto y Soto, 1990), donde se observan zonas con baja productividad, marcada degradación de los recursos y bajo nivel de vida de sus pobladores. Los estudios de Provincias Agronómicas y Potencial Productivo realizados en el INIFAP se han enfocado a realizar un inventario del medio ambiente físico y a determinar la aptitud de dicho medio para acoger las actividades agropecuarias y forestales. Sin embargo, el considerar la factibilidad de las especies únicamente con criterios biológicos y de productividad, no permite soportar adecuadamente las propuestas de reordenamiento del uso del suelo para cumplir con el objetivo más ambicioso de los estudios previos: proponer acciones para el reordenamiento adecuado del uso del suelo (Ortíz *et al.*, 1992; García, *et al.*, 1996).

## **1.1. HIPOTESIS**

- A) La aplicación del enfoque de límites de transición gradual, en relación a la metodología Booleana convencional, ofrece mejores resultados para representar la variabilidad espacial en la determinación de la aptitud de uso del suelo.
- B) La clasificación de la aptitud de uso del suelo debe realizarse en una base de datos a mayor resolución espacial y temporal que la utilizada en los estudios previos, para poder encontrar variabilidad espacial al desagregar los resultados a nivel municipal.
- C) La integración de información de uso del suelo y socioeconómica ayuda a explicar las discrepancias entre el uso actual y potencial del suelo para la agricultura.

## **1.2. OBJETIVOS GENERALES**

- A) Sugerir la aptitud de uso del suelo del Distrito de Desarrollo Rural 004, Guanajuato, mediante la aplicación del enfoque de límites de transición gradual, considerando las actividades agropecuarias y forestales.
- B) Generar bases de datos digitales de mayor resolución espacial y temporal que permita encontrar variación espacial a nivel municipal y desagregar los resultados a ese nivel.
- C) Explicar las discrepancias entre el uso actual y potencial del suelo para la agricultura mediante la integración de información de uso del suelo y socioeconómica.

## **1.3. OBJETIVOS PARTICULARES**

- A) Generar y verificar bases de datos digitales de suelo, topografía y clima con un nivel de detalle de 100 X 100 m.
- B) Integrar información de uso anterior y actual del suelo, vías de comunicación y localidades con datos censales de población y vivienda.
- C) Clasificar la aptitud de uso del suelo para un conjunto de especies estratégicas y sugerir el área potencial para la agricultura mediante el enfoque de límites de transición gradual.
- D) Comparar los resultados de la aplicación del enfoque de límites de transición gradual con los obtenidos con la metodología convencional.
- E) Delimitar y cuantificar las diferencias entre el uso anterior (1973), actual (1993) y el potencial, para la agricultura.
- F) Caracterizar y contrastar desde el punto de vista físico y socioeconómico las áreas con uso adecuado e inadecuado para la agricultura.

## 2. MARCO CONCEPTUAL

El propósito fundamental de este trabajo es la clasificación de la aptitud de las tierras del DDR 004 para la producción de las especies vegetales de importancia agropecuaria y forestal. De acuerdo con los estudios previos más recientes (*Potencial Productivo*), uno de los objetivos de estas clasificaciones es proponer alternativas viables para el reordenamiento del uso del suelo. Sin embargo, la factibilidad de las especies únicamente con criterios biológicos y de productividad, sin considerar aspectos socioeconómicos y la interacción con otras actividades como el desarrollo urbano y vías de comunicación, no permite una buena fundamentación de dichas propuestas. Además, la clasificación de la aptitud para las diferentes actividades de importancia en un área determinada es solamente una de las fases (diagnóstico) del Ordenamiento Ecológico (Cendrero, 1988; Carmona, 1993). Por lo anterior, la revisión presentada en esta investigación incluye la Clasificación de Tierras para fines de planificación de Uso del Suelo considerando las actividades agropecuarias y forestales, y considera algunos conceptos sobre Ordenamiento Ecológico, con el fin de tener en cuenta otros aspectos que pueden ser de utilidad para apoyar con más elementos de juicio una propuesta de reordenamiento.

También se incluyen los conceptos sobre los SIG como una herramienta que permite hacer más eficiente el proceso de clasificación de tierras. Además, se revisa el enfoque de límites de transición gradual (fuzzy) porque presenta ventajas sobre los métodos convencionales de clasificación y su aplicación constituye la parte medular de este trabajo.

### 2.1. CLASIFICACION DE TIERRAS

La *tierra* es un concepto integral, utilizado en Edafología, que se define como un “área específica de la superficie terrestre; sus características se refieren a los atributos razonablemente estables o cíclicamente predecibles de la biosfera, verticalmente arriba y abajo de esta área, incluyendo los de la atmósfera, el suelo, la geología subyacente, la hidrología, la vegetación, la fauna y los resultados de la actividad humana pasada y presente, así como las interacciones de todos ellos. Se consideran dichos atributos desde el punto de vista de la influencia que ejerzan sobre los usos actuales y futuros de la tierra por el hombre” (Christian, 1968 citado por Ortiz y Cuanalo, 1984). Estas características varían tanto en forma individual como colectiva, dando por resultado paisajes específicos en diferentes áreas; y corresponde a la Clasificación de Tierras, identificarlos y reconocerlos, así como establecer su área de ocurrencia.

Existen diferentes sistemas de clasificación de tierras, los cuales, aunque presentan interrelaciones, es posible diferenciar en tres grupos, de acuerdo con su enfoque: a) genético; b) paisajista o morfológico; y c) paramétrico (Ortiz y Cuanalo, 1984). Las principales características de estos sistemas, según estos autores, se describen a continuación.

El enfoque genético está basado en la agrupación genética de fenómenos naturales y los controles ambientales que rigen su asociación y distribución. Bajo esta idea se generó el

concepto de "región natural". Las limitaciones de este enfoque son la delimitación de áreas demasiado amplias y complejas con límites poco claros. Esto ocasionó que en 1930 se abandonara este enfoque de investigación dando inicio al estudio de objetos reales observables del medio ambiente, el cual es conocido como *enfoque del paisaje o morfológico*. Este enfoque se fortaleció en gran medida con el desarrollo de técnicas de interpretación de fotografías aéreas.

Por su parte, el enfoque paramétrico es el más moderno y consiste en dividir y clasificar a las tierras con base en valores de parámetros claves para propósitos específicos. La sobreposición de mapas temáticos con el fin de delimitar las áreas que reúnen determinados valores de precipitación, temperatura, y profundidad del suelo, es un ejemplo de la aplicación de este enfoque. Otro ejemplo es el procesamiento digital de imágenes de satélite con diferentes valores de reflectancia asociados con el uso del suelo.

El enfoque paramétrico es el más utilizado en las clasificaciones de tierras con fines agropecuarios y forestales. La información básica para generar las bases de datos digitales del presente trabajo ha sido obtenida con este enfoque, a excepción de la información de uso del suelo, para la cual la principal herramienta de clasificación fue la interpretación de fotografía aérea (enfoque paisajista). Los mapas de aptitud por especie, en este trabajo, también se considera dentro del enfoque paramétrico, ya que consiste básicamente en la reclasificación y sobreposición de mapas temáticos, con el propósito de delimitar las áreas que reúnen determinados requerimientos de la especie en cuestión.

Las primeras clasificaciones de tierras para conocer su aptitud para las actividades agropecuarias y forestales se realizaron a nivel de subsector (agrícola, pecuario y forestal). Un ejemplo de estas primeras clasificaciones, es el sistema de clasificación de capacidad de uso de los suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), el cual considera ocho clases de tierras: las cuatro primeras con posibilidad de uso agrícola en orden creciente al riesgo a ser degradadas; y las cuatro últimas, de uso pecuario y/o forestal (SRH, 1973). Sus principales criterios de estratificación son la profundidad de suelo y la pendiente para las clases agrícolas, y la pendiente y la humedad del suelo para áreas con posibilidad de uso pecuario y/o forestal. En nuestro país el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) ha generado clasificaciones similares sobre frontera agrícola y la capacidad de uso agrícola, pecuario y forestal (SPP, 1980).

En la década de los 70's la Organización de las Naciones Unidas (ONU) inició una serie de proyecciones de población del mundo para el año 2,000 y planteó la pregunta ¿existe tierra para sustentarla? Los primeros intentos por contestar dicha pregunta no consideraron: a) las diferencias en la producción potencial cuando es calculada para diferentes tipos de cultivos con requerimientos climáticos y edáficos propios; b) las diferencias de uso de insumos y tecnología empleada de acuerdo al propósito de producción (mercado o autoconsumo); y c) que los recursos no están uniformemente distribuidos ni son transferibles. La FAO (Food and Agricultural Organization) reconoció tales limitaciones y en 1976 inició el Proyecto de *Zonas Agroecológicas* (FAO, 1978; FAO, 1981). Este es uno de los métodos de clasificación de tierras para la producción agrícola más conocido a nivel mundial.

En el método de Zonas Agroecológicas se califica la temperatura media, el período de crecimiento por disponibilidad de humedad, y las principales características de suelo (clasificación FAO/UNESCO) para la producción de un cultivo en particular, bajo condiciones de temporal, y considerando los niveles de inversión alto y bajo. El primer criterio de estratificación es la "división climática mayor" mediante la cual un área geográfica se clasifica en apta (A) y no apta (NA) con base al agrupamiento de los cultivos por su respuesta a la temperatura y a la radiación solar. El área considerada no apta, según la división climática mayor, se descarta, y la apta es clasificada a su vez en muy apta (MA), apta (A), marginalmente apta (mA) y no apta (NA) de acuerdo al período de crecimiento por disponibilidad de humedad expresado en días y las necesidades hídricas del cultivo con un ciclo definido. Luego se descartan las áreas no aptas y las tres categorías restantes se identifican como (S1) si permanecen igual; como (S2), si presentan restricciones leves; o se consideran no aptas actualmente (N1) o permanentemente (N2), de acuerdo a una calificación asignada a las unidades de suelo, las características de las fases físicas, clases texturales y clases de pendiente para el cultivo en cuestión. Esta metodología fue aplicada por Ortiz (1981, 1987) a la República Mexicana, con adaptaciones para tomar en cuenta las restricciones de información disponible de nuestro país.

Los factores de la producción de cultivos se clasifican de manera general en "controlables" e "incontrolables". Los factores controlables, a su vez, se subdividen en "modificables" e "inmodificables" (Turrent, 1976; Turrent, 1980a). Los factores controlables corresponden a las diferentes prácticas de manejo del cultivo y los incontrolables son básicamente los factores de clima y suelo (factores ambientales). Se consideran factores incontrolables no modificables (cuando menos a corto y mediano plazo) a los factores del clima y algunos factores del suelo, como la estructura; e incontrolables modificables a corto y mediano plazo algunas características del suelo como el contenido de nutrimentos, la materia orgánica y la pedregosidad, entre otros. Los criterios de estratificación en los estudios de clasificación de tierras con fines agrícolas, generalmente corresponden a los factores incontrolables de la producción de cultivos, con el propósito de lograr mayor vigencia de los resultados en el tiempo, lo que no es posible con los factores controlables debido a la dinámica espacial y temporal de sus cambios.

En México, dentro del ámbito agronómico, las acciones de planificación relacionadas con la clasificación de tierras están dirigidas a enfocar adecuadamente la investigación agrícola. Tales acciones son clasificadas por Laird (1987) como: "descripción de las circunstancias de los agricultores" (no espaciales) y la "estratificación de las circunstancias de los agricultores" (espaciales). Entre los métodos para describir las circunstancias de los agricultores se mencionan el "Sondeo" (Martínez, 1979), el "Enfoque del CIMMYT" (Byerlee y Collinson, 1983), y el "Diagnóstico del INIFAP" (Villarreal y Byerly, 1984). Algunos métodos para estratificar las circunstancias de los agricultores son el método de Capacidad-Fertilidad (Buol *et al.*, 1975 citado por Laird, 1977), Agrosistemas (Turrent, 1980b), el Levantamiento Fisiográfico (Ortiz y Cuanalo, 1984) y Dominios de Recomendación (Harrington and Tripp, 1984). Estos métodos tipifican, desde un punto de vista socioeconómico, a los agricultores y caracterizan el ambiente físico de las regiones agrícolas, y se aplican para delimitar las áreas de respuesta homogénea y hacer más específicas las recomendaciones tecnológicas a los productores agrícolas.

En el estado de Guanajuato se han aplicado varios métodos de clasificación de tierras. Cabe mencionar la aplicación de la metodología de Zonas Agroecológicas, con algunas adaptaciones, para delimitar las zonas de aptitud para cultivos bajo condiciones de temporal (Aguilar y Tapia, 1990). García (1988), apoyado en la misma metodología, propone algunas adaptaciones para delimitar zonas de aptitud para cultivos de riego, y utiliza ecuaciones de regresión entre el rendimiento de los cultivos (variables dependientes), la temperatura y la aptitud de las unidades del suelo (variables independientes) como criterio para definir los límites entre clases. Tapia y García (1991) resumen algunos de estos esfuerzos para el área en estudio de este trabajo. Los estudios más recientes conocidos como *Provincias Agronómicas* (Turrent, 1986; González *et al*, 1990) y *Potencial Productivo*, descritos en la introducción, son considerados los antecedentes directos de este trabajo (Ortíz *et al.*, 1992).

## **2.2. ORDENAMIENTO ECOLOGICO**

Bifani (1982) propone el enfoque de sistemas como una herramienta integradora para realizar una adecuada planificación, considerando a la naturaleza y a la sociedad como dos subsistemas de un sistema mayor: el medio ambiente. El ordenamiento ambiental se ha definido como “una serie concertada de análisis procesos y maniobras, que permiten una utilización adecuada del medio ambiente, con el fin de promover un desarrollo económico sustentable que satisfaga las necesidades reales de la población presente y futura” (Carmona, 1993).

De acuerdo con Bifani (1982), los niveles de desarrollo logrados por el sistema social ha requerido una utilización más compleja e intensiva del sistema natural, generando conflictos entre los intereses de corto plazo del sistema social y el mantenimiento activo del sistema natural en el largo plazo. Esto ha sido así, porque la planificación se ha basado exclusivamente en teorías e instrumentos económicos, mientras que los aspectos ambientales han sido tradicionalmente ignorados. El mismo autor señala que las principales dificultades con las que se enfrenta la incorporación de los aspectos ambientales en la planificación del desarrollo surge de: a) los problemas de cuantificación, medición y ponderación de los factores ambientales; b) del carácter transversal que trasciende el enfoque sectorial tradicional, de tal manera que las actividades adoptadas y llevadas a la práctica en sectores específicos, tienen repercusiones ambientales que afectan indirectamente el funcionamiento de otros sectores; y c) el fenómeno ambiental es altamente estocástico, frente a un desarrollo científico que carece de una capacidad de predicción en relación con la interacción sistema social-sistema natural.

El sistema integrado por medio ambiente natural (subsistema natural)-y las actividades humanas (subsistema social) puede estudiarse en dos sentidos: 1) determinando la capacidad del medio para acoger distintas actividades; o 2) los impactos que las actividades pueden causar al medio (Ramos y Canals, 1974). Esta tarea puede abordarse de dos maneras, ambas susceptibles de incluir los dos sentidos citados: a) el estudio del orden o estructura del medio para llegar a la definición de unidades homogéneas (el producto es un mapa de unidades ambientales); y b) la caracterización de los elementos útiles o significativos del medio y estudio de su comportamiento individual frente a cada una de las actividades. El producto es un mapa de impactos de cada actividad o de la capacidad del medio para acoger tal actividad. Lógicamente, tanto los elementos

del medio como las actividades, admiten varios niveles de agregación que vendrán definidos por la escala de trabajo, función a su vez de los objetivos planteados (Ramos y Canals, 1974).

Existen diferentes propuestas de regionalización ecológica del medio ambiente natural. Una propuesta para nuestro país consiste en dividir el área en estudio, de manera jerárquica, con criterios climáticos, geomorfológicos y edafológicos en cinco categorías: zona, provincia ecológica, sistema terrestre, paisaje terrestre y unidad natural (SEDUE, s.f.). A partir de las unidades ambientales o naturales se define la aptitud o “propiedad de un área para un uso definido” (Bojórquez *et al.*, 1994).

Ramos y Canals (1974) distinguen cuatro grupos generales de usos del suelo: explotación, conservación, recreo y estructurales. En el grupo de explotación se incluyen actividades como la agricultura, la ganadería, el aprovechamiento forestal y la minería. El grupo de conservación comprende actividades como la regeneración de la vegetación autóctona y la creación de áreas protegidas. El grupo recreo está compuesto por actividades como el excursionismo y los deportes acuáticos. El grupo estructurales incluye los desarrollos urbanos e industriales, carreteras y conducciones (agua, electricidad etc.).

En México, el ordenamiento ecológico ha sido definido con base en la experiencia de otros países y se ha conformado con la integración de conceptos que provienen de diferentes disciplinas científicas (Carmona, 1993). Esta autora señala que el ordenamiento ecológico tiene dos fuentes teóricas y metodológicas: el ordenamiento territorial y el ordenamiento económico. Lo que para la planeación territorial es el “plano”, para el caso de la concepción económica de planeación se convierte en un “programa” en el que el sitio de ubicación es tan sólo una de las variables, y se suman a ellos consideraciones de tipo socioeconómico, político, jurídico, antropológico y, en los últimos años, ecológico.

El concepto de ordenamiento ecológico ha evolucionado en la legislación mexicana desde la promulgación de la Ley General de Asentamientos Humanos en 1976 —con el propósito de ordenar el uso del suelo teniendo como base las áreas urbanas—, y la remisión de la Ley de Planeación, en 1983, —con el fin de institucionalizar la planeación económica—, las cuales sirvieron de base para que La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) contemplara en el Capítulo V, sección II, artículos 19 y 20, al "ordenamiento ecológico" como un marco de regulación de las actividades humanas en el territorio nacional (SEDUE, 1988; Carmona, 1993). La definición legal de ordenamiento ecológico proviene de la LGEEPA, que lo considera como "el proceso de planeación dirigido a evaluar y programar el uso del suelo y el manejo de los recursos naturales en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción, para preservar y restaurar el equilibrio ecológico y proteger el ambiente".

Existen varios términos relacionados con el ordenamiento ecológico como son el “ordenamiento ambiental” definido anteriormente y el “ordenamiento territorial”. Una de las definiciones de ordenamiento territorial más completas es la propuesta por Cendrero (1988), quien lo define como "una actividad intelectual a través de la cual se analizan los factores físico-naturales y socio-económicos de un área geográfica, se determinan las formas de uso que se consideran idóneas para cada parte de la misma, se define su amplitud y localización y se establecen las normas que han de regular el uso del territorio y de los recursos en cada área". El objetivo general que se

plantea en la planificación territorial es la conciliación de la "oferta ambiental" con la "demanda social" (Cendrero, 1988). El territorio considerado y sus recursos constituyen la oferta ambiental, mientras que las actividades que a través de distintos agentes, públicos o privados, se pretende implementar, representan la demanda social.

La legislación ambiental mexicana ordena la participación pública en la planificación del desarrollo regional, de tal manera que los intereses sectoriales deben ser tomados en cuenta (Bojórquez *et al.*, 1994). Este autor señala que los valores e intereses sectoriales generan conflictos ambientales. Tales conflictos aparecen cuando las actividades sectoriales dañan o reducen la capacidad de la tierra para otros actores sociales. Sin embargo, la aptitud del uso del suelo es relativa a las necesidades y posibilidades de los actores sociales. En este problema, los análisis de aptitud pueden proporcionar información para seleccionar los usos del suelo que provoquen menos conflictos intersectoriales.

Es conveniente distinguir varias etapas en la elaboración de un proyecto de ordenamiento ecológico. Cendrero (1988) considera tres etapas: planificación, ordenación (o normativa) y manejo y gestión. La primera etapa está constituida a su vez por las fases de análisis, diagnóstico y recomendaciones. De acuerdo con Carmona (1993), en la elaboración de un Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio (POET), son necesarias las fases de organización, descripción, diagnóstico, pronóstico, proposición y ejecución. Es evidente que las cuatro primeras fases son meramente técnicas, mientras que las fases de proposición y ejecución corresponden al área jurídica y administrativa.

Las primeras fases de un POET requieren de compilar la información necesaria y suficiente para describir el medio. Por un lado, se deben considerar las limitantes de información existente como son la fiabilidad, la diversidad de escalas, la antigüedad de los datos y la falta de referencias geográficas que los hace de difícil uso para la planeación física. Por otra parte, es necesario considerar que ante las limitaciones de información y presupuesto, los plazos necesarios se incrementan (Gómez-Orea, 1980). Los datos del inventario deben ser: a) significativos en términos cualitativos y cuantitativos, con respecto al objetivo a cumplir; b) operativos (utilizables); c) fácilmente obtenibles; y d) precisos, es decir, que tengan calidad suficiente y concordancia con el modelo que se va a utilizar para su tratamiento (Gómez-Orea, 1980). Existen propuestas en forma operativa para la toma de datos necesarios y suficiente para describir y analizar el medio en el contexto anteriormente planteado. Gómez-Orea (1980) considera conveniente la integración de un equipo interdisciplinario, dada la naturaleza de las tareas, así como la utilización de técnicas como la Percepción Remota integrada con los Sistemas de Información Geográfica, que permitan hacer más eficientes las tareas de obtención y procesamiento de la información.

En el contexto del ordenamiento territorial, las clasificaciones de tierra, en particular la que se realiza en este trabajo, puede ubicarse en la fase de planificación ya que considera acciones de análisis, diagnóstico y sugerencias para las actividades agropecuarias y forestales. Es evidente que para incidir en el reordenamiento del uso del suelo es necesario pasar a otras fases como la propositiva y de ejecución, para lo cual es necesaria la participación de otras instituciones de este sector. Por lo tanto: a) los conceptos de ordenamiento de esta revisión pueden ser un marco teórico de utilidad para ligar las acciones de planificación con el reordenamiento práctico del uso

del suelo; y b) los resultados de las clasificaciones de tierra realizadas para el sector agropecuario y forestal pueden significar una contribución al ordenamiento territorial (ecológico) que promueve el Instituto de Ecología en el estado de Guanajuato, el cual considera todas las actividades de importancia en la entidad.

### **2.3. LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA**

Según Burrough (1986) y Aronoff (1989), desde las primeras civilizaciones hasta los tiempos modernos, la colección de datos sobre la distribución espacial de las propiedades importantes de la superficie de la tierra han sido representados en mapas. En el siglo XIX se inició el desarrollo de mapas topográficos y temáticos y su demanda aumentó grandemente en el siglo XX. A partir de la década de los 60's, con la disponibilidad de la computadora digital, se inicia el desarrollo de programas de análisis de mapas en este medio. A la misma velocidad del desarrollo de las computadoras, se generan los primeros SIG soportados en la computadora que han dado paso a los sofisticados SIG actuales. Según Aronoff (1989), la diferencia entre un sistema cartográfico digital y un SIG, es que la función del primero es almacenar mapas en forma automática, mientras que la función de un SIG es generar información mediante la integración de capas de información para mostrar los datos originales de diferentes maneras y desde diferentes perspectivas.

Los SIG han sido considerados, desde su origen, como un caso especial y particular dentro de los sistemas de información en general (López, 1994). Al analizar una serie de definiciones sobre los SIG este autor señala que los aspectos más importantes para establecer tales definiciones son las funciones que realiza (capturar, desplegar, guardar, seleccionar etc.) y la clase de información que utiliza (espacial o geográfica y no espacial o de atributos). Otros aspectos considerados en las definiciones son los componentes del sistema (equipo y programas de cómputo, recursos humanos etc.) y la clase de problemas que trata de solucionar con dicha tecnología.

El término “sistema de información geográfica” es inapropiado en muchos aspectos, ya que un SIG es más que un simple sistema de información espacial (Parker, 1988). Aronoff (1989) pone de manifiesto lo inapropiado del término al definir en sentido estricto el concepto de SIG como “cualquier conjunto de procedimientos manuales o basados en la computadora, usados para almacenar y manejar datos geográficamente referenciados”. El mismo autor propone otra definición más operativa al definir los SIG como “un sistema computarizado que proporciona cuatro juegos de capacidades para manejar datos georeferenciados: a) captura; b) manejo de datos (almacenamiento y recuperación); c) manipulación y análisis y d) productos o salidas”.

Una de las definiciones más utilizada, —y bastante similar a la mencionada anteriormente en cuanto a las funciones, tipo de información y por suponer que es una herramienta computarizada—, es la de Burrough (1986) quien define los SIG como “un poderoso juego de herramientas para coleccionar, almacenar, recuperar, transformar y desplegar información espacial del mundo real, para propósitos particulares”. Añade que un SIG describe los objetos del mundo real en términos de: a) su posición con respecto a un sistema de coordenadas conocido, b) sus atributos no relacionados con la posición (tales como color, costo, pH, incidencia de enfermedades, etc.) y c) sus interrelaciones espaciales con cada uno de ellos (relaciones topológicas).

El proceso de sobreposición manual de mapas es eficiente cuando se trabajan pocas variables. Pero, cuando se utilizan muchas variables y patrones complejos, se requiere una sobreposición y análisis automatizado, esto es, la utilización de un SIG (Walsh, 1985). Aronoff (1989) menciona como las principales ventajas de los SIG la capacidad para mantener datos georeferenciados y la eficiencia para integrar múltiples juegos de datos. Por lo tanto, la ventaja de utilizar los SIG es más clara cuando se analizan datos georeferenciados de muchas variables que cubren grandes áreas, que no sería posible con métodos manuales tradicionales no computarizados (Shaw and Atkinson., 1990; López, 1994).

En las aplicaciones de los SIG se presentan dos tipos de error: aquellos presentes en el mapa base, y los que se cometen durante el análisis (Berry, 1993). Los datos espaciales tienen un “que” y un “dónde”, en los cuales se puede incurrir en error durante el análisis, porque se puede etiquetar inadecuadamente la figura o digitizar con falta de exactitud el límite. Sin embargo, la matriz de error que presentan los SIG resume solamente la exactitud de la digitización.

Los elementos esenciales de los SIG son: datos, operaciones, y aplicaciones. Para utilizar la tecnología de SIG se necesita una pila de mapas, ingenio analítico para procesar los mapas, y problemas importantes que resolver.

### **2.3.1. ESTRUCTURA DE LOS DATOS**

Un dato georeferenciado es aquel que tiene dos componentes fundamentales: el fenómeno reportado como una dimensión física o una clase y la localización espacial del mismo (Aronoff, 1989). Los datos espaciales dentro de un SIG son almacenados como una de las tres categorías geométricas básicas: puntos, líneas y polígonos (Parker, 1988; Shaw and Atkinson, 1990).

Dependiendo del SIG, los datos son almacenados en una de las dos estructuras básicas: raster o vector. De acuerdo con Ball (1993), la diferencia entre las dos estructuras radica en la forma como se almacenan juegos de datos georeferenciados. En un sistema raster, o basado en celdas, el dato espacial es representado por un arreglo bidimensional de celdas cuadradas, cada una designada con una dirección X,Y y con un valor asignado (atributo). En los sistemas vectoriales, la línea es representada por un conjunto de puntos conectados, en donde el segmento de línea entre dos puntos puede ser considerada un vector. Las coordenadas de los puntos son almacenadas explícitamente y es posible asignar uno o muchos atributos a cada punto, línea, o polígono dependiendo de la figura de interés. En un sistema raster la unidad de espacio mínima manejable es una celda, mientras que en un sistema vectorial es un polígono.

Se han mencionado una serie de desventajas de los formatos raster con respecto a los vectoriales, debido principalmente a sus altos requerimientos de espacio en disco duro y memoria RAM para realizar el procesamiento de datos, la dificultad para representar figuras lineales así como para imprimir mapas de alta calidad. Sin embargo, los desarrollos tecnológicos en materia de computación en relación a la capacidad de almacenamiento, de manipulación y análisis, y la capacidad de convertir entre sí ambos formatos, minimizan tales desventajas.

Idealmente, un SIG debería almacenar datos tanto en estructuras raster como vectoriales y tener la capacidad de análisis para ambos formatos (Shaw and Atkinson, 1990; Goodchild, 1991). A pesar de la fuerte tendencia en los mercados hacia los sistemas que incluyen tanto los modelos raster como vectorial, la especialización por uno de ellos es notoria. En ambos casos, el modelo de datos puede ser transformado para tener ventaja de acuerdo a la capacidad del sistema (Goodchild, 1991). Un ejemplo de lo anterior es la incorporación del módulo GRID al sistema ARC/INFO como un “intento” de manejar al mismo nivel ambos formatos (ESRI, 1995a).

Ahora bien, las estructuras raster son más adecuadas para sobreposición y modelación cartográfica, mientras que las estructuras vectoriales, lo son para análisis de redes y presentación cartográfica (Valenzuela and Baumgardner, 1990). Es apropiado probar algunas hipótesis utilizando datos vectoriales y otras utilizando datos raster, sin embargo, hay menos inducción de error si se capturan los datos inicialmente como vectores y posteriormente se convierten a raster, que en sentido opuesto: de raster a vector (Johnson, 1993).

El método de captura de datos espaciales depende en gran medida del tipo de dato. La tecnología de principios de los 90's ofrece dos métodos principales de captura: digitización y “escaneo” (Goodchild, 1991). Este autor menciona que la digitización está propensa a errores, es tediosa, consume tiempo y es cara. El escaneo por su parte, está propenso a errores, es caro, y frecuentemente es necesario volver a escanear el documento para lograr una imagen suficientemente “limpia”. Sin embargo, estos métodos constituyen la única forma de digitizar la información espacial existente.

La información para los SIG procedente de sensores remotos se utiliza cada vez más debido principalmente a que es relativamente barata (Goodchild, 1991). Existen muchas ventajas al combinar los datos de sensores remotos con información espacial existente. Los SIG proporcionan el medio para esta integración y al mismo tiempo proporcionan una poderosa herramienta para el análisis cuantitativo de cambios de uso del suelo y revisión y corrección de mapas (Treitz *et al.*, 1992). Sin embargo, es difícil mapear algunas figuras lineales y puntuales, particularmente de manera digital, debido a que éstas no siempre son reconocibles a la resolución espacial de los datos, ni son representadas en su verdadera localidad debido a las distorsiones panorámicas inherentes a la colección de datos del sensor. Una alternativa para la colección de datos puntuales y lineales es el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), cuyos datos son estáticos y proporcionan información posicional de los crecimientos más recientes, no incluidos en los mapas, por ejemplo una nueva carretera (Goodchild, 1991; Treitz *et al.*, 1992).

La manipulación y análisis de los datos es más eficiente gracias a las estaciones de trabajo donde el UNIX ha surgido como el sistema operativo estándar de preferencia en este ambiente, reemplazando tanto a los sistemas operativos de las computadoras centralizadas y los ambientes simples de las PC (Goodchild, 1991).

A pesar de los desarrollos computacionales en el marco de los SIG, existe conflicto entre la amplitud y profundidad de las bases de datos para el estudio de los recursos naturales y culturales. Generalmente, al incrementar el área en estudio es necesario reducir el nivel de detalle

y viceversa. El desafío ha sido tanto obtener datos con suficiente detalle como proporcionar una cobertura uniforme de un área extensa (Robinette, 1991). Por lo anterior, se ha sugerido compilar información al mayor nivel de detalle posible, lo que permite generalizar la información cuando se requiera a escalas menos detalladas.

### 2.3.2. OPERACIONES

Una vez generadas las bases de datos es posible realizar una serie de operaciones (base de la modelación cartográfica), las cuales estarán limitadas a la formulación de las “instrucciones” y a las capacidades del SIG utilizado. Si se considera que un modelo es una representación simplificada del mundo real, cada una de las capas de información de una base de datos SIG puede ser considerada un modelo o una parte (submodelo) del modelo total (la base de datos). Lo anterior se deduce de la siguiente expresión. “El usuario puede hacer una serie de preguntas a un SIG entre las que se incluyen la reclasificación de objetos a partir de ciertas combinaciones de atributos y la utilización de la base de datos digital como un modelo del mundo real, simulando el efecto de procesos (P) en un tiempo (T) para un escenario dado (S)” (Burrough 1986).

A continuación se describen de manera sintetizada, de acuerdo con Tomlin (1990), las operaciones que al ser combinadas y seleccionadas en procedimientos para ser aplicadas a las necesidades de un problema de la realidad, conforman el modelo cartográfico. Los métodos de procesamiento de datos varían dependiendo del SIG utilizado; sin embargo, se puede mencionar que la modelación cartográfica consiste en el procesamiento de datos y en el control de dicho procesamiento. El procesamiento de datos son: actividades que se realizan en una localidad (celdas o píxeles) particular, denominadas “operaciones”; y la secuencia finita de dos o más operaciones con un propósito definido se denomina “procedimientos”. El control del procesamiento de datos consiste en especificar las operaciones, —indicando los datos a los cuales debe aplicarse las operaciones—, y el orden en el cual deben ser ejecutadas (por ejemplo, un archivo de comandos (BAT) de IDRISI, o un programa AML o SML de ARC/INFO). Los principales elementos del control del procesamiento de datos son las instrucciones (comandos) y los programas. Una instrucción es la representación notacional de una operación. Un programa es la representación notacional de un procedimiento.

Las capacidades fundamentales de la modelación cartográfica se dividen de manera general en tres grupos de operaciones de interpretación de datos: a) caracterización individual de localidades; b) caracterización de localidades dentro de una vecindad; y c) caracterización de localidades dentro de una zona (Tomlin, 1990).

El primer grupo incluye aquellas operaciones que calculan un nuevo valor para cada localidad de una capa de información, en función de los datos existentes asociados explícitamente con esa localidad. Se subdividen a su vez en operaciones que generan un nuevo valor para cada localidad a partir de una sola capa de información (la reclasificación de los valores de la misma capa de información y la realización de operaciones algebraicas de dicha capa de información con una constante), y aquellas que lo hacen a partir de valores existentes en dos o más capas (la realización de operaciones algebraicas mediante la sobreposición de dos o más capas de información).

En el segundo grupo, las operaciones de caracterización de localidades dentro de una vecindad calculan un valor para cada localidad en función de su vecindad. Una vecindad es una localidad o un conjunto de localidades que tienen una distancia específica, y/o una relación direccional a una localidad particular llamada foco de la vecindad. Las operaciones de caracterización de la vecindad pueden ser clasificadas de acuerdo a la naturaleza de la relación espacial entre cada vecindad y su foco en: a) las que generan nuevos valores a partir de los valores de localidades vecinas inmediatas (cálculo de pendientes a partir de valores de altitud), y b) operaciones que generan nuevos valores a partir de valores existentes en una vecindad extensa (tipos de vegetación y densidad de viviendas en un área determinada).

El tercer grupo de operaciones de interpretación de datos incluye aquellas que calculan un nuevo valor para cada localidad, a partir de los valores asociados con una zona que contiene a esa localidad. Este grupo se subdivide en operaciones que caracterizan zonas enteras y zonas parciales. Las funciones de zonas enteras pueden ser utilizadas para calcular un nuevo valor para cada localidad que sumaría un conjunto de valores existentes dentro de una zona común (cálculo de distancias). Las operaciones que caracterizan zonas parciales incluyen aquellas que contrastan un valor existente de cada localidad a los valores de una sumatoria estadística de todas las localidades en una zona similar. Esto se hace generalmente mediante: a) la comparación de dos capas de información para determinar qué localidades de la primera caen dentro de qué localidades de la segunda; b) sumarizar los valores de aquellas localidades dentro de cada una de las zonas; c) contrastar el valor inicial de cada localidad a la suma estadística para su zona; y d) registrar ese contraste como el nuevo valor de la localidad (coincidencias entre las zonas de dos capas de información).

### **2.3.3. APLICACIONES**

Según Parker (1988), la principal aplicación de los SIG es al manejo de información sobre los recursos naturales con fines de planificación. Este autor señala que una de las aplicaciones más exitosas a futuro seguramente serán los modelos de simulación aplicados al manejo de recursos y tierras.

El uso de los SIG por ecologistas (Johnson, 1993) ha sido enfocado principalmente hacia: a) la caracterización general de datos espaciales tales como cálculos de distancia, área y volumen; b) la intersección de conjuntos de datos georeferenciados como sobreposiciones para generar mapas compuestos, analizar coincidencias o intersección de figuras, o detectar cambios temporales en una región; c) la relación de las figuras en tiempo y espacio con el fin de predecir, por ejemplo, la ocurrencia de una especie conociendo sus requerimientos; d) análisis de proximidad, eventos ocurridos uno en seguida de otro en lugar de uno encima de otro; e) detección de cambios, por ejemplo, patrones de uso del suelo y cobertura del mismo, la distribución y diversidad de especies, el estado del tiempo y las áreas de conflicto ecológico; y e) integración con modelos ordinales, empíricos y de simulación.

En la práctica, generalmente se combinan diferentes tipos de modelos: ordinales, empírico-estadísticos y de simulación. Sin embargo, antes de describir estos tres tipos de modelos es importante diferenciar entre el “modelo de datos” y el “modelo cartográfico”. El modelo de datos es la expresión matemática del fenómeno de nuestro interés el cual queremos integrar o relacionar con nuestro “modelo cartográfico” el cual está conformado por el conjunto de capas de información (mapas temáticos digitales) del área en estudio (nuestra base de datos espacial).

Los modelos de datos ordinales, o modelos de rango, son los más simples y ampliamente utilizados en conjunción con los SIG (Johnson, 1993). Un ejemplo de éstos, son los aplicados en los estudios previos de este trabajo (descritos en la introducción y en la metodología).

Los modelos “empírico-estadísticos”, a través de técnicas de regresión, establecen la relación entre una o más variables meteorológicas y el rendimiento de cultivos. Los modelos empírico-estadísticos pueden ser divididos de acuerdo a los datos que se disponen, esto es, modelos de un año particular, modelos para datos promedio y modelos para varios años (Ortiz, 1987). Los modelos empíricos son los segundos más frecuentemente integrados con los SIG. En este trabajo se integran modelos empírico-estadísticos con SIG utilizando datos promedio de rendimientos de los cultivos como variables dependientes y características promedio de clima y suelo como variables independientes. Este tipo de modelos han sido utilizados en productividad de cultivos. Desde 1959, en Carolina del Norte, se definen las “ecuaciones empíricas generalizadas” como una expresión matemática cuyo objetivo principal es describir y predecir la relación que existe entre los factores controlables y no controlables de la producción de cultivos (Fitts, 1959, citado por Villalpando, 1975).

Los modelos de “simulación” del desarrollo del cultivo pueden considerarse como una representación simplificada de los mecanismos físicos, químicos y biológicos de las plantas y los procesos de desarrollo de los cultivos. Para su aplicación, es un prerequisite el entendimiento completo de los procesos básicos de las plantas, para generar modelos y con ellos simular la respuesta de la planta al ambiente (Ortiz, 1987). Además de la especialización requerida y el alto grado de control de la información para manejar modelos de simulación, se pueden agregar algunas desventajas al integrarlos con los SIG. Según Johnson (1993), los modelos de simulación de ecosistemas frecuentemente descuidan los procesos y estados en áreas adyacentes, debido a que estos modelos deben correrse independientemente para cada celda. A pesar de la gran capacidad de almacenamiento de los discos duros, procesadores y otros dispositivos de almacenamiento, correr muchos modelos para cada celda requiere que el tamaño de la celda sea más grande; lo que trae como consecuencia la disminución de la exactitud de la estimación o que el área en estudio sea más pequeña, lo que limita la utilidad de las predicciones.

Un modelo cartográfico puede ser representado como una colección de mapas de tal manera que cada una de las capas de información pertenece al mismo sitio. El modelo cartográfico contiene información del área en estudio de manera implícita y explícita. Gran parte de la modelación cartográfica se refiere a las formas en las cuales la información implícita puede ser convertida a la forma explícita (Tomlin, 1990).

De acuerdo con el autor antes mencionado, la modelación cartográfica es la combinación de operaciones seleccionadas en procedimientos confeccionados a las necesidades de aplicaciones particulares. En un principio, los esfuerzos intentan describir en términos geográficos el que “podría ser”. Posteriormente, la modelación frecuentemente tiende a lo que “debería ser”. Por lo tanto, las técnicas de modelación cartográfica son divididas en descriptivas y prescriptivas. Los modelos descriptivos generalmente involucran la selección cartográfica, es decir, el proceso de elegir localidades con el propósito de satisfacer objetivos establecidos. Estos modelos contestan preguntas. Los modelos prescriptivos, por su parte, resuelven problemas.

Se considera que los modelos no cartográficos (modelos de datos), pueden incluir las dos fases (descriptiva y prescriptiva) de los modelos cartográficos, por lo tanto, la única diferencia es que los segundos están enfocados a fenómenos geográficos. Dado que las capas de información de los SIG son matrices de datos susceptibles de aplicárseles cualquier procedimiento matemático o estadístico, se deduce la posibilidad de integrar modelos de datos generados aún sin el propósito de representarlos cartográficamente con modelos cartográficos en un SIG, siempre y cuando: a) los modelos de datos sean representativos de un área con un ámbito geográfico definido; b) existan las bases de datos digitales para el área en estudio o la posibilidad de generarlas (modelo cartográfico); y c) la compatibilidad recíproca entre la información de las bases de datos y la requerida por el modelo de datos (confiabilidad, actualidad, nivel de detalle, etc.).

## **2.4. LA TEORIA DE CONJUNTOS FUZZY**

El concepto de límites de transición gradual ha sido tomado de la teoría de conjuntos fuzzy desarrollada en 1965 por Lotfi A. Zadeh (Altman, 1994; Sui, 1994). A partir de Zadeh, la teoría y aplicación de conjuntos fuzzy ha sido bien documentada en la literatura (Altman, 1994). Según Sui (1994), esta teoría ha sido aplicada exitosamente, principalmente en Asia (Japón es considerado el líder) a los controles operativos de equipos de aire acondicionado, elevadores, lavadoras y hornos de microondas. Los primeros estudios revelan el potencial de la lógica fuzzy en todas las fases de la aplicación (captura, representación, recuperación, análisis y despliegue de datos espaciales) de los SIG (Sui, 1994).

### **2.4.1. LAS TEORIAS DE CONJUNTOS BOOLEANOS Y FUZZY APLICADAS A LOS SIG**

El método del álgebra Booleana es la aplicación de la lógica de verdadero o falso para obtener una respuesta. Verdadero o falso pueden ser expresadas también como presencia o ausencia o como sí o no. En términos de valores de mapas estos son expresados como 1 y 0, también conocidos como “mapas binarios” (Ball, 1993).

Ahora bien, debido al uso de modelos rígidos combinados con los métodos del álgebra Booleana disponibles en los SIG, los límites entre clases están definidos con líneas cortantes en las bases de datos de levantamientos de suelos y clasificaciones de tierras (entre otros), lo cual provoca considerables pérdidas de información, al no tomar en cuenta los supuestos utópicos que

debe cumplir una clase definida con límites cortantes, como son: a) la pureza interna de las entidades; b) la no variación espacial dentro de las unidades de mapeo; y c) la ausencia de error experimental de los atributos medibles de las entidades (Burrough, 1989). Una alternativa útil a la metodología convencional es la teoría de conjuntos fuzzy, la cual es una generalización del álgebra Booleana a situaciones en las cuales los atributos tienen zonas de transición gradual en vez de límites cortantes (Burrough, 1989).

La teoría de conjuntos convencional admite membresía sólo a un conjunto, a diferencia del concepto fuzzy que es utilizado para determinar el grado en que un objeto es miembro de un conjunto (Fisher, 1994). Davidson *et al.* (1994) consideran la metodología fuzzy como un refinamiento de la metodología Booleana la cual tiene solamente dos posibilidades de membresía: completa (valor de 1) o nada (valor de 0). En la metodología fuzzy los individuos que caen fuera del rango de las dos clases definidas se les asigna un valor de membresía entre 0 y 1 dependiendo del grado de cercanía o lejanía a dichas clases (Davidson *et al.*, 1994).

La modelación espacial utilizando modelos rígidos y métodos Booleanos provocan la acumulación y propagación de errores que se acentúan al no considerar el peso de los factores de estratificación (Berry, 1993). Por ejemplo, supongamos que los factores considerados óptimos para la producción de un determinado cultivo bajo condiciones de riego, de acuerdo al especialista, son intervalos definidos de temperatura, profundidad de suelo y pendiente del terreno. Al delimitar las áreas aptas para dicho cultivo de acuerdo a cada uno de los factores mencionados, se observa que toda el área en estudio es apta por temperatura, sin embargo, se reduce a la mitad por la pendiente del terreno y a la cuarta parte al considerar la profundidad del suelo. Si mediante experimentación se demuestra que la temperatura es el factor que determina en un 70% el rendimiento del cultivo en cuestión, mientras que la profundidad y pendiente del suelo tienen un impacto del 15% respectivamente, en el rendimiento del mismo, se deduce que los factores de pendiente y profundidad del suelo enmascaran el efecto del factor clave (la temperatura), reduciendo significativamente las áreas con aptitud.

Siguiendo las notaciones utilizadas en la teoría de conjuntos fuzzy, Kollias y Voliotis (1991) señalan que un conjunto fuzzy consiste en objetos y su respectivo grado de membresía en el conjunto. Si U es un conjunto de objetos, denominado universo, el elemento genérico de U es denotado por u. Un subconjunto fuzzy F de U es caracterizado por una "función de membresía"  $\mu_f(u)$  (U toma valores de 0 a 1), la cual asocia cada elemento u de U a un número  $\mu_f(u)$  que representa el grado de asociación de u en F. De acuerdo a esta notación:

$$F = \int_u \mu_f(u)/u \quad \text{para variables continuas}$$

$$F = \sum_{i=1}^n \mu_f(u_i)/u_i \quad \text{para variables discretas}$$

El símbolo / indica que la operación dentro del signo debe llevarse a cabo con todos los puntos dentro del rango. El símbolo / significa "con respecto a".

Los mismos autores resumen los principios básicos de las operaciones fuzzy de la siguiente manera:

1. Un conjunto fuzzy (F) es el conjunto de puntos en el universo (U) en el cual la función de membresía ( $\mu_f(u)$ ) es el grado de asociación de u en F y es positiva.

2. El valor más alto de F es el límite superior del conjunto de valores  $\mu_f(u)$  en U.

3. Un subconjunto fuzzy F es llamado normal cuando el valor más alto es la unidad, de otra manera F es subnormal. Un conjunto subnormal F puede ser normalizado dividiendo  $\mu_f$  entre el valor más alto de F.

4. A es un subconjunto de B o está contenido en B si (si y sólo si)  $\mu_A(u) \leq \mu_B(u)$  para todos los elementos u de U.

5. El complemento de un conjunto fuzzy A es denotado por  $\tilde{A}$  y es definido por:

$$\tilde{A} = /_u [1 - \mu_A(u)]/u$$

6. La unión de dos conjuntos fuzzy A y B es denotada por A+B (A OR B) y se define por:

$$A+B = /_u [\max \mu_A(u), \mu_B(u)]/u \text{ La unión corresponde al conectivo OR.}$$

7. La intersección de los conjuntos fuzzy A y B es denotada por  $A \cap B$  y es definida por:

$$A \cap B = /_u [\min \mu_A(u), \mu_B(u)]/u \text{ La intersección corresponde al conectivo AND.}$$

8. El producto de los conjuntos fuzzy A y B es definido por:

$$AB = /_u (\mu_A(u) \cdot \mu_B(u))/u$$

9. La potencia p de un conjunto A es definida como:

$$A^p = /_u [\mu_A(u)]^p/u$$

10. Si  $A_1, A_2, \dots, A_n$  son subconjuntos fuzzy de  $U_1, U_2, \dots, U_n$ , respectivamente, el producto cartesiano de  $A_1, A_2, \dots, A_n$  es denotado por  $A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$  y es definido como un subconjunto fuzzy de  $U_1 \times U_2 \times \dots \times U_n$  cuya función de membresía es expresada por:

$$\mu_{A_1 \times \dots \times A_n}(u_1, \dots, u_n) = \min (\mu_{A_1}(u_1), \dots, \mu_{A_n}(u_n))$$

Con apoyo en lo anterior, en este trabajo se decidió utilizar tanto variables continuas como discretas, se clasificaron las funciones de membresía que teóricamente pueden presentarse, se dedujo la forma de normalizar las funciones de membresía (puntos 2 y 3) y la posibilidad de realizar algunas operaciones de mapas (puntos 6, 7 y 8).

## 2.4.2. LAS APLICACIONES DE LA TEORIA DE CONJUNTOS FUZZY A LA CLASIFICACION DE TIERRAS

La metodología fuzzy se ha aplicado tanto a los levantamientos de suelo para generar bases de datos como a las clasificaciones de tierras (Burrough *et al.*, 1992). Las variables continuas de las bases de datos (como los factores topográficos y climáticos) son totalmente compatibles con el enfoque fuzzy, a diferencia de las variables discretas (como las características del suelo). Sin embargo, se han hecho clasificaciones de tierras adaptando el enfoque fuzzy a bases de datos que, además de variables continuas, contienen datos discretos del suelo, generados con métodos convencionales de límites precisos (polígonos) (Davidson *et al.*, 1994).

Las condiciones básicas en la aplicación del enfoque fuzzy son: a) la determinación de las funciones de membresía de las propiedades relevantes de la tierra (factores de estratificación); y b) la asignación de una ponderación a cada función de membresía para la determinación de la aptitud total (Davidson *et al.*, 1994). En la mayor parte de las aplicaciones de este enfoque se han utilizado estimaciones basadas en la experiencia para definir los factores de estratificación, las funciones de membresía y su efecto en el rendimiento de los cultivos (ponderación). Sin embargo, se han utilizado modelos empírico-estadísticos para definir dichos parámetros con menor subjetividad (Tang *et al.*, 1991).

A continuación se describe los aspectos metodológicos más importantes de la aplicación del enfoque fuzzy a la clasificación de tierras a partir de una base de datos generada mediante métodos convencionales de acuerdo con Davidson *et al.* (1994). En este estudio se considera que una dificultad tanto en la metodología Booleana como fuzzy es la determinación de la relevancia de las propiedades particulares de la tierra para cultivos individuales. Otra dificultad es que las unidades de medida dadas en los requerimientos, frecuentemente no corresponden a la información de las bases de datos.

La determinación de la aptitud total para cada especie (JMF<sub>x</sub>) tiene que estar basada en una ponderación ( $\lambda_A, \lambda_B, \dots, \lambda_Z$ ) de las propiedades relevantes (por ejemplo, precipitación, profundidad del suelo, y temperatura). Esta debe hacerse a partir de las funciones de membresía individuales (MTF<sub>x</sub>) para proporcionar una suma ponderada de las diferentes propiedades de la tierra (A, B, ..., Z).

$$JMF_x = \lambda_A MTF_A + \lambda_B MTF_B + \dots + \lambda_Z MTF_Z$$

donde:  $\lambda_A + \lambda_B + \dots + \lambda_Z = 1$

La selección de las ponderaciones que reflejan la importancia de cada propiedad del suelo ( $\lambda_A + \lambda_B + \dots + \lambda_Z = 1$ ) es fundamental en la aplicación de este enfoque. En el trabajo de Davidson *et al.* (1994), la selección de ponderaciones fue basada en tres consideraciones: a) la experiencia del "Consejo Agronómico" local; b) los requerimientos de las especies; y c) los coeficientes del análisis de regresión para predicción de rendimiento.

Se ha utilizado información de rendimientos observados para comparar con los resultados de la aplicación del enfoque fuzzy (Tang and Van Rast, 1992). También se han utilizado ecuaciones de regresión múltiple, entre el rendimiento de los cultivos y las propiedades de la tierra para definir los factores de estratificación (Tang and Ruan, 1992). Además de utilizar el análisis de regresión múltiple para definir los factores de estratificación, el coeficiente de correlación de cada factor individual (análisis de regresión simple) se ha utilizado para definir el peso que debe darse a cada factor (Tang *et al.*, 1991).

Algunas aplicaciones del enfoque fuzzy a la clasificación de tierras con fines agrícolas han utilizado como referencia la metodología de Zonas Agroecológicas (FAO 1978, 1981), o metodologías generadas en el marco de este método. Algunas comparaciones han sido reportadas por Wang *et al.* (1990), Tang *et al.* (1991), Tang and Van Ranst (1992), Tang and Ruan (1992), y Van Ranst *et al.* (1996).

### 2.4.3. INTERPRETACION DE LAS CLASIFICACIONES FUZZY

Existe confusión entre los investigadores de SIG respecto a la diferencia entre los modelos de probabilidad y la función de membresía fuzzy, debido principalmente a que ambos utilizan la escala de medición de 0 a 1 (Fisher, 1994). Este autor señala la diferencia entre ambos demostrando que el modelo de probabilidad es un fenómeno Booleano (existe o no existe), en el contexto de los SIG sería existe o no en una localidad.

Por otra parte, Kollias y Voliotis (1991) señalan que en lugar de considerar la función de membresía ( $\mu_f(u)$ ) como el grado de asociación de  $u$  en  $F$ , ésta puede ser interpretada como una medida de la posibilidad de que una variable  $X$  tenga un valor de  $u$ . Así, la posibilidad de distribución de  $x$  es un conjunto fuzzy, el cual sirve para definir la posibilidad de que  $X$  pueda tomar cualquier valor específico en  $U$ . Tanto el concepto de posibilidad como el de probabilidad se utilizan para manipular imprecisión o incertidumbre, sin embargo, la suma de las probabilidades no rebasa 1.0 en  $U$  mientras que los valores de posibilidad no están restringidos de esa manera. Sin embargo, bajos valores de posibilidad implican bajos valores de probabilidad (lo inverso no es verdad), por lo tanto, si un evento es imposible está limitado a ser improbable.

### 3. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

Se seleccionó como área en estudio el Distrito de Desarrollo Rural 004 Celaya (DDR 004), por ser el que ofrece los mayores contrastes de las cuatro zonas que desde un punto de vista agrícola se distinguen en el estado de Guanajuato como son: la región de El Bajío, la zona de transición entre El Bajío y Valles Altos, Valles Altos y áreas con bosques (Tapia y García, 1991). Además, en este Distrito se encontró información estadística y geográfica más completa.

El DDR 004 cuenta con una superficie de 387,220.3 ha equivalentes al 12.7% de la superficie estatal (3'058,900 ha) (INEGI, 1993b). Se localiza al sureste del estado de Guanajuato, entre los 19° 59' y los 20° 49' de latitud Norte y entre los 100° 19' y los 101° 08' de longitud Oeste. Está integrado por los municipios de Santa Cruz de Juventino Rosas (37,290 ha), Comonfort (61,962 ha), Celaya (56,097.4 ha), Apaseo el Grande (39,878 ha), Apaseo el Alto (49,181.2 ha), Tarimoro (36,688.2 ha), Jerécuaro (90,944.1 ha) y Coroneo (15,179.4 ha). Colinda al norte con el DDR 001 (Dolores Hidalgo), al sur con la Presa Solís (DDR 005) y con el estado de Michoacán, al este con estado de Querétaro y al oeste con el DDR 005 (Cortazar). Operativamente se divide en dos Centros de Apoyo al Desarrollo Rural (CADER): Celaya y Jerécuaro. El CADER de Jerécuaro está integrado por los municipios de Coroneo y Jerécuaro, y el de Celaya por los seis municipios restantes. Cada municipio cuenta con una promotoría, a excepción del municipio de Celaya que cuenta con dos. En la Figura 1 se presenta la localización del DDR 004, los municipios que lo integran y los principales centros de población.

Casi la totalidad de la superficie del Distrito forma parte de la provincia fisiográfica Eje Neovolcánico y comprende parte de las subprovincias Bajío Guanajuatense, Sierras y Bajíos Michoacanos, Llanos y Sierras de Querétaro, y Sierras Volcánicas y Lagos del Centro. Una pequeña parte del noroeste queda comprendida en la subprovincia Llanuras y Sierras del Norte de Guanajuato de la provincia Mesa del Centro. Los principales sistemas de topofomas son llanuras de aluviones profundos, llanos con lomeríos, llanuras con lomeríos, y sierras (SPP, 1980).

A continuación se describen los tipos de vegetación (SPP, 1980) asociados con las características fisiográficas. Las llanuras de aluviones profundos corresponden con la zona agrícola de El Bajío. Los tipos de vegetación en este sistema, desplazados en gran medida por la agricultura de riego, son: mezquital, matorral subtropical, matorral crasicaule, pastizal halófilo y pastizal inducido. Los llanos con lomeríos es el paisaje característico de la zona de transición entre El Bajío y Valles Altos, en donde se practica agricultura de temporal y riego, ocupa la mayor parte de la superficie del Distrito excluyendo la región de El Bajío y los municipios de Jerécuaro y Coroneo. Sus principales tipos de vegetación son: matorral subtropical y matorral crasicaule. Las LLanuras con lomeríos se ubican en los municipios de Jerécuaro y Coroneo, concuerdan con los Valles Altos destinados a la agricultura de temporal. En este sistema el principal tipo de vegetación es el pastizal inducido. A excepción de El Bajío, se observan sierras aisladas en el resto del Distrito con altitudes desde los 2,000 hasta más de 3,000 m. Los tipos de vegetación en estas áreas son: matorral subtropical, chaparral, matorral crasicaule y pastizal natural e inducido. Las sierras ubicadas en el sur presentan bosque de encino, bosque de pino y asociaciones de ambos.

En el DDR 004 afloran, en orden de importancia de acuerdo a su superficie, los siguientes tipos de rocas: a) ígneas extrusivas del período cuaternario (cenozoico), ubicadas principalmente en la zona de transición entre El Bajío y Valles Altos; b) ígneas extrusivas del período terciario (cenozoico) que concuerdan en gran medida con las Valles Altos y las áreas con bosques; c) suelos del período cuaternario que corresponden prácticamente con el área de Bajío; d) sedimentarias clásticas del período terciario en las inmediaciones de la presa Solís; y e) alternancia de sedimentarias clásticas y químicas del período cretácico (mesozoico) y metamórficas del período triásico (mesozoico), localizadas en la parte correspondiente a la provincia Mesa del Centro (SPP, 1980; INEGI, 1997).

El DDR 004 queda comprendido en la Región Hidrológica "Lerma-Chapala-Santiago" (No. 12). Abarca parte de las siguientes cuencas: del río Lajas (12-H), del río Lerma-Salamanca (12-B) y del río Lerma-Toluca (12-A) (SPP, 1980; INEGI, 1998a). En los municipios de Celaya y Comonfort se ubica el Distrito de Riego (DR) 085, "La Begonia", con una superficie total de 14,440 ha, de las cuales 12,390 son regables; se beneficia con los escurrimientos de la cuenca del río Lajas controlados por la presas Ignacio Allende (251 millones de m<sup>3</sup>) e Isidro G., Orozco Portugal (Neutla) (5 millones de m<sup>3</sup>), y algunos pozos profundos (38 millones de m<sup>3</sup>) (INEGI, 1998a). Si se considera que la superficie total regable en el DDR 004 es de 80,092 ha (SARH, 1993) y que el DR 85 es la única área considerable de riego por gravedad, queda de manifiesto la importancia del riego por bombeo de pozos profundos en este Distrito.

Los acuíferos ubicados en este Distrito son: Valle de Celaya, Valle la Cueva, Valle de Acámbaro y Zona de riego de la presa Solís. En el acuífero Valle la Cueva existe un equilibrio entre la extracción y la recarga anual, mientras que en los tres acuíferos restantes la extracción anual es mayor que la recarga, teniendo como consecuencia el abatimiento progresivo de los mismos. Por lo anterior, actualmente todo el DDR 004 se considera zona de veda para la explotación de las aguas del subsuelo para fines de riego agrícola (INEGI, 1998a). Esta sobreexplotación presenta para este Distrito, y en general para la entidad, una situación difícil que se agrava por la también decreciente cubierta de vegetación natural, que no propicia una adecuada infiltración de los escurrimientos.

La superficie regada varía en espacio y tiempo debido, entre otras causas, a la disminución de la capacidad de aprovechamiento de los pozos, la rehabilitación de otros, el costo creciente del agua de riego al bombearla de mayores profundidades, y el riego por gravedad condicionado a la disponibilidad de agua en la presa de acuerdo a las precipitaciones. Lo anterior, dificulta la posibilidad de obtener un mapa suficientemente detallado y confiable de la superficie regable, razón por la cual, en este estudio, no se incluyó la superficie regable como un criterio de estratificación para los cultivos de riego.

Las unidades de suelo dominantes son los Vertisoles, Phaeozems y en menor proporción los Litosoles en las elevaciones más pronunciadas. A excepción de El Bajío son muy escasas las áreas sin fases físicas (suelos con profundidad mayor de 1.0 m). Los Vertisoles presentan fases químicas en aproximadamente 10,000 ha clasificadas como "salino-sódicos", "sódicos", y "moderadamente salino-sódicos" (CETENAL, 1973-1974a). Los Vertisoles y los Phaeozems no presentan restricciones para la producción de muchos cultivos, mientras que los Litosoles se consideran no aptos para la agricultura (FAO, 1978; FAO, 1981).

Desde el punto de vista de productividad agrícola, "El Bajío Guanajuatense" se define como el área con altitudes entre 1,600 a 1,800 msnm, suelos profundos y con pendientes menores de 4%. Las unidades de suelo dominantes en esta área son los Vertisoles y Phaeozems. El Bajío Guanajuatense comprende en este Distrito 50,396 ha (15.7%), repartido principalmente entre los municipios de Celaya, Apaseo el Grande, Tarimoro y Santa Cruz de Juventino Rosas. En general, esta región es considerada un área de alta productividad a nivel nacional para la agricultura de riego.

La precipitación presenta un gradiente positivo de noroeste a sureste. Las cantidades anuales acumuladas en el noroeste varían de menos de 600 mm hasta más de 800 mm en el extremo sureste. La temperatura media anual en El Bajío alcanza valores superiores a los 19°C. En el centro predominan las temperaturas entre 17 y 18°C, y las partes más frescas (menores de 15°C) se ubican principalmente al sureste del Distrito, en las máximas elevaciones.

De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda de 1995 (INEGI, 1996a) el DDR 004 cuenta con una población total de 695,379 habitantes distribuidos en 1,150 localidades, de las cuales solamente 11 rebasan los 5,000 habitantes. Sobresale la Cd. de Celaya con el 36 % de la población del área en estudio (251,724 habitantes) y tercer lugar a nivel estatal después de León e Irapuato. Las áreas urbanas han sido tradicionalmente agrícolas, donde se observa una gran asociación entre las áreas urbanas actuales y las potenciales para la agricultura, esto es particularmente evidente en la región de El Bajío (García, *et al.*, 1996).

Las tierras laborables ascienden a 237,175 ha de las cuales 80,092 ha corresponden a la agricultura de riego y 157,083 ha a la agricultura de temporal. Se destinan a uso pecuario 70,013 ha, 26,750 a uso forestal, y 41,361 ha a otros usos SARH (1993). En el cuadro 1 se presenta el uso actual del suelo para el área en estudio, desagregado por municipio. De las 20,940 unidades de producción rurales reportadas para el DDR 004, 17,921 presentan, además, la actividad ganadera (o ganadera exclusivamente) y/o forestal (2,134 unidades) con actividad básicamente de recolección para uso doméstico (INEGI, 1997). En el sector industrial se registran 1,754 unidades económicas con un total de 22,679 empleados. El comercio cuenta con 9,869 establecimientos con un total de 24,194 empleados (INEGI, 1997).

La longitud de la red carretera es de 943 km, de los cuales 192 km corresponden a la carretera troncal federal, 218 km a carreteras alimentadoras estatales pavimentadas, y 533 km entre caminos rurales revestidos, carreteras revestidas, y brechas mejoradas (INEGI, 1997). Las vías de comunicación, así como las actividades industriales y comerciales, se concentran en el área de El Bajío.

Cuadro 1. Uso del suelo en el Distrito de Desarrollo Rural 004 Celaya, Guanajuato, de acuerdo con estadísticas de la SARH (1993).

Municipios	CLASES DE USO ha (%)					Otros usos
	Agrícola de riego	Agrícola de temporal	Pecuario	Forestal		
Apaseo el Alto	5,150 (6)	22,454 (14)	6,511 (9)	0 (0)	6,801 (16)	
Apaseo el Grande	16,450 (21)	13,239 (8)	8,700 (12)	0 (0)	8,159 (20)	
Celaya	23,475 (29)	11,050 (7)	12,650 (18)	0 (0)	7,122 (17)	
Comonfort	5,195 (7)	18,783 (12)	10,000 (14)	0 (0)	8,283 (20)	
Coroneo	1,976 (2)	11,808 (8)	1,800 (3)	1,750 (7)	1,734 (4)	
Jerécuaro	7,600 (10)	55,650 (35)	9,980 (14)	18,000 (67)	2,411 (6)	
Santa Cruz de Juventino Rosas	10,700 (13)	12,800 (8)	13,800 (20)	2,000 (7)	3,160 (8)	
Tarimoro	9,546 (12)	12,099 (8)	6,572 (9)	5,000 (19)	3,691 (9)	
<b>Total</b>	<b>80,092</b>	<b>157,083</b>	<b>70,013</b>	<b>26,750</b>	<b>41,361</b>	

Fuente: SARH, 1993. Coordinación General de Delegaciones.

## 4. METODOLOGIA

En este capítulo primero se hace una descripción general de las actividades de acuerdo al diagrama de flujo de la metodología general de este trabajo (ver Figura 2). Posteriormente se describen dichas actividades con mayor detalle haciendo énfasis en la generación de las bases de datos a nivel estatal, así como la aplicación del enfoque fuzzy, por ser actividades más laboriosas que implican muchos pasos y son representadas en la figura por una elipse.

Se utilizó como herramienta el sistema ARC/INFO (ESRI, 1994; ESRI, 1996a) para: a) digitizar la información vectorial (líneas) de la base de datos de suelo, de las fotografías aéreas, después de haber sido interpretadas, y de la cartografía de uso del suelo CETENAL (1973-1974b); b) generar un mapa con los puntos que representan las poblaciones de más de tres viviendas; y c) anexar los datos de Población y Vivienda del Censo de 1995 correspondientes a cada una de las poblaciones. El sistema IDRISI (Eastman, 1992a, Eastman, 1992b; Eastman, 1997) se utilizó para: a) procesar la información raster (celdas o píxeles) de las bases de datos de clima y topografía; b) realizar el proceso de modelación espacial (sobreposición de mapas), y c) para la caracterización física de las áreas con uso inadecuado. El sistema ArcView (ESRI, 1995b; ESRI, 1996b) se utilizó para realizar la caracterización socioeconómica de las áreas con uso inadecuado y además para editar y enviar a impresión los mapas de presentación.

A partir de los mapas digitales de suelo topografía y clima, y de acuerdo al enfoque fuzzy, se clasificó la aptitud de uso del suelo para cada una de las especies vegetales consideradas estratégicas para el área en estudio. El enfoque fuzzy se aplicó en dos modalidades, en función de la información disponible: a) un método para los cultivos de importancia agrícola que cuentan con datos de productividad, y b) un método alternativo para las especies de importancia pecuaria y forestal que no cuentan con datos de productividad. Sobreponiendo los mapas de aptitud para las especies de importancia agrícola, agrupadas en temporal y riego, y la consideración de un criterio económico (relación costo-beneficio), se sugirió el uso potencial del suelo para la agricultura bajo las dos condiciones de humedad. El uso actual se delimitó a partir de la fotointerpretación y digitización de 36 fotografías aéreas a escala 1:75,000 de 1993 (INEGI, 1993a). El uso pasado del suelo se obtuvo mediante la digitización de la cartografía de uso del suelo a escala 1:50,000 (CETENAL, 1973-1974b).

Se aplicaron los métodos de Provincias Agronómicas (a los cultivos básicos de temporal) y Potencial Productivo (a cultivos de temporal no básicos, cultivos de riego y especies de importancia pecuaria y forestal) para determinar las zonas con potencial para las especies estratégicas, utilizando las mismas bases de datos. Los resultados obtenidos con estos métodos se compararon con las dos modalidades del enfoque fuzzy (con y sin datos de productividad). Esta comparación permitió señalar algunas ventajas y desventajas del enfoque fuzzy, y por tanto, la conveniencia de su utilización.

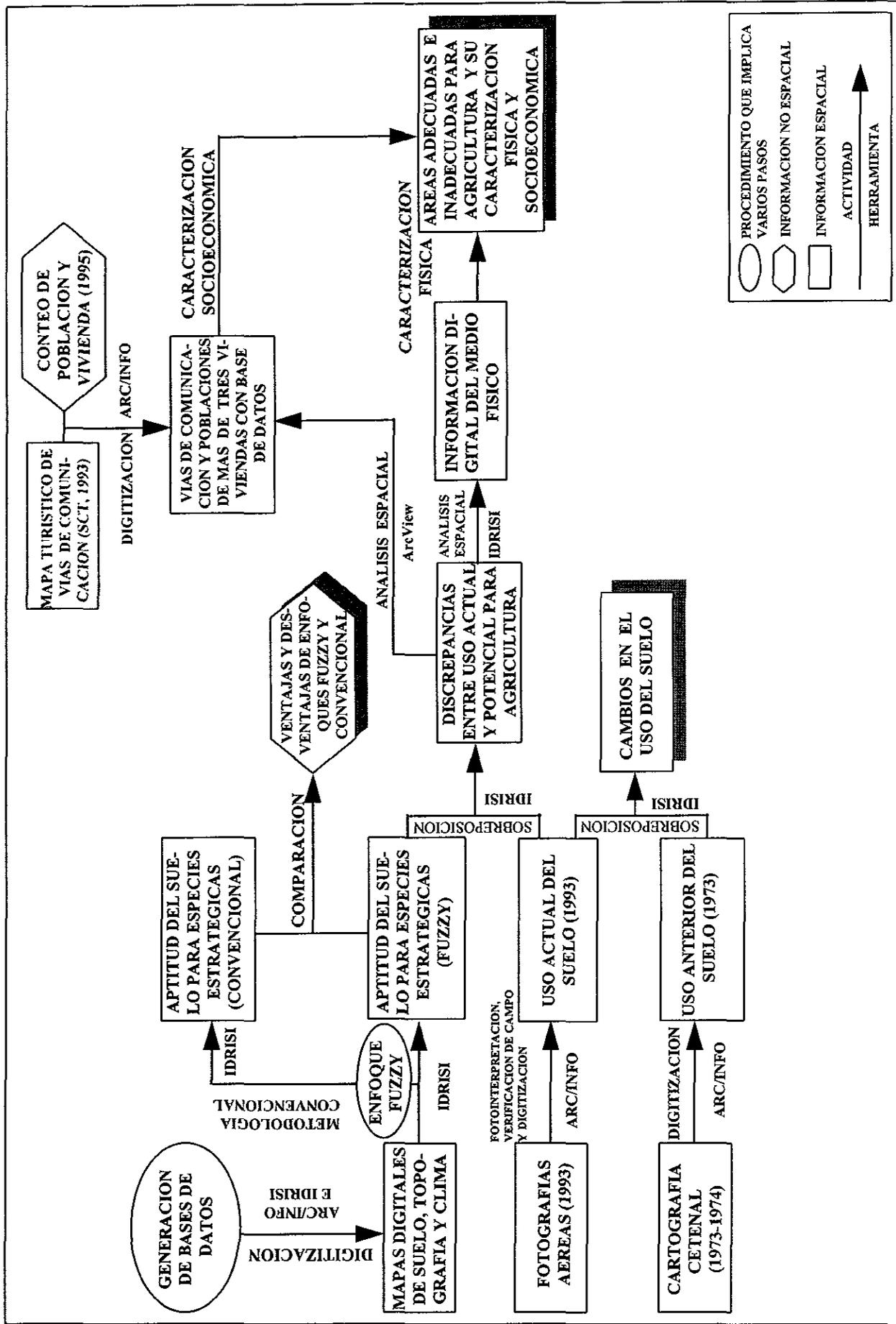


FIGURA 2. DIAGRAMA METODOLÓGICO GENERAL PARA SUGERIR LA APTITUD DE USO DEL SUELO DEL DISTRITO DE DESARROLLO RURAL 004 CELAYA, GUANAJUATO.

La sobreposición del uso anterior con el uso actual, permitió determinar los cambios más importantes que se han realizado en el uso del suelo en un período de 20 años (1973-1993). Mientras que la diferencia entre el uso actual y potencial para agricultura de temporal y riego, permitió la ubicación de las áreas con uso adecuado e inadecuado para la agricultura bajo las dos condiciones de humedad. La caracterización de estas áreas, desde el punto de vista físico, se hicieron de acuerdo a la bases de datos digitales de suelo, topografía y clima. La caracterización socioeconómica se hizo con base en los datos del Censo Población y Vivienda de 1995 (INEGI, 1996b) y vías de comunicación (SCT, 1993).

#### **4.1. GENERACION Y VERIFICACION DE LAS BASES DE DATOS**

Las bases de datos que se generaron para este trabajo se pueden dividir en: espaciales (suelo, topografía, clima, uso pasado y actual del suelo, y referencias de ubicación) y no espaciales (estadísticas de productividad de cultivos e información sobre los requerimientos de los cultivos). Fue necesario generar bases de datos de suelo, topografía y clima a nivel estatal por las siguientes razones: a) para llevar a cabo el proyecto “*Zonas potenciales para la producción de las principales especies vegetales en el estado de Guanajuato*” (García *et al*, 1996) que permitió la adquisición de la mayor parte de los recursos necesarios en este trabajo; y b) porque es necesario contar con mayor cantidad de datos por municipio para aplicar el enfoque fuzzy a los cultivos con información de productividad.

Con el propósito de tener evidencias que nos permitieran detectar las variables que deben ser descartadas, ajustadas, actualizadas o tomadas con reserva por haber cambiado a través del tiempo, se realizó una verificación de las características más importantes de la base de datos de suelos, se comparó el Modelo de Elevación Digital con otros datos de altitud (obtenidos de cartas topográficas escala 1:50,000 y de bancos de nivel), y se señalaron, en general, las características que pueden dar idea de la confiabilidad del resto de las bases de datos.

##### **4.1.1. BASE DE DATOS DE SUELO**

De las 51 cartas edafológicas escala 1:50,000 que cubren el estado de Guanajuato (CETENAL, 1973-1974a), son necesarias 13 de ellas (F-14-C-53, F-14-C-54, F-14-C-55, F-14-C-63, F-14-C-64, F-14-C-65, F-14-C-74, F-14-C-75, F-14-C-76, F-14-C-84, F-14-C-85, F-14-C-86, y E-14-A-15) para cubrir la totalidad del área en estudio. La digitización y despliegue de cartas se realizó en el módulo ARCEDIT del ARC/INFO y el resto de los procesos se realizaron en el módulo ARC. A las cartas digitizadas se les creó topología, se empataron los polígonos abiertos de coberturas vecinas, se georeferenciaron con la proyección Universal Transversa de Mercator (UTM) y se unieron para generar una sola cobertura. La cobertura total fue recortada con los límites del área en estudio, eliminando las áreas con una superficie menor de 2.5 ha, resultando finalmente 720 polígonos.

A cada uno de los polígonos se les asignó una etiqueta con los siguientes atributos: unidades de suelo dominantes (para el área en estudio se presentaron 14 unidades de suelo dominantes), secundarias y terciarias; tres categorías de textura de suelo; fases físicas y químicas; y tres categorías de pendiente. Para las unidades de suelo, texturas y pendientes se les asignó la misma simbología de la cartografía. A las fases físicas y químicas se les asignó un número progresivo correspondiente al orden en que aparecen en la simbología. Las coberturas (mapas) fueron convertidas a formato raster ("rasterizadas") e importadas al sistema IDRISI para ser analizadas con el resto de las capas de información.

Debido a la antigüedad de la información de suelos de CETENAL (1973-1974a), se decidió verificar esta base de datos. Para verificar los principales tipos de suelo, se cotejaron las propiedades establecidas por FAO/UNESCO para definir las unidades y subunidades de suelo (FAO, 1978; FAO, 1981) con resultados de análisis existentes y de un muestreo realizado para tal efecto. Los análisis disponibles en el laboratorio del Campo Experimental Bajío (CEBAJ) corresponden principalmente a Vertisoles y Phaeozems para el área agrícola de riego, por lo que se realizó un muestreo y análisis complementario dirigido a los polígonos con unidades de suelos dominantes diferentes de los anteriores, ubicados principalmente en áreas agrícolas de temporal y no agrícolas. Por otra parte, se realizó un muestreo dirigido a los cinco polígonos correspondientes a las áreas con fases químicas, por considerar que ésta es una de las características del suelo más dinámicas espacial y temporalmente. Para esto se analizaron 20 muestras a dos profundidades para determinar el grado de salinidad y/o sodicidad de las áreas cartografiadas con fases químicas. El muestreo de suelos se realizó a dos profundidades (0 a 30 y 30 a 60 cm) y se consideró la heterogeneidad y extensión del polígono en cuestión para definir el número de muestras. Por considerar a la fase física pedregosa como la más dinámica, se eligió un área con esta característica, de acuerdo a la cartografía, y se verificó mediante observaciones directa en las parcelas y con la información de las autoridades ejidales y de los propios usuarios.

#### **4.1.2. BASE DE DATOS TOPOGRAFICA**

El Modelo de Elevación Digital (MED) utilizado en México en diferentes estudios, fue producido por INEGI. Este modelo fue originado en los Estados Unidos a partir de cartas topográficas escala 1:250,000, y mediante interpolaciones se generó un dato de elevación aproximadamente a 90 x 90 m. Por conveniencia, para este trabajo, el MED se adquirió procesado a una resolución de 100 x 100 m equivalente a 1.0 ha. A partir del MED se generó en IDRISI su respectivo mapa de pendientes del terreno para el estado de Guanajuato. Este mapa de pendientes se recortó de la misma manera que el MED con los límites del DDR 004.

El MED utilizado como apoyo en diferentes estudios por el INIFAP no ha sido sujeto a una verificación o validación. Dado que en este trabajo se utilizó el MED para estudios de mayor precisión, se consideró necesario definir su confiabilidad. Por lo anterior, se verificó el MED para el área en estudio y el mapa de pendientes generado a partir del mismo con el propósito de conocer su confiabilidad. La confiabilidad del MED se definió mediante un análisis de regresión lineal simple, entre los propios datos del MED obtenidos directamente de la computadora

mediante un muestreo sistemático cada cinco minutos de grado y los obtenidos en la localidad correspondiente en las cartas topográficas escala 1:50,000 (CETENAL, 1972-1974). También se realizó otro análisis utilizando datos de altitud de bancos de nivel topográficos y de precisión (generados principalmente durante la construcción de carreteras, compilados, ubicados y comercializados por el INEGI) y la altitud obtenida del MED en la localidad correspondiente. Las pendientes se verificaron mediante un análisis de regresión entre los datos de pendiente del MED obtenidos en un muestreo sistemático y los obtenidos de las cartas topográficas escala 1:50,000 (CETENAL, 1972-1974).

#### **4.1.3. BASE DE DATOS DE CLIMA**

La información climática diaria del estado de Guanajuato procede de la gerencia estatal de la Comisión Nacional del Agua (CNA), contenida en el paquete CLICOM 3.0 (WCDP, 1992). Sin embargo, para realizar las interpolaciones climáticas se seleccionó información de 164 estaciones ubicadas dentro del estado e información de 136 estaciones de los estados vecinos ubicadas aproximadamente a 30 minutos de grado del límite estatal.

Con apoyo del Programa de Matemáticas Aplicadas del CEBAJ fue revisada y depurada la información climática de las 331 estaciones. Se corrigieron u omitieron los datos dudosos y se eliminaron las estaciones con menos de 15 años de observaciones, se calcularon los promedios decenales y se procesaron los programas para obtener mapas decenales de las temperaturas promedio máxima y mínima y de precipitación y evaporación acumuladas decenalmente. Se realizaron 36 mapas de cada variable.

Para interpolar los datos climáticos de las variables antes mencionadas, se adecuaron al lenguaje C los programas originales de los estudios de Potencial Productivo que se realizaron en lenguaje Basic considerando básicamente las siguientes modificaciones: a) el número de estaciones para calcular los valores de cada celda (área con el máximo nivel de detalle, en este caso de 100 m x 100 m) se incrementó de cuatro a 16; b) las estaciones que intervinieron en el cálculo de los valores para cada celda se seleccionaron de los cuatro puntos cardinales; y c) se generaron mapas de normales climatológicas (datos promedio) de períodos decenales en lugar de mensuales. En los programas de temperatura interviene el MED en código ASCII, debido a que es necesario realizar un ajuste por altitud. El ajuste por altitud (gradiente altotérmico) fue estimado a nivel local en base a un análisis de regresión entre altitud y temperatura para cada decena.

Una vez que se procesaron los modelos se generaron 144 mapas (36 decenas del año por cuatro variables). Posteriormente se recortaron los mapas con los límites del área en estudio para poder ser utilizados en la siguiente fase del proyecto. A partir de los mapas básicos (temperaturas máxima y mínima, precipitación y evaporación) se generaron otros índices climáticos, como la temperatura media decenal y anual, el índice precipitación / evaporación y la precipitación anual acumulada.

#### 4.1.4. USO DEL SUELO

El objetivo principal de la clasificación del uso del suelo es apoyar el conocimiento de: a) la localización de las áreas agrícolas de riego, temporal, y agricultura nómada, así como los tipos de cultivos que se siembran en esas áreas; b) la distribución de las áreas dedicadas a la ganadería; c) la localización de las áreas de interés forestal; d) los principales tipos de vegetación; e) el grado de afectación de los recursos vegetales y su dinámica de uso; f) la información básica para la enseñanza e investigación sobre los recursos naturales; y g) el marco general para el señalamiento de políticas a nivel nacional, regional y local, que permitan el mejor aprovechamiento de los recursos naturales (INEGI, 1990).

La información cartográfica de uso del suelo disponible para el estado de Guanajuato es: a) cartas de uso del suelo, escala 1:50,000, de la Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL, 1973-1974b); b) las cartas de vegetación y agricultura, escala 1:500,000, del anexo cartográfico de la Síntesis Geográfica del estado de Guanajuato (SPP, 1980); c) cartas de uso del suelo, escala 1:1000,000, del Atlas Nacional del Medio Físico (SPP, 1981); y d) cartas de uso del suelo y vegetación a escala 1:250,000 (SPP 1984, 1989 y 1991). La información cartográfica más reciente de uso del suelo son las cartas del Inventario Forestal Nacional (Sorani *et al.*, 1993) escala 1:250,000, y los “espaciomapas” escala 1:250,000 editados por INEGI (1998b).

Las manchas urbanas y la infraestructura carretera han sufrido cambios muy significativos. El crecimiento espacial de algunas ciudades ha sido actualizado eventualmente por el INEGI y puestos a disposición del público en cartas urbanas y “fotomapas” a escalas grandes (INEGI, 1994). Las vías de comunicación son actualizadas periódicamente y publicadas en mapas turísticos de comunicaciones y transportes a escalas pequeñas (SCT, 1993).

De acuerdo con los objetivos de este trabajo, la escala 1:50,000 es adecuada, sin embargo, el uso del suelo es el tema que más rápidamente ha quedado obsoleto por la dinámica de los cambios (otros temas a esta escala son edafología, topografía y geología). A pesar de ser obsoleta en algunos aspectos, esta información histórica es de utilidad como referencia para conocer la magnitud de los cambios y la evolución del uso del suelo al compararla con información más reciente. Por lo anterior, en este trabajo, se digitizó el uso anterior del suelo a partir de la cartografía de CETENAL (1973-1974b) para compararlo con el uso del suelo delimitado a partir de fotografías aéreas de 1993, a escala 1:75,000 (INEGI, 1993a).

##### 4.1.4.1. USO ANTERIOR DEL SUELO (1973).

A excepción de la carta E-14-A-15 (no editada para este tema), fue necesario digitizar las cartas de uso del suelo con la misma clave que las cartas Edafológicas señaladas en el apartado 4.1.1 para cubrir el área en estudio (CETENAL, 1973-1974b). El proceso de digitización de las cartas se hizo de la misma manera que con las cartas edafológicas.

A cada uno de los polígonos se les asignó una etiqueta con los siguientes atributos: a) Subsector: en este campo se clasificó el uso del suelo, de manera general, en: agrícola **A**, pecuario **P** y forestal **F**, cuerpos de agua **CA**, erosión **E**, y principales áreas urbanas **CD**; b) Tipo 1: en el segundo campo se registraron los tipos de uso dominante de manera más específica, como pastizal natural **Pn**; c) Tipo 2: en este campo se registró, en caso de existir, el segundo tipo de uso en importancia, por ejemplo, **Pn-Me** que nos indica que el tipo de uso dominante es pastizal pero asociado con mezquital en segundo lugar de importancia; y d) Tipo 3: en algunos casos (principalmente en el subsector forestal) se presentó un tercer tipo de uso que se registró en este campo, por ejemplo, pastizal natural asociado con mezquital y nopalera en tercer grado de importancia **Pn-Me-No**.

En general, se utilizaron las mismas claves de las cartas de CETENAL para codificar las clases. La base de datos fue capturada en el paquete Lotus, se exportó a Dbase III para después ser adherida a la cobertura de polígonos en ARC/INFO. Se reseleccionaron las capas de información más importantes, las cuales se convirtieron a formato raster para ser exportadas a IDRISI.

#### 4.1.4.2. USO ACTUAL DEL SUELO (1993)

El uso actual del suelo se delimitó mediante la interpretación de fotografías aéreas escala 1:75,000 de la zona F14-10 (Querétaro) tomadas en vuelos realizados por el INEGI en mayo y junio de 1993. Fue necesaria la interpretación de 36 fotografías de las líneas de vuelo 147 a 152 para cubrir el área en estudio. Únicamente se interpretaron y digitizaron las fotografías con número par de cada línea de vuelo debido a la gran superficie de traslape latitudinal.

Para transferir con menor error los rasgos fotointerpretados a un mapa es importante tener en cuenta las deformaciones causadas por la proyección central de las fotografías y las ocasionadas por efectos del relieve (López *et al.*, 1996). La interpretación y trazo de polígonos se realizó de manera individual en cada fotografía con apoyo de un estereoscopio y verificaciones de campo. Se utilizó únicamente la parte central de las fotografías descartando el área de traslape con el fin de disminuir los efectos de desplazamiento por la proyección central. Se delimitaron únicamente las cuatro unidades de uso del suelo más claramente identificables: a) área agrícola, b) área no agrícola, c) principales áreas urbanas y d) cuerpos de agua. Dado que el objetivo principal de esta actividad es delimitar el área agrícola del DDR 004, la cual se encuentra ubicada en áreas con pendientes relativamente bajas (menores de 8%), se consideraron mínimas las deformaciones por efecto del relieve en esta área.

Se digitizaron los puntos de control y los trazos de las fotografías en el módulo ARCEDIT del sistema ARC/INFO. En el módulo ARC del mismo sistema, las "coberturas" (fotografías digitizadas) se proyectaron a UTM a partir de las coordenadas geográficas de los puntos de control tomadas de la cartografía de CETENAL y convertidas a grados y cuatro decimales de grado. Se eliminaron los puntos de control con un error medio cuadrático (RMS) parcial mayor de 75 m, equivalentes a 1.0 mm de mapa en la escala 1:75,000. Se dejó un mínimo de cuatro puntos de control de acuerdo a lo permitido por el sistema utilizado.

Una vez proyectadas, las coberturas se unieron en una sola, haciendo coincidir los trazos entre coberturas vecinas, luego se recortaron con el límite del área en estudio, se eliminaron las áreas menores de 2.5 ha y se le asignó una etiqueta a cada polígono, de acuerdo al uso del suelo correspondiente. Finalmente, esta cobertura se “rasterizó” y exportó a IDRISI para poder ser manipulada, junto con otras capas de información, en la fase de modelación. Se estableció una tolerancia del RMS de la cobertura total (promedio de los puntos de control considerados) de 30 m equivalentes a 0.4 mm en el mapa.

#### **4.1.6. ESTADISTICAS DE PRODUCTIVIDAD DE CULTIVOS**

Se generó una base de datos que contiene los datos históricos de productividad de cultivos de 17 años (1978 a 1994), cuya fuente original —denominada "evaluación de cosechas"— fue la Jefatura de Planeación de la Delegación de la Secretaría de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR) en el estado de Guanajuato. Pero, la mayor parte de la información fue proporcionada por el programa de Economía Agrícola del CEBAJ, la cual se actualizó, en algunos casos, solicitando directamente la información en las sedes de los Distritos. Esta información, concentrada en reportes anuales, consta de superficie sembrada, superficie cosechada, y rendimiento en kg/ha, por cultivo, para cada uno de los municipios del estado. Los cultivos están divididos en Primavera-Verano (P-V), Otoño-Invierno (O-I) y Perennes, de acuerdo a su ciclo y de acuerdo a la condición de humedad: riego, humedad residual y temporal.

En cuanto a la confiabilidad de esta información, cabe aclarar que la superficie sembrada y cosechada para los cultivos básicos puede considerarse más aproximada a la realidad, pero las superficies registradas para las hortalizas parecen estar subestimadas (comunicación personal de Boris Marañón, Facultad de Economía de la UNAM, 1998). En cuanto al rendimiento de los cultivos, el Centro de Estadística Agropecuaria de la SAGAR (comunicación personal del Act. Juan Manuel Galarza y Mercado, 1997) aclara que en algunos casos los datos de rendimiento no proceden de un muestreo, sino son una estimación subjetiva de los responsables de los DDR.

Con esta información se definieron los cultivos representativos del área en estudio, y también se utilizó para realizar los análisis de regresión entre los factores incontrolables de la producción de cultivos y su rendimiento, como una alternativa para definir los factores relevantes y el peso que se les debe dar, de acuerdo a su impacto en la producción, en la clasificación con enfoque fuzzy, como se describe más adelante en el apartado 4.4.

#### **4.1.7. REFERENCIAS DE UBICACION**

Los componentes de la base de datos denominada “referencias de ubicación” son: las vías de comunicación y las poblaciones de más de tres viviendas. Las fuentes de información de éstas son la Carta Turística de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) escala 1:250,000 (SCT, 1993) y el Censo de Población y Vivienda de 1995 (INEGI; 1996a; INEGI, 1996b), respectivamente.

Primero se digitizaron en ARC/INFO las vías de comunicación de la carta Turística. Luego, esta cobertura de líneas se transformó a la proyección UTM y se recortó con los límites del área en estudio. Posteriormente se rasterizó y se importó a IDRISI en donde es posible sobreponerla a cualquier otro mapa de la misma área. Se considera que mezclar una escala general (1:250,000) con una escala más detallada (1:50,000) no es lo más adecuado. Sin embargo, no se dispone de información más actualizada a escalas más detalladas.

A partir de la información en forma digital de las coordenadas de las poblaciones de más de tres viviendas del estado de Guanajuato, se generó en ARC/INFO una cobertura de puntos, en la que se descartaron las comunidades de menos de tres viviendas, para las cuales no se presentan datos en forma individual. A las localidades restantes se les asignó una etiqueta (numeración continua en orden alfabético de municipio y de localidad) y se tomó como base de datos las variables de población y vivienda. En el sistema ArcView es posible desplegar esta cobertura, sobreponerla a otras capas de información y consultar la base de datos de cada población con gran rapidez, entre otras capacidades de este sistema.

#### **4.1.8. REQUERIMIENTOS DE LOS CULTIVOS**

Se cuenta con una base de datos de los requerimientos ambientales por especie de importancia agrícola, pecuaria o forestal, utilizados a nivel nacional en los estudios previos, los cuales fueron definidos por los especialistas de cada cultivo (investigadores del INIFAP). Estos requerimientos se tomaron como base en este trabajo, sin embargo, los requerimientos para algunas especies fueron ajustados a nivel del estado de Guanajuato con apoyo de investigadores locales. Esta información se utilizó en la aplicación de la metodología convencional, así como en la aplicación del enfoque fuzzy para los cultivos que no cuentan con datos de productividad.

Para hacer más eficiente el proceso de modelación cartográfica, en lugar de realizar operaciones mediante un comando individual, es posible generar programas con extensión .BAT (batch file) en un editor de textos para ser ejecutados en IDRISI. En estos programas se especifican las operaciones, los datos (imágenes, intervalos de requerimientos, etc.) a los cuales debe aplicarse las operaciones y el orden en el cual deben ser ejecutadas (Eastman, 1992b). Generalmente se realiza un programa por cultivo o grupo de cultivos, lo que se considera la mejor forma de almacenar, corregir o actualizar los requerimientos de los mismos.

En los Cuadros 9A y 10A del Anexo II se presentan los requerimientos utilizados en la aplicación de la metodología de Provincias agronómicas para maíz y frijol, respectivamente. El Cuadro 11A del Anexo II corresponde a los requerimientos de los cultivos a las que se aplicó el método de Potencial Productivo. El Cuadro 12A del Anexo II se presentan los requerimientos de las especies vegetales de importancia pecuaria y forestal, a los que también se aplicó el método de Potencial Productivo, estos mismos requerimientos se tomaron como base en la aplicación del enfoque fuzzy para las especies que no cuentan con datos de productividad.

## 4.2. CLASIFICACION CONVENCIONAL

Como se mencionó en el apartado anterior (4.1), las bases de datos digitales de suelo, topografía y clima se generaron a nivel estatal y han sido utilizadas para realizar algunos estudios a ese nivel, mediante las metodologías convencionales (García *et al.*, 1996). Los resultados de tales estudios han sido puestos a disposición de los usuarios en mapas y reportes escritos, así como en varias presentaciones digitales, de las cuales la más completa es la primera versión del *Sistema de Consulta de Variables Relevantes de la Base de Datos Digital del Estado de Guanajuato* denominado SICOBADI (García *et al.*, 1998). Por lo anterior, en este trabajo únicamente se describen de manera general las características más relevantes de estas metodologías.

En los estudios de Provincias Agronómicas se definieron los factores más relevantes en el ámbito nacional para la producción de maíz y frijol de temporal con base en un análisis de regresión. Estos factores fueron el índice precipitación/evaporación de junio a septiembre y la profundidad del suelo (Turrent, 1986; González *et al.*, 1990). La metodología original de Provincias Agronómicas clasifica las tierras de labor en cinco categorías (muy buena, buena, mediana y baja productividad y tierras marginales), sin embargo, posteriormente, al incluir no solamente las tierras laborables sino la totalidad del área en estudio y algunas otras restricciones, se generó una sexta clase: la no apta. En los Cuadros 9A y 10A del Anexo II, se muestran los criterios para definir las Provincias Agronómicas para maíz y frijol, respectivamente, así como las restricciones generadas por otros factores que originaron la clase no apta. Esta metodología consistió básicamente en reclasificar en varias clases los mapas: a) índice precipitación/evaporación; y b) profundidad del suelo. La combinación de estas clases dio como resultado cinco posibles categorías de aptitud. Posteriormente, utilizando la multiplicación de mapas Booleanos, se eliminaron áreas con restricciones de pendiente y altitud para maíz, y de pendiente y temperatura para frijol (clase no apta). Al mapa final, se le restaron las áreas ocupadas por zonas urbanas y cuerpos de agua y se recortó con los límites de los municipios para el cálculo de estadísticas a ese nivel.

La metodología de Potencial Productivo aplicada a cultivos de temporal no básicos, cultivos de riego, así como a especies de importancia pecuaria y forestal, únicamente identifica la categoría "potencial alto" y no especifica el grado de aptitud para la superficie restante. En los Cuadros 11A y 12 A del Anexo II, se presentan los requerimientos de las especies utilizados en este trabajo para delimitar las áreas con potencial alto. Esta metodología consistió en identificar con valor de 1 en los mapas de suelos, clima, altitud y pendientes al intervalo de los requerimientos definidos como óptimos por los especialistas de cada cultivo. Y con valor de 0 a todas las otras áreas que no reúnen las condiciones óptimas. Luego, estos mapas Booleanos se multiplicaron, para que las áreas resultantes reunieran todos los requerimientos óptimos. Posteriormente, se restaron las superficies ocupadas por suelos con fases químicas (salinidad y/o sodicidad), cuerpos de agua y principales zonas urbanas, para obtener de esta manera el mapa final. El cálculo de superficies por municipio se realizó de la misma manera que en la metodología de Provincias Agronómicas.

De acuerdo al número de clases, la metodología de Provincias Agronómicas puede considerarse que tiene un nivel intermedio de refinamiento entre la metodología Booleana convencional (multiplicación de mapas Booleanos para identificar áreas que reúnen todas las características deseadas) y el enfoque fuzzy. En el enfoque fuzzy se distinguen dos procedimientos que se detallarán en las dos secciones siguientes: a) el aplicado a las especies de importancia pecuaria y forestal, sin datos de productividad; y b) el aplicado a los cultivos con datos de productividad. Con el propósito de mostrar las ventajas y desventajas de los métodos mencionados anteriormente, en la sección de resultados, en el apartado 5.5, se comparan los resultados de la aplicación de los métodos convencionales (Provincias Agronómicas y Potencial Productivo) con los métodos Fuzzy (Con y Sin Datos de Productividad).

### **4.3. CLASIFICACION FUZZY PARA ESPECIES SIN DATOS DE PRODUCTIVIDAD**

Como se señala en el apartado 4.1.6, para las especies de importancia agrícola se cuenta con datos estadísticos de productividad; pero no para las especies de importancia pecuaria y forestal. Obtenerla requeriría de mucho tiempo y recursos económicos. Por lo anterior, para especies sin datos de productividad se presenta un método alternativo de aplicación del enfoque fuzzy.

Como “especies estratégicas pecuarias y forestales” para el área en estudio, se incluyeron dos especies forrajeras: el zacate Navajita (*Bouteloua gracilis*), de importancia como pastizal natural en las partes altas; y el zacate Buffel (*Cenchrus ciliaris*) con mayor potencial para la zona de El Bajío. Además, se consideraron otras especies de importancia económica de la vegetación natural como el nopal tunero (*Opuntia spp*), encino (*Quercus spp*), pino piñonero (*Pinus cembroides*) y mezquite (*Prosopis spp*).

La aplicación del enfoque fuzzy para estas especies que carecen de datos de productividad se representa esquemáticamente en la Figura 3 y se sintetiza de la siguiente manera (Tang *et al.*, 1991; Tang and Van Ranst, 1992; Tang and Ruan, 1992; Davidson *et al.*, 1994; y Van Ranst *et al.*, 1996):

- A) Selección de los factores de estratificación de acuerdo a la experiencia de los especialistas por especie.
- B) Generación de las funciones de membresía particionando el rango de requerimientos definido como óptimo por los especialistas por especie.
- C) Ponderación de la importancia de las funciones de membresía para cada especie, en base al coeficiente de correlación de los cultivos de temporal.
- D) Normalización de las funciones de membresía.
- E) Determinación de una aptitud total.

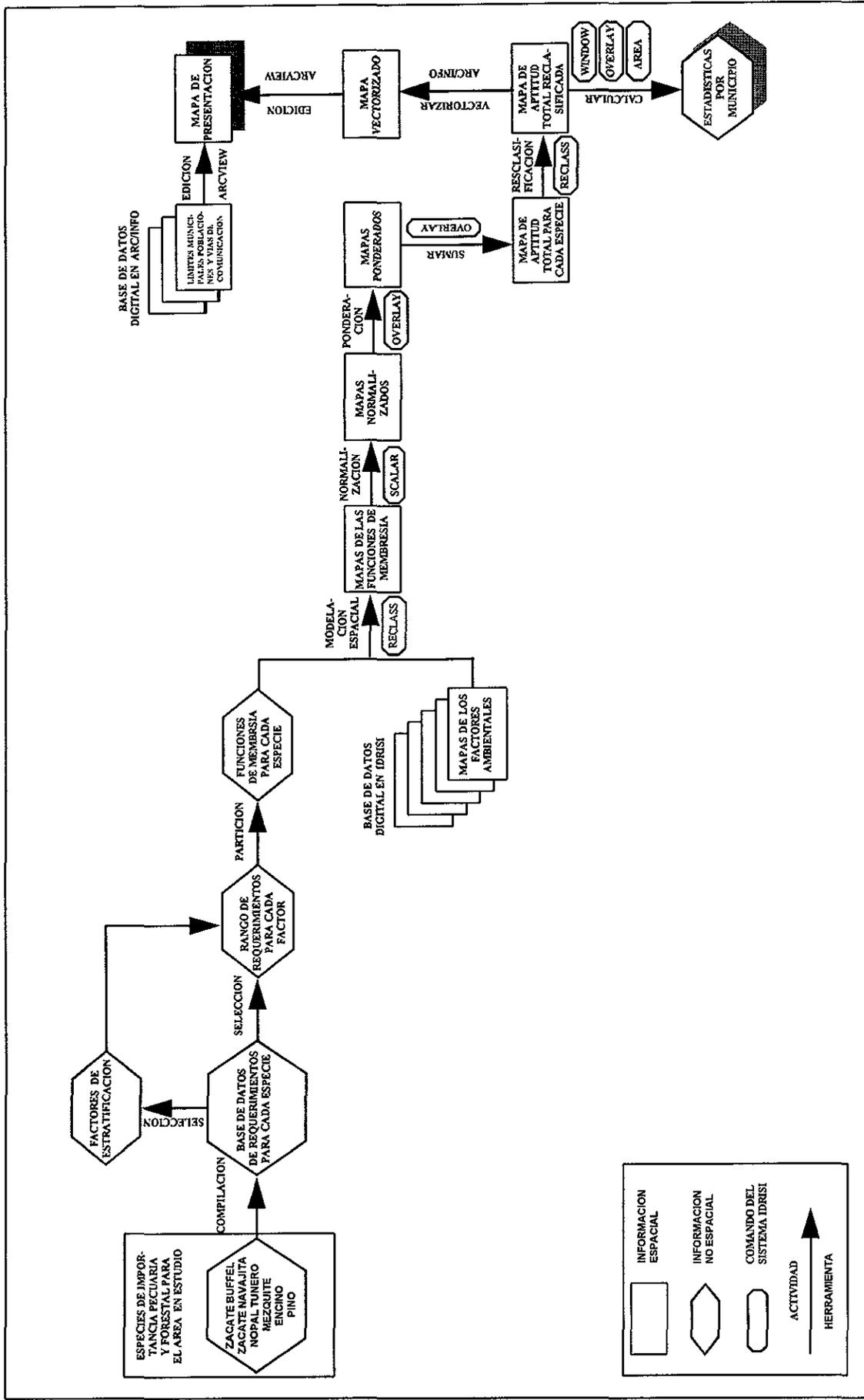
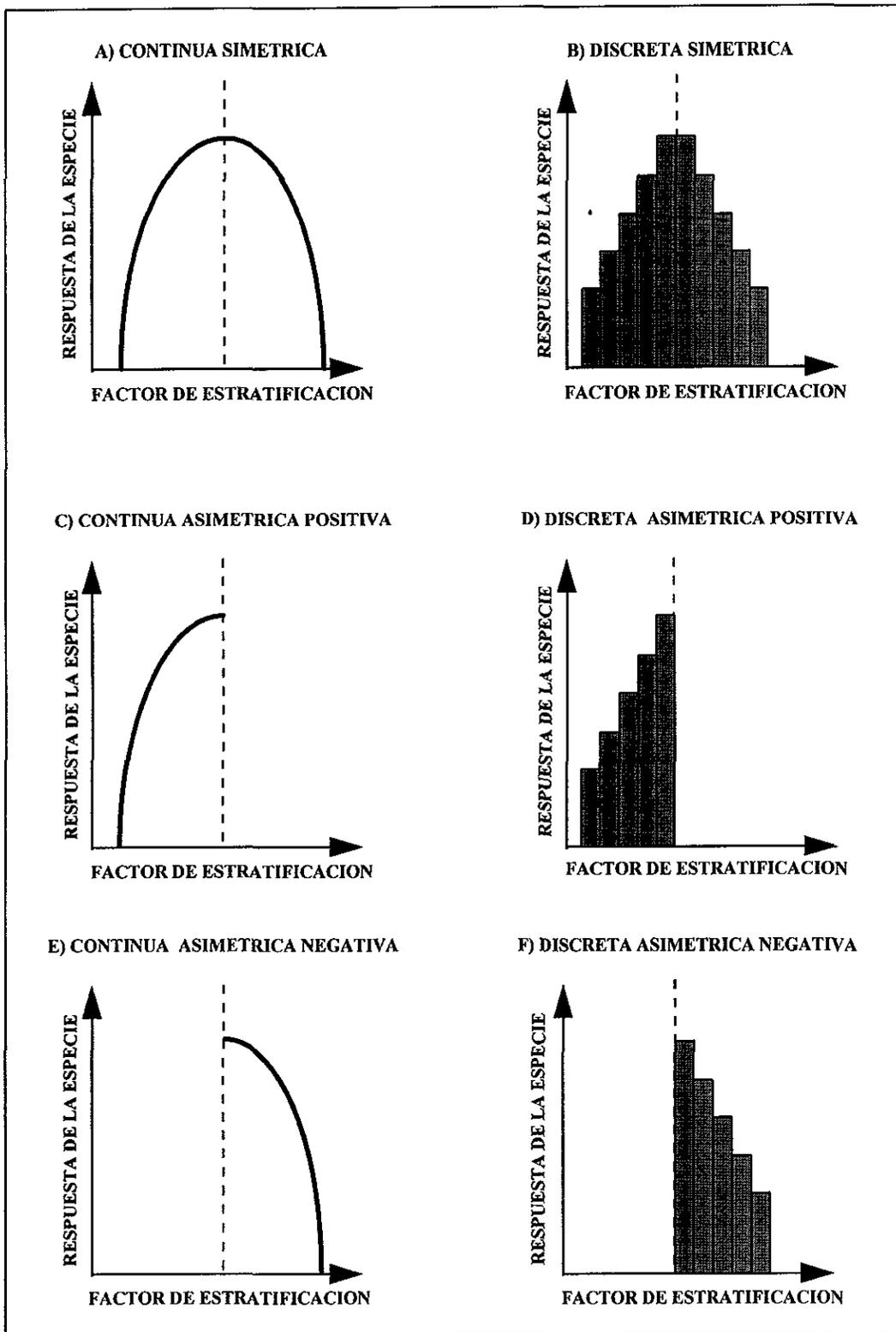


FIGURA 3. DIAGRAMA GENERAL DE LA APLICACION DEL ENFOQUE DE LIMITES DE TRANSICION GRADUAL (FUZZY) PARA ESPECIES QUE NO CUENTAN CON DATOS DE PRODUCTIVIDAD.

Como las especies de importancia pecuaria y forestal carecen de datos de productividad, la selección de los factores de estratificación, la generación de las funciones de membresía y su ponderación, no puede basarse en métodos estadísticos. Por lo tanto, se consideraron como factores de estratificación, los especificados en los requerimientos utilizados en la aplicación de la metodología convencional de Potencial Productivo (Cuadro 12A del Anexo II).

En términos prácticos, la función de membresía nos indica la cercanía o lejanía de los valores de un factor de estratificación determinado a un rango de valores considerado óptimo para la producción de una especie vegetal. De acuerdo a esto, a los rangos de requerimientos ambientales definidos como óptimos para cada especie les correspondería un valor de membresía de 1.0. Sin embargo, estos rangos son demasiado amplios y en ocasiones abarcan todos los valores posibles para un determinado factor dentro del área en estudio. Por lo que se procedió a particionar los rangos de los requerimientos ambientales para cada especie de acuerdo al tipo de variable (continua o discreta) y al tipo de respuesta de la especie a cada uno de los factores de estratificación (simétrica, asimétrica positiva o asimétrica negativa). A continuación se definen y ejemplifican gráficamente en la Figura 4 los casos que teóricamente pueden presentarse:

- A) Funciones continuas simétricas. Estas funciones muestran primero una respuesta positiva en la productividad de una especie a un determinado factor ambiental, alcanzan el punto óptimo y luego presentan una parte de respuesta negativa debido a que los niveles demasiado altos de dicho factor provocan el decrecimiento en la productividad de tal especie (Figura 4A). En este caso, 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, intervalo 4 cuando eran 7 el total de intervalos). De esta manera, a los intervalos 3 y 5 les correspondió un valor de membresía de 0.9, de 0.8 a 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. La temperatura normalmente presenta este tipo de función de membresía, debido a que su variación geográfica es tan amplia que los valores extremos, tanto altos como bajos, resultan perjudiciales para muchas especies.
- B) Funciones continuas asimétricas positivas. Estas funciones presentan la respuesta positiva de la especie a un determinado factor y pueden alcanzar el óptimo pero no presentan una respuesta negativa (Figura 4C). Esto es debido a que en el ámbito geográfico para el cual están definidos los requerimientos (global, nacional, estatal), no se presentan niveles del factor demasiado altos que provoquen el decrecimiento de la productividad de la especie. Para 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. Frecuentemente la precipitación presenta este tipo de respuesta, ya que en gran parte de nuestro país es un factor limitativo para los cultivos de temporal. Por ejemplo, para el estado de Guanajuato, los requerimientos de precipitación para cultivos de temporal generalmente están definidos en términos de “> de 600 mm”, en donde se asume que los valores más altos de precipitación son los óptimos.



**FIGURA 4. CLASIFICACION DE LAS FUNCIONES DE MEMBRESIA CON BASE AL TIPO DE VARIABLE (CONTINUA O DISCRETA) Y A LA RESPUESTA DE LAS ESPECIES A LOS FACTORES DE ESTRATIFICACION (SIMETRICA, ASIMETRICA POSITIVA O ASIMETRICA NEGATIVA).**

C) Funciones continuas asimétricas negativas. En estas funciones la respuesta de la especie a un determinado factor no presenta una fase ascendente, en el mejor de los casos presenta el punto óptimo y luego desciende (Figura 4E). Este es el caso de algunas especies en las que su área de adaptación disminuye en la medida que se alejan del nivel del mar. Por lo tanto, en este caso se asignó un valor de membresía de 1.0 a los valores de altitud más bajos y se degradó en la medida que se incrementaron los valores.

Las funciones de membresía descritas anteriormente son aplicables a los mapas de factores ambientales con valores continuos de nuestras bases de datos digitales (Modelo de Elevación Digital, pendientes y variables climáticas). Es posible reclasificar los valores reales de estos mapas en varios intervalos y asignarles valores de membresía entre 1.0 y 0. En este trabajo se decidió usar 11 intervalos con una amplitud de 0.1, 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. Sin embargo, no es posible aplicar el mismo procedimiento a los factores con valores discretos (profundidad y características físico-químicas del suelo). En este caso, se asignaron valores de membresía de acuerdo al reducido número de clases en los mapas digitales de suelos.

La definición de los tres tipos de función de acuerdo a la respuesta de las especies a los factores de estratificación con datos continuos, descrito anteriormente, es aplicable a las funciones con valores discretos de los factores. La diferencia radica en el tipo de variable (continua o discreta), pues los mapas con valores continuos presentan cambios graduales en el espacio (no presentan clases), mientras que en los mapas con variables discretas están mezcladas unidades básicas con diferentes valores (presentan clases). Prácticamente esta diferencia se refleja en el número de valores diferentes en los mapas de valores continuos con respecto a los que tienen valores discretos. Por ejemplo, los mapas de textura de suelo del área en estudio presentan solamente tres valores enteros (1, 2 y 3 que representan las texturas gruesa, media y fina respectivamente), mientras que el Modelo de Elevación Digital tiene 1,422 valores continuos de altitud.

Las funciones discretas simétricas, discretas asimétricas positivas y discretas asimétricas negativas se representan gráficamente en las Figuras 4B, 4D y 4F, respectivamente. Para las especies en estudio, no se presentaron funciones de membresía tipificadas como discretas simétricas ni como discretas asimétricas negativas. Un ejemplo de función discreta asimétrica positiva es la respuesta de muchas especies a la profundidad de suelo. A este factor definido con base en las fases físicas del suelo y a la unidad de suelo Litosol, fue posible asignarle solamente cuatro valores de membresía de acuerdo al valor medio del intervalo de profundidad señalado por CETENAL (1973-1974a): a) a los suelos sin fases físicas (profundidad mayor de 100 cm) se les asignó un valor de membresía de 1.0 por considerar que a esta profundidad no existen restricciones por este factor para las especies en estudio; b) a los suelos con fases físicas lítica y dúrica profundas (profundidad entre 50 y 100 cm) se les asignó un valor de 0.75; c) a los suelos con fases físicas lítica somera, dúrica somera y petrocálcica (profundidad entre 0 y 50 cm) se les asignó un valor de 0.25; y d) finalmente a los Litosoles (profundidad menor de 10 cm) se les asignó un valor de 0.

Una vez generadas las funciones de membresía para cada especie, de acuerdo a los procedimientos descritos anteriormente, dichas funciones fueron convertidas en mapas (modelación espacial). Esto se logró reclasificando los mapas básicos de las bases de datos digitales que presentan la variación espacial de los factores de estratificación y asignándoles su correspondiente valor de membresía. Sin embargo, debido a que el sistema IDRISI no permite asignar a las reclasificaciones números fraccionarios, se asignaron valores de membresía enteros entre 10 y 0 en lugar de valores entre 1.0 y 0. Posteriormente, para normalizar esta asignación especial de acuerdo a la metodología donde las funciones de membresía convertidas en mapas tienen valores entre 1.0 y 0, estos mapas se dividieron entre la constante 10.

Debido a que las especies de importancia pecuaria y forestal no cuentan con datos de productividad, no existen referencias para jerarquizar la magnitud del efecto que tienen las funciones de membresía en la productividad de la especie. Por lo anterior, el factor de ponderación para estas especies se determinó con base en los coeficientes de correlación ( $r$ ) entre el rendimiento de los cultivos de temporal y los datos anuales de los factores ambientales. En el Cuadro 8 del apartado 5.4 del capítulo de resultados se señalan con un asterisco (\*) los valores de correlación promedio utilizados para ponderar las funciones de membresía de estas especies. De la misma manera que los valores de membresía, la ponderación de las funciones de membresía se expresó en valores entre 1.0 y 0, para lo cual se dividió cada uno de los coeficientes de correlación promedio de los factores de estratificación de cada especie entre la suma total de los mismos. Por ejemplo, los coeficientes de correlación para las funciones de membresía del zacate Navajita de acuerdo al cuadro 8 son: altitud = -0.34, precipitación = 0.73, temperatura = 0.40 y pendiente = -0.36. Proporcionalmente a estos coeficientes les corresponden valores de ponderación de 0.18, 0.40, 0.22 y 0.20 respectivamente, que resultaron de dividir cada coeficiente de correlación entre la suma de los mismos (1.83) sin considerar el signo (positivo o negativo). La suma de los valores de ponderación de las funciones de membresía para una especie determinada debe ser de 1.0 ( $0.18 + 0.40 + 0.22 + 0.20 = 1.0$ ).

Una vez determinado el factor de ponderación para cada función de membresía, cada una de las funciones de membresía convertidas en mapas (con valores entre 1.0 y 0) se multiplicaron por su respectivo factor de ponderación, generándose mapas con un valor máximo posible igual al factor de ponderación.

Para determinar la aptitud total, primeramente se sumaron los mapas ponderados para cada especie, de tal manera que el producto final fue un mapa con valores continuos de aptitud entre 1.0 y 0. Posteriormente, para facilitar la interpretación de los resultados, el mapa de aptitud total se reclasificó en 10 clases, correspondiendo la mayor aptitud a la clase 10 (con valores de membresía entre 0.9 y 1.0) y la menor a la clase 1 (con valores de membresía entre 0 y 0.1).

Para hacer más eficiente todo el proceso de clasificación con enfoque fuzzy de la aptitud de las tierras del área en estudio para las especies sin datos de productividad, se generó en un editor de textos un archivo de comandos (archivo .bat). Es importante aclarar que el proceso de modelación (ejecución del archivo .bat) y el cálculo de superficies se realizó en formato raster en el sistema

IDRISI. Sin embargo, debido a que el acabado de los mapas de presentación es mejor en formato vectorial, los mapas raster fueron vectorizados en el módulo ARC de ARC/INFO. Estas coberturas fueron desplegadas y editadas en el paquete ArcView 3.0 (ESRI, 1996b) donde se superpusieron los límites municipales y se enviaron a impresión con una escala definida (también es posible sobreponer las vías de comunicación y las principales poblaciones como referencias de ubicación).

#### **4.4. CLASIFICACION FUZZY PARA CULTIVOS CON DATOS DE PRODUCTIVIDAD**

Como se mencionó en el apartado 4.1.6, para el área en estudio se cuenta con una base de datos digital que contiene estadísticas de productividad de cultivos para un período de 17 años. A partir de la información de superficie sembrada disponible en la base de datos mencionada anteriormente se definieron los cultivos tanto de temporal (T) como de riego (R) representativos del área en estudio. Se seleccionaron los que en conjunto se siembran en más del 90% de la superficie agrícola. Estos son en orden descendente de importancia: Maíz T, Maíz-frijol T, Alfalfa R, Maíz R, Sorgo R, Sorgo T, Trigo R, Cebolla T, Garbanzo T, y Frijol T. Con excepción de la asociación maíz-frijol de temporal cuyos cultivos se consideraron en forma individual y de la cebolla temporal que no cuenta con suficiente información de productividad, al resto de los cultivos se aplicó el enfoque fuzzy siguiendo en general los pasos definidos en algunas aplicaciones reportados en la literatura (Tang *et al.*, 1991; Tang and Van Ranst, 1992; Tang and Ruan, 1992; y Van Ranst *et al.*, 1996).

Los pasos señalados en el apartado 4.3 para la aplicación del enfoque fuzzy a los cultivos sin datos de productividad, son los mismos que se aplican a los cultivos con datos de productividad, pero estos se llevan a cabo en función de la información disponible. La aplicación de este enfoque para los cultivos con datos de productividad se puede sintetizar en los cinco pasos que se enlistan a continuación, los cuales se representan esquemáticamente en la Figura 5.

- A) Se definen los factores de estratificación mediante un análisis de regresión múltiple.
- B) Se determinan las funciones de membresía mediante un análisis de regresión simple.
- C) Se asigna una ponderación a cada función, con base en el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de las ecuaciones de regresión lineal simple mencionadas en el punto anterior.
- D) Las funciones de membresía transformadas en mapas se normalizan a valores entre 1.0 y 0 dividiendo cada mapa entre su valor máximo.
- E) Se determina una aptitud total sumando todos los mapas ponderados que intervienen en la determinación de las áreas de aptitud de la especie en cuestión.

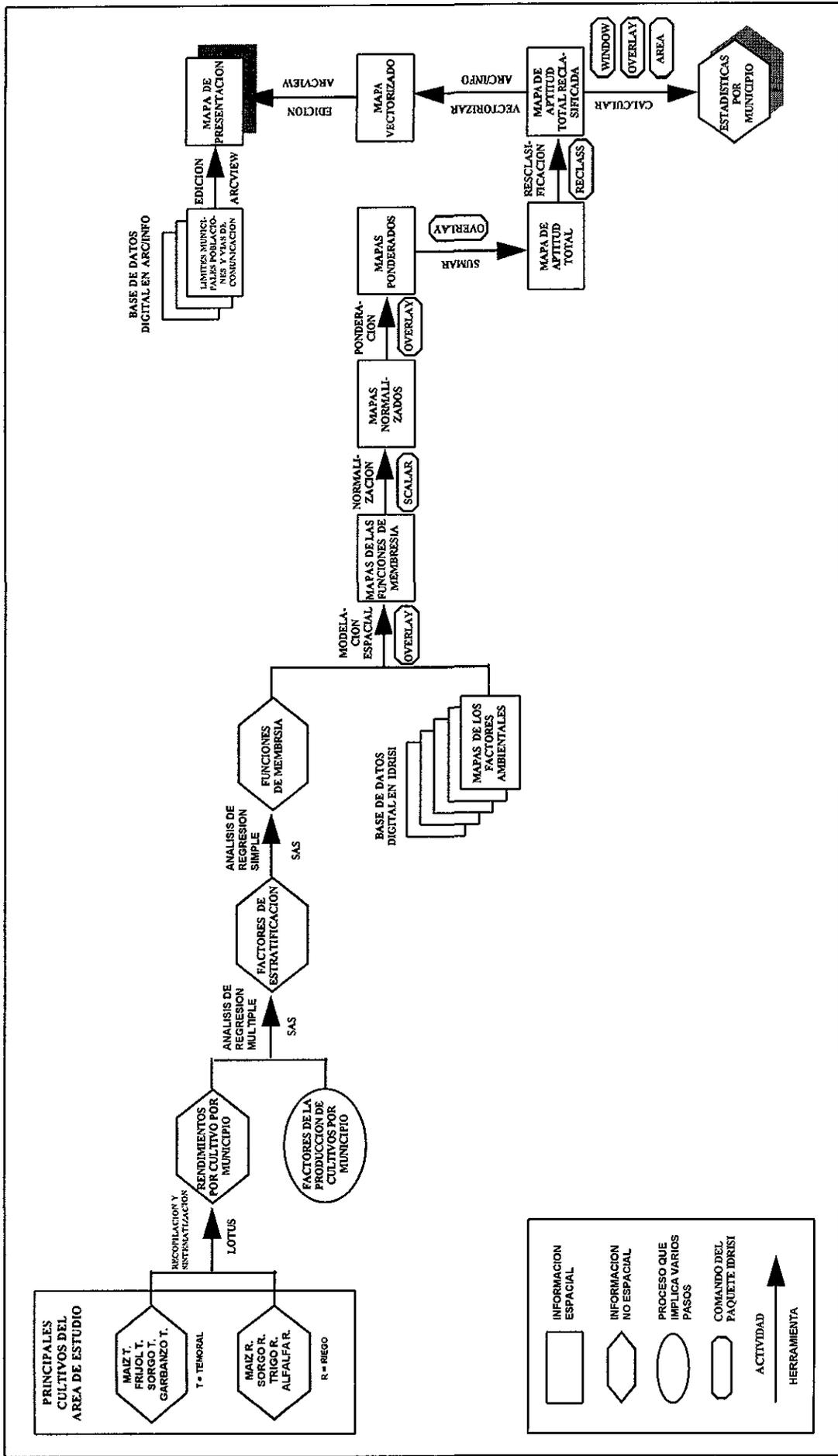


FIGURA 5. DIAGRAMA GENERAL DE LA APLICACION DEL ENFOQUE DE LIMITES DE TRANSICION GRADUAL (FUZZY) PARA CULTIVOS QUE CUENTAN CON DATOS DE PRODUCTIVIDAD.

Es importante aclarar que los factores de estratificación corresponden exclusivamente a los factores incontrolables de la producción de cultivos, lo que permite mayor vigencia de los resultados en el tiempo. La información de productividad de los cultivos (rendimiento por cultivo en kg/ha/municipio) que se plantea utilizar en este trabajo proviene de diferentes niveles de manejo que no han sido caracterizados y que seguramente contribuyen a explicar parte de la variación de los rendimientos. Por otra parte, este trabajo es de utilidad para apoyar la planificación a nivel estatal, distrital y municipal, pues se considera que los factores de manejo (factores controlables de la producción de cultivos) deben ser decisiones técnicas que deben tomarse a un nivel de planificación más específica (unidad de producción), considerando los propósitos de producción y los niveles de inversión disponibles.

Idealmente, la definición de los factores de estratificación, la determinación de las funciones de membresía y su ponderación de acuerdo a la magnitud del efecto en el rendimiento de los cultivos, debería ser el resultado de un proyecto de investigación. Esto se podría lograr explorando la variación climática y edáfica (factores incontrolables de la producción de cultivos) del área en estudio, mediante experimentos de productividad de cultivos donde el manejo (factores controlables de la producción de cultivos) fuera una constante en niveles óptimos. Sin embargo, esto tendría un alto costo y requeriría de mucho tiempo. Por lo anterior, en este trabajo se utilizó la información disponible de productividad de cultivos como una opción para aplicar el enfoque fuzzy, a pesar de su nivel de agregación (por municipio) y las limitaciones mencionadas en cuanto a su confiabilidad.

Por otra parte, para darle validez estadística a los análisis de regresión fue necesario contar con cierta cantidad mínima de información de productividad de los cultivos para el área en estudio. Debido a que para el DDR 004 solamente contamos con datos de productividad de cultivos para los ocho municipios que lo integran (ocho pares de datos como máximo), en este trabajo se utilizó la información disponible para los 46 municipios del Estado. De esta manera, las ecuaciones generadas son de ámbito estatal y podrán ser aplicadas tanto al área en estudio como al resto del Estado.

Asimismo, se han aplicado métodos fuzzy tanto a los levantamientos de suelo, para generar bases de datos, como para las clasificaciones de tierras (Burrough, 1989; Burrough *et al.*, 1992). Sin embargo, la mayoría de las clasificaciones de tierras con enfoque fuzzy se han realizado utilizando las bases de datos de suelos generadas a partir de métodos convencionales. Las variables continuas (topografía y clima) son totalmente compatibles con el enfoque fuzzy mientras que a las variables discretas (suelo) es necesario asignarles un valor de membresía dependiendo de la cercanía al intervalo de valores considerado óptimo.

Los datos requeridos para definir los factores de estratificación fueron los rendimientos de los cultivos como variables dependientes y los factores incontrolables de la producción de cultivos como variables independientes, ambos ponderados por municipio. Los datos de rendimiento fueron obtenidos de la base de datos de productividad de cultivos y los factores incontrolables, de las bases de datos de suelos, topografía y clima.

El procedimiento de ponderación de los datos de rendimiento consistió en multiplicar la superficie cosechada de cada cultivo en ha, por el rendimiento de los mismos en kg/ha para cada año en particular. La suma de tales productos se dividió entre la superficie total cosechada durante el período considerado (17 años en el mejor de los casos).

Para ser congruentes con el grado de generalización de los rendimientos por cultivo, los principales factores incontrolables de la producción de cultivos se ponderaron para cada municipio. En este proceso se clasificaron de acuerdo al tipo de variable (continua o discreta), al ciclo de los cultivos (Primavera-Verano, Otoño-Invierno y Perennés), a la condición de humedad (riego o temporal) y al área agrícola de cada municipio, descartando las zonas con más de 4% de pendiente, para cultivos de riego, y con más de 8% de pendiente, para cultivos de temporal.

Las variables continuas consideradas fueron: temperatura media, precipitación, evaporación, índice precipitación sobre evaporación de junio a septiembre (P/EJS), altitud y pendiente. Estas variables (mapas) se reclasificaron en IDRISI en 5 a 10 intervalos, procurando cubrir la variación total del estado de Guanajuato. La ponderación para el área agrícola de cada municipio se realizó multiplicando la superficie de cada intervalo por su valor medio (marca de clase) y dividiendo la suma de tales productos entre la superficie total de las clases. El índice P/EJS ha sido utilizado en la metodología de Provincias Agronómicas como un balance de humedad altamente correlacionado con el rendimiento de los cultivos de temporal a nivel nacional (Turrent *et al.*, 1986; González *et al.*, 1990).

Las variables discretas consideradas fueron: profundidad de suelo, porcentaje de El Bajío (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%) y un índice de aptitud edáfica definido de acuerdo con criterios de la metodología de Zonas Agroecológicas. La profundidad del suelo en cm se determinó con base en las fases físicas y los Litosoles: < 10 cm (Litosoles), de 0 a 50 cm (fases físicas lítica somera, dúrica somera y petrocálcica), 50 a 100 cm (fases físicas lítica y dúrica profunda) y mayor de 100 cm (sin fases físicas). A las tres primeras clases se les asignó el valor medio de la clase (5, 25 y 75 cm respectivamente). A los suelos sin fases físicas se les asignó un valor de 100 cm por considerar que a partir de esta profundidad no existen restricciones para el desarrollo de las raíces de los cultivos en cuestión. Las fases físicas pedregosa y gravosa afectan la posibilidad de mecanización pero no afectan la profundidad de suelo.

Para determinar los factores que afectan en mayor grado la producción de cada cultivo se realizó un análisis de correlación y se desplegaron las gráficas para tener una idea general del efecto de las variables consideradas en el rendimiento de los cultivos, así como la relación entre variables independientes. También se consideraron posibles interacciones.

Los factores de la producción de cultivos más relevantes se determinaron mediante análisis de regresión múltiple entre el rendimiento de los cultivos (variable dependiente) y los factores incontrolables de la producción de cultivos por municipio ponderados por superficie (variables independientes). Los análisis de regresión se realizaron en el "Statistical Analysis

System" (SAS) utilizando como apoyo para la selección de variables el procedimiento "Stepwise" (Rebolledo, 1992). Este procedimiento se inicia sin ninguna variable y se van agregando al modelo, una por una, las variables independientes que contribuyen a explicar en mayor medida la variación de la variable dependiente, hasta llegar a cierto nivel de probabilidad que puede ser especificado. A diferencia del procedimiento de selección de variables "Forward" (selección progresiva), con Stepwise las variables que entran al modelo no necesariamente permanecerán en él, pues una variable ya incluida puede resultar superflua y ser eliminada al reexaminar el modelo después de incorporarse cada variable nueva.

Las variables que contribuyeron a mejorar significativamente un modelo de regresión múltiple fueron seleccionadas para generar las funciones de membresía. Por ejemplo, supongamos que la precipitación de junio a septiembre, la profundidad de suelo y la temperatura de junio a septiembre, son las variables independientes de tal modelo para un cultivo determinado bajo condiciones de temporal. Estas variables se deben correlacionar directamente con el rendimiento de los cultivos (análisis de regresión simple) generando de esta manera las funciones de membresía, las cuales se deben aplicar a los mapas correspondientes que presentan la variación espacial. Para esto, se multiplica el mapa de precipitación acumulada de junio a septiembre por la pendiente de la función ( $\beta_1$ ) y se le suma o resta la constante ( $\beta_0$ ) dependiendo del signo. Se hace lo mismo con las funciones de profundidad de suelo y temperatura. De esta manera se obtiene un mapa con valores continuos de rendimientos para cada función de membresía. Posteriormente, cada mapa se divide entre su rendimiento máximo (máximo valor de membresía) para obtener mapas con valores máximos de 1.0 (proceso de normalización).

La ponderación de las funciones de membresía se realiza en forma proporcional a los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) de las mismas. La proporción se expresa en la escala de 1.0 a 0 dividiendo cada uno de los coeficientes de determinación entre la suma total de los mismos. Por ejemplo, supongamos que las  $R^2$  para las funciones de membresía de precipitación, profundidad del suelo, y temperatura fueron 0.60, 0.40 y 0.25, respectivamente, cuya suma es 1.25. Dividiendo cada uno de los coeficientes de determinación entre la suma de los tres, se obtienen los siguientes valores de ponderación para cada función de membresía: 0.48 para precipitación, 0.32 para profundidad de suelo y 0.20 para temperatura.

Aunque las fases químicas y la textura arenosa representan una superficie mínima del área en estudio, tienen un efecto importante en el rendimiento de los cultivos. Sin embargo, por falta de información no fue posible determinarlo mediante un análisis de regresión; pero sí se definió una función de membresía con base a la tolerancia de los cultivos a las sales, la verificación de campo y análisis de suelo. Por ejemplo, en el sorgo de temporal, a las áreas sin fases químicas ni textura arenosa se le asignó un valor de membresía de 1.0; a las áreas con Vertisoles Pélicos ( $V_p$ ), clasificadas como ligeramente salino-sódicos 0.75; a las áreas con  $V_p$  sódicos 0.50, a las áreas con Zolochaks ( $Z_o$ ) 0.25, a las áreas con  $V_p$  moderadamente salino-sódicos 0, y 0 a las áreas con textura arenosa. La ponderación asignada a la función de membresía de fases químicas y textura arenosa fue proporcional al número de funciones de membresía para cada cultivo: se asignó un valor de ponderación de 0.2 para cultivos con dos funciones de membresía, 0.15 para tres funciones, y 0.10 para cuatro funciones. Esta ponderación se restó en partes iguales a los

factores de ponderación descritos en el párrafo anterior. Por ejemplo, a los factores de precipitación, profundidad de suelo y temperatura, antes mencionados, les correspondería finalmente un valor de ponderación de 0.43, 0.27, y 0.15 al restarles a cada uno 0.05 correspondiente a las fases químicas y textura arenosa.

Cada uno de los mapas de las funciones de membresía descritas en los párrafos anteriores (mapas con valores entre 1 y 0), se multiplicaron por su respectivo valor de ponderación (en el ejemplo, 0.43 para precipitación, 0.27 para profundidad de suelo, 0.15 para temperatura y 0.15 para fases químicas y textura arenosa), generando mapas con un valor máximo igual al factor de ponderación. La aptitud total se determinó mediante la suma de los mapas ponderados, de tal manera que el producto final fue un mapa con valores continuos de aptitud entre 0 y 1.0. Posteriormente, con fines de presentación de los resultados, el mapa final se reclasificó en 10 clases con intervalos de 0.1. A este mapa se agregaron las principales áreas urbanas. Finalmente, se calculó la superficie correspondiente a cada clase de productividad por municipio.

Después de analizar los mapas fuzzy por cultivo, se observó que los cultivos de riego y temporal son alternativos, ya que ocupan, cuando menos, parte de la misma área. Por lo anterior, se determinó, con el mismo enfoque fuzzy, una aptitud general para agricultura de riego y temporal. El procedimiento consistió en sobreponer las aptitudes parciales de cada cultivo, luego se normalizaron dividiendo entre el valor máximo y, con fines de presentación, se reclasificaron en 10 clases con intervalos de 0.1.

De la misma manera que para las especies que no cuentan con datos de productividad, se generaron archivos de comandos (.bat), se calcularon las superficies por clase de aptitud y se editaron los mapas de presentación.

#### ***4.5. PROPUESTA DE DELIMITACION DEL USO POTENCIAL PARA LA AGRICULTURA HACIENDO USO DEL ENFOQUE FUZZY***

Haciendo uso de los mapas con 10 clases de aptitud, producto de la aplicación del enfoque fuzzy para cada cultivo, se delimitaron las áreas con uso potencial para agricultura de riego y temporal. El propósito de delimitar el uso potencial para agricultura de riego y temporal es compararlo con los mapas de uso actual del suelo (1993) con el fin de delimitar las zonas agrícolas actuales ubicadas en áreas clasificadas con y sin potencial para esta actividad. Sin embargo, al analizar los mapas fuzzy por cultivo, surgió la interrogante de cuántas clases fuzzy por cultivo se deberían considerar para sugerir el uso potencial para la agricultura (de riego y temporal) y poder compararlo posteriormente con el uso actual.

Por lo anterior, se realizó un análisis económico que permitió conocer la distribución espacial de la relación costo-beneficio/ha por cultivo, y el valor promedio de ellos se utilizó para definir las clases que deben ser consideradas. Los datos requeridos por cultivo fueron: rendimientos máximos, precio internacional del producto y costo de producción. Los rendimientos máximos se obtuvieron de las estadísticas de productividad de cultivos, los precios

internacionales y los costos de producción fueron obtenidos del Programa de Aseguramiento Agrícola de AGROASEMEX “Seguro a la Inversión” para los ciclos de Primavera-Verano 1997-97 y Otoño-Invierno 1997-98.

Primeramente se dividieron entre 10 los mapas de maíz, frijol y sorgo de temporal; y maíz, sorgo y trigo de riego (este análisis no se hizo para alfalfa y garbanzo por carecer de información), para cambiar los valores de la escala de clasificación de 10 a 0 a 1.0 a 0. Estos mapas se multiplicaron por el rendimiento máximo de cada cultivo con el propósito de mantenerlo igual en la mejor clase (al multiplicarlo por 1) y degradarlo conforme disminuye la aptitud. Por ejemplo, si el rendimiento máximo de un determinado cultivo es 5,000 kg/ha, al multiplicarlo por la mejor clase (1.0) se mantiene igual, al multiplicarlo por la segunda clase de aptitud (0.9) el rendimiento disminuye en 10% quedando en 4,500 kg/ha, y así sucesivamente hasta que el rendimiento se degrada hasta 0 al multiplicarlo por la clase de menor aptitud (0).

Posteriormente, estos mapas de rendimiento se multiplicaron por el precio internacional del producto para determinar el valor de la cosecha y, finalmente, se dividieron entre los costos de producción para obtener la relación costo-beneficio por cultivo. Después, se calculó el valor promedio de la relación costo-beneficio por clase de aptitud de todos los cultivos. En los datos promedio se observó que solamente las tres clases de mayor aptitud tuvieron una relación costo-beneficio superior a 1.0. Cabe señalar que un valor de 1.0 en la relación costo-beneficio indica que el valor de la cosecha es igual a los costos de producción y por lo tanto no existen utilidades; pero los valores mayores de 1.0 indican que por cada peso invertido se recupera la inversión y se gana la diferencia con la unidad, mientras que los valores inferiores a 1.0, indican pérdidas. Por lo tanto, los resultados de este análisis sugieren que cuando se hace uso de un criterio económico únicamente deben considerarse las tres clases de mayor aptitud (10, 9 y 8) de los mapas por cultivo clasificados con enfoque fuzzy.

De acuerdo con lo anterior, para cada cultivo se seleccionaron las tres clases de mayor aptitud (10, 9, y 8), las cuales se agruparon (sumaron) por condición de humedad (riego y temporal). De esta manera se definieron las áreas con uso potencial para la agricultura de riego y temporal las cuales se pudiesen utilizar en la delimitación y caracterización de las áreas con uso adecuado e inadecuado para la agricultura. Las áreas con uso potencial agrícola pueden considerarse con aptitud biológica y económica cuando menos para uno de los cultivos en estudio. Es importante tener en cuenta que para los propósitos de este trabajo la aptitud individual por cultivo se generaliza al nivel de subsector (agrícola). Sin embargo, a partir de este análisis, se delimitan las áreas con potencial biológico y económico para cada cultivo en particular.

#### ***4.6. ESTIMACION DEL CRECIMIENTO DEL AREA AGRICOLA***

La ampliación de la frontera agrícola se estimó mediante la sobreposición en el sistema IDRISI del área agrícola en 1973, con el área agrícola obtenida a partir de fotografía aérea de 1993. Como se mencionó en el apartado 4.1.4.1, el uso del suelo CETENAL presenta varios subtipos

dentro de cada subsector (por ejemplo, el subsector agrícola se divide en agricultura de riego con cultivos anuales, agricultura de riego con cultivos perennes, agricultura de temporal con cultivos anuales etc.), por lo que fue necesario sumar las diferentes modalidades para obtener un mapa general del área agrícola en 1973. Por otra parte, también se especificó que se generó un mapa de uso actual del suelo con únicamente cuatro clases de uso actual del suelo a partir de fotografía aérea de 1993 (áreas urbanas, cuerpos de agua, áreas agrícolas, y áreas de uso pecuario y/o forestal), por lo que fue necesario reclasificar este mapa para aislar el área agrícola.

Al área agrícola de 1973 se le asignó un valor de 1 y al área agrícola de 1993 se le asignó un valor de 2, en ambos casos se asignó un valor de 0 al área no agrícola, posteriormente se sumaron, y se obtuvo un mapa con cuatro valores 0, 1, 2 y 3. El número 3 representó la coincidencia de las áreas agrícolas de 1973 y 1993; el número 2 representó el crecimiento del área agrícola; el 1 representó las áreas agrícolas en 1973 con un uso diferente al actual, y el 0 representó la coincidencia de las áreas con otros usos (pecuario-forestal, urbano y cuerpos de agua) de 1973 y 1993.

#### ***4.7. DELIMITACION Y CARACTERIZACION DE LAS AREAS CON USO ADECUADO E INADECUADO PARA LA AGRICULTURA***

Las áreas con uso inadecuado para la agricultura de temporal fueron obtenidas mediante la diferencia al sobreponer en el sistema IDRISI las áreas de uso potencial para agricultura de temporal (apartado 4.5), con el uso actual del suelo (apartado 4.1.4.2). De esta manera se delimitaron: áreas agrícolas actuales, áreas no agrícolas actuales, zonas urbanas y cuerpos de agua, ubicados en zonas con potencial y sin potencial para agricultura de temporal (8 clases). Se siguió el mismo procedimiento para agricultura de riego.

El propósito de ubicar geográficamente las áreas con uso inadecuado es señalar las áreas prioritarias a ser reordenadas. El objetivo de contrastar las características físicas y socioeconómicas entre las áreas con uso adecuado e inadecuado para la agricultura es aportar más elementos de juicio que puedan ser de utilidad para fundamentar mejor las alternativas productivas de futuras propuestas de reordenamiento del uso del suelo. La ubicación de las poblaciones dentro de las áreas con uso adecuado e inadecuado para la agricultura puede ser de utilidad para dirigir de manera más específica los programas de incentivos a la producción agrícola o de apoyo social. Por otra parte, esta información también puede ser un parámetro para definir la congruencia de los resultados de la clasificación de las áreas potenciales para la agricultura, si se consideran los siguientes supuestos: a) las áreas delimitadas con uso inadecuado para la agricultura deben tener características ambientales opuestas a las definidas como óptimas en los requerimientos de los cultivos; y b) los pobladores de las áreas agrícolas actuales con menor aptitud biológica y económica, deben tener un nivel de vida más bajo que los pobladores de las áreas con uso adecuado para la agricultura.

La caracterización de las áreas con uso inadecuado para la agricultura, desde el punto de vista ambiental, se realizó recortando en el sistema IDRISI los mapas de condicionantes físicas (edáficas, topográficas y climáticas), con los límites de las áreas con uso inadecuado para

agricultura de temporal y riego. El rango de la variación total de los mapas recortados con valores continuos (topográficos y climáticos) se reclasificaron en cinco clases, a partir de los cuales se ponderó, para cada uno de los factores, un valor para toda el área. La ponderación se realizó multiplicando la superficie correspondiente a cada clase por el valor medio de la misma (marca de clase) dividiendo la suma de estos productos entre la superficie total del área. En el caso del mapa de profundidad del suelo con cuatro valores en base a las fases físicas y la unidad de suelo Litosol (5, 25, 75 y 100 cm), se multiplicó directamente la superficie correspondiente a cada profundidad de suelo por su valor de profundidad, y la suma de los productos se dividió entre la superficie total. Se procedió de la misma manera con las áreas con uso adecuado con fines comparativos.

Las áreas con uso inadecuado para la agricultura de riego resultaron contenidas casi en su totalidad en las inadecuadas para temporal, por lo que sus características ambientales también fueron muy similares. Por lo anterior, se decidió juntar ambas áreas en una sola, conformando las áreas inadecuadas y, por diferencia, las áreas con uso adecuado para la agricultura en general. Estas áreas se caracterizaron desde el punto de vista socioeconómico.

Las vías de comunicación tienen un papel importante en la comercialización de los productos agropecuarios, por lo anterior, se considero de interés cuantificar las diferencias en cuanto a sus modalidades y densidad en las áreas con uso adecuado e inadecuado para la agricultura. La longitud total de las diferentes modalidades de vías de comunicación en áreas con uso adecuado e inadecuado para la agricultura y no agrícola, se obtuvieron de la siguiente manera. Primero se exportaron tales áreas del sistema IDRISI a ARC/INFO, en ARC/INFO se recortó el mapa de vías de comunicación con los límites de estas áreas y, finalmente, en ArcView se calcularon las longitudes de cada tipo de vía, aprovechando la capacidad de este sistema para calcular longitudes directamente.

Otro tipo de información disponible y ubicable geográficamente para caracterizar las áreas con uso adecuado e inadecuado para la agricultura son los resultados del Censo de Población y Vivienda de 1995 realizado por el INEGI, (1996b). A partir de las coordenadas de las poblaciones de más de tres viviendas del DDR 004 disponibles en dicho Censo en disco compacto se generó en ARC/INFO un mapa de puntos. Del mismo disco compacto se extrajo la base de datos en formato .dbf, en la que se descartaron las poblaciones de menos de tres viviendas para las cuales no se presentan datos en forma individual. Esta base de datos se anexó al mapa de puntos.

La caracterización de las poblaciones ubicadas en las áreas con uso inadecuado se realizó desplegando dichas áreas en el sistema ArcView, en donde se sobrepusieron los puntos que representan las poblaciones. En este sistema fue posible seleccionar en forma automática las poblaciones ubicadas sobre las áreas con uso inadecuado y su base de datos, así como generar un archivo ASCII de las características censales de las poblaciones seleccionadas. Dicho archivo fue importado a una hoja de cálculo. Lo mismo se hizo con las comunidades ubicadas sobre las áreas con uso adecuado. En la hoja de cálculo, ambos archivos ASCII fueron comparados con el fin de cuantificar sus diferencias.

## **5. RESULTADOS Y DISCUSION**

En este capítulo se presentan las características generales de las bases de datos digitales en relación con las de los estudios previos. Para las bases de datos de suelo y topografía se muestra la información más relevante así como los resultados de su verificación. Se describen los resultados de la aplicación del enfoque fuzzy tanto para los cultivos con datos de productividad como para las especies que carecen de ellos. Se cotejan los resultados de la aplicación de este enfoque con los obtenidos con los métodos convencionales de Provincias Agronómicas y Potencial Productivo. Se cuantifican los principales cambios de uso del suelo mediante la comparación del uso anterior del suelo (1973) con el uso actual delimitado a partir de fotografías aéreas (1993). Se delimitan y cuantifican las áreas con uso adecuado e inadecuado del suelo a través de la diferencia entre el uso actual y el uso potencial para la agricultura. Finalmente, se caracterizan dichas áreas desde el punto de vista físico y socioeconómico.

### **5.1. BASES DE DATOS**

En el Cuadro 2 se presenta una comparación de los parámetros considerados en las bases de datos utilizadas en el presente estudio, con aquellas de los estudios previos. Se incrementó la escala de la información de suelos de 1:500,000 a 1:50,000. La resolución de la información topográfica se mejoró de 900 m por 900 m (81 ha) a 100 m por 100 m (1 ha). El número de estaciones para realizar las interpolaciones climáticas se incrementó de 149 a 331, además se generaron mapas de períodos decenales en lugar de mensuales. Se agregó información de uso anterior del suelo digitizando las cartas de CETENAL (1973 - 1974b) y de uso actual del suelo, mediante interpretación y digitización de fotografías aéreas escala 1:75,000 de 1993 (INEGI, 1993a). También se incluyeron las bases de datos de vías de comunicación (SCT, 1993) y poblaciones de más de tres viviendas con sus respectivos datos de población y vivienda del Censo de 1995 (INEGI, 1996b).

Toda la información espacial se proyectó cartográficamente (UTM, Zona 14), se asignó escala a los mapas de presentación y las estadísticas se desagregaron a nivel de municipio. Se incluyó información no espacial de productividad de cultivos por municipio.

Cuadro 2. Comparación de las características de las bases de datos de los estudios previos y del presente estudio.

<b>Característica</b>	<b>Estudios Previos</b>	<b>Presente Estudio</b>
Escala de información de suelos	1:500,000	<b>1:50,000</b>
Resolución del Modelo de Elevación Digital	900 x 900 m = 81 ha	<b>100 x 100 m = 1 ha</b>
Estaciones climáticas consideradas	149	<b>331</b>
Amplitud de los períodos climáticos	Mensuales	<b>Decenales</b>
Desagregación de resultados	Estatal y Distrital	<b>Estatal, Distrital y Municipal</b>
Uso anterior del suelo (CETENAL, 1973-1974)	No	<b>1:50,000</b>
Uso actual del suelo (Fotografías aéreas, 1993)	No	<b>1:75,000</b>
Proyección cartográfica	No	<b>Sí</b>
Escala en mapas de presentación	No	<b>Sí</b>
Vías de comunicación como referencia	No	<b>Sí</b>
Poblaciones como referencia	No	<b>Sí</b>
Estadísticas de productividad	No	<b>Sí</b>

### 5.1.1. RESULTADOS Y VERIFICACION DE LA BASE DE DATOS DE SUELOS

El 48% de la superficie de las unidades de suelo dominantes delimitadas en el área en estudio fueron los Vertisoles pélicos (Vp), los cuales en El Bajío generalmente se presentan sin unidades secundarias. Pero en las zonas montañosas se presentaron Phaeozems (H) o Litosoles (I) como unidades secundarias. El 37 % de la superficie correspondió a los Phaeozems háplicos (Hh), lúvicos (Hl) y calcáricos (Hc), combinados con Litosoles en las montañas y sin unidades secundarias en El Bajío. Las unidades de suelos mencionadas junto con los Litosoles (9%) representan alrededor del 94 % de la superficie total del área en estudio. Otras unidades de suelo de menor importancia, por la superficie que ocupan, fueron Chernozems lúvicos (Cl) y cálcicos (Ck), Fluvisoles éutricos (Je) y gleyicos (Jg), Luvisol crómico (Lc), Castañozem lúvico (Kl) y Zolotchak órtico (Zo) (Cuadro 1A del Anexo I). De un total de 720 polígonos que integran la base de datos de suelo, únicamente dos presentaron unidades de suelo terciarias.

La textura fina está asociada principalmente a los Vertisoles; y la textura media, a los Phaeozems. El 57.9 % de la superficie total (208,020 ha) tiene textura fina (3), 149,049 ha (41.5%) textura media (2) y únicamente 2,340 ha (0.6%) corresponden a textura gruesa (1).

De acuerdo a los resultados de la verificación de las unidades de suelo dominantes se observó que el color es una característica que, a simple vista, se diferencia en todas las unidades de suelo. A excepción de los Luvisoles crómicos (Lc) y los Zolotchack (Zo), todas las unidades están clasificadas como de alta fertilidad; sin embargo, el Vp posee una serie de características que le permiten tener ventajas en fertilidad sobre el resto de las unidades, las cuales se pueden resumir en la deficiencia de fósforo y potasio y/o un desequilibrio de elementos menores, necesarios para un adecuado desarrollo de los cultivos de importancia en el área en estudio.

En general, las características de las unidades de suelo corresponden a las descritas en la clasificación de suelos FAO/UNESCO. La única discrepancia importante se detectó en el único polígono de suelo clasificado como Zo, cuyos bajos valores de conductividad eléctrica (C.E.) y de porcentaje de sodio intercambiable (P.S.I.) no representan un problema grave de sales solubles, que caracterizan esta unidad de suelo.

En el Cuadro 2A del Anexo I se presentan los resultados de análisis de suelos a una profundidad de 0 a 30 cm (no son relevantes las diferencias a una profundidad de 30 a 60 cm), correspondientes a típicos Vp y Hh seleccionados de análisis existentes en el laboratorio del CEBAJ. Se incluyen además los resultados promedio de análisis realizados a muestras de campo de otras unidades de suelo, principalmente de agricultura de temporal y no agrícolas.

Se delimitaron ocho fases físicas a partir de las cuales, además de los Litosoles, se clasificó la profundidad del suelo y la factibilidad de realizar labores mecanizadas (Cuadros 3A y 4A del Anexo I). Se calculó una superficie de 101,263 ha (28.1%) sin fases físicas, con una profundidad de suelo mayor de 1.0 m; 34,058 ha (9.4%) con las fases dúrica y lítica profundas con suelos de 50 a 100 cm; 110,467 (30.4%) ha con las fases lítica, dúrica y petrocálcica con una

profundidad entre 0 y 50 cm; 31,190 ha (8.7%) con Litosoles con una profundidad de suelo menor de 10 cm. Además, se calcularon 83,656 ha (28%) de áreas con la fase física pedregosa y 380 ha (0.1%) de gravosa. Estas fases se presentan en la superficie, por lo que se considera que no afectan la profundidad del suelo pero si pueden limitar la mecanización de las labores agrícolas. En la Figura 6 se presenta el área que ocupan los diferentes intervalos de profundidad del suelo y la factibilidad de laboreo con base en las fases físicas y la unidad de suelo Litosol.

De los resultados de la verificación de campo se dedujo que las fases físicas pedregosa y gravosa (84,036 ha), de acuerdo a la cartografía de suelos de CETENAL (1973 - 1974a), no deben considerarse una limitación para la agricultura en el área en estudio por las siguientes razones: a) se han llevado a cabo varios programas de “despiedre” por parte del gobierno del estado; b) los agricultores continuamente sacan las piedras de sus parcelas y/o “conviven” con ellas utilizando métodos de labranza con tracción animal; y c) en el resto del área es posible eliminar las piedras con una inversión de capital.

Se cuantificó una superficie total de 10,002 ha de suelos con fases químicas, distribuidas en cinco polígonos y clasificadas de la siguiente manera: 4,434 ha de suelos "ligeramente salino-sódicos"; 4,826 ha, "sódicos", y 742 ha, "moderadamente salino-sódicos. De acuerdo a los resultados de la verificación de campo de dichas áreas salinas y los análisis de salinidad de 20 muestras a dos profundidades (0 a 30 y 30 a 60 cm) se llegó a las siguientes conclusiones: a) las áreas con fases químicas de acuerdo a las cartas edafológicas no corresponden en su totalidad a los resultados de los análisis de laboratorio porque, se supone, han cambiado a través del tiempo; b) en estas áreas la siembra de alfalfa y la aplicación de estiércol son prácticas frecuentes en el sistema de producción agropecuario, prácticas que, se deduce, han contribuido a la rehabilitación de algunos suelos salinos; y c) los cultivos de cebolla y jitomate, además de la alfalfa, son comunes en suelos con problema de sales moderados (Cuadro 5A del Anexo I). En general, los cultivos de cobertura completa, como la alfalfa, disminuyen la evaporación del suelo y, por lo tanto, la concentración de sales. Por otra parte, la materia orgánica en general mejora la estructura del suelo, lo que facilita la lixiviación de las sales solubles.

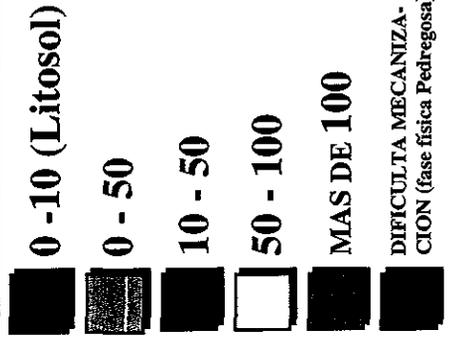
Por lo anterior, las áreas cartografiadas con fases químicas no se descartaron automáticamente, como se hizo en los estudios previos, sino que se consideraron aptas o se les asignó una restricción gradual, de acuerdo al grado de salinidad y la tolerancia a las sales observada para los cultivos en cuestión.

**PROFUNDIDAD Y FACILIDAD DE  
MECANIZACION DEL SUELO**



**DISTRITO DE DESARROLLO  
RURAL 004 CELAYA, GTO.**

**PROFUNDIDAD DEL SUELO (cm)  
Y EFECTO EN LA MECANIZACION**



**UBICACION**



**FIGURA 6. PROFUNDIDAD DEL SUELO Y FACILIDAD DE MECANIZACION EN EL DDR 004, CON BASE EN LAS FASES FISICAS Y LA UNIDAD DE SUELO LITOSOL (CETENAL, 1973-1974).**

En la ecuación 3 se puede observar que la correspondencia entre los datos de pendiente derivados del MED con los obtenidos a partir de las cartas topográficas escala 1:50,000, no es tan alta como en el caso de los datos de altitud ( $R^2 = 0.99$  Vs. 0.79). Esto se atribuye, por una parte, a que los datos de pendiente son calculados con base en datos sujetos a una estimación (interpolación de los datos originales), esto es, las pendientes son producto de una doble estimación. Por otra parte, la diferente forma de calcular las pendientes en las cartas (contando el número de curvas de nivel a cada 10 m en 1.0 cm alrededor del punto de muestreo) con respecto a las derivadas del MED (una celda de 100 x 100 m), puede ser otra causa de la menor concordancia entre los datos de pendiente.

#### PENDIENTES MED VS PENDIENTES DE CARTAS TOPOGRAFICAS

Ecuación 3

$$Y = 1.877391 + 0.897658 (X)$$

Coefficiente de Determinación ( $R^2$ ) = 0.79

Error estándar (EE) de X = 0.07

Error estándar (EE) de Y = 3.78

Número de observaciones (n) = 44

## 5.2. CLASIFICACION CONVENCIONAL

En este apartado se describen los resultados más relevantes de la aplicación de la metodología de Provincias Agronómicas a los cultivos de maíz y frijol de temporal; así como la metodología de Potencial Productivo aplicada a los cultivos no básicos de temporal, cultivos de riego y a las especies de importancia pecuaria y forestal.

En el Cuadro 3 se presenta la superficie por clase de productividad para maíz y frijol de temporal clasificados de acuerdo a la metodología de Provincias Agronómicas. Para maíz se puede observar que de las cinco clases posibles (no se cuantifica la clase no apta), únicamente se presentaron tres: buena, mediana y baja productividad. Las pequeñas áreas de buena productividad se ubican en los municipios de Jerécuaro, Tarimoro y Coroneo. A diferencia del maíz, el frijol presenta áreas clasificadas de muy buena productividad en los municipios de Jerécuaro, Tarimoro y Coroneo y una superficie considerable de buena productividad en todos los municipios. Por lo anterior, desde el punto de vista de productividad, el frijol es considerado una mejor alternativa que el maíz. En la Figura 8 se presenta la distribución espacial de las clases de productividad potencial para maíz de temporal.

Para los cultivos no básicos de temporal y cultivos de riego a los que se aplicó la metodología de Potencial Productivo, se determinó una sola clase de aptitud: potencial alto, sin especificar el grado de aptitud para el resto de la superficie. En el Cuadro 4 se observa que las superficies potenciales para los cultivos de riego son muy similares, lo que hace suponer que, bajo esta condición de humedad, esta metodología no discrimina entre municipios ni entre cultivos. En dicho cuadro, los municipios de Jerécuaro y Coroneo no presentan superficies con potencial para el sorgo de riego y temporal debido a la restricción de altitud (menor de 1800 m); el potencial para el cultivo de sorgo de temporal es mucho menor que para el mismo cultivo bajo condiciones de riego; el garbanzo de humedad residual presenta el potencial más reducido, debido a que en los requerimientos del cultivo se consideró la precipitación durante el ciclo del cultivo, la cual es muy escasa. Finalmente, en el municipio de Coroneo no se presentan superficies con potencial para ningún cultivo, a excepción de una pequeña superficie para alfalfa de riego.

La misma metodología de Potencial Productivo se aplicó a las especies de importancia pecuaria y forestal. En el Cuadro 5 se observa que el mayor potencial se presenta para el mezquite y zacate Navajita, los cuales muestran superficies con potencial para todos los municipios; las áreas de adaptación del zacate Navajita aparecen en las laderas de las montañas y el mezquite se ubica principalmente en las áreas agrícolas de El Bajío; el potencial del zacate Buffel se presenta principalmente en el área de El Bajío; mientras que las zonas potenciales para el nopal tunero se ubican en el norte y centro del área en estudio, limitado por las precipitaciones más altas en el sur. Asimismo, este cuadro indica que las zonas con potencial para pino piñonero se localizan en los municipios de Apaseo el Alto y Apaseo el Grande; el encino, únicamente se presenta en una pequeña superficie potencial en el municipio de Jerécuaro. En la Figura 9 se observa la distribución espacial para mezquite, como un ejemplo de las especies a las que se aplicó la metodología de Potencial Productivo (típico método Booleano).

Cuadro 3. Superficies (ha) con clases de productividad potencial para maíz y frijol de temporal por municipio del DDR 004, determinadas mediante la metodología de Provincias Agronómicas.

Municipios	Clases de productividad potencial para maíz de temporal					Clases de productividad potencial para frijol de temporal				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Juventino Rosas	0	0	17,393	248	0	0	5,831	11,562	248	0
Comonfort	0	0	13,077	1,743	0	0	2,719	10,358	1,743	0
Celaya	0	0	22,251	1,156	0	0	5,315	16,936	1,156	0
Apaseo el alto	0	0	20,657	0	0	0	1,571	19,086	0	0
Apaseo el grande	0	0	21,287	169	0	0	8,846	12,441	169	0
Tarimoro	0	658	8,184	662	0	658	5,834	2,350	662	0
Jerécuaro	0	3,785	23,647	0	0	3785	18,800	4,847	0	0
Coroneo	0	315	6,750	0	0	315	6,750	0	0	0
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>4,758</b>	<b>13,3246</b>	<b>3,978</b>	<b>0</b>	<b>4,758</b>	<b>55,666</b>	<b>77,580</b>	<b>3,978</b>	<b>0</b>

1 = Muy buena productividad

2 = Buena productividad

3 = Mediana productividad

4 = Baja productividad

5 = Tierras marginales

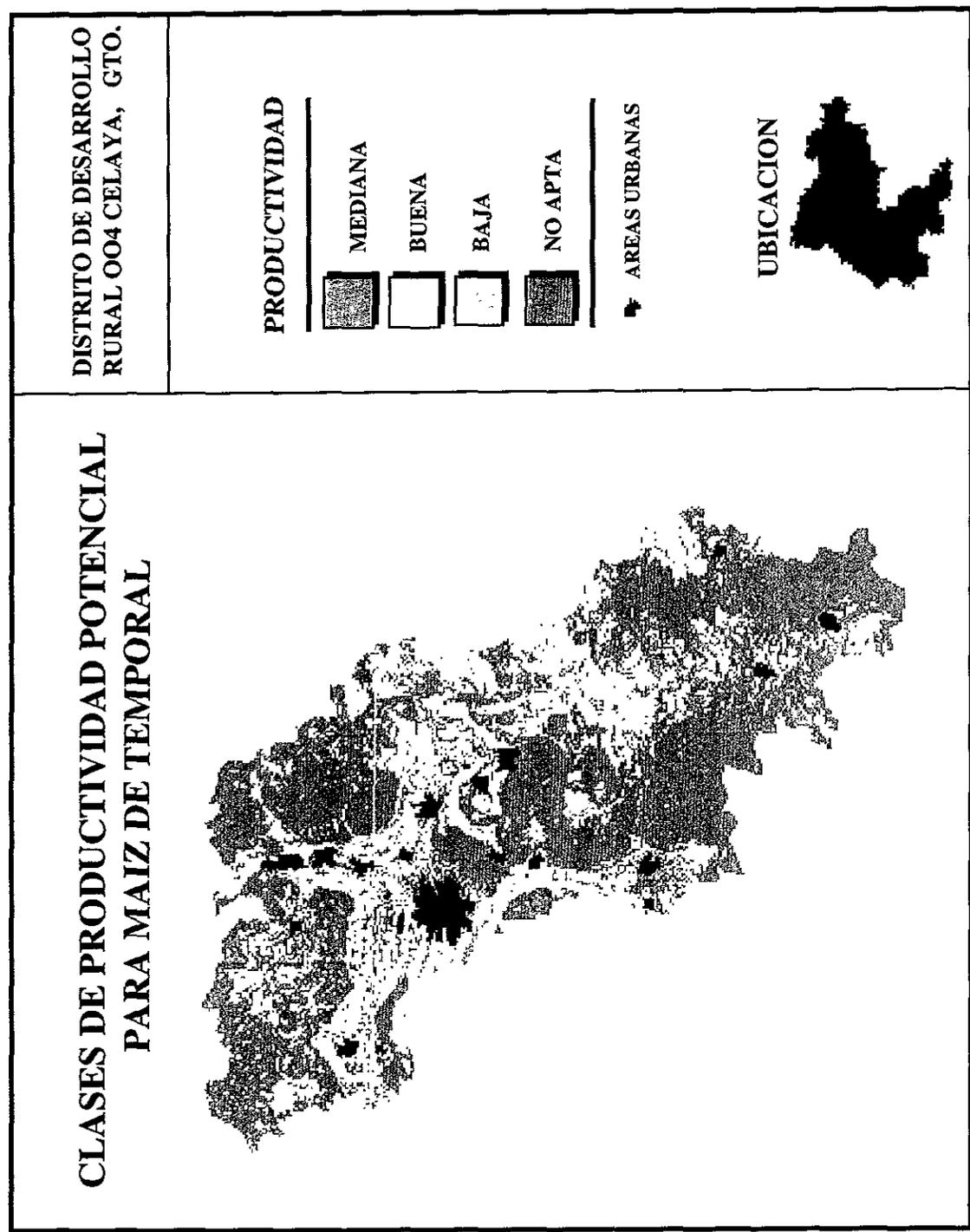


FIGURA 8. CLASIFICACION PARA MAIZ DE TEMPORAL CON LA METODOLOGIA CONVENCIONAL DE PROVINCIAS AGRONOMICAS.

Cuadro 4. Superficies (ha) clasificadas con potencial alto para cultivos de riego y no básicos de temporal por municipio del DDR 004, determinadas mediante la metodología de Potencial Productivo.

<b>Municipios</b>	<b>Sorgo T</b>	<b>Garbanzo HR</b>	<b>Maíz R</b>	<b>Sorgo R</b>	<b>Trigo R</b>	<b>Alfalfa R</b>
Juventino Rosas	1,390	0	9,487	9,243	9,488	9,488
Comonfort	0	0	3,124	1,617	3,124	3,124
Celaya	2,725	39	19,194	19,015	19,194	19,174
Apaseo el Alto	433	965	547	42	317	848
Apaseo el Grande	8,453	1,186	7,856	7,199	7,856	7,856
Tarimoro	5,103	668	5,105	4,949	5,106	5,106
Jerécuaro	0	2,352	2,472	0	2,440	2,518
Coroneo	0	0	0	0	0	138
<b>Total</b>	<b>18,104</b>	<b>5,210</b>	<b>47,785</b>	<b>42,065</b>	<b>47,525</b>	<b>48,252</b>

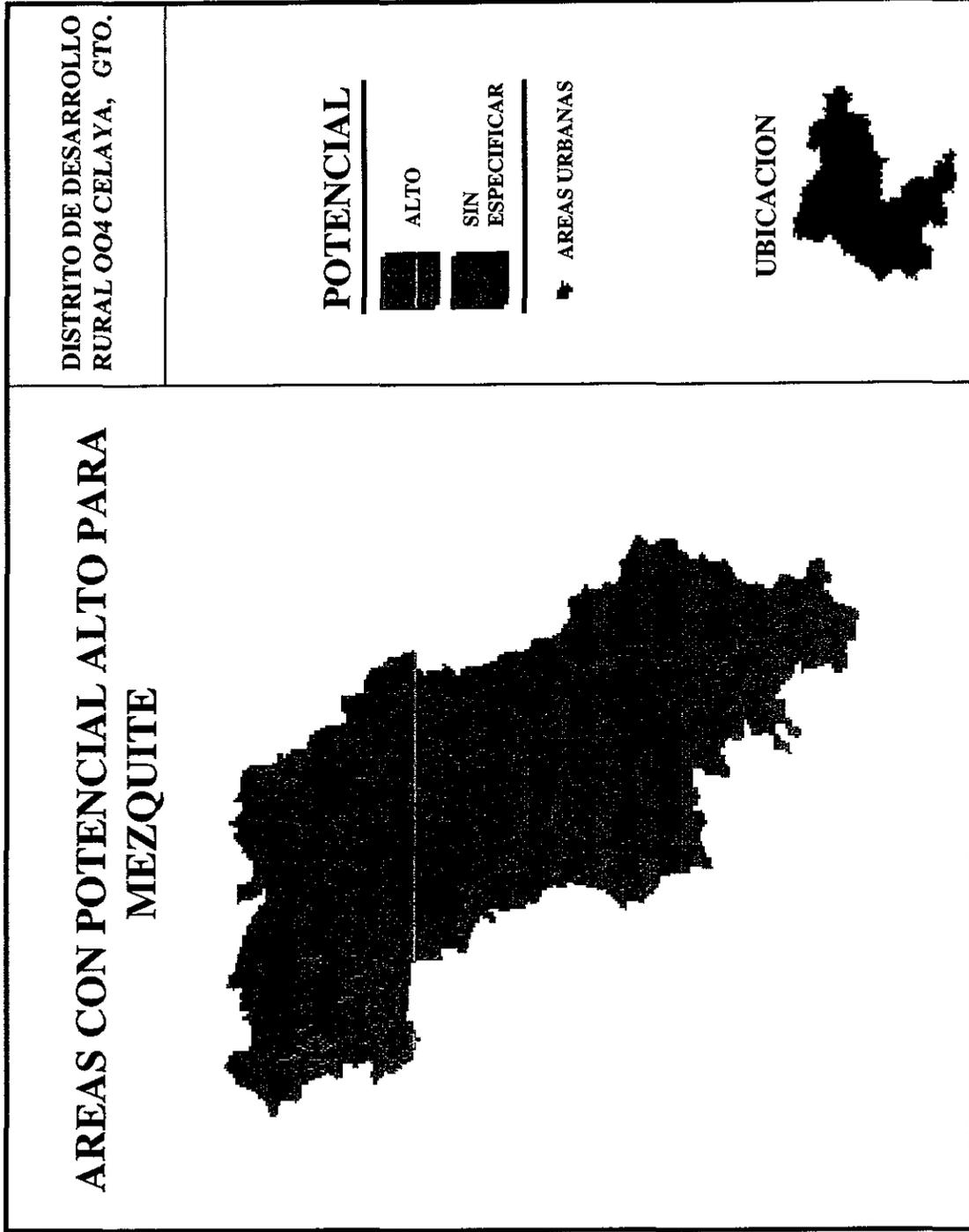
T = temporal

HR = humedad residual (modalidad de la agricultura de temporal)

R = riego

Cuadro 5. Superficies clasificadas con potencial alto (ha) para las especies de importancia pecuaria y forestal por municipio del DDR 004, determinadas mediante la metodología de Potencial Productivo.

<b>Municipios</b>	<b>Zacate Buffel</b>	<b>Zacate Navajita</b>	<b>Nopal Tunero</b>	<b>Pino Piñonero</b>	<b>Encino</b>	<b>Mezquite</b>
Juventino Rosas	16,913	9,485	14,711	234	0	14,124
Comonfort	19,020	18,641	22,703	7,745	0	7,874
Celaya	27,653	6,515	21,996	2,436	0	22,963
Apaseo el Alto	6,492	18,081	0	20,279	0	28,731
Apaseo el Grande	14,142	6,688	6,978	14,366	0	30,628
Tarimoro	8,575	14,637	0	3,135	0	13,842
Jerécuaro	3,857	45,947	0	3,272	229	31,045
Coroneo	0	1,101	0	0	0	439
<b>Total</b>	<b>96,652</b>	<b>121,095</b>	<b>66,388</b>	<b>51,467</b>	<b>229</b>	<b>149,646</b>



**FIGURA 9. CLASIFICACION PARA MEZQUITE CON LA METODOLOGIA CONVENCIONAL DE POTENCIAL PRODUCTIVO.**

### **5.3. CLASIFICACION FUZZY DE ESPECIES SIN DATOS DE PRODUCTIVIDAD**

Los requerimientos de las especies de importancia pecuaria y forestal aplicados en la metodología convencional (Cuadro 12A del Anexo II) sirvieron como base para definir las funciones de membresía de las especies que no cuentan con información de productividad (Cuadros 13A a 18A del Anexo III). En estos cuadros se observa que todas las especies en estudio presentan datos sobre los requerimientos de altitud, precipitación y temperatura. A excepción del zacate Buffel, para estas especies la profundidad del suelo no es restricción, a diferencia de los cultivos de importancia agrícola. Las pendientes pronunciadas no son restricción para pino y encino, el zacate Navajita tolera un amplio rango de pendientes y el resto de las especies tolera pendientes moderadas. Algunos tipos de textura de suelo sólo representan restricción para encino y mezquite.

Si se analizan las funciones de membresía para el zacate Buffel del Cuadro 13A del anexo III, se observa que la primera función de membresía correspondiente a la altitud puede considerarse como una función asimétrica negativa generada de una variable continua. Las funciones para precipitación, temperatura, y pendiente, pueden considerarse simétricas, a partir de variables continuas, y la función de la profundidad de suelo es asimétrica positiva, generada a partir de datos discretos con sólo cuatro valores de membresía.

En el Cuadro 6 se presentan los valores de ponderación asignados a las diferentes especies, definidos con base en el promedio de los coeficientes de correlación para los cultivos de temporal del Cuadro 8 (apartado 5.4). Se puede observar que la precipitación es considerada el factor de mayor peso en la producción de las especies y en segundo lugar la temperatura. En el Cuadro 19A del anexo III se presenta como ejemplo el archivo de comandos que permitió hacer más eficiente el proceso de modelación para determinar las clases de aptitud fuzzy del zacate Buffel.

En el Cuadro 7 se observa la superficie por clase de aptitud expresada en ha (o número de píxeles con una resolución de 100 m X 100 m) para los cultivos de importancia pecuaria y forestal del DDR 004 que no cuentan con datos de productividad. La clase de mayor aptitud (10) se presentó únicamente para mezquite (49,852 ha) y zacate Navajita (43,666 ha). En la segunda clase de aptitud (9) el pino piñonero y el nopal tunero con 11,134 y 769 ha, respectivamente. La menor aptitud correspondió al encino y al zacate Buffel con 12,212 y 892 ha, respectivamente, ubicándose en la tercera clase de aptitud (8). En los Cuadros 20A y 21A del Anexo III es posible apreciar, además de las diferencias entre especies, las variaciones entre municipios. Por ejemplo, en el Cuadro 7 se observa que a nivel de Distrito el mezquite presenta la superficie más extensa con la clase de mayor aptitud, mientras que en el cuadro 21A del anexo III es posible distinguir que esta superficie únicamente está distribuida en cuatro de los ocho municipios que lo integran.

Cuadro 6. Valores de ponderación asignados a las funciones de membresía de los factores de estratificación para las especies de importancia pecuaria y forestal que no cuentan con datos de productividad.

Especies	Precipitación	Altitud	Temperatura	Prof. de suelo	Pendiente	Textura
Zacate Buffel	0.30	0.14	0.17	0.24	0.15	----
Zacate Navajita	0.40	0.18	0.22	----	0.20	----
Nopal tunero	0.40	0.19	0.22	----	0.19	----
Pino piñonero	0.35	0.17	0.19	0.29	----	----
Encino	0.45	0.18	0.22	----	----	0.15
Mezquite	0.375	0.165	0.195	----	0.10	0.10

Cuadro 7. Superficies (ha) por clase de aptitud resultantes de la aplicación del enfoque de límites de transición gradual, para las especies de importancia pecuaria y forestal que no cuentan con datos de productividad.

Especies	Clases de aptitud									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Zacate Buffel	2	8,890	36,857	72,643	58,161	85,164	84,852	892	-----	-----
Zacate Navajita	-----	-----	39	251	921	3,552	21,246	105,710	172,076	43,666
Nopal tunero	-----	-----	2,032	11,992	34,521	115,700	167,993	14,454	769	-----
Pino Piñonero	-----	-----	-----	1,281	137,181	64,911	62,608	70,346	11,134	-----
Encino	-----	-----	1,369	99,863	111,942	77,035	45,036	12,212	-----	-----
Mezquite	-----	1,563	3,065	7,607	15,668	24,405	54,503	69,500	121,298	49,852

En el Cuadro 20A del Anexo III se observa que el único municipio que no presenta superficies en la clase de mayor aptitud para el zacate Navajita es Coroneo, debido a que las temperaturas resultan demasiado bajas para esta especie. Se debe tener en cuenta que este zacate es una especie nativa, altamente afectada por el sobrepastoreo. En contraste, la aptitud para el zacate Buffel es muy limitada ya que no presenta áreas en ningún municipio en las dos primeras clases de aptitud. La principal limitación de esta especie son las temperaturas relativamente bajas. Por ello, los municipios con mayor aptitud para esta especie son los que presentan las temperaturas más altas (Celaya y Apaseo el Grande). Los municipios con mayor superficie en la segunda clase de aptitud para nopal tunero, se presentan al norte del Distrito, en el municipio de Comonfort y en las partes montañosas de Celaya, porque las precipitaciones del sur del área en estudio resultan demasiado altas, de acuerdo a los requerimientos de esta especie.

En el Cuadro 21A del Anexo III, correspondiente a las especies forestales, se observa que las zonas con mayor aptitud para el mezquite se ubican en los municipios del Norte del área en estudio (Celaya, Comonfort, Juventino Rosas y Apaseo el Grande). La superficie más extensa para pino piñonero, en la segunda clase de aptitud, se ubica en los municipios de Jerécuaro y Coroneo, municipios que presentan las áreas con mayores posibilidades para encino en la tercera clase de aptitud. Aunque con menor aptitud, el pino piñonero se puede considerar una especie complementaria al mezquite, ya que mientras el mezquite se adapta en las zonas aptas para la agricultura, las condiciones más adecuadas para el pino se localizan en las áreas montañosas. En la Figura 10 se presenta la clasificación fuzzy para mezquite, como un ejemplo de la aplicación de este enfoque a las especies que no cuentan con datos de productividad.

#### **5.4. CLASIFICACION FUZZY DE CULTIVOS CON DATOS DE PRODUCTIVIDAD**

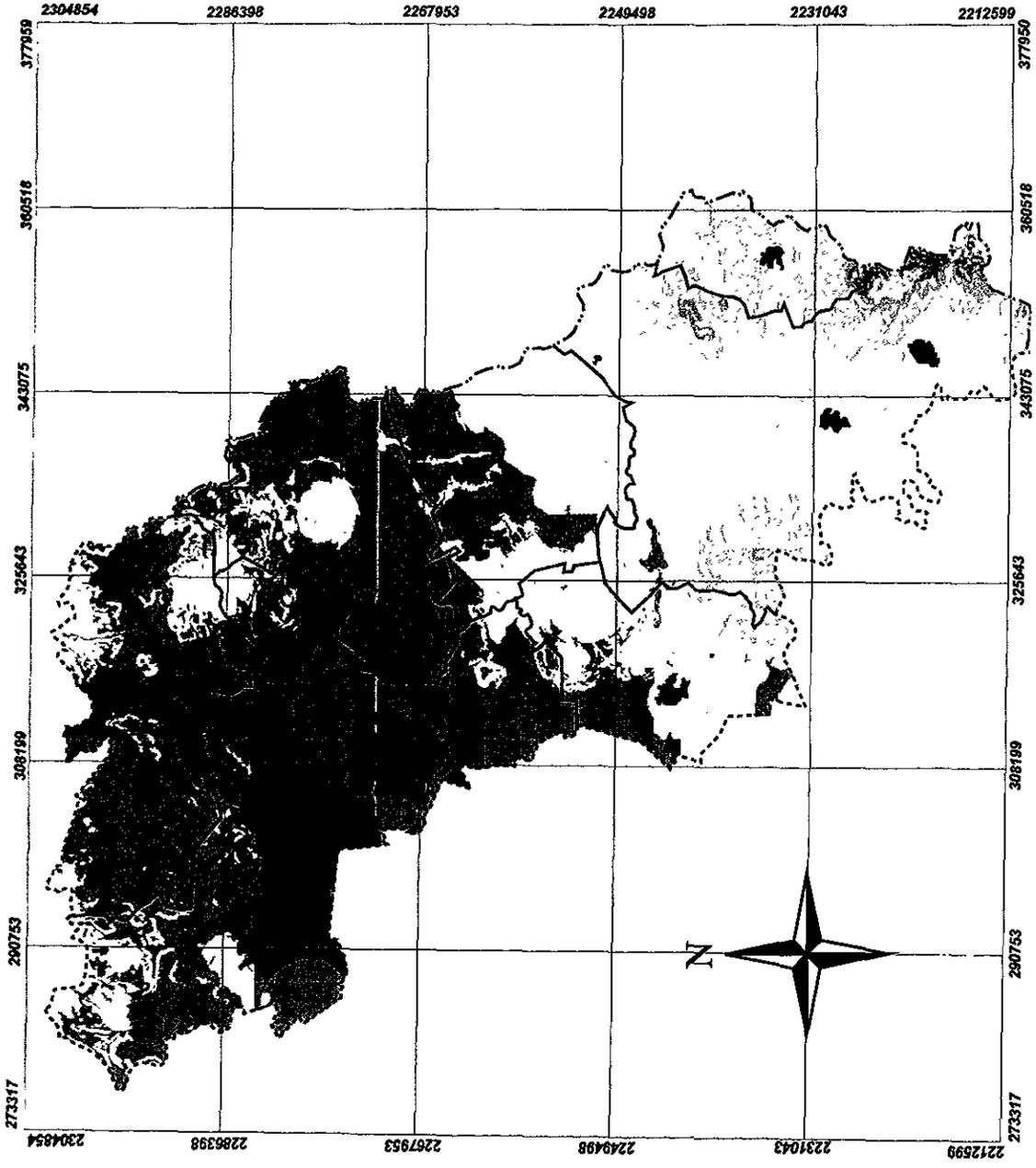
En el Cuadro 8 se presentan los resultados del análisis de correlación entre los rendimientos de los cultivos y los factores del medio físico. Los datos utilizados para realizar tal análisis se presentan en los Cuadros 22A a 27A del Anexo IV. Al comparar los coeficientes de correlación ( $r$ ) se pueden hacer las siguientes observaciones:

A) En algunos casos, la máxima correlación entre el rendimiento de los cultivos y los factores de clima no corresponde con el ciclo del cultivo en cuestión. Por ejemplo, la precipitación anual acumulada explica en mayor grado la variación del rendimiento del frijol de temporal ( $r = 0.79$ ) que la precipitación acumulada de junio a septiembre ( $r = 0.70$ ).

B) Los coeficientes de correlación entre el rendimiento de los cultivos de temporal con la precipitación lógicamente son positivos en todos los casos y superiores a los correspondientes a los cultivos de riego. La respuesta de este factor para los cultivos de temporal es lineal dado que las precipitaciones, en el mejor de los casos, apenas alcanzan el óptimo (funciones asimétricas positivas). En el caso del garbanzo de temporal, las bajas correlaciones con la precipitación, y en algunos casos negativas, seguramente se deben a que durante el ciclo de este cultivo (octubre a febrero) la humedad en el suelo debida a la precipitación es prácticamente nula.

# CLASIFICACION FUZZY PARA MEZQUITE

DISTRITO DE DESARROLLO RURAL 004 CELAYA, GTO.



CLASE	INTERVALO
10	0.9 - 1.0
9	0.80 - 0.89
8	0.70 - 0.79
7	0.60 - 0.69
6	0.50 - 0.59
5	0.4 - 0.49
4	0.30 - 0.39
3	0.20 - 0.29
2	0.10 - 0.19

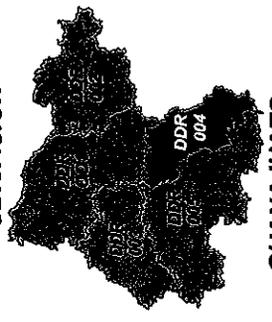
**AREAS URBANAS**

**LIMITES**  
 ESTATAL  
 DISTRITAL  
 MUNICIPAL

PROYECCION UTM  
 ZONA 14  
 ESCALA 1 : 650 000



UBICACION



GUANAJUATO

FIGURA 10

Cuadro 8. Coeficientes de correlación ( r ) entre el rendimiento de los cultivos (variables dependientes) y las variables del medio físico (variables independientes).

Factores Ambientales	Cultivos de temporal			Pro-medio	Cultivos de riego				Pro-medio	Humedad Residual
	Maíz	Frijol	Sorgo		Maíz	Sorgo	Trigo	Alfalfa		
<b>Precipitación (mm)</b>										
Anual	0.76	0.79	0.64	0.73*	0.37	0.43	0.43	0.09	0.33	-0.23
Jun. - Sep.	0.79	0.70	0.62	0.70	0.34	0.39	0.47	0.15	0.34	-0.13
Oct. - Feb.	0.43	0.68	0.31	0.47	0.15	0.20	-0.05	-0.15	0.04	-0.25
<b>Índice P/EJS</b>	0.63	0.70	0.42	0.58	0.18	0.27	0.24	-0.03	0.16	-0.39
<b>Temperatura Media (°C)</b>										
Anual	0.33	0.35	0.51	0.40*	0.41	0.48	0.60	0.39	0.47	0.32
Abr. - Oct.	0.32	0.16	0.48	0.32	0.44	0.41	0.59	0.40	0.46	0.39
Dic. - May.	0.19	0.02	0.45	0.22	0.18	0.44	0.57	0.34	0.38	0.20
Jun. - Sep.	0.30	0.18	0.44	0.31	0.36	0.45	0.58	0.39	0.44	0.41
Oct. - Feb.	0.47	0.18	0.57	0.41	0.37	0.58	0.57	0.37	0.47	0.20
<b>Evaporación (mm)</b>										
Anual	0.37	0.01	0.26	0.21	0.42	0.24	0.37	0.29	0.33	0.41
Abr. - Oct.	0.36	-0.01	0.26	0.20	0.49	0.31	0.41	0.31	0.38	0.45
Dic. - May.	0.39	0.00	0.19	0.19	0.40	0.14	0.33	0.25	0.28	0.37
Jun. - Sep.	-0.41	-0.54	-0.29	-0.41	-0.16	-0.12	-0.03	0.07	-0.06	0.48
Oct. - Feb.	0.28	-0.06	0.24	0.15	0.34	0.20	0.31	0.33	0.29	0.38
<b>Altitud (m)</b>										
Area 1	-0.30	-0.06	-0.65	-0.34*	-0.24	-0.70	-0.66	-0.59	-0.55	-0.41
Area 2	-0.20	-0.05	-0.63	-0.32	-0.24	-0.67	-0.62	-0.64	-0.54	-0.45
<b>Profundidad de suelo (cm)</b>										
Area 1	0.66	0.47	0.65	0.59*	0.69	0.68	0.64	0.48	0.62	0.53
Area 2	0.67	0.49	0.62	0.59	0.66	0.69	0.64	0.44	0.61	0.52
<b>Aptitud Edáfica</b>	-0.41	-0.15	-0.25	-0.27	-0.42	-0.33	-0.28	-0.35	-0.34	-0.42
<b>Bajío (%)</b>	0.52	0.29	0.45	0.42	0.49	0.59	0.52	0.54	0.53	0.62
<b>Pendiente (%)</b>										
Area 1	-0.51	-0.23	-0.34	-0.36*	-0.63	-0.44	-0.43	-0.36	-0.46	-0.59
Area 2	-0.49	-0.18	-0.22	-0.30	-0.59	-0.27	-0.31	-0.31	-0.37	-0.60

P/EJS = Precipitación / evaporación de junio a septiembre

Area 1= Area agrícola de riego con pendientes menores de 4%

Area 2= Area agrícola de temporal con pendientes menores de 8 %

\* = Promedios utilizados para ponderar las funciones de membresía de las especies que no cuentan con datos de productividad.

C) El índice precipitación / evaporación de junio a septiembre (P/EJS) presenta una tendencia muy similar a la precipitación durante el mismo período y, obviamente, están altamente correlacionadas. Sin embargo, los valores de correlación son superiores en todos los casos para la precipitación.

D) Las correlaciones con la temperatura presentan una respuesta positiva en todos los casos. Los valores de correlación a excepción del sorgo de temporal, son ligeramente superiores en los cultivos de riego. El caso del sorgo de temporal seguramente se debe a que este cultivo es muy sensible a las bajas temperaturas y bajo condiciones de temporal está expuesto a temperaturas más bajas porque se siembra a mayor altitud que el de riego. De acuerdo con lo anterior, las temperaturas no son suficientemente altas para limitar el rendimiento de los cultivos y por lo tanto no podemos pensar en una ecuación cuadrática (simétrica) para explicar la variación de los rendimientos. Si consideramos la relación inversa entre temperatura y altitud, lógicamente la totalidad de las correlaciones entre el rendimiento de los cultivos con la altitud son negativas.

E) En general, los coeficientes de correlación con la evaporación son más bajos que para la precipitación, el índice P/EJS y la temperatura. La evaporación tiene un efecto positivo en la mayoría de los casos, sin embargo, de junio a septiembre (período de lluvias y ciclo de los cultivos de temporal) presenta una marcada respuesta negativa para los cultivos de temporal, principalmente para el frijol.

F) Los valores de correlación para altitud y profundidad de suelo en el área agrícola 1 (pendiente menor del 4%) y área agrícola 2 (pendiente menor de 8%) son muy similares. La pendiente tiene un marcado efecto negativo, tanto para cultivos de riego como de temporal, por lo que se esperaría que los valores de correlación fueran mayores (sin considerar el signo) en el área 2, que abarca pendientes más pronunciadas. Sin embargo, las correlaciones para las pendientes del terreno son mayores en el área 1. Quizá esto se deba a que los errores en la estimación de la pendiente para el área 2 son mayores, ya que éstos se incrementan a medida que las pendientes son más pronunciadas, y por lo tanto, su correlación con el rendimiento de los cultivos es menor.

G) Para los cultivos de temporal la precipitación y la profundidad del suelo presentan los valores de correlación (positiva) más altos; mientras que para los cultivos de riego, la altitud y la profundidad del suelo resultan los de mayor importancia. Para el caso del garbanzo, que es un cultivo de humedad residual, la profundidad de suelo, el porcentaje de El Bajío y la pendiente, presentan los mayores valores de correlación.

H) La profundidad del suelo en cm tuvo mayores coeficientes de correlación que la aptitud edáfica (calificación de las unidades de suelo con criterios de la metodología de Zonas Agroecológicas). Los valores de la aptitud edáfica son negativos ya que el valor menor (1) fue asignado al suelo de mejor calidad, y el mayor valor (4) correspondió al suelo de menor calidad.

I) El porcentaje de El Bajío, en general, muestra valores de correlación relativamente altos; sin embargo, se debe tener en cuenta que en su definición se considera la altitud, la pendiente y la profundidad del suelo. Por lo anterior, se observó una correlación alta con tales variables (dependencia).

J) En todos los casos, la pendiente explica de manera negativa y relativamente alta el rendimiento de los cultivos. Se observa mayor impacto en los cultivos de riego, lo cual es lógico si se considera que este factor determina la aplicación uniforme del agua de riego por gravedad.

En el Cuadro 9 se presentan los mejores modelos de regresión múltiple logrados para explicar la variación del rendimiento de los cultivos de temporal y riego representativos del área en estudio. En todos los casos, la significancia ( $\text{prob.} > F$ ) de las ecuaciones es alta debido a los altos valores de  $F$  y al número de observaciones ( $n$ ) relativamente grande. A excepción del garbanzo de temporal, trigo y alfalfa de riego, los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) explican más del 50% de la variación del rendimiento del resto de los cultivos. Podría pensarse que las  $R^2$  son relativamente bajas, sin embargo, debe tenerse en cuenta que: a) las variables independientes corresponden únicamente a factores incontrolables de la producción de cultivos y que no se está considerando su manejo (factores controlables) que seguramente contribuyen a explicar otra parte de la variación de los rendimientos; b) el objetivo de estos modelos no es predecir rendimientos, sino solamente servir de apoyo para seleccionar los factores de estratificación, determinar las funciones de membresía y asignarles un valor de ponderación; y c) la información no procede de un experimento diseñado con este objetivo, sino es un análisis de la información disponible que nos permite aplicar el enfoque fuzzy y tener una aproximación del potencial agrícola para el área en estudio.

La profundidad del suelo aparece como la variable más frecuente en las ecuaciones, tanto para cultivos de riego como de temporal. La precipitación anual, o de junio a septiembre, aparece en los cultivos de temporal como la variable más importante; mientras que para los cultivos de riego, a excepción del maíz, la variable más relevante es la altitud. Si consideramos la alta relación entre la temperatura y la altitud, puede pensarse que realmente es la temperatura la variable que explica de manera directa la variación de los rendimientos de los cultivos, sin embargo, es posible que en este trabajo, la altitud derivada del MED haya sido mejor estimada que la temperatura, razón por la cual esta variable contribuye a explicar en mayor grado dicha variación.

La producción del garbanzo depende básicamente de la humedad en el suelo posterior al período de las lluvias. Lógicamente, en el análisis de regresión la variable precipitación no resultó relevante y se incluyeron otras variables como la profundidad del suelo (positiva) y la pendiente (afectando negativamente) relacionadas con la conservación y pérdida de la humedad en el suelo respectivamente. A pesar de los altos coeficientes de determinación en forma individual para todos los cultivos, a excepción del frijol (Cuadro 8), la pendiente únicamente contribuyó a mejorar significativamente la ecuación de regresión múltiple para garbanzo de temporal. Se debe aclarar que este cultivo se siembra bajo labranza reducida en áreas con pendientes pronunciadas. En el caso de la alfalfa de riego, ninguna variable contribuyó a mejorar significativamente la ecuación de regresión lineal simple con la altitud. Seguramente existen otras variables ambientales o de manejo que contribuyan a explicar la variación de los rendimientos de este cultivo.

Cuadro 9. Modelos de regresión múltiple entre el rendimiento de los cultivos (variables dependientes) y las variables del medio físico (variables independientes).

Variable Dependiente	Variables Independientes	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$R^2$	n	F	prob.>F
Rend. Maíz T.	PJS, EAO, PROS1	-3807.1	5.8166	1.1659	4.2974	0.73	46	38.4	0.0001
Rend. Frijol T.	P/EJS, PROS2	-263.5	665.3500	2.1076		0.54	41	22.4	0.0001
Rend. Sorgo T.	PRA, ALT2	3420.5	4.5600	-2.2497		0.57	35	20.9	0.0001
Rend. Garbanzo HR.	PEND2, PROS1	586.4	-113.6191	4.6306		0.41	33	10.4	0.0004
Rend. Maíz R.	PROS1, EAO, ALT2	-4864.7	29.8163	3.1513	1.3904	0.58	45	18.7	0.0001
Rend. Sorgo R.	ALT1, PROS1	9776.7	-2.8048	20.8520		0.54	39	21.2	0.0001
Rend. Trigo R.	ALT1, PROS1	68924.6	-1.6850	14.5060		0.49	42	18.6	0.0001
Rend. Alfalfa R.	ALT2	174770.0	-59.9950			0.48	37	32.3	0.0001

PJS = Precipitación de junio a septiembre

EAO = Evaporación de abril a octubre

PROS1 = Profundidad de suelo en el área 1

P/EJS = Índice precipitación / evaporación de junio a septiembre

PROS2 = Profundidad de suelo en el área 2

PRA = Precipitación acumulada anual

ALT2 = Altitud sobre el nivel del mar en el área 2

PEND2 = Pendiente en el área 2

ALT1 = Altitud sobre el nivel del mar en el área 1

$\beta_0$  = Constante

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$  = Pendiente de las variables

$R^2$  = Coeficiente de determinación

n = Número de observaciones

En el Cuadro 10 se presentan las funciones de membresía. Estas ecuaciones son resultado de un análisis de regresión simple de cada una de las variables que componen la ecuación de regresión múltiple. Como un criterio de conservación de suelos, se incluye además la ecuación del rendimiento con la pendiente, a excepción de frijol de temporal por su baja significancia (menor de 0.15).

Las funciones de membresía para cada cultivo, presentadas en el Cuadro 10, se convirtieron en mapas, se normalizaron, se ponderaron, se generó un mapa de aptitud total y se reclasificó este mapa en 10 clases posibles, como se explicó con detalle en la sección de metodología en el apartado 4.4. Todo este proceso se realizó mediante un archivo de comandos (.bat) ejecutado en IDRISI. (Como ejemplo, en el Cuadro 28 A del Anexo IV se presenta el archivo .bat para maíz de temporal). Posteriormente se calcularon las estadísticas y, por último, se editó el mapa final en el sistema ArcView. En la Figura 11 se presenta como ejemplo el mapa de maíz de temporal.

Si se tiene en cuenta que la resolución de los mapas es de 100 x 100 m que equivalen a 1.0 ha, el resultado de las estadísticas puede ser expresado en ha o en número de celdas (píxeles o localidades). En el Cuadro 11 se observa mayor aptitud en los cultivos de riego que de temporal, pues bajo condiciones de riego se satisface la condición de humedad en el suelo, que es la principal limitante para los cultivos de temporal en el área en estudio. Sin embargo, se presentan pequeñas áreas en los municipios de Jerécuaro y Coroneo donde las precipitaciones son adecuadas, en donde no se justifica la agricultura de riego para cultivos de Primavera-Verano.

No todos los cultivos de temporal y riego presentan celdas con la máxima categoría (10) para todos los municipios (Cuadros 29A y 30A del Anexo IV). Esto se debe a que el ámbito de los modelos de regresión es estatal, lo cual significa que en el estado de Guanajuato algunas áreas de otros municipios pueden alcanzar la máxima categoría.

El mayor potencial para los cultivos de temporal se presenta en el municipio de Jerécuaro, con superficies de los cuatro cultivos de temporal en estudio con la máxima categoría. Jerécuaro se caracteriza por presentar áreas con las precipitaciones más altas. A excepción de Coroneo, todos los municipios presentan superficies considerables para garbanzo de humedad residual en la máxima categoría. De particular importancia resulta el gran potencial del municipio de Celaya para los cultivos de riego. El maíz y la alfalfa de riego presentan superficies considerables con la máxima categoría en todos los municipios, a excepción de Jerécuaro y Coroneo. Su principal diferencia con el resto de los municipios es su mayor altitud asociada a temperaturas más bajas y no contar con área de El Bajío.

Con el propósito de definir el potencial agrícola bajo riego y temporal, en el Cuadro 12 se presentan los resultados de agrupar con el mismo enfoque fuzzy los cultivos de cada tipo. Al comparar los datos totales de aptitud para agricultura de temporal y riego, se observa una enorme diferencia, pues mientras que bajo condiciones de temporal se presentan 7,444 ha clasificadas en la máxima categoría (10), éstas se incrementan a 85, 481 ha cuando se considera el potencial para la agricultura de riego. Estos resultados son muy evidentes si se considera que la precipitación fue el principal factor limitativo en los cultivos de temporal.

Cuadro 10. Funciones de membresía para los cultivos representativos del área en estudio que cuentan con datos de productividad.

Cultivo, ciclo y condición de humedad	Variables dependientes	Variables independientes	( $\beta_0$ )	( $\beta_1$ )	R <sup>2</sup>	n	F	Prob.> F
Maíz P-V T	Rend. (kg/ha)	PJS	-2607.5	6.8713	0.63	46	74.5	0.0001
		EAO	-1261.1	1.8452	0.13	46	6.7	0.025
		PROS1	-201.2	16.1000	0.44	46	34.2	0.0001
		PEND1	1784.3	-475.9300	0.26	46	15.4	0.001
Frijol P-V T	Rend. (kg/ha)	P/EJS	-196.8	763.7400	0.49	41	37.1	0.0001
		PROS2	110.32	4.0666	0.24	41	12.2	0.001
Sorgo P-V, T	Rend. (kg/ha)	PRA	-1994.5	6.4386	0.41	35	22.9	0.0001
		ALT2	8248.9	-3.2382	0.40	35	21.9	0.0001
		PEND1	3090.5	-587.8600	0.11	35	4.2	0.05
Garbanzo O-I, HR	Rend. (kg/ha)	PEND2	1080.0	-156.2195	0.36	33	17.4	0.001
		PROS1	-58.8	8.9550	0.29	33	12.4	0.001
Maíz P-V, R	Rend. (kg/ha)	PROS1	1651.8	29.7390	0.48	45	39.4	0.0001
		EAO	-1665.0	4.5086	0.24	45	13.6	0.001
		ALT2	6141.7	-1.1916	0.10	45	2.7	0.15
		PEND1	5615.8	-1067.7	0.39	45	27.9	0.0001
Sorgo P-V, R	Rend. (kg/ha)	ALT1	14661.0	-4.5392	0.49	39	35.8	0.0001
		PROS1	2964.4	40.9950	0.46	39	32.1	0.0001
		PEND1	7776.1	-1016.4	0.20	39	9.0	0.01
Trigo O-I, R	Rend. (kg/ha)	ALT1	9937.7	-2.7445	0.43	42	30.4	0.0001
		PROS1	2713.8	26.7760	0.41	42	28.1	0.0001
		PEND1	5885.8	-701.2700	0.18	42	8.9	0.01
Alfalfa PER, R	Rend. (kg/ha)	ALT2	174770.0	-59.9950	0.48	37	32.3	0.0001
		PEND1	79527.0	-11147.0	0.13	37	5.4	0.05

P-V = Ciclo Primavera-Verano

O-I = Ciclo Otoño-Invierno

PER = Cultivo perenne

T = Temporal

HR = Humedad residual

R = Riego

PJS = Precipitación de junio a septiembre

EAO = Evaporación de abril a octubre

PROS1 = Profundidad de suelo en el área 1

PEND1 = Pendiente en el área 1.

P/EJS = Precipitación/evaporación de junio a septiembre

PROS2 = Profundidad de suelo en el área 2

PRA = Precipitación acumulada anual

ALT2 = Altitud sobre el nivel del mar en el área 2

PEND2 = Pendiente en el área 2

ALT1 = Altitud sobre el nivel del mar en el área 1

$\beta_0$  = Constante

$\beta_1$  = Pendiente

R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinación

n = Número de observaciones

**SIMBOLOGIA**

CLASE	INTERVALO
10	0.90 - 1.0
9	0.80 - 0.89
8	0.70 - 0.79
7	0.60 - 0.69
6	0.50 - 0.59
5	0.40 - 0.49
4	0.30 - 0.39
3	0.20 - 0.29
2	0.10 - 0.19
1	0.0 - 0.09

AREAS URBANAS

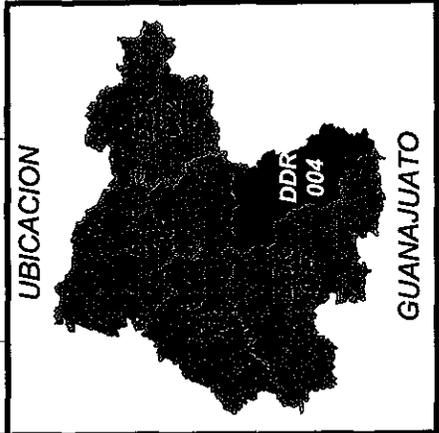
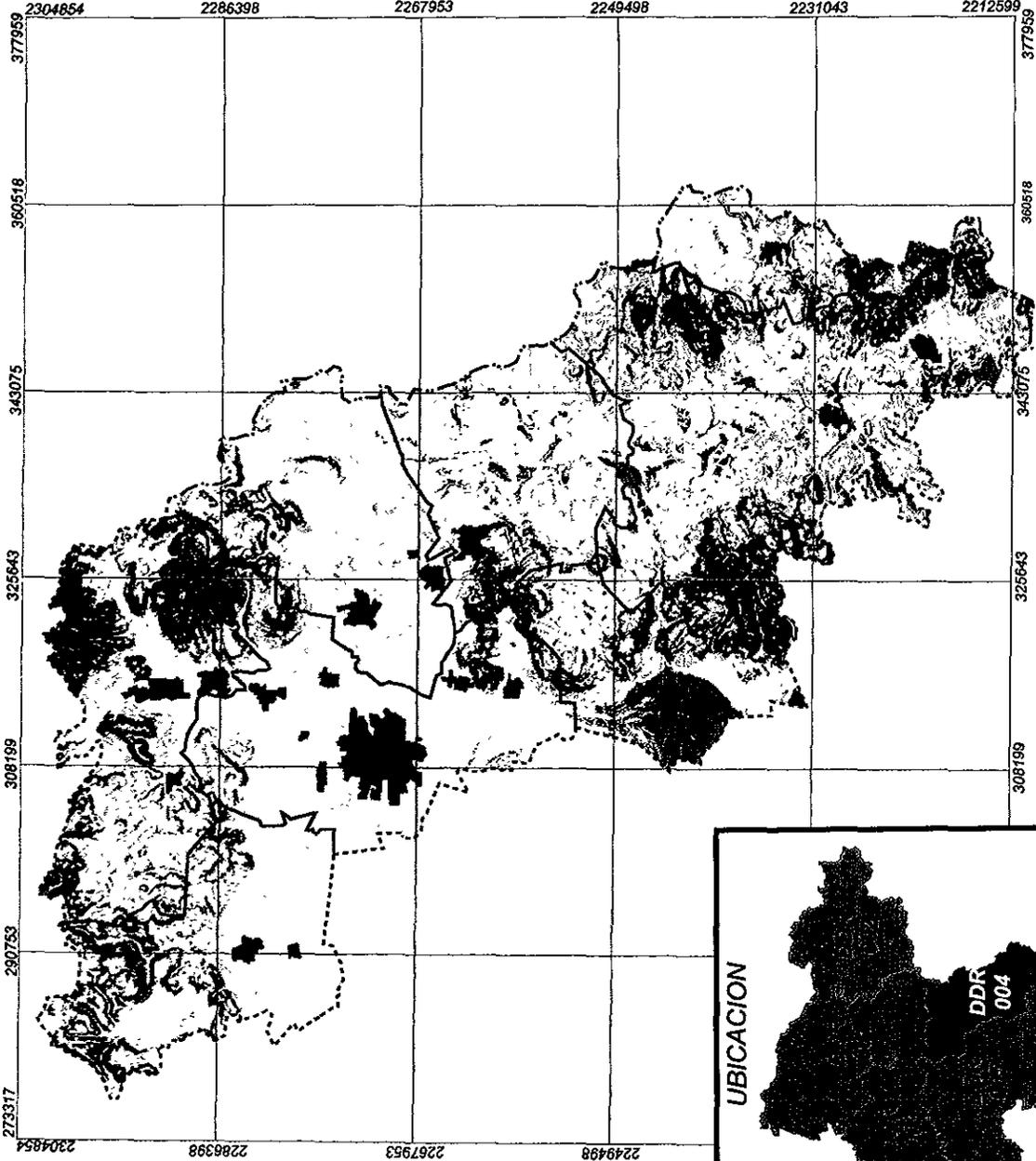
**LIMITES**



PROYECCION UTM  
ZONA 14  
ESCALA 1 : 650,000

10 0 10 20 km

**CLASIFICACION FUZZY PARA MAIZ DE TEMPORAL**



**FIGURA 11**

Cuadro 11. Superficies (ha) por clase de aptitud resultantes de la aplicación del enfoque de límites de transición gradual para los cultivos que cuentan con datos de productividad.

Cultivos	Clases de aptitud									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Maíz T	59,795	16,717	22,203	29,772	36,147	37,644	53,106	78,029	13,585	463
Frijol T	-----	-----	-----	-----	2,227	55,083	47,430	157,444	67,710	17,567
Sorgo T	6,140	5,054	8,019	12,775	21,614	44,207	76,571	103,723	69,251	137
Garbanzo HR	7,937	14,453	17,045	19,992	26,107	31,008	31,516	33,521	32,624	64,258
Maíz R	61,909	12,767	16,436	20,585	25,398	33,434	41,734	34,981	49,632	50,585
Sorgo R	6,226	4,504	6,833	10,295	16,123	28,979	50,020	61,735	60,325	102,421
Trigo R	4,034	3,409	5,384	8,292	13,122	22,509	43,340	68,582	65,941	112,898
Alfalfa R	8,890	5,238	7,317	10,428	16,483	33,084	43,725	72,578	68,182	81,536

Cuadro 12. Superficies (ha) por clase de aptitud para la agricultura de temporal y riego por municipio del DDR 004, resultantes de aplicación del enfoque de límites de transición gradual.

	Clases de aptitud									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Agricultura de temporal</b>										
Juventino rosas	2,019	1,088	1,546	2,298	3,616	6,734	4,845	6,989	11,971	-----
Comonfort	6,432	2,072	2,365	3,309	5,009	8,867	10,139	5,899	2,041	-----
Celaya	1,474	579	831	1,324	2,228	3,061	4,938	8,213	24,408	-----
Apaseo el Alto	635	353	669	1,033	1,697	2,673	7,207	11,239	12,356	89
Apaseo el Grande	535	437	635	1,088	1,600	2,326	5,640	13,066	16,726	-----
Tarimoro	2,741	1,047	1,576	2,002	2,405	3,047	3,471	4,260	7,074	2,784
Jerécuaro	8,973	2,998	3,637	4,642	6,584	10,450	14,920	17,451	14,008	4,456
Coroneo	578	283	325	497	914	1,871	3,864	4,403	1,786	115
<b>Total</b>	<b>23,387</b>	<b>8,857</b>	<b>11,584</b>	<b>16,193</b>	<b>24,053</b>	<b>39,029</b>	<b>55,024</b>	<b>71,520</b>	<b>90,370</b>	<b>7,444</b>
<b>Agricultura de riego</b>										
Juventino Rosas	1,218	596	935	1,537	2,514	3,863	5,992	5,314	3,692	15,445
Comonfort	4,053	1,426	1,837	2,346	3,110	4,655	7,434	11,223	5,593	4,456
Celaya	933	353	493	748	1,298	2,097	3,039	3,657	4,093	30,345
Apaseo el Alto	413	248	396	803	1,325	2,153	3,977	10,722	13,373	4,541
Apaseo el Grande	246	173	370	582	1,085	1,635	2,365	4,534	10,985	20,078
Tarimoro	2,317	744	1,217	1,736	2,462	2,906	3,401	3,975	3,664	7,985
Jerécuaro	9,478	2,954	3,651	4,859	6,616	10,327	15,487	19,017	13,099	2,631
Coroneo	667	274	395	680	1,508	2,768	5,197	2,968	179	-----
<b>Total</b>	<b>19,325</b>	<b>6,768</b>	<b>9,294</b>	<b>13,291</b>	<b>19,918</b>	<b>30,404</b>	<b>46,892</b>	<b>61,410</b>	<b>54,678</b>	<b>85,481</b>

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

Los municipios con mayor potencial para agricultura de temporal son Jerécuaro y Tarimoro, con el 60 y 37 %, respectivamente, de la superficie total clasificada con la máxima categoría. A pesar que el municipio de Coroneo presenta una pequeña área con la aptitud óptima (115 ha), su superficie en las primeras clases es relativamente pequeña. Este municipio presenta precipitaciones suficientes para la producción de cultivos de temporal, sin embargo, está limitado por otros factores como las bajas temperaturas y las escasas superficies con suelos profundos. El municipio con menor potencial para la agricultura de temporal es el municipio de Comonfort, limitado principalmente por las bajas precipitaciones, pocas áreas con suelos profundos y pendientes pronunciadas. En la Figura 12 se presenta la distribución espacial del potencial fuzzy para la agricultura de temporal.

El mayor potencial para agricultura de riego se presenta en los municipios de Celaya, Apaseo el Grande y Juventino Rosas, con el 35, 23 y 18 % de la superficie con la máxima categoría respectivamente. Estos municipios se caracterizan por contar con las mayores superficies del área de El Bajío. El único municipio que no presenta áreas clasificadas con la máxima categoría es el municipio de Coroneo, limitado por las bajas temperaturas y las características del suelo. La Figura 13 corresponde a la distribución espacial de las clases para la agricultura de riego con enfoque fuzzy.

Al comparar las Figuras 12 y 13 se observa que mientras la zona de El Bajío corresponde a la clase óptima (10) para agricultura de riego, bajo condiciones de temporal sólo una pequeña parte del municipio de Tarimoro conserva esta categoría, la superficie restante se degrada a la segunda, tercera y cuarta clase (9, 8 y 7). En la zona de El Bajío se localizan la mayor cantidad de pozos de riego y se ubica el área más extensa de riego por gravedad (Distrito de Riego La Begoña). Sin embargo, es importante aclarar que la disponibilidad de agua de riego no se consideró un criterio de estratificación en el análisis de aptitud para los cultivos bajo esta condición, debido a la gran variación espacial y temporal del área regable, como se explicó en la descripción del área en estudio.

DISTRITO DE DESARROLLO RURAL  
004 CELAYA, GTO.

**SIMBOLOGIA**

CLASE	INTERVALO
10	0.90 - 1.0
9	0.80 - 0.89
8	0.70 - 0.79
7	0.60 - 0.69
6	0.50 - 0.59
5	0.40 - 0.49
4	0.30 - 0.39
3	0.20 - 0.29
2	0.10 - 0.19
1	0.0 - 0.09

AREAS URBANAS

**LIMITES**



PROYECCION UTM  
ZONA 14  
ESCALA 1 : 650,000



**CLASIFICACION FUZZY PARA AGRICULTURA DE TEMPORAL**

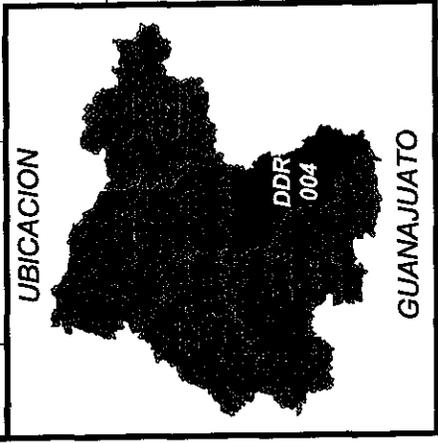
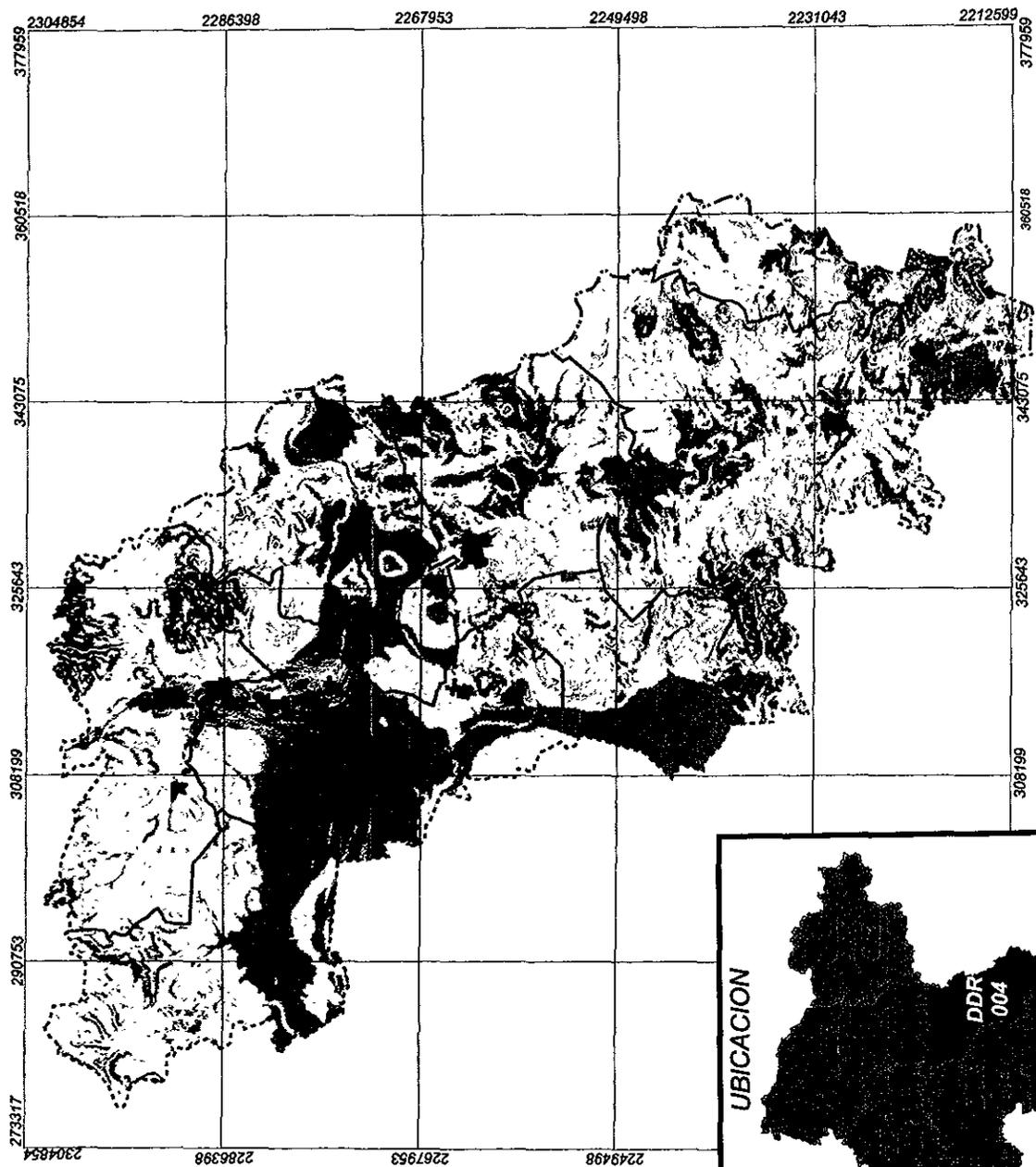
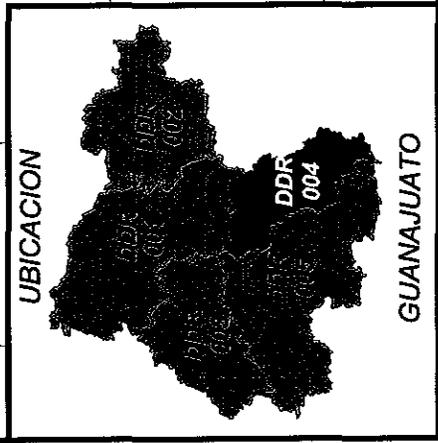
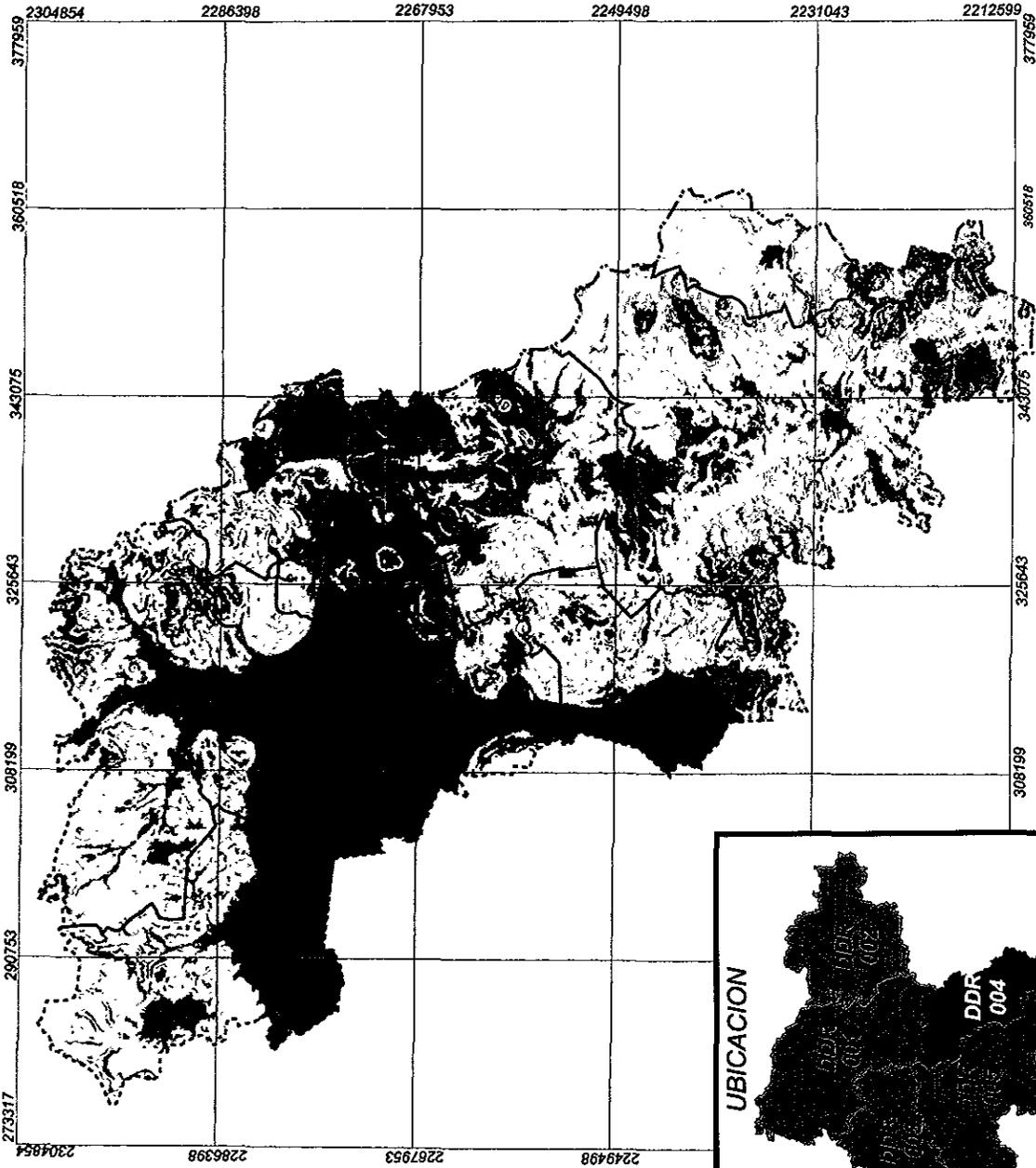


FIGURA 12

# CLASIFICACION FUZZY PARA AGRICULTURA DE RIEGO

DISTRITO DE DESARROLLO RURAL  
004 CELAYA, GTO.



## SIMBOLOGIA

CLASE	INTERVALO
10	0.90 - 1.0
9	0.80 - 0.89
8	0.70 - 0.79
7	0.60 - 0.69
6	0.50 - 0.59
5	0.40 - 0.49
4	0.30 - 0.39
3	0.20 - 0.29
2	0.10 - 0.19
1	0.0 - 0.09

AREAS URBANAS

## LIMITES



ESTATAL

DISTRICTAL

MUNICIPAL



PROYECCION UTM  
ZONA 14  
ESCALA 1 : 650,000



FIGURA 13

## **5.5. COMPARACION DE METODOLOGIAS**

Con el propósito de mostrar y discutir las diferencias entre el enfoque fuzzy con los métodos de clasificación de tierras convencionales, se comparan los resultados de la aplicación del enfoque Fuzzy en sus dos modalidades: Con y Sin Datos de Productividad, con los métodos convencionales: Provincias Agronómicas y Potencial Productivo. Los métodos fuzzy así como las metodologías convencionales no son comparables entre sí, debido a que no se aplican a las mismas especies.

En la metodología convencional de Provincias Agronómicas se delimitan, para el área en estudio, seis posibles clases de aptitud para los cultivos básicos de temporal: maíz y frijol (Cuadros 9A y 10A del Anexo II); mientras que con la metodología de Potencial Productivo aplicada a cultivos de temporal no básicos, cultivos de riego y especies de importancia pecuaria y forestal, únicamente se delimita la clase “potencial alto” (Cuadros 11A y 12A del Anexo II), y para el resto de la superficie no se especifica el grado de aptitud. Primeramente se compara el enfoque fuzzy con datos de productividad con la metodología de Provincias Agronómicas aplicados a los cultivos básicos (maíz y frijol) y posteriormente con la metodología de Potencial Productivo aplicados a cultivos no básicos de temporal y cultivos de riego; finalmente, se compara el enfoque fuzzy sin datos de productividad con la metodología de Potencial Productivo aplicados a las especies de importancia pecuaria y forestal que carecen de datos de productividad.

### **5.5.1. FUZZY CON DATOS DE PRODUCTIVIDAD VS PROVINCIAS AGRONOMICAS**

Al comparar las clases de aptitud fuzzy de los cultivos con datos de productividad (Cuadros 11 y 29A del Anexo IV) con la metodología de Provincias Agronómicas aplicados a los cultivos básicos maíz y frijol bajo condiciones de temporal (Cuadro 3) se observa que: a) existe concordancia en los dos métodos en cuanto al mayor potencial para la siembra de frijol que para maíz; b) existe concordancia en relación al mayor potencial en los municipios de Jerécuaro, Coroneo y Tarimoro; y c) en la metodología convencional no se presentan superficies potenciales en la máxima categoría, mientras que en la metodología fuzzy aparecen los municipios de Jerécuaro y Coroneo con pequeñas superficies en la máxima categoría para maíz; así como Jerécuaro, Coroneo, Apaseo el Grande y Tarimoro con superficies potenciales para frijol en esta categoría.

La concordancia en cuanto a las tendencias generales se deben a que coinciden los factores de estratificación de las dos metodologías (régimen de lluvias y profundidad de suelo). Esta coincidencia se debe a que la determinación de los factores de estratificación se basó en un análisis de regresión múltiple entre el rendimiento de los cultivos y factores ambientales, en ambos casos. La discrepancia en cuanto al potencial en la máxima categoría se debe a que el ámbito de las ecuaciones de regresión en la metodología de Provincias Agronómicas es nacional (existiendo otros estados con mayor potencial), mientras que el ámbito de las ecuaciones de regresión es estatal, lo que permitió detectar en el área en estudio pequeñas superficies con la máxima categoría.

En la Figura 14 se presentan gráficamente, y se cuantifican, las diferencias entre el enfoque fuzzy para cultivos con datos de productividad con la metodología de Provincias Agronómicas, utilizando como ejemplo un acercamiento de una parte del área en estudio con la clasificación para maíz de temporal. Se observa que en la clasificación fuzzy la distribución de la superficie se encuentra repartida en 9 clases de aptitud (no se presentó la clase 10), mientras que con la metodología de Provincias Agronómicas el 98% de la superficie se clasifica de mediana productividad. El hecho de mostrar mayor desagregación de la aptitud hace más congruente la clasificación fuzzy con los cambios fisiográficos del área, asociados a cambios en las características climáticas y edáficas.

### **5.5.2. FUZZY CON DATOS DE PRODUCTIVIDAD VS POTENCIAL PRODUCTIVO**

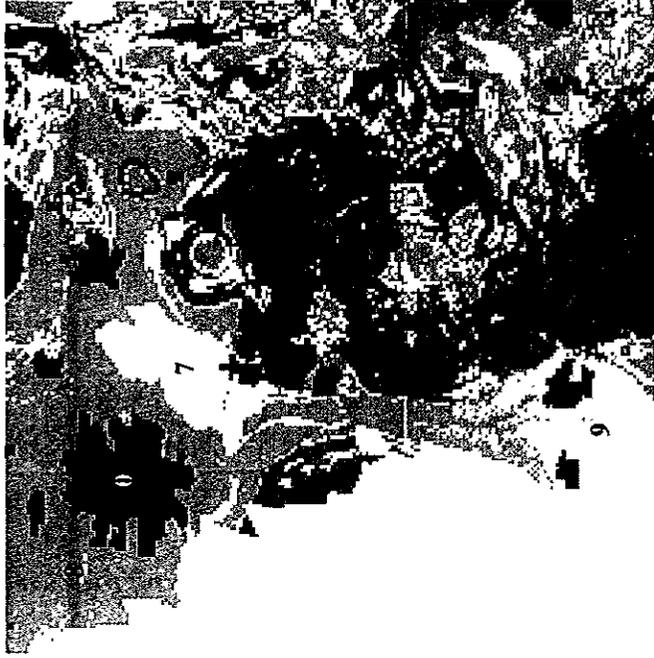
Para el resto de los cultivos, la comparación del enfoque fuzzy con datos de productividad se realiza con la única clase determinada mediante el típico método Booleano de Potencial Productivo. De antemano, este método tiene la limitación de no presentar una mayor desagregación del grado de aptitud. Sin embargo, al comparar la clase de mayor aptitud de los cultivos obtenida mediante el enfoque fuzzy (Cuadro 11, y 29A y 30A del Anexo IV) con la clase considerada de alto potencial de acuerdo a la metodología de Potencial Productivo (Cuadro 4) se hacen las siguientes observaciones:

A) A pesar de que, en general, en la metodología convencional de Potencial Productivo están incluidos los factores de estratificación considerados en la metodología fuzzy para cultivos con datos de productividad (comparar Cuadro 11A del anexo II con Cuadro 10), con la metodología de Potencial Productivo se determinaron superficies potenciales con potencial alto para sorgo de temporal en cinco municipios (Cuadro 4), mientras que con la metodología fuzzy no se presentan superficies en la máxima categoría, a excepción de una pequeña superficie en Jerécuaro (Cuadro 29A del Anexo IV). Si se considera que las máximas superficies y rendimientos con este cultivo se presentan en otros municipios del estado, particularmente en Pénjamo, se deduce que la clasificación fuzzy es más acertada.

B) Para garbanzo de humedad residual, los factores de la producción considerados en la metodología convencional (altitud, temperatura y precipitación durante el ciclo del cultivo) no concuerdan con los determinados en la función de membresía (pendiente y profundidad de suelo). Por lo anterior, los resultados en este cultivo son contradictorios pues mientras que con la metodología convencional las mayores superficies con la categoría más alta se presentan en el municipio de Jerécuaro, con la metodología fuzzy todos los municipios presentan superficies considerables con la máxima clasificación, con superficies inferiores en los municipios de Jerécuaro y Coroneo.

C) Se observa concordancia en cuanto a que el municipio de Celaya es el de mayor potencial para los cultivos de riego (Cuadro 30A del Anexo IV); sin embargo, con la metodología convencional el potencial por municipio para todos los cultivos de riego, a excepción del sorgo, es prácticamente el mismo, mientras que con la metodología fuzzy se presentan diferencias entre cultivos y entre municipios. Estas diferencias están dadas en gran medida por la ponderación de los factores de estratificación en la metodología fuzzy, como se demuestra en el siguiente apartado.

## FUZZY



- 0 = AREAS URBANAS
- 1 = 11,207 (CLASE DE MENOR APTITUD)
- 2 = 3,588 ha
- 3 = 4,686
- 4 = 6,221 ha
- 5 = 8,477 ha
- 6 = 12,841 ha
- 7 = 24,285 ha
- 8 = 41,060 ha
- 9 = 8,265 ha
- 10 = 0 ha (CLASE DE MAYOR APTITUD)

## PROVINCIAS AGRONOMICAS



- 1 = AREAS URBANAS
- 2 = NO APTO = 63,904 ha
- 3 = TIERRAS MARGINALES = 0 ha
- 4 = BAJA PRODUCTIVIDAD = 1,050 ha
- 5 = MEDIANA PRODUCTIVIDAD = 54,908 ha
- 6 = BUENA PRODUCTIVIDAD = 768 ha
- 7 = MUY BUENA PRODUCTIVIDAD = 0 ha

FIGURA 14. DIFERENCIAS ENTRE EL ENFOQUE FUZZY PARA CULTIVOS CON DATOS DE PRODUCTIVIDAD Y LA METODOLOGIA DE PROVINCIAS AGRONOMICAS UTILIZANDO COMO EJEMPLO EL MAIZ DE TEMPORAL.

En la Figura 15 se ilustran las diferencias entre la metodología fuzzy con datos de productividad con la metodología de Potencial Productivo utilizando como ejemplo el maíz de riego. Se observa similitud en la distribución espacial de la clase de mayor aptitud, pero es muy evidente la falta de información en el área sin clasificar con la metodología de Potencial Productivo que permita identificar gradientes de aptitud.

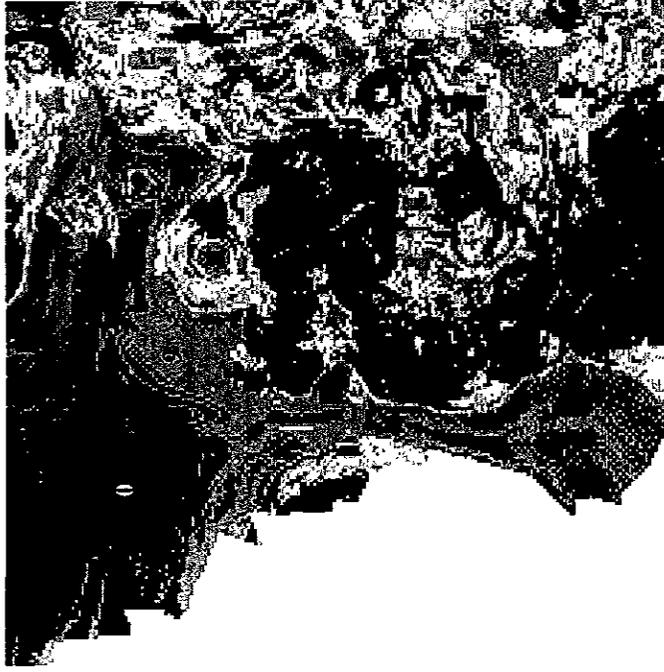
### 5.5.3. FUZZY SIN DATOS DE PRODUCTIVIDAD VS POTENCIAL PRODUCTIVO

Al comparar los resultados de la aplicación del enfoque fuzzy a las especies de importancia pecuaria y forestal que no cuentan con datos de productividad (Cuadro 7, y Cuadros 20A y 21A del Anexo III) con los resultados de Potencial Productivo para las mismas especies (Cuadro 5), se observa que a pesar de que los requerimientos utilizados como base en la aplicación de ambos métodos son los mismos (Cuadro 12A del anexo II), los resultados de la estratificación son totalmente diferentes. Es importante recordar que el rango de los requerimientos utilizado en la metodología de Potencial Productivo fue particionado en tres o cuatro intervalos al aplicar el enfoque fuzzy, por lo tanto, la clase potencial alto de la metodología de Provincias Agronómicas es comparable con las tres o cuatro clases de mayor aptitud del enfoque fuzzy.

Con la metodología de Potencial Productivo, a excepción del encino, todos los cultivos presentan superficies potenciales considerables clasificadas de alto potencial, mientras que con la metodología fuzzy únicamente el Zacate Navajita y el mezquite presentan superficies considerables clasificadas en dicha categoría. Si en la aplicación del enfoque fuzzy no se hubiera considerado la ponderación asignada a cada uno de los factores de estratificación, los resultados esperados presentarían la misma tendencia, con la única diferencia que la superficie con potencial alto (metodología convencional) aparecería repartida entre las primeras clases en el enfoque fuzzy. Sin embargo, el enfoque fuzzy presenta una mayor capacidad de discriminación entre especies y entre municipios, debido a la ponderación asignada a cada uno de los factores de estratificación, en este caso, con base en los coeficientes de correlación de los cultivos de temporal.

En la Figura 16 se ilustran gráficamente las diferencias entre la metodología fuzzy para especies sin datos de productividad con la metodología de Potencial Productivo utilizando como ejemplo el mezquite para la misma área de las Figuras 14 y 15. En dicha figura se observa, como consecuencia de no ponderar los factores de estratificación, que la metodología convencional descarta áreas (como las aledañas a la ciudad de Celaya) consideradas en la primera y segunda clase de aptitud con el enfoque fuzzy; y considera con potencial alto áreas clasificadas en tercera y cuarta (8 y 7) categoría de aptitud con el enfoque fuzzy. Por otra parte, debido a la mayor desagregación del grado de aptitud, en la metodología fuzzy se observa un gradiente de aptitud positivo hacia la región de El Bajío (área de mayor aptitud para cultivos de riego), que no es posible distinguir con la metodología convencional.

## FUZZY



- 0 = AREAS URBANAS
- 1 = 12,44,0 ha (CLASE DE MENOR APTITUD)
- 2 = 2,928 ha
- 3 = 3,850 ha
- 4 = 4,540 ha
- 5 = 5,944 ha
- 6 = 8,578 ha
- 7 = 13,054 ha
- 8 = 14,595 ha
- 9 = 25, 198 ha
- 10 = 29,532 ha (CLASE DE MAYOR APTITUD)

## POTENCIAL PRODUCTIVO



- 1 = AREAS URBANAS
- 2 = SIN CLASIFICAR = 96, 235 ha
- 3 = POTENCIAL ALTO = 24,325 ha

FIGURA 15. DIFERENCIAS ENTRE EL ENFOQUE FUZZY PARA CULTIVOS CON DATOS DE PRODUCTIVIDAD Y LA METODOLOGIA DE POTENCIAL PRODUCTIVO UTILIZANDO COMO EJEMPLO EL MAIZ DE RIEGO.

## FUZZY



- 0 = AREAS URBANAS
- 1 = 0 ha (CLASE DE MENOR APTITUD)
- 2 = 0 ha
- 3 = 0 ha
- 4 = 215 ha
- 5 = 945 ha
- 6 = 2,243 ha
- 7 = 13,155 ha
- 8 = 35,836 ha
- 9 = 56,167 ha
- 10 = 12,069 ha (CLASE DE MAYOR APTITUD)

## POTENCIAL PRODUCTIVO



- 1 = AREAS URBANAS
- 2 = SIN CLASIFICAR = 50,18 ha
- 3 = POTENCIAL ALTO = 70,612 ha

FIGURA 16. DIFERENCIAS ENTRE EL ENFOQUE FUZZY PARA ESPECIES SIN DATOS DE PRODUCTIVIDAD Y LA METODOLOGIA DE POTENCIAL PRODUCTIVO UTILIZANDO COMO EJEMPLO EL MEZQUITE.

## 5.6. CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO

Los datos censales del uso del suelo para el estado de Guanajuato muestran que las tierras de labor se incrementaron de 1'050,900 ha en el año de 1950 a 1'247,301 ha en 1980 (Soto y Soto, 1990). Durante este período, la superficie ocupada por pastos y por bosques disminuyó considerablemente, por lo que se infiere que las tierras de cultivo se ampliaron en 196,401 ha a expensas de éstos. Además de la ampliación de la frontera agrícola, en este subsector se han dado cambios en los patrones de cultivos debidos al desplazamiento de los cultivos básicos (maíz y frijol) por especies hortícolas para exportación y otros de importancia forrajera e industrial (Soto y Soto, 1992).

Las comparaciones anteriores muestran tendencias similares a los resultados de este trabajo. Las estadísticas a nivel municipal de uso del suelo en 1973 y 1993 se muestran en los Cuadros 13 y 14, respectivamente. Al comparar las cifras totales de ambos cuadros se observa un incremento de 31,763 ha de la superficie agrícola en un período de 20 años. La superficie total clasificada como no agrícola en las fotografías aéreas (94,766 ha), la cual corresponde prácticamente a la superficie total de uso pecuario y forestal (23,998 + 104,998 ha = 128,996 ha) de acuerdo a CETENAL, podemos ver que disminuyó en 34,210 ha. Por lo anterior, se deduce que el incremento en estos 20 años se hizo a expensas de la superficie de uso pecuario y forestal. En el mismo período, el área ocupada por las principales áreas urbanas se incrementó en más del 300% (de 2,016 a 6,730 ha) ocupando básicamente áreas con potencial agrícola. En 1993 se detectó un gran número de cuerpos de agua “temporales”, debido a las altas precipitaciones en los dos años anteriores, por el fenómeno del “Niño”; mientras que los cuerpos de agua de la cartografía CETENAL corresponden únicamente a los “permanentes”.

La superficie total del DDR 004 estimado de acuerdo a CETENAL es de 359,531 ha, mientras que con las fotografías aéreas se estimaron 359,834. La diferencia de 303 ha corresponde a un porcentaje menor de 0.1 %.

En la Figura 17 se muestra el mapa de cambios en el área agrícola durante el período de 1973 a 1993, resultante de sobreponer el área agrícola total de ambos años, en el que se observan cuatro clases:

A) La coincidencia de las áreas agrícolas. Esta clase lógicamente es la más extensa, y varía en gran medida de acuerdo a la superficie total agrícola de cada municipio.

B) El crecimiento del área agrícola. Los crecimientos del área agrícola se localizan básicamente en las laderas de las montañas y generalmente se encuentran dentro de las áreas clasificadas con uso inadecuado para la agricultura (comparar Figuras 17 y 19). Los municipios con menor ampliación del área agrícola son Celaya y Coroneo, mientras que la mayor ampliación se presenta en los municipios de Jerécuaro y Comonfort. Estas áreas básicamente corresponden a agricultura de temporal con siembras de maíz como unicultivo o asociado con frijol y/o calabaza, el que se destina al autoabasto familiar (Tapia y García, 1991).

Cuadro 13. Uso del suelo por municipio del DDR 004 de acuerdo a CETENAL (1973).

Municipios	Agrícola		Pecuario		Forestal		Urbano		Cuerpos de Agua permanentes		Otras clases*	
	ha	(%)	ha	(%)	ha	(%)	ha	(%)	ha	(%)	ha	(%)
Juventino Rosas	24,339	(11)	2,706	(11)	13,590	(13)	174	(8)	34	(9)	387	(11)
Comonfort	21,188	(9)	5,385	(23)	20,467	(19)	198	(10)	0	(0)	552	(16)
Celaya	41,259	(18)	905	(4)	9,678	(9)	1,123	(56)	0	(0)	107	(3)
Apaseo el Grande	30,801	(14)	273	(1)	12,100	(12)	143	(7)	8	(2)	0	(0)
Apaseo el Alto	27,910	(13)	1,162	(5)	9,050	(9)	158	(8)	81	(22)	327	(10)
Tarimoro	17,963	(8)	993	(4)	12,092	(11)	122	(6)	0	(0)	0	(0)
Jerécuaro	51,362	(23)	9,143	(38)	26,167	(25)	82	(4)	237	(66)	1,922	(55)
Coroneo	9,468	(4)	3,431	(14)	1,834	(2)	16	(1)	0	(0)	194	(5)
<b>Total</b>	<b>224,690</b>	<b>(100)</b>	<b>23,998</b>	<b>(100)</b>	<b>104,978</b>	<b>(100)</b>	<b>2,016</b>	<b>(100)</b>	<b>360</b>	<b>(100)</b>	<b>3,489</b>	<b>(100)</b>

\* Erosión, áreas en proceso de desmonte y una pequeña parte sin clasificar correspondiente a una carta no editada (E-14-A-15).

Cuadro 14. Uso del suelo con base en fotografías aéreas escala 1:75,000 (INEGI, 1993), por municipio del DDR 004.

<b>Municipios</b>	<b>Agrícola ha (%)</b>	<b>Pecuario y forestal ha (%)</b>	<b>Principales áreas urbanas ha (%)</b>	<b>Cuerpos de agua ha (%)</b>
Juventino Rosas	27,533 (11)	13,798 (15)	356 (5)	0 (0)
Comonfort	26,270 (10)	21,004 (22)	533 (8)	44 (2)
Celaya	39,947 (15)	9,346 (10)	3,793 (56)	0 (0)
Apaseo el Grande	33,759 (13)	8,951 (9)	607 (9)	21 (1)
Apaseo el Alto	32,614 (13)	5,568 (6)	427 (6)	108 (6)
Tarimoro	22,700 (9)	7,867 (8)	591 (9)	23 (1)
Jerécuaro	61,699 (24)	25,378 (27)	392 (6)	1,544 (83)
Coroneo	11,931 (5)	2,854 (3)	31 (1)	145 (7)
<b>Total</b>	<b>256,453 (100)</b>	<b>94,766 (100)</b>	<b>6,730 (100)</b>	<b>1,885 (100)</b>

**DISTRITO DE DESARROLLO  
RURAL 004 CELAYA, GTO.**

**SIMBOLOGIA**

- COINCIDENCIA AGRICOLA
- CRECIMIENTO AGRICOLA
- COINCIDENCIA DE OTROS USOS
- AGRICOLA EN 1973

- LIMITES**
- ESTATAL
  - DISTRITAL
  - MUNICIPAL

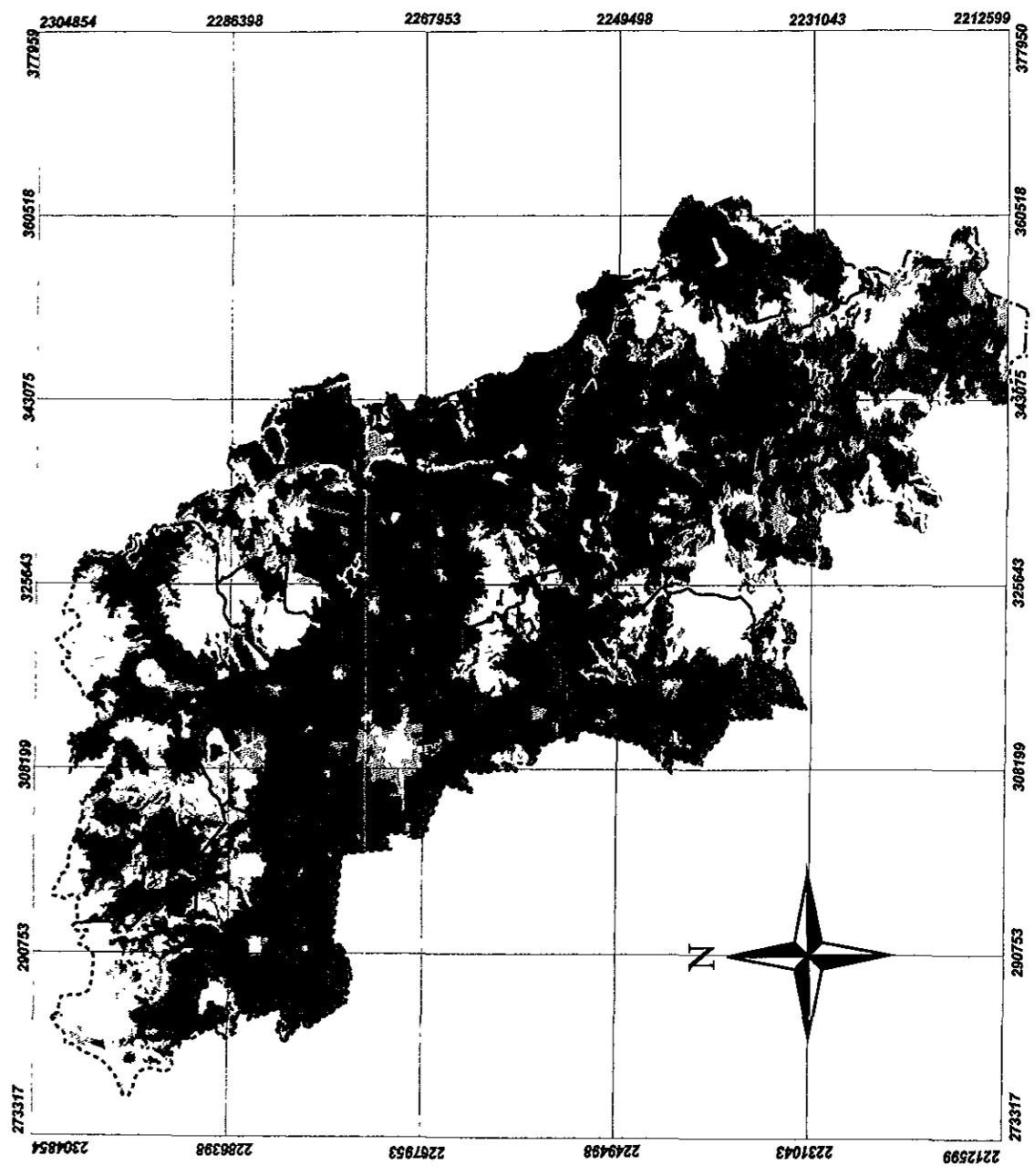
PROYECCION UTM  
ZONA 14  
ESCALA 1: 650 000



**UBICACION**



**CRECIMIENTO DE LAS AREAS AGRICOLAS  
DURANTE EL PERIODO DE 1973 A 1993**



**FIGURA 17**

C) Areas agrícolas en 1973 con un uso diferente actual. Estas áreas corresponden principalmente a los crecimientos urbanos, también pueden ser áreas agrícolas en el pasado actualmente abandonadas, o el resultado de la falta de exactitud en la clasificación del uso actual del suelo, lo que provoca la no coincidencia de las figuras. Sin embargo, en el municipio de Celaya es muy evidente que esta clase representa el crecimiento del área urbana, predominantemente hacia el oeste. Los municipios de Jerécuaro y Celaya presentan las mayores superficies con esta clase.

D) La coincidencia de áreas de otros usos. Esta clase corresponde principalmente a la coincidencia del uso pecuario-forestal y, en menor medida, de áreas urbanas y cuerpos de agua.

Actualmente la frontera agrícola parece más estable, como lo señalan algunas comparaciones de datos estadísticos de uso del suelo, sin embargo, como se mencionó anteriormente en el inciso C, el dinámico desarrollo de las áreas urbanas están restando considerables superficies a las zonas agrícolas. El estado de Guanajuato se clasifica de acuerdo al uso del suelo de la siguiente manera: a) 1'254,097 ha de agricultura, de las cuales 418,435 son de riego y 835,662 de temporal; b) 1'049,073 de uso pecuario; c) 336,500 de uso forestal; y d) 409,430 de otros usos (SARH, 1993). Al comparar el dato total de uso actual del suelo en la actividad agrícola (1'254,097 has) con las cifras censales de 1980 (1'247,301 ha) se observa un incremento total de solamente 6,796 ha. Sin embargo, el área agrícola con riego se amplió en 125,859 ha y el área agrícola de temporal disminuyó en 119,062 ha. Esto significa que la ampliación de la frontera agrícola en el estado de Guanajuato se realizó predominantemente durante el período de 1950 - 1980, después de este período la ampliación fue mínima, sin embargo, la incorporación de superficie agrícola de temporal a la agricultura de riego fue considerable (aproximadamente la cuarta parte de la superficie total de riego).

## **5.7. DELIMITACION Y CARACTERIZACION DE LAS AREAS CON USO ADECUADO E INADECUADO PARA LA AGRICULTURA.**

En el Cuadro 15 se presenta la relación costo-beneficio para cada uno de los cultivos en estudio y su promedio. Una relación costo-beneficio de 1.0 indica que el valor de la cosecha es igual a los costos de producción y por lo tanto no existen utilidades. De acuerdo a lo anterior, los valores de la relación costo-beneficio mayores de 1.0 indican que se recupera la inversión y se gana la diferencia con la unidad. Por ejemplo, en el mejor de los casos la relación costo-beneficio para el sorgo de temporal es de 1.88, lo que significa que por cada peso invertido se recupera la inversión y se genera \$ 0.88 de ganancia.

En los datos promedio del mismo cuadro se aprecia que existen ganancias en las tres primeras clases (10, 9 y 8), mientras que en la cuarta clase (7) se presenta cerca del punto de equilibrio con utilidades marginales, y de la clase 1 a 5 se presentan pérdidas. En la Figura 18 se presenta como ejemplo la distribución espacial de la relación costo-beneficio del maíz de temporal. De acuerdo a lo anterior, se determinó utilizar la superficie de las tres primeras clases de las clasificaciones fuzzy por cultivo para definir el área con uso potencial para agricultura de temporal y riego, y así poder compararlo con su uso actual. Se estimó una superficie bruta de 180, 227 ha con potencial para la agricultura de temporal y 179,612 ha sin potencial para la misma actividad. Para agricultura de riego se estimaron 213, 240 y 146,599 ha con y sin potencial, respectivamente.

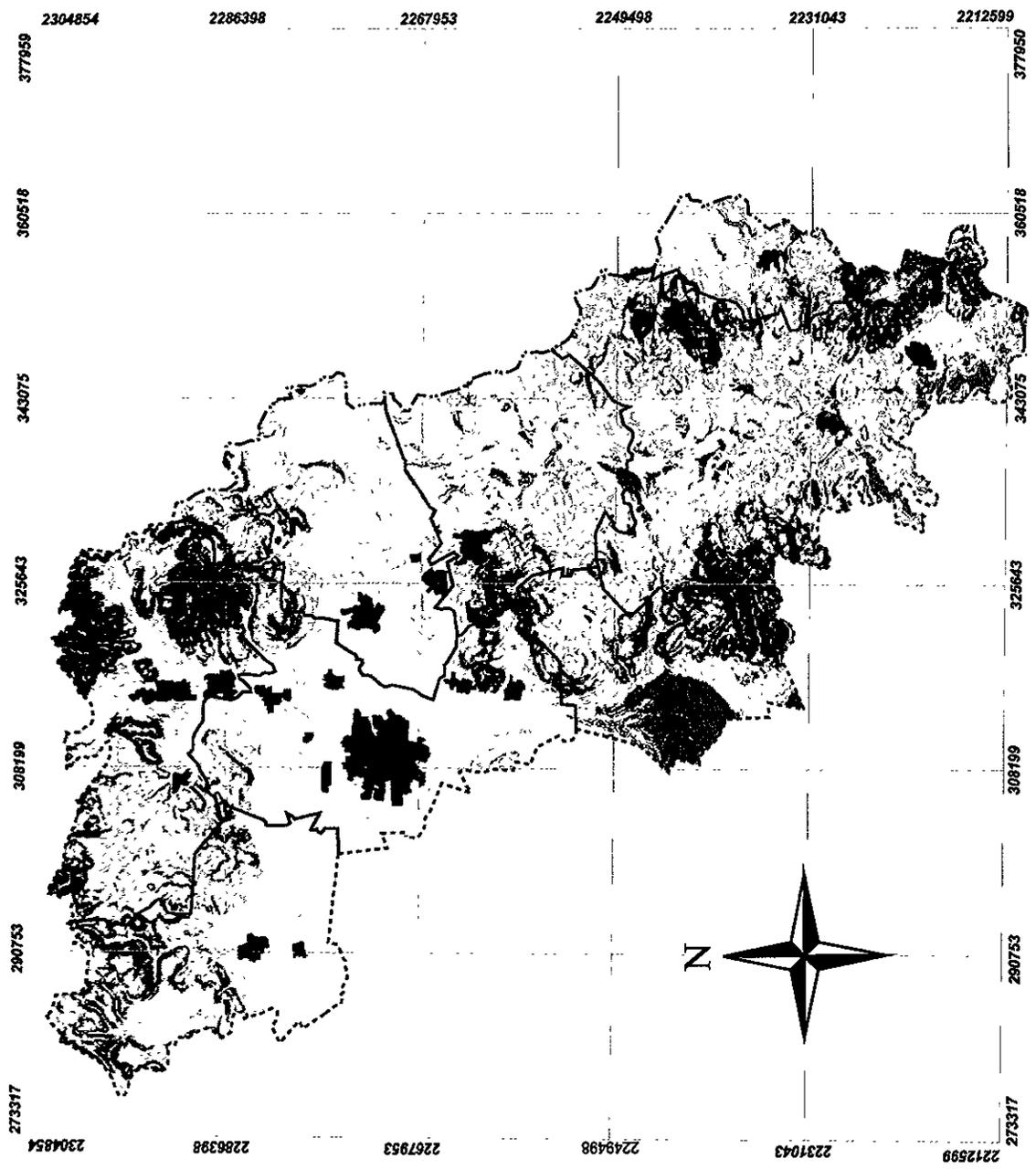
Los resultados de la comparación (por sobreposición) del uso actual con el potencial para la agricultura se presentan en los Cuadros 16 y 17, en éstos, se muestra para cada municipio las cuatro clases de uso del suelo (agrícola, no agrícola, urbano y cuerpos de agua) y se señala para cada clase, la superficie con y sin potencial para agricultura de temporal y riego, respectivamente. La información más relevante de estos cuadros corresponde a la superficie agrícola actual ubicada en áreas sin potencial. En el Cuadro 16 se observa un total de 95,870 ha utilizadas inadecuadamente en la agricultura de temporal, la cual disminuye a 73,181 en la agricultura de riego (Cuadro 17). La superficie con uso inadecuado para agricultura de riego es menor debido a la mayor superficie con potencial para la agricultura bajo esta condición. Al comparar las áreas inadecuadas para agricultura de temporal y riego se observó que la superficie con uso inadecuado para agricultura de riego está contenida casi en su totalidad (68,063 ha) en las áreas con uso inadecuado para agricultura de temporal, a excepción de pequeñas superficies (5,118 ha) ubicadas principalmente en los municipios de Jerécuaro y Coroneo aptas para agricultura de temporal y no aptas para riego. Mientras que en los municipios de Comonfort y Juventino Rosas se presentan 27,807 ha adecuadas para riego e inadecuadas para temporal.

Alrededor del 94 % de la superficie total de las principales zonas urbanas (6,310 ha) están ubicadas en el área con potencial para agricultura de temporal y el 97 % en el área de riego. Se presentan algunas áreas clasificadas con potencial para la agricultura tanto de temporal (11,578 ha) como de riego (21,643 ha) que actualmente no se destinan a estas actividades. En recorridos de campo se observa que algunas de ellas son terrenos en proceso de urbanización.

Cuadro 15. Relación costo-beneficio por clase de aptitud fuzzy para los principales cultivos de riego y temporal del DDR 004.

Cultivos	Clases de aptitud fuzzy									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	0.14	0.27	0.40	0.53	0.67	0.80	0.93	1.06	1.20	1.33
Maíz temporal										
Frijol temporal					0.83	0.99	1.16	1.33	1.49	1.66
Sorgo temporal	0.19	0.38	0.56	0.75	0.94	1.13	1.31	1.50	1.69	1.88
Maíz riego	0.12	0.24	0.36	0.48	0.60	0.71	0.83	0.95	1.07	1.19
Sorgo riego	0.18	0.36	0.55	0.74	0.92	1.11	1.29	1.48	1.66	1.85
Trigo riego	0.12	0.24	0.35	0.47	0.59	0.71	0.82	0.94	1.06	1.18
<b>Promedio</b>	<b>0.15</b>	<b>0.30</b>	<b>0.44</b>	<b>0.59</b>	<b>0.76</b>	<b>0.91</b>	<b>1.06</b>	<b>1.21</b>	<b>1.36</b>	<b>1.52</b>

# RELACION BENEFICIO - COSTO POR CLASE DE APTITUD PARA MAIZ DE TEMPORAL



DISTRITO DE DESARROLLO RURAL 004 CELAYA, GTO.

**SIMBOLOGIA**

CLASE	RELACION BENEFICIO-COSTO
10	1.33
9	1.20
8	1.06
7	0.93
6	0.80
5	0.67
4	0.53
3	0.40
2	0.27
1	0.14

AREAS URBANAS

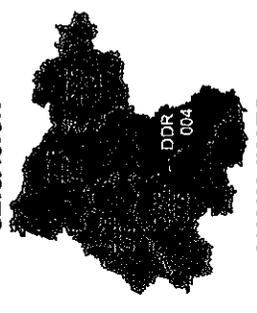
**LIMITES**

- ESTATAL
- DISTRITAL
- MUNICIPAL

PROYECCION UTM  
ZONA 14  
ESCALA 1: 650,000



UBICACION



GUANAJUATO

FIGURA 18

Cuadro 16. Areas con y sin potencial para la agricultura de temporal para cada una de las clases de uso actual del suelo en los municipios del DDR 004.

<b>Municipios</b>		<b>Agrícola (ha)</b>	<b>No agrícola (ha)</b>	<b>Urbano (ha)</b>	<b>Agua (ha)</b>
Juventino Rosas:	Sin Pot.	9,033	13,163	3	0
	Con Pot.	18,500	635	353	0
Comonfort:	Sin Pot.	18,176	20,304	62	13
	Con Pot.	8,094	700	471	31
Celaya:	Sin Pot.	6,291	8,256	127	0
	Con Pot.	33,656	1,090	3,666	0
Apaseo el Grande:	Sin Pot.	6,142	6,129	57	0
	Con Pot.	27,617	2,822	550	21
Apaseo el Alto:	Sin Pot.	10,208	4,468	73	0
	Con Pot.	22,406	1,100	354	108
Tarimoro:	Sin Pot.	8,770	7,487	29	3
	Con Pot.	13,930	380	562	20
Jerécuaro:	Sin Pot.	31,202	20,932	61	116
	Con Pot.	30,497	4,446	331	1,428
Coroneo:	Sin Pot.	6,043	2,451	8	0
	Con Pot.	5,888	403	23	145
<b>TOTAL:</b>	<b>Sin Pot.</b>	<b>95,870</b>	<b>83,190</b>	<b>420</b>	<b>132</b>
	<b>Con Pot.</b>	<b>160,588</b>	<b>11,576</b>	<b>6,310</b>	<b>1,753</b>

Las principales características físicas ponderadas para las áreas con uso adecuado e inadecuado para la agricultura se presentan en el Cuadro 18. Se observa que las diferencias entre las dos condiciones de humedad son mínimas debido a que, como se mencionó anteriormente, en gran medida corresponden a las mismas áreas. La altitud, pendiente y profundidad del suelo presentan una marcada diferencia entre las áreas con uso adecuado e inadecuado, mientras que las variables climáticas presentan menores diferencias. Esto se debe, por una parte, a que los parámetros de clima tienen una mayor amplitud espacial, y por otra, al efecto más específico del clima sobre los diferentes cultivos (por ejemplo, los diferentes requerimientos de humedad y temperatura entre cultivos).

Se puede decir que las diferencias de los factores físicos entre las áreas con uso adecuado e inadecuado para la agricultura son: menores profundidades de suelo en las áreas con uso inadecuado (una diferencia de 46 cm entre los promedios de las dos condiciones de humedad), y mayores pendientes (8.2 % de diferencia de los promedios) y altitudes (284 m de diferencia de los promedios). Estas diferencias fundamentan los resultados de la clasificación de las áreas, ya que son totalmente opuestos a los definidos como óptimos de acuerdo con las ecuaciones de regresión por cultivo y con sus requerimientos definidos por los investigadores especialistas.

En el cuadro 19 se presenta la longitud en km y porcentaje de los diferentes tipos de vías de comunicación en áreas con uso adecuado e inadecuado (temporal y/o riego) para la agricultura, así como en áreas de uso actual pecuario y/o forestal. Aún considerando la mayor superficie de las áreas con uso adecuado para la agricultura, se observa, con mucho, una mayor densidad de vías de comunicación en éstas áreas. La red de vías de comunicación puede tener relación con el propósito de producción (producir para el mercado o para autoconsumo), ya que condiciona el transporte de los productos agrícolas.

En la Figura 19 se presenta la distribución de las poblaciones en las áreas con uso adecuado e inadecuado para la agricultura de temporal y riego. Se ubicaron un total de 54 poblaciones en las áreas con uso inadecuado para la agricultura (temporal y/o riego), de las cuales cinco de ellas corresponden al municipio de Apaseo el Alto, dos a Apaseo el Grande, tres a Celaya, tres a Comonfort, cuatro a Coroneo, 30 a Jerécuaro, tres a Juventino Rosas y cuatro a Tarimoro. De lo anterior, se deduce que el municipio de Jerécuaro presenta la mayor superficie (Cuadros 16 y 17) y la mayor cantidad de población en áreas con uso inadecuado.

Se presentan en el Cuadro 20 las diferencias promedio de las características socioeconómicas de los pobladores de 54 poblaciones ubicadas en las áreas con uso inadecuado, en relación a una muestra de 33 poblaciones ubicadas en las áreas con uso adecuado. En este cuadro se observa que el promedio de habitantes de las poblaciones en las áreas con uso adecuado (3,161) es mucho mayor que el de las poblaciones en las áreas con uso inadecuado (338). En los Cuadros 31A y 32A del Anexo V, se presentan en forma individual las características socioeconómicas de las poblaciones de las áreas con uso adecuado e inadecuado para la agricultura, respectivamente.

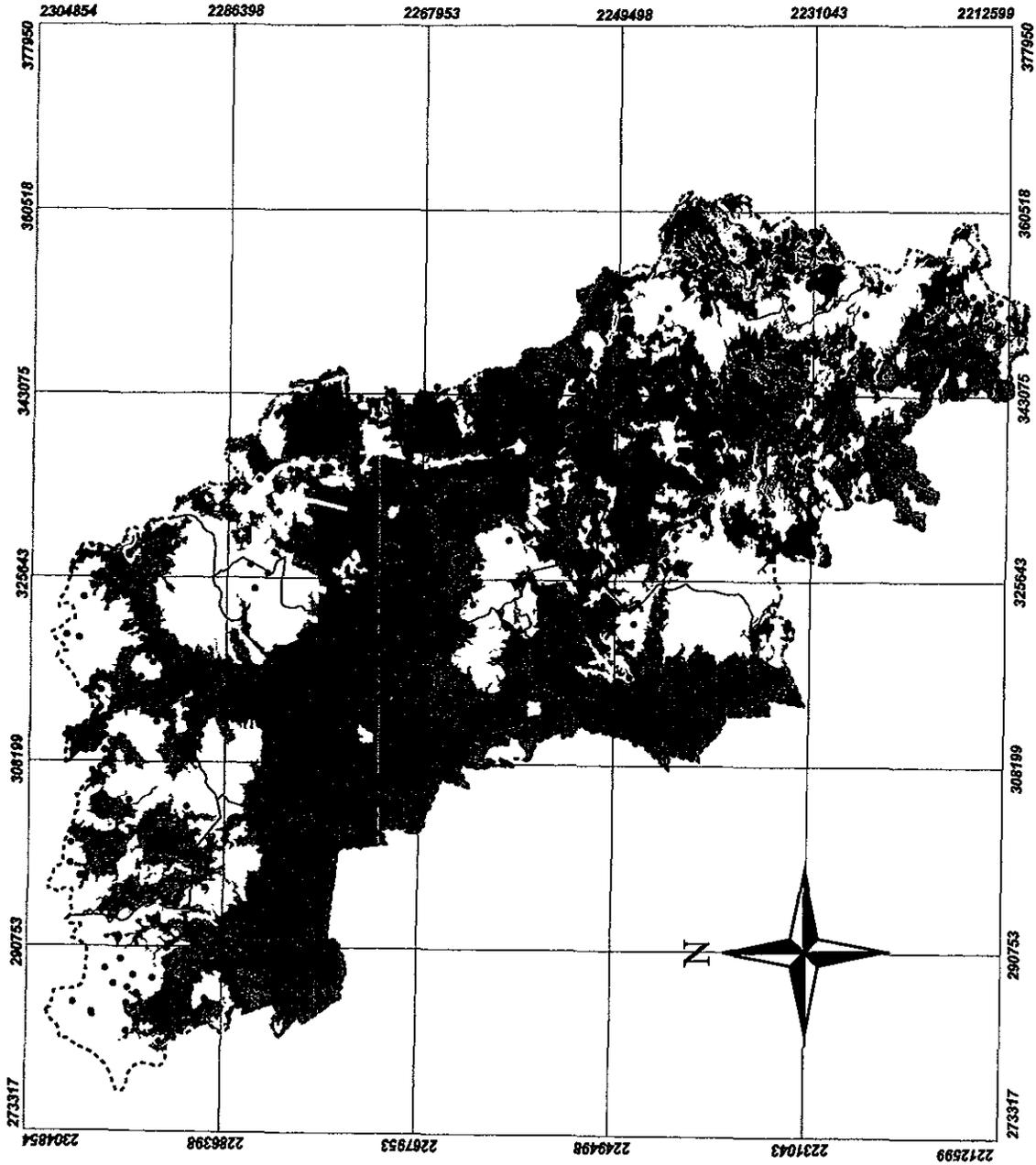
Cuadro 18. Valores ponderados de los factores ambientales para las áreas con uso adecuado e inadecuado para la agricultura de temporal y riego en el DDR 004.

<b>Factores ambientales</b>	<b>Uso adecuado</b>			<b>Uso inadecuado</b>		
	<b>Temporal</b>	<b>Riego</b>	<b>promedio</b>	<b>Temporal</b>	<b>Riego</b>	<b>promedio</b>
Altitud (m)	1,839	1,843	1,841	2,092	2,159	2,125
Pendiente (%)	2.3	2.6	2.4	9.9	11.4	10.6
Profundidad de suelo (cm)	92	88	90	46	42	44
Precipitación (mm)	679	672	675	691	712	701
Temperatura (°C)	17.9	18.0	18.0	17.4	17.0	17.2
Evaporación (mm)	1,998	2,009	2,003	1,969	1,932	1,950

Cuadro 19. Longitud de los diferentes tipos de vías de comunicación en las áreas con uso adecuado e inadecuado para la agricultura, y áreas pecuarias y/o forestales en el DDR 004.

Tipos de vías de comunicación	Total(km)	Áreas adecuadas para agricultura	Áreas inadecuadas para agricultura	Áreas pecuarias y/o forestales
		Km (%)	Km (%)	Km (%)
<b>Federales:</b>	<b>203</b>	<b>177 (87)</b>	<b>26 (13)</b>	<b>0 (0)</b>
De Cuota Dividida	62	57 (92)	5 (8)	0 (0)
Libre Dividida	21	21 (100)	0 (0)	0 (0)
Libre no Dividida	120	99 (83)	21 (17)	0 (0)
<b>Estatales:</b>	<b>240</b>	<b>196 (82)</b>	<b>15 (6)</b>	<b>29 (12)</b>
Libre no Dividida	168	149 (89)	15 (9)	4 (2)
Revestida	72	47 (65)	0 (0)	25 (35)
<b>Otros Caminos:</b>	<b>609</b>	<b>489 (64)</b>	<b>96 (16)</b>	<b>14 (20)</b>
Pavimentados	12	12 (100)	0 (0)	0 (0)
Revestidos	365	228 (63)	129 (35)	8 (2)
Terracerías	42	41 (98)	1 (2)	0 (0)
Brechas	190	108 (57)	76 (40)	6 (3)
<b>Vía de tren:</b>	<b>136</b>	<b>131 (96)</b>	<b>5 (4)</b>	<b>0 (0)</b>

**UBICACION DE POBLACIONES EN AREAS CON USO ADECUADO E INADECUADO PARA AGRICULTURA DE TEMPORAL Y RIEGO**



**DISTRITO DE DESARROLLO RURAL 004 CELAYA, GTO.**

**SIMBOLOGIA**

-  ADECUADO PARA TEMPORAL Y RIEGO
-  INADECUADO PARA RIEGO Y ADECUADO PARA TEMPORAL
-  INADECUADO PARA TEMPORAL Y ADECUADO PARA RIEGO
-  INADECUADO PARA TEMPORAL Y RIEGO

- NO AGRICOLA
- POBLACIONES

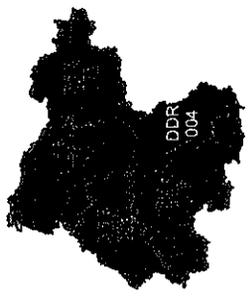
**LIMITES**

-  ESTATAL
-  DISTRITAL
-  MUNICIPAL

PROYECCION UTM  
ZONA 14  
ESCALA 1 : 650,000



**UBICACION**



**GUANAJUATO**

**FIGURA 19**

Cuadro 20. Características socioeconómicas promedio de las poblaciones de las áreas con uso adecuado e inadecuado para la agricultura en el DDR 004.

<b>Características</b>	<b>Poblaciones en áreas adecuadas para agricultura</b>	<b>Poblaciones en áreas inadecuadas para agricultura</b>
Promedio de habitantes	3,161	338
Número de hombres por cada 100 mujeres	91	94
Población mayor de 15 años (%)	60	55
Crecimiento de las poblaciones de 1990 a 1995 (%)	2.5	-0.3
Analfabetas de 6 a 14 años (%)	19	29
Analfabetas de 15 años en adelante (%)	22	31
Viviendas con electricidad (%)	81	73
Viviendas con agua potable (%)	74	40
Viviendas con drenaje (%)	37	8

En el estado de Guanajuato el número de hombres por cada 100 mujeres se mantiene en valores muy cercanos a 100 hasta los 15 años de edad, a partir de la cual ningún grupo quinquenal de edad alcanza este valor (INEGI, 1996a). Esto se atribuye, entre otras causas, a la migración masculina. De acuerdo a los valores del Cuadro 20, el promedio de la migración masculina (número de hombres por cada 100 mujeres) es ligeramente superior entre la población de las áreas con uso adecuado. Sin embargo, otros indicadores de la migración en general (mixta), como el porcentaje de la población mayor de 15 años (migración de población en edad de trabajar) así como el crecimiento de las poblaciones en un período de cinco años, muestran una mayor migración en las áreas con uso inadecuado. Las poblaciones ubicadas en las áreas inadecuadas para la agricultura presentan un mayor porcentaje de población analfabeta y un menor porcentaje de viviendas con servicios de electricidad, agua potable y drenaje.

Por lo anterior, se puede decir que los habitantes de las poblaciones ubicadas en las áreas agrícolas actuales clasificadas sin potencial para la agricultura, en general, tienen un nivel de vida más bajo. Esto también fundamenta los resultados de la delimitación de dichas áreas, si se considera que, para ello, se incluyó un criterio económico (relación costo-beneficio). Este análisis se ha hecho con la información censal disponible, pero seguramente existen otras variables que pueden hacer más evidentes las diferencias entre los pobladores de ambas áreas, variables que pueden ser muestreadas e incorporadas a las bases de datos. El mayor conocimiento de las circunstancias ambientales de las áreas agrícolas y socioeconómicas de sus habitantes, permitirá canalizar mejor los recursos de apoyo a la producción agrícola, a la recuperación de las áreas con uso inadecuado, y a los programas de apoyo social a las poblaciones más marginadas del sector agropecuario y forestal.

## 6. CONCLUSIONES

Una de las principales desventajas de la metodología Booleana convencional con respecto al enfoque fuzzy es suponer que los factores de estratificación tienen el mismo peso sobre la productividad de las especies, deficiencia que provoca: a) el enmascaramiento de factores clave por otros menos importantes, los cuales pueden desvirtuar las clases de aptitud; y b) la incapacidad para tomar en cuenta el efecto de los factores con valores cerca de los límites de la clase óptima y, en algunos casos, fuera del límite por errores inherentes a la información espacial básica.

La ventaja de los dos métodos fuzzy (con y sin datos de productividad) con respecto a las metodologías convencionales de Provincias Agronómicas y Potencial Productivo, es la mayor utilización de la información disponible para cada factor de estratificación, lo que permite contar en la computadora con mapas de valores continuos de aptitud por especie para toda el área en estudio, los cuales con fines de presentación fueron reclasificados en 10 categorías. Con lo anterior, se logra un mejor entendimiento y visualización de la variabilidad espacial de los factores de estratificación y de la aptitud de uso del suelo.

La aplicación del enfoque fuzzy para las especies de importancia pecuaria y forestal que no cuentan con datos de productividad es más simple que cuando se utilizan métodos estadísticos; sin embargo, también es más subjetiva, ya que depende de los especialistas por especie para seleccionar los factores de estratificación, generar las funciones de membresía y asignarles un valor de ponderación.

A pesar de que los requerimientos de las especies utilizados en la metodología de Potencial Productivo y en la aplicación del enfoque fuzzy para especies sin datos de productividad son los mismos, los resultados de la estratificación son totalmente diferentes. El enfoque fuzzy permitió discriminar mejor entre especies y entre municipios, debido a la ponderación asignada a cada uno de los factores con base en los coeficientes de correlación de los cultivos de temporal.

En los estudios previos de Provincias Agronómicas y Potencial Productivo, los requerimientos originalmente fueron definidos para un ámbito nacional; sin embargo, existió la tendencia a ajustarlos a nivel estatal con el propósito de encontrar variación a ese nivel. En este trabajo, al comparar los resultados de estas metodologías con los obtenidos mediante el enfoque fuzzy, quedó de manifiesto la importancia de delimitar el ámbito o área de influencia del modelo de datos en su forma más simple, como lo es el definir los requerimientos por especie (modelos ordinales), para hacerlos comparables en un ámbito geográfico.

Fue posible generar bases de datos digitales más detalladas y confiables que las utilizadas en los estudios previos. A nivel estatal se dispone de bases de datos de suelo, topografía y clima, con una resolución de 100 x 100 m; estadísticas de productividad de cultivos y requerimientos climáticos y edáficos de las especies vegetales más importantes. Para el DDR 004 se cuenta además con información de uso anterior y actual del suelo, vías de comunicación y poblaciones de más de tres viviendas con sus datos censales de 1990 y 1995. Algunos resultados de la verificación de dichas bases de datos fueron de utilidad para adecuar los criterios de estratificación.

Con las nuevas bases de datos y la aplicación del enfoque fuzzy se delimitaron 10 categorías de aptitud para las especies estratégicas del DDR 004, las cuales fueron desagregadas a nivel municipal. A partir de la generalización de las categorías fuzzy por cultivo se clasificó y desagregó a nivel municipal la aptitud para la agricultura de temporal y riego. Las pequeñas áreas con la categoría máxima (10) para agricultura de temporal se localizan en los municipios de Jerécuaro y Tarimoro (7,444 ha), mientras que las áreas óptimas para agricultura de riego corresponden a la zona de El Bajío (85, 481ha).

El área agrícola de El Bajío presenta una gran aptitud para los cultivos de riego en estudio, pero presenta severas limitaciones para los cultivos de temporal. En estas condiciones, el frijol tiene mayores posibilidades que el maíz porque es menor su requerimiento de humedad. Si se consideran las restricciones actuales del agua de riego, es urgente estudiar otras especies alternativas que permitan hacer más eficiente el uso de este recurso en esta área. Por ejemplo, el mezquite, clasificado con la máxima aptitud biológica en las áreas agrícolas de El Bajío, pero que actualmente tiene poca importancia económica.

En el contexto del ordenamiento territorial este estudio se ubica en la fase de planificación (análisis, diagnóstico y sugerencias) para las actividades agropecuarias y forestales. Los conceptos de ordenamiento territorial revisados en este estudio, pueden ser un marco teórico de utilidad para ligar las acciones de planificación con el reordenamiento práctico del uso del suelo. Los resultados de los análisis de aptitud para el sector agropecuario y forestal realizados en este estudio, pueden significar una contribución al ordenamiento territorial (ecológico) general (considerando todas las actividades de importancia) que promueve el Instituto de Ecología en el estado de Guanajuato.

A partir de fotografías aéreas escala 1:75,000 de 1993, se calculó una superficie de 256,453 ha utilizadas actualmente en la agricultura. Por otra parte, utilizando las clases fuzzy por cultivo y la aplicación de un criterio económico (relación costo-beneficio) fue posible delimitar las áreas potenciales para la agricultura de temporal y riego. Se estimó una superficie bruta de 180, 227 y 213, 240 ha con potencial para agricultura de temporal y riego, respectivamente.

Al sobreponer el uso actual con el potencial para la agricultura, se cuantificaron 160,588 ha (63%) con uso adecuado y 95,870 ha (37 %) con uso inadecuado para la agricultura de temporal. Para la agricultura de riego se cuantificaron 183,277 ha (71%) y 73,181 ha (29%) con uso adecuado e inadecuado, respectivamente.

La superficie con uso inadecuado para la agricultura de riego está contenida en la de temporal, casi en su totalidad. La menor superficie con uso inadecuado para agricultura (temporal y/o riego) se encuentra en el municipio de Celaya, mientras que en Comonfort, Jerécuaro y Coroneo más de la mitad de su superficie agrícola actual se clasifica como inadecuada.

Al comparar el uso anterior (1973) con el uso actual (1993) se encontró que el área agrícola del DDR 004 se incrementó a expensas del área pecuaria y forestal, en alrededor de 32,000 ha, en un período aproximado de 20 años. Los crecimientos del área agrícola de temporal hacia las áreas con mayor aptitud de uso pecuario y forestal se ubican, en general, dentro de las áreas con uso inadecuado para la agricultura. Por otra parte, las áreas urbanas han ocupado áreas agrícolas.

Las mayores altitudes y pendientes, y la menor profundidad de suelo, son las principales características físicas de las áreas con uso inadecuado para la agricultura, cuando se comparan con las áreas con uso adecuado. La menor densidad de vías de comunicación, el menor promedio de la población total y los mayores índices de migración, analfabetismo y pobreza son las principales características socioeconómicas de las áreas con uso inadecuado para la agricultura en contraste con las áreas con uso adecuado. Esta información es muy útil, para mejor fundamentar futuras propuestas de reordenamiento de uso del suelo.

El principal beneficio colateral de este estudio son las bases de datos digitales así como los sistemas y equipo de cómputo para su manejo. Dichas bases de datos son dinámicamente perfectibles y de utilidad como herramienta para la planificación de uso del suelo en el área en estudio y como punto de partida para monitorear, a futuro, los cambios de uso del mismo, entre otras aplicaciones.

La principal limitación para la aplicación del enfoque fuzzy a la clasificación de tierras para la producción de cultivos es la falta de datos confiables para generar los modelos cartográficos. Si se considera que en el INIFAP se han realizado algunos esfuerzos en modelación, principalmente con modelos empírico-estadísticos, se piensa que una línea de investigación futura será sobre la integración de modelos de productividad de cultivos con los Sistemas de Información Geográfica (SIG), aplicando métodos de clasificación fuzzy.

La selección de los factores de estratificación, la definición de las funciones de membresía y su ponderación, son actividades de la aplicación del enfoque fuzzy que pueden ser mejoradas a futuro mediante experimentos de productividad dirigidos a las áreas que representen la variación climática y edáfica, lo que permitiría generar información más confiable. En estos experimentos sería posible, además, separar la contribución de los factores controlables de la producción de cultivos (manejo) al dosificar sus niveles.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguilar H., O. A. y C. A. Tapia N. 1990. Zonificación agroecológica para la producción de maíz, frijol y sorgo de temporal en el estado de Guanajuato. INIFAP-CIFAP-GTO. Celaya, Gto. Mimeóg.
- Altman, D. 1994. Fuzzy set theoretic approaches for handling imprecision in spatial analysis. *Int. J. Geographical Information Systems* Vol. 8, No. 3, 271-289.
- Aronoff, S. 1989. *Geographic Information Systems: a management perspective*. WLD Publications. Montreal, Canada. pp: 31-45.
- Ball, G. L. 1993. *Introduction to Geographic Information Systems. Lecture and Exercise Notes*. School of Renewable Natural Resources, University of Arizona. 47 p.
- Berry, J. K. 1993. *Beyond Mapping. Concepts, Algorithms, and Issues in GIS*. GIS World Books. GIS World, Inc. Fort Collins, Co. pp: 99-110.
- Bifani, P. 1982. *Desarrollo y Medio Ambiente. Vol. III*. Centro de Investigación de la Facultad de Ciencias Administrativas (CIFCA). Madrid. pp: 151-165.
- Bojórquez, L.A., Ongay E. and Ezcurra E. 1994. Multivariate approach for suitability assesment and environmental conflict resolution. *J. Environmental management* Vol. 41, No. 3, 187-198.
- Burrough, P. A. 1986. *Principles of Geographical Information Systems for land resources assessment*. Monographs on Soil and Resources Survey No. 12. Clarendon Press, Oxford. pp: 1-12.
- Burrough, P. A. 1989. Fuzzy mathematical methods for soil survey and land evaluation. *J. Soil Science* Vol. 40, No.3, 477-492.
- Burrough, P. A., MacMillan, R. A. and Van Deursen, W. 1992. Fuzzy clasification methods for determining land suitability from soil profile observations and topography. *J. Soil Science* Vol 43, No. 2, 193-210.
- Byerlee, D. y Collinson M. 1983. *Planeación de tecnologías apropiadas para los agricultores: Conceptos y procedimientos*. CIMMYT, México. 71 p.
- Carmona, L.C. 1993. *Boletín Mexicano de Derecho comparado*. Nueva Serie XXVI No. 78. pp: 819-846.
- Cendrero, A. 1988. *Planificación ambiental y ordenación de usos del territorio*. *In: ITGE. Geología Ambiental*. Instituto Tecnológico Geominero de España. pp: 25-33.

- CETENAL. 1972-1974. Cartas topográficas del estado de Guanajuato (F-14-C-53, F-14-C-54, F-14-C-55, F-14-C-63, F-14-C-64, F-14-C-65, F-14-C-74, F-14-C-75, F-14-C-76, F-14-C-84, F-14-C-85, F-14-C-86, y E-14-A-15). Escala 1:50,000 . Secretaría de Programación y Presupuesto. México, D. F.
- CETENAL. 1973-1974a. Cartas edafológicas del estado de Guanajuato (F-14-C-53, F-14-C-54, F-14-C-55, F-14-C-63, F-14-C-64, F-14-C-65, F-14-C-74, F-14-C-75, F-14-C-76, F-14-C-84, F-14-C-85, F-14-C-86, y E-14-A-15). Escala 1:50,000. Secretaría de Programación y Presupuesto. México, D. F.
- CETENAL. 1973-1974b. Cartas de uso del suelo del estado de Guanajuato (F-14-C-53, F-14-C-54, F-14-C-55, F-14-C-63, F-14-C-64, F-14-C-65, F-14-C-74, F-14-C-75, F-14-C-76, F-14-C-84, F-14-C-85 y F-14-C-86). Escala 1:50,000. Secretaría de Programación y Presupuesto. México, D. F.
- Davidson, D. A., Theocharopoulos S. P., and Bloksma R. J. 1994. A land evaluation project in Greece using GIS and based on Boolean and fuzzy methodologies. *Int. J. Geographical Information Systems* Vol. 8, No. 4, 369-384.
- Eastman, R. J. 1992a. IDRISI. User's Guide. Version 4.0.1. Clark University. Graduate School of Geography. Worcester, Ma. 178 p.
- Eastman, R. J. 1992b. IDRISI. Technical Reference. Version 4.0.1. Clark University. Graduate School of Geography. Worcester, Ma. 213 p.
- Eastman, R. J. 1997. IDRISI for Windows Version 2.0. Clark University. Graduate School of Geography. Worcester, Ma.
- ESRI. 1994. PC ARC/INFO. Version 3.4.2b. Environmental Systems Research Institute, Inc. Redlands Ca.
- ESRI. 1995a. Using grid with ARC/INFO -Version 7. Geographic Information System Analysis and data Management. Environmental Systems Research Institute, Inc. Educational Services. Redlands Ca.
- ESRI. 1995b. ArcView. Version 1.0 for Windows. Environmental Systems Research Institute, Inc. Redlands Ca.
- ESRI. 1996a. ARC/INFO. Version 7.1 for Windows NT. Environmental Systems Research Institute, Inc. Redlands Ca.
- ESRI. 1996b. ArcView. Version 3.0 for Windows. Environmental Systems Research Institute, Inc. Redlands Ca.
- FAO. 1978. Report on the Agro-Ecological Zones Project. Vol. 1: Methodology and Results for Africa. World Soil Resources Report 48/1. FAO, Rome. 158 p.

- FAO. 1981. Informe del Proyecto de Zonas Agroecológicas. Vol 3. Metodología y resultados para América del Sur y Central. Informe sobre recursos mundiales de suelos 48/3. FAO, Roma.
- Fisher, P.F. 1994. Probable and fuzzy models of the watershed operation. *In: Innovations in GIS 1*. Worboys, M. F. (ed.). Taylor & Francis. pp: 161-175.
- García N., H. 1988. Zonificación agroecológica de los principales cultivos bajo riego en el estado de Guanajuato. Tesis de maestría en ciencias. C. P. Montecillo, Méx. 160 p.
- García N., H., A. Tapia N., F. Galván C., y C. Mejía A. 1992. Clasificación de las tierras de labor del estado de Guanajuato para la producción de maíz, frijol y trigo de temporal. *In: Tovar S., J. L. y R. Quintero L. (Eds.). La investigación edafológica en México 1991-1992. Memorias del XXV Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. 9-14 de noviembre. Acapulco, Guerrero, México. p. 512.*
- García N., H., C. Mejía A., R. R. García D., A. González R., y R. Chacón M. 1996. Zonas potenciales para la producción de las principales especies vegetales en el estado de Guanajuato. Publicación técnica No.1. SAGAR, INIFAP, CIRCE-Campo Experimental Bajío, Celaya, Gto.
- García N., H., A. González R., C. Mejía A., y R. R. García D. 1998. Sistema de consulta de variables relevantes de la base de datos digital del estado de Guanajuato (SICOBADI V. 1.0). SAGAR, INIFAP, CIRCE-Campo Experimental Bajío, Celaya, Gto. 30 p. (Disco compacto anexo).
- Gómez-Orea, D. 1980. El Medio Físico y la Planificación. Centro de Investigación de la Facultad de Ciencias Administrativas (CIFCA). Madrid. pp: 65-98.
- González A., I.J.; Turrent F., A. y Aveldaño S., R. 1990. Provincias Agronómicas de las tierras de labor bajo temporal en México. SARH, INIFAP. México, D.F. 108 p.
- Goodchild, M. F. 1991. The technological setting of GIS. *In: Maguire D. J., Goodchild M. F., Rhind D. W. (Eds.). Geographical Information Systems: Principles and applications. Longman, London, Vol. 1. pp: 45-54.*
- Harrington, L. W. and R. Tripp. 1984. Recommendation domains: A framework for on-farm research. CIMMYT . Econ. Working paper 02/84. CIMMYT, México. 30 p.
- INEGI. 1990. Guía para la interpretación de cartografía. Uso del suelo. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags. 48 p.
- INEGI. 1993a. Fotografías aéreas a escala 1:75,000 de la zona F14-10 (Querétaro), líneas de vuelo 147 a 152 con fecha de mayo y junio de 1993. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes, Ags.

- INEGI. 1993b. Anuario estadístico del estado de Guanajuato. Edición 1993. Instituto Nacional de Estadística, Geografía, e Informática. Aguascalientes, Ags.
- INEGI. 1994. Inventario de información geográfica. Instituto Nacional de Estadística, Geografía, e Informática. Aguascalientes, Ags.
- INEGI. 1996a. Guanajuato. Censo de Población y Vivienda de 1995. Resultados definitivos. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags. 573 p.
- INEGI. 1996b. Guanajuato. Censo de Población y Vivienda de 1995. Resultados definitivos. Compact Disc. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags.
- INEGI. 1997. Anuario estadístico del estado de Guanajuato. Edición 1997. Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática. Aguascalientes, Ags. 560 p.
- INEGI. 1998a. Estudio Hidrológico del estado de Guanajuato. Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática. Aguascalientes, Ags. 151p.
- INEGI. 1998b. Catálogo de productos. Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática. Aguascalientes, Ags. 161p.
- Johnson, L. B. 1993. Ecological analyses using Geographic Information Systems. *In*: S. B. McLaren and J. K. Braun (Eds.). Gis applications in mammalogy. Special Publication of the Oklahoma Museum of Natural History, Norman, Oklahoma. pp: 27-38.
- Kollias, V. J. and Voliotis, A. 1991. Fuzzy reasoning in the development of geographical information systems. FRIS: A prototipe soil information system with fuzzy retrieval capabilities. *Int. J. Geographical Information Systems* Vol. 5, No. 2, 209-223.
- Laird, R.J. 1977. Investigación agronómica para el desarrollo de la agricultura tradicional. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 175 p.
- Laird, R.J. 1987. Apuntes del curso de Investigación Agronómica para el Desarrollo de la Agricultura Tradicional. Colegio de Posgraduados, Montecillo, México. Inédito.
- López B., J. 1994. Evaluaciones geomorfológicas y de recursos naturales aplicando un Sistema de Información Geográfica (ILWIS). Tesis de doctorado. Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. México, D.F. 222 p.
- López B., J., I. Valdez M., J. Ugalde R. 1996. Corrección fotogramétrica de segmentos digitizados de fotografías aéreas aplicando un SIG, para la determinación del uso del suelo en la sierra de Quetzaltepec, México. *Investigaciones Geográficas Boletín*, No. 33. Instituto de Geografía, UNAM, México, D.F. pp: 9-30.

- Martínez R., M. A. 1979. El Sondeo. Una alternativa de investigación agro-socioeconómica. ICTA, Guatemala. Mimeóg.
- Ortiz S., C. A. 1981. Evaluación de la aptitud de las tierras de México para la producción de maíz, frijol y sorgo en condiciones de temporal. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 35 p.
- Ortiz S., C.A. y H.E. Cuanalo C. 1984. Metodología del levantamiento fisiográfico. Un sistema de Clasificación de Tierras. 2a. Ed. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 86 p.
- Ortiz S., C. A. 1987. Elementos de Agrometeorología cuantitativa con aplicaciones en la República Mexicana. UACH, Chapingo, México. 327 p.
- Ortiz V., R. Moreno S., y R. A. Martínez P. 1992. Determinación del potencial productivo de especies vegetales para el estado de Puebla. Publicación técnica No. 1. SARH-INIFAP-CIRCE-Campo Experimental Cholula, Puebla. 103 p.
- Parker, H. 1988. The unique qualities of a Geographic Information System: a Commentary. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing Vol. 54, No. 11, 1547-1549.
- Ramos A. y E. Canals A. 1974. El medio ambiente natural. Un esquema metodológico para la planificación de áreas rurales. Boletín de la Estación Central de Ecología. Año III, No. 6. Instituto para la Conservación de la Naturaleza. Ministerio de agricultura. Madrid. 25 p.
- Rebolledo R.,H. H. 1992. SAS en microcomputadora. Análisis de experimentos con fines de optimización de insumos agrícolas. 2a. Ed. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México. 93 p.
- Robinette, A. 1991. Land management application of GIS in the state of Minnesota. *In*: Maguire D. J., Goodchild M. F., Rhind D. W. (Eds.). Geographical Information Systems: Principles and applications. Longman, London, Vol. 2. pp: 275-283.
- SARH. 1993. Características de los Distritos de Desarrollo Rural de México. Coordinación General de Delegaciones. México, D.F.
- SCT. 1993. Guanajuato. Mapa turístico de comunicaciones y transportes. Escala 1:250,000. Secretaría de Comunicaciones y Transportes-Coordinación General de Planeación. Ed. Planeta Mexicana. México, D.F.
- SEDUE. s. f. Manual de regionalización ecológica. Serie: ordenamiento ambiental No. 1. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. 13 p.
- SEDUE. 1988. Manual de Ordenamiento Ecológico del Territorio. Subsecretaría de Ecología. Dirección General de Normatividad y Regulación Ecológica, México. 356 p.

- Shaw, D.M. and S. F. Atkinson. 1990. An introduction to the use of Geographic Information System for ornithological research. *The Condor* Vol. 92, No. 3, 564-570.
- Sorani, D.V., Alvarez, R., Baca, J. C. and Varela S. 1993. The Forest Inventory of Mexico, Phase 1: Classification with TM imagery. 25th International Symposium, Remote Sensing and Global Environmental Change, Graz Austria, 4-8 April 1993. II: 423-434.
- Soto M., C. y A. Soto M. 1990. Cambios recientes en el uso del suelo agrícola en la región de El Bajío, Gto. *Geografía y Desarrollo* Vol. 2, No. 5, 3-11.
- Soto M., C. y A. Soto M. 1992. Cambios recientes en el uso del suelo agrícola en México. *In: Fuentes A., L. (Coor.). Cambios en el uso del suelo agrícola en México.* Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía, México, D.F. pp: 12-25.
- SPP. 1980. Síntesis geográfica de Guanajuato. Secretaría de Programación y Presupuesto. Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática. México, D. F. 198p. (Con 17 mapas en anexo cartográfico).
- SPP. 1981. Atlas Nacional del Medio Físico. Dirección General de Geografía del Territorio Nacional. México, D.F. 224 p.
- SPP. 1984. 1989. 1991. Cartas de uso del suelo del estado de Guanajuato (F14-10, F14-8, F14-7 y E14-1). Escala 1:250,000. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, Dirección General de Geografía, México, D.F.
- SRH, 1973. El sistema de clasificación de Capacidad de Uso de los Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica. M. Maples V. y G. Flores M. (Trad.). Dirección General de Estudios. Dirección de Agrología. México, D.F.
- Sui, D. Z. 1994. Fuzzy logic can help GIS cope with reality. *Gis World* Vol. 7, No. 9, 50-53.
- Tapia N., C. A. y H. García N (Comps.). 1991. Marco de referencia y catálogo de tecnologías agropecuarias para el Distrito de Desarrollo Rural 004 Celaya. Pub. especial No. 29. SARH, INIFAP, PROCATI. Campo Experimental Bajío, Celaya, Gto. 211 p.
- Tang, H., Debayeye, J., Ruanda, and Van Ranst, E. 1991. Land suitability classification based on fuzzy set theory. *Pedologie* Vol XLI, No. 3, 277-290.
- Tang, H. and Van Ranst, E. 1992. Testing of fuzzy set theory in land suitability assesment for rainfed grain maize production. *Pedologie* Vol. XLII, No.2, 129-147.
- Tang, H. and Ruan, D. 1992. Land use suitability assesment for irrigated maize based on fuzzy set theory. Proceedings of international conference on advances in planning, design and management of irrigation systems as related to sustainable land use. Catholic University. Leuven, Belgium. Pp: 597-606.

- Tomlin C., D. 1990. Geographic Information Systems and Cartographic Modeling. School of Natural Resources the Ohio State University. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J. 249 p.
- Treitz, P.M. Howarth, P. J. and Gong, P. 1992. Application of satellite and GIS technologies for land-cover and land-use mapping at the rural-urban fringe: A case study. Photogrametric Engineering & Remote sensing Vol. 58, No. 4, 439-448.
- Turrent, F., A. 1976. El registro de observaciones durante el desarrollo de un experimento de productividad. Escritos sobre la metodología de la investigación en productividad de Agrosistemas No. 2. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 45 p.
- Turrent, F., A. 1980a. Evidencia sobre la necesidad de desarrollar una investigación tecnológica multifactorial-integrada para la agricultura de temporal. Escritos sobre la metodología de la investigación en productividad de Agrosistemas No. 4. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 37 p.
- Turrent F., A. 1980b. El Agrosistema, un concepto útil dentro de la disciplina de productividad. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Turrent F., A. 1986. Estimación del potencial productivo actual de maíz y frijol en la República Mexicana. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx.
- Valenzuela, C. R. and M. F: Baumgardner. 1990. Selection of appropriate cell sizes for thematic maps. ITC Journal Vol. 3 (1990), 219-224.
- Van Ranst, E., Tang, H., Groenemans, R., and Sinthurahat, S. 1996. Application of fuzzy logic to land suitability for rubber production in peninsular Thailand. Geoderma Vol. 70 (1996), 1-19.
- Villalpando Y., J. F. 1975. Desarrollo de un método para obtener ecuaciones empíricas generalizadas del rendimiento en una región agrícola, para uso en diagnóstico. Evaluación de la capacidad de diagnóstico de varios métodos, en una región del Edo. de Tlaxcala en que se cultiva maíz de temporal. Tesis de maestría en ciencias. C. P. Chapingo, Méx. 246 p.
- Villarreal F., E.y F. Byerly M. 1984. Metodología para la planeación de la investigación agrícola a partir de problemas de la realidad. SARH-INIA. Unidad de planeación de la Investigación. México, D.F. 58 p.
- Walsh, S. J. 1985. Geographic Information Systems for Natural Resource Management. J. Soil and Water Conservation, Vol. 40, No. 2, 202-205.
- Wang F., Hall, G. B. and Subaryono. 1990. Fuzzy information representation and processing in conventional GIS software. Database design and application. Int. J. Geographical Information Systems Vol. 4, No. 3, 261-283.
- WCDP. 1992. CLICOM Project. Reference manual of the world climate data program. Version 3.0. United Nations Organization. USA.

## **8. ANEXOS**

**8.1. ANEXO I: INFORMACION Y RESULTADOS DE LA VERIFICACION DE LAS BASES DE DATOS DE SUELO Y TOPOGRAFIA**

Cuadro 1A. Superficie y porcentaje de las unidades y subunidades de suelo en el DDR 004.

<b>Unidades y subunidades de suelo</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Superficie (%)</b>
VERTISOL PELICO (Vp)	174,179	48.47
PHAEOZEM HAPLICO (Hh)	87,133	24.25
PHAEOZEM LUVICO (HI)	44,226	12.31
PHAEOZEM CALCARICO (Hc)	2,935	0.82
LITOSOL (I)	31,190	8.68
CHERNOZEM LUVICO (CI)	8,483	2.36
CHERNOZEM CALCICO (Ck)	1,066	0.29
FLUVISOL EUTRICO (Je)	3,977	1.11
FLUVISOL GLEYICO (Jg)	504	0.14
LUVISOL CROMICO (Lc)	3,158	0.88
CASTAÑOZEM LUVICO (KI)	1,357	0.38
ZOLONCHACK ORTICO (Zo)	997	0.28
PLANOSOL HUMICO (Wh)	87	0.02
CAMBISOL EUTRICO (Be)	47	0.01
<b>Total</b>	<b>359,339</b>	<b>100.00</b>

Cuadro 2.A. Características fisico-químicas de las unidades y subunidades de suelo más importantes en el DDR 004.

Características	Símbolos de las unidades y subunidades de suelo						
	Vp	Hh	Cl	Je	Lc	Kl	Zo
Color en campo	Negro grisáceo	Café	Negro	Café obscuro	Rojo	Mostaza	Gris
Ph	7.5	7.2	6.2	7.5	4.5	7.5	8.1
Arena (%)	28.04	50.36	36.04	32.04	32.04	48.04	62.04
Limo (%)	10.68	24.00	29.28	43.28	29.28	39.28	21.28
Arcilla (%)	61.28	25.64	34.68	24.68	38.68	12.68	16.68
Clase textural		Migajón	Migajón		Migajón		Migajón
	Arcilla	arcillo-arenoso	arcilloso	Franco	arcilloso	Franco	arenoso
H.C.C.(%)	62.18	-----	50.20	52.27	46.61	43.95	45.26
H.P.M.P.(%)	31.09	-----	25.10	26.13	23.30	21.97	22.63
Densidad aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	1.05	-----	1.21	1.29	1.18	1.33	1.35
Materia orgánica (%)	1.48	1.17	1.39	2.03	2.16	1.14	1.90
Fósforo asimilable (ppm)	24.7	9.3	1.4	7.7	5.0	2.3	7.8
Potasio (ppm)	837	510	362	493	135	427	2273
Calcio (ppm)	6302	966	4392	6935	3211	6422	5544
Magnesio (ppm)	735	566	1099	768	1086	323	409
Sodio (ppm)	883	320	209	191	15	30	671
Carbonatos (%)	4.97	4.12	0.00	2.77	0.0	1.01	12.46
Hierro (ppm)	11.0	2.6	15.8	11.6	55.4	2.7	1.8
manganeso (ppm)	7.4	8.9	31.3	5.1	37.5	6.4	7.6
Zinc (ppm)	-----	2.3	0.2	0.9	0.7	0.2	0.9
Cobre (ppm)	1.3	0.8	1.0	1.3	0.3	6.3	0.3
Nitrógeno total (%)	0.24	-----	0.43	0.22	0.29	0.29	0.29
C.E. ds/m	0.868	0.653	0.53	0.97	0.40	1.05	0.88
P.S.I:	4.23	2.05	2.25	1.06	0.00	0.00	3.73

----- : sin dato

H.C.C.(%): humedad a capacidad de campo.

H.P.M.P.(%): humedad a punto de marchitez permanente.

C.E. (ds/m): conductividad eléctrica

P.S.I. : porcentaje de sodio intercambiable

Cuadro 3A. Superficie y profundidad de las fases físicas y unidad de suelo Litosol en el DDR 004.

<b>Fases físicas y unidad de suelo Litosol</b>	<b>Profundidad (cm)</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Superficie (%)</b>
Sin fase física	> 100	101,263	28.1
Lítica	10-50	89,722	24.9
Litosol	0-10	31,190	8.7
Lítica profunda	50-100	21,632	6.0
Dúrica	0-50	18,343	5.1
Dúrica profunda	50-100	12,073	3.4
Petrocálcica	0-50	1,443	0.4
Pedregosa	Superficial	83,656	23.3
Gravosa	Superficial	380	0.1
<b>Total</b>		<b>359,702</b>	<b>100.0</b>

Cuadro 4A. Profundidad del suelo y factibilidad de laboreo de los suelos del DDR 004, con base en las fases físicas y la unidad de suelo Litosol.

<b>Profundidad de suelos</b>	<b>Fases físicas</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Superficie (%)</b>
> 100	Sin fase física	101,263	28.1
50-100	Dúrica y lítica profundas	34,058	9.4
0-50	Lítica, dúrica y petrocálcica	110,467	30.4
0-10	Litosol	31,190	8.7
Superficial*	Pedregosa y gravosa	87,500	23.4
<b>Total</b>		<b>359,702</b>	<b>100.0</b>

\* En este trabajo se considera que la presencia de las fases físicas pedregosa y gravosa no afectan la profundidad del suelo pero pueden afectar la mecanización.

Cuadro 5A. Clasificación de las áreas con fases químicas de acuerdo a las cartas edafológicas de CETENAL (1973) y análisis de muestreos de campo.

No. de polígono	Clasificación CETENAL	Superficie (ha)	Muestreros de verificación	Uso actual del suelo	Clasificación de análisis
1	Vp ligeramente salino-sódico	2,874	1A (0-30 cm)	Agricultura	Normal
			1A (30-60 cm)		Normal
			1B (0-30 cm)	Agricultura	Normal
			1B (30-60 cm)		Normal
			1C (0-30 cm)	Agricultura	Normal
			1C (30-60 cm)		Normal
			1D (0-30 cm)	Ganadería extensiva	Sódico
			1D (30-60 cm)		Normal
2	Vp ligeramente salino-sódico	1,460	2A (0-30 cm)	Baldío	Normal
			2A (30-60 cm)		Normal
			2B (0-30 cm)	Baldío	Normal
			2B (30-60 cm)		Sódico
			2C (0-30 cm)	Agricultura	Normal
			2C (30-60 cm)		Normal
3	Vp sódico	3,829	3A (0-30 cm)	Agricultura	Sódico
			3A (30-60 cm)		Salino-sódico
			3B (0-30 cm)	Baldío	Salino-sódico
			3B (30-60 cm)		Salino-sódico
			3C (0-30 cm)	Agricultura	Normal
			3C (30-60 cm)		Normal
			3D (0-30 cm)	Agricultura	Normal
			3D (30-60 cm)		Normal
			3E (0-30 cm)	Agricultura	Salino-Sódico
			3E (30-60 cm)		Sódico
			3F (0-30 cm)	Agricultura	Normal
			3F (30-60 cm)		Normal
4	Zo sódico	997	4A (0-30 cm)	Agricultura	Normal
			4A (30-60 cm)		Normal
			4B (0-30 cm)	Agricultura	Normal
			4B (30-60 cm)		Normal
			4C (0-30 cm)	Agricultura	Normal
			4C (30-60 cm)		Normal
			4D (0-30 cm)	Agricultura	Normal
			4D (30-60 cm)		Normal
			4E (0-30 cm)	Agricultura	Sódico
			4E (30-60 cm)		Normal
5	Vp moderadamente salino-sódico	742	5A (0-30 cm)	Baldío	Normal
			5A (30-60 cm)		Normal
			5B (0-30 cm)	Baldío	Sódico
			5B (30-60 cm)		Normal
			5C (0-30 cm)	Baldío	Normal
			5C (30-60 cm)		Sódico

Cuadro 6A. Localización de los puntos de muestreo y datos de altitud obtenidos a partir del Modelo de Elevación Digital (MED) y de las cartas topográficas a escala 1:50,000.

Punto	Ubicación en coordenadas geográficas X,Y	Ubicación en coordenadas UTM X,Y	Altitud MED en pantalla (m)	Altitud en mapa escala 1:50,000 (m)
1	20°45', 101°05'	283087.4 , 2295742	1,999	2,005
2	20°45', 101°00'	291763.1 , 2295632	2,117	2,105
3	20°45', 100°55'	300448.8 , 2295527	1,964	1,935
4	20°45', 100°50'	309124.6 , 2295426	1,890	1,871
5	20°45', 100°45'	317799.3 , 2295330	1,873	1,845
6	20°45', 100°40'	326484.0 , 2295239	1,875	1,875
7	20°40', 101°00'	291649.1 , 2286399	1,798	1,800
8	20°40', 100°55'	300339.5 , 2286294	1,898	1,885
9	20°40', 100°50'	309020.1 , 2286193	2,014	2,000
10	20°40', 100°45'	317699.5 , 2286098	1,784	1,790
11	20°40', 100°40'	326389.0 , 2286006	2,359	2,340
12	20°40', 100°35'	335068.7 , 2285919	1,999	2,010
13	20°35', 101°00'	291535.6 , 2277176	1,755	1,732
14	20°35', 100°55'	300230.8 , 2277072	1,767	1,748
15	20°35', 100°50'	308916.1 , 2276972	1,776	1,760
16	20°35', 100°45'	317600.3 , 2276876	1,779	1,765
17	20°35', 100°40'	326294.5 , 2276785	1,797	1,799
18	20°35', 100°35'	334978.9 , 2276698	1,873	1,885
19	20°35', 100°30'	343662.3 , 2276616	1,782	1,797
20	20°30', 100°50'	308812.5 , 2267750	1,774	1,750
21	20°30', 100°45'	317501.4 , 2267655	1,773	1,758
22	20°30', 100°40'	326200.3 , 2267564	1,821	1,815
23	20°30', 100°35'	334889.5 , 2267478	1,885	1,893
24	20°25', 100°45'	317402.8 , 2258423	1,798	1,797.
25	20°25', 100°40'	326106.5 , 2258332	2,430	2,450
26	20°25', 100°35'	334800.3 , 2258246	1,970	1,943
27	20°25', 100°30'	343493.1 , 2258164	2,045	2,032
28	20°20', 100°45'	317304.7 , 2249201	1,897	1,867
29	20°20', 100°40'	326013.1 , 2249111	2,234	2,220
30	20°20', 100°35'	334711.6 , 2249025	2,029	2,018
31	20°20', 100°30'	343409.0 , 2248944	2,122	2,114
32	20°20', 100°25'	352116.5 , 2248867	2,213	2,218
33	20°15', 100°45'	317207.0 , 2239980	1,822	1,810
34	20°15', 100°40'	325920.0 , 2239890	2,177	2,185
35	20°15', 100°35'	334623.2 , 2239805	2,180	2,182
36	20°15', 100°30'	343325.3 , 2239724	2,163	2,140
37	20°15', 100°25'	352037.4 , 2239647	2,512	2,505
38	20°15', 100°20'	360739.8 , 2239575	2,412	2,435
39	20°10', 100°35'	334535.0 , 2230573	2,159	2,151
40	20°10', 100°30'	343241.8 , 2230493	2,021	2,029
41	20°10', 100°25'	351958.6 , 2230416	2,282	2,270
42	20°05', 100°30'	343158.7 , 2221273	1,898	1,900
43	20°05', 100°25'	351880.2 , 2221196	2,404	2,430
44	20°00', 100°25'	351802.0 , 2211977	2,133	2,146

Cuadro 7A. Localización de los puntos de muestreo y datos de altitud obtenidos a partir del Modelo de Elevación Digital (MED) y bancos de nivel (BN) de INEGI.

Bancos de nivel	Ubicación en coordenadas geográficas X,Y	Ubicación en coordenadas UTM X,Y	Altitud a partir del MED en pantalla (m)	Altitud a partir de los bancos de nivel (m)
BNT-93	100° 21' 39'', 20° 11' 29''	357813.62 , 2233112.12	2,278	2,264
BNT-94	100° 22' 34'', 20° 14' 37''	356262.69 , 2238902.89	2,412	2,430
BNT-95	100° 23' 33'', 20° 18' 25''	354608.43 , 2245923.44	2,365	2,359
BNT-557	100° 34' 53'', 20° 10' 51''	334748.46 , 2232154.24	2,193	2,207
BNT-558	100° 37' 14'', 20° 09' 59''	330635.69 , 2230588.73	2,187	2,202
BNT-559	100° 36' 34'', 20° 06' 32''	331744.84 , 2224212.70	1,953	1,938
BNT-576	100° 34' 29'', 20° 08' 15''	335392.76 , 2227343.81	1,970	1,976
BNT-577	100° 32' 31'', 20° 08' 44''	338840.51 , 2228197.09	1,967	1,921
BNT-579	100° 29' 10'', 20° 05' 40''	344623.28 , 2222488.01	1,972	1,961
BNT-580	100° 30' 34'', 20° 03' 03''	342143.11 , 2217684.04	1,914	1,912
BNT-873	100° 46' 19'', 20° 45' 11''	315511.95 , 2295698.31	1,815	1,801
BNT-875	100° 44' 49'', 20° 40' 16''	318027.88 , 2286592.26	1,789	1,786
BNT-876	100° 44' 47'', 20° 37' 49''	318031.41 , 2282075.08	1,789	1,778
BNT-877	100° 43' 14'', 20° 35' 41''	320678.62 , 2278105.49	1,796	1,773
BNT-878	100° 41' 06'', 20° 32' 42''	324332.82 , 2272564.99	1,784	1,769
BNP-U-99	100° 39' 12'', 20° 29' 13''	327573.30 , 2266099.75	1,830	1,812

BNT: Banco de nivel topográfico.  
BNP: Banco de nivel de precisión.

Cuadro 8A. Localización de los puntos de muestreo y datos de pendiente obtenidos a partir del Modelo de Elevación Digital (MED) y de las cartas topográficas escala 1:50,000.

Punto	Ubicación en coordenadas geográficas X,Y	Ubicación en coordenadas UTM X,Y	Pendiente a partir del MED (%)	Pendiente a partir de cartas a escala 1:50,000 (%)
1	20°45', 101°05'	283087.4, 2295742	31.5	24
2	20°45', 101°00'	291763.1, 2295632	20.5	25
3	20°45', 100°55'	300448.8, 2295527	0.7	4
4	20°45', 100°50'	309124.6, 2295426	2.1	4
5	20°45', 100°45'	317799.3, 2295330	1.5	6
6	20°45', 100°40'	326484.0, 2295239	0.0	2
7	20°40', 101°00'	291649.1, 2286399	1.0	4
8	20°40', 100°55'	300339.5, 2286294	5.0	10
9	20°40', 100°50'	309020.1, 2286193	4.0	2
10	20°40', 100°45'	317699.5, 2286098	0.5	1
11	20°40', 100°40'	326389.0, 2286006	17.2	15
12	20°40', 100°35'	335068.7, 2285919	4.1	11
13	20°35', 101°00'	291535.6, 2277176	0.7	0
14	20°35', 100°55'	300230.8, 2277072	0.0	0
15	20°35', 100°50'	308916.1, 2276972	0.5	1
16	20°35', 100°45'	317600.3, 2276876	1.1	0
17	20°35', 100°40'	326294.5, 2276785	1.5	3
18	20°35', 100°35'	334978.9, 2276698	3.5	4
19	20°35', 100°30'	343662.3, 2276616	1.1	0
20	20°30', 100°50'	308812.5, 2267750	0.5	1
21	20°30', 100°45'	317501.4, 2267655	0.0	0
22	20°30', 100°40'	326200.3, 2267564	4.5	4
23	20°30', 100°35'	334889.5, 2267478	3.2	3
24	20°25', 100°45'	317402.8, 2258423	0.7	1
25	20°25', 100°40'	326106.5, 2258332	14.0	13
26	20°25', 100°35'	334800.3, 2258246	1.6	2
27	20°25', 100°30'	343493.1, 2258164	2.0	3
28	20°20', 100°45'	317304.7, 2249201	2.7	19
29	20°20', 100°40'	326013.1, 2249111	5.6	5
30	20°20', 100°35'	334711.6, 2249025	1.8	4
31	20°20', 100°30'	343409.0, 2248944	4.1	3
32	20°20', 100°25'	352116.5, 2248867	5.5	5
33	20°15', 100°45'	317207.0, 2239980	3.2	1
34	20°15', 100°40'	325920.0, 2239890	29.3	30
35	20°15', 100°35'	334623.2, 2239805	4.5	4
36	20°15', 100°30'	343325.3, 2239724	3.0	3
37	20°15', 100°25'	352037.4, 2239647	21.1	22
38	20°15', 100°20'	360739.8, 2239575	1.4	7
39	20°10', 100°35'	334535.0, 2230573	11.0	7
40	20°10', 100°30'	343241.8, 2230493	8.0	8
41	20°10', 100°25'	351958.6, 2230416	11.9	22
42	20°05', 100°30'	343158.7, 2221273	2.1	9
43	20°05', 100°25'	351880.2, 2221196	22.1	24
44	20°00', 100°25'	351802.0, 2211977	15.3	14

**8.2. ANEXO II: INFORMACION Y RESULTADOS DE LA APLICACION DE LA METODOLOGIA CONVENCIONAL**

Cuadro 9A. Criterios de definición de las Provincias Agronómicas de las tierras de labor, bajo temporal para maíz.

<b>Provincia agronómica</b>	<b>Precipitación/Evaporación (P/E) de junio a septiembre</b>	<b>Profundidad del suelo (m)</b>
Muy buena productividad	1.3 - 1.99	> 1.0
Buena productividad	> 2.00 0.9 - 1.29	0.1 - 1.0 y > 1.0 > 1.0
Mediana productividad	0.5 - 0.89 0.7 - 1.99	> 1.0 0.1 - 1.0
Baja productividad	< 0.5 0.5 - 0.69	> 1.0 0.1 - 1.0
Tierras marginales	< 0.5	0.1 - 1.0

Fuente: Ortíz (1992). Adaptado para el estado Guanajuato en las dos primeras categorías.

Se agregaron además las siguientes restricciones: la pendiente menor o igual a 4% y la altitud sobre el nivel del mar menor o igual a 2,500 m. Estas restricciones originaron la sexta clase de aptitud: no apta.

Cuadro 10A. Criterios de definición de las Provincias Agronómicas de las tierras de labor, bajo temporal para frijol.

<b>Provincia agronómica</b>	<b>Precipitación/Evaporación (P/E) de junio a septiembre</b>	<b>Profundidad del suelo (m)</b>
Muy buena productividad	0.9 - 1.29	> 1.0
Buena productividad	0.7 - 0.89	> 1.0
	1.3 - 1.99	> 1.0
	0.9 - 1.29	0.1 - 1.0
Mediana productividad	0.5 - 0.69	> 1.0
	0.7 - 0.89	0.1 - 1.0
	1.3 - 1.99	0.1 - 1.0
	> 2.0	> 1.0
Baja productividad	> 2.0	0.1 - 1.0
	< 0.5	> 1.0
	0.5 - 0.69	0.1 - 1.0
Tierras marginales	< 0.5	0.1 - 1.0

Fuente: Ortíz (1992).

Se agregaron además las siguientes restricciones: la pendiente menor o igual a 4% y la altitud sobre el nivel del mar menor o igual a 2,500 m, y la temperatura de junio a septiembre menor o igual a 24 °C. Estas restricciones originaron la sexta clase de aptitud: no apta.

Cuadro 11A. Requerimientos climáticos y edáficos para delimitar las áreas con potencial alto para los cultivos de riego y no básicos de temporal del DDR 004, con la metodología de Potencial Productivo.

Cultivo, condición de humedad y ciclo	Altitud (msnm)	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)	Profundidad del suelo (m)	Pendiente (%)	Textura (1,2,3) <sup>1</sup>
Sorgo T, P-V	0 - 1800	750-2000 (ANUAL)	15-35 (ANUAL)	-----	< 4	-----
Garbanzo HR, O-I	1500 - 2400	> 90 (OCT-FEB)	15-20 (OCT-FEB)	-----	< 8	-----
Maíz R, P-V	0 - 2500	-----	18-22 (ABR-OCT)	> 1	< 2	2 y 3
Sorgo R, P-V	0 - 1800	-----	19-23 (ABR-OCT)	-----	< 2	-----
Trigo R, O-I	1400 - 2400	-----	16-20 (JUN-SEP)	> 1	< 2	-----
Alfalfa R, PER	1500 - 2500	-----	10-20 (ANUAL)	> 1	< 2	-----

T = Temporal.

HR = Humedad residual (modalidad de la agricultura de temporal).

R = Riego.

P-V = Primavera-Verano.

O-I = Otoño-Invierno.

PER = Perenne.

----- = no es restricción para el cultivo en cuestión.

<sup>1</sup> 1 = textura gruesa; 2 = textura media; 3 = textura fina.

Cuadro 12A. Requerimientos climáticos y edáficos para delimitar las áreas con potencial alto para especies de importancia pecuaria y forestal en el DDR 004, con la metodología de Potencial Productivo.

Espece	Altitud (msnm)	Precipitación total anual (mm)	Temperatura media anual (°c)	Profundidad del suelo (m)	Pendiente (%)	Texturas (1,2,3) <sup>1</sup>
Zacate Buffel	0-2000	450-800	18-30	> 1	< 8	-----
Zacate Navajita	1900-2500	400-900	16-19	< 1	2-35	-----
Nopal tunero	1700-2300	350-650	17-25	-----	< 8	-----
Pino piñonero	1500-3000	350-700	12-18	< 1	-----	-----
Encino	2000-3000	> 400	6-14	-----	-----	1 y 2
Mezquite	1600-2300	400-800	16-23	-----	< 15	3

----- = no es restricción para el cultivo en cuestión.

<sup>1</sup> 1 = textura gruesa; 2 = textura media; 3 = textura fina.

**8.3. ANEXO III: INFORMACION Y RESULTADOS DE LA APLICACION DEL ENFOQUE DE LIMITES DE TRANSICION GRADUAL PARA CULTIVOS SIN DATOS DE PRODUCTIVIDAD**

Cuadro 13A. Funciones de membresía para zacate Buffel.

Altitud (m)	Precipitación (mm anuales)	Temperatura (media anual en °C)	Prof. de suelo (cm)	Pendiente (%)	Valor asignado
0-999	600-649	23.5-24.4999	$\geq 1.0^1$	0-4.9999	1.0
1000-1099	575-599 650-674	22.5-23.4999 24.5.0-25.4999		5-5.4999	0.9
1100-1199	550-574 675-699	21.5-22.4999 25.5-26.4999		5.5-5.9999	0.8
			50-100 <sup>2</sup>		0.75
1200-1299	525-549 700-724	20.5-21.4999 26.5-27.4999		6-6.4999	0.7
1300-1399	500-524 725-749	19.5-20.4999 27.5-28.4999		6.5-6.999	0.6
1400-1499	475-499 750-774	18.5-19.4999 28.5-29.4999		7-7.4999	0.5
1500-1599	450-474 775-799	17.5-18.4999 29.5-30.4999		7.5-7.9999	0.4
1600-1699	425-449 800-824	16.5-17.4999 30.5-31.4999		8-8.4999	0.3
			0-50 <sup>3</sup>		0.25
1700-1799	400-424 825-849	15.5-16.4999 31.5-32.4999		8.5-8.9999	0.2
1800-1899	375-399 850-874	14.5-15.4999 32.5-33.4999		9-9.5999	0.1
$\geq 1900$	$< 375$ $\geq 875$	$< 14.5$ $\geq 33.5$	$< 5.0^4$	$\geq 9.5$	0.0

<sup>1</sup> Suelos sin fases físicas.<sup>2</sup> Suelos con fases físicas: lítica somera, dúrica somera y petrocálcica.<sup>3</sup> Suelos con fases físicas: lítica y dúrica profundas.<sup>4</sup> Litosoles.

Cuadro 14A. Funciones de membresía para zacate Navajita.

Altitud (m)	Precipitación (mm anuales)	Temperatura (media anual en °C)	Pendiente (%)	Valor Asignado
2150-2249	650-674	17.0-17.9999	2-34.9999	1.0
2050-2149	625-649	16.5-16.9999	1-1.9999	0.9
2250-2349	675-699	18.0-18.4999	35-35.9999	
1950-2049	600-624	16.0-16.4999	0-0.9999	0.8
2350-2449	700-724	18.5-18.9999	36-36.9999	
1850-1949	575-599	15.5-15.9999	37-37.9999	0.7
2450-2549	725-749	19.0-19.4999		
1750-1849	550-524	15.0-15.4999	38-38.9999	0.6
2550-2649	750-774	19.5-19.9999		
1650-1749	525-549	14.5-14.9999	39-39.9999	0.5
2650-2749	775-799	20.0-20.4999		
1550-1649	500-524	14.0-14.4999	40-40.9999	0.4
2750-2849	800-824	20.5-20.9999		
1450-1549	475-499	13.5-13.9999	41-41.9999	0.3
2850-2949	825-849	21.0-21.4999		
1350-1449	450-474	13.0-13.4999	42-42.9999	0.2
2950-3049	850-874	21.5-21.9999		
1250-1349	425-449	12.5-12.9999	43-43.9999	0.1
3050-3149	875-899	22.0-22.4999		
< 1250	< 425	< 12.5	≥ 43	0.0
≥ 3150	≥ 900	≥ 22.5		

Cuadro 15A. Funciones de membresía para nopal tunero.

Altitud (m)	Precipitación (mm anuales)	Temperatura (media anual en °C)	Pendiente (%)	Valor Asignado
1950-2049	475-524	20.5-21.4999	0-4.9999	1.0
1850-1949	450-474	19.5-20.4999	5-5.4999	0.9
2050-2149	525-574	21.5-22.4999		
1750-1849	425-449	18.5-19.4999	5.5-5.9999	0.8
2150-2249	575-624	22.5-23.4999		
1650-1749	400-424	17.5-18.4999	6-6.4999	0.7
2250-2349	625-674	23.5-24.4999		
1550-1649	375-399	16.5-17.4999	6.5-6.999	0.6
2350-2449	675-724	24.5-25.4999		
1450-1549	350-374	15.5-16.4999	7-7.4999	0.5
2450-2549	725-774	25.5-26.4999		
1350-1449	325-349	14.5-15.4999	7.5-7.9999	0.5
2550-2649	775-824	26.5-27.4999		
1250-1349	300-324	13.5-14.4999	8-8.4999	0.4
2650-2749	825-874	27.5-28.4999		
1150-1249	275-299	12.5-13.4999	8.5-8.9999	0.3
2750-2849	875-924	28.5-29.4999		
1050-1149	250-274	11.5-12.4999	9-9.5999	0.2
2850-2949	925-974	29.5-30.4999		
< 1050	< 250	< 11.5	≥9.5	0.1
≥ 2950	≥ 975	≥ 30.5		

Cuadro 16A. Funciones de membresía para pino Piñonero.

Altitud (m)	Precipitación (mm anuales)	Temperatura (media anual en °C)	Prof. de suelo (cm)	Valor asignado
2200-2299	500-549	14.5-15.4999	50-100 <sup>1</sup>	1.0
2100-2199	475-499	14.0-14.4999		0.9
2300-2399	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 <sup>2</sup>	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 <sup>3</sup>	0.25
1400-1499	300-324	10.5-10.9999		0.2
3000-3099	725-749	19.0-19.4999		
1300-1399	275-299	10.0-10.4999		0.1
3100-3199	750-774	19.5-19.9999		
< 1300	< 275	< 10.0	< 5.0 <sup>4</sup>	0.0
≥ 3200	≥ 775	≥ 20.0		

<sup>1</sup> Suelos sin fases físicas.<sup>2</sup> Suelos con fases físicas: lítica somera, dúrica somera y petrocálcica.<sup>3</sup> Suelos con fases físicas: lítica y dúrica profundas.<sup>4</sup> Litosoles.

Cuadro 17A. Funciones de membresía para encino.

Altitud (m)	Precipitación (mm anuales)	Temperatura (media anual en °C)	Prof. de suelo (cm)	Valor asignado
2450-2549	≥ 800	9.5-10.4999	1 <sup>1</sup> y 2 <sup>2</sup>	1.0
2350-2449	750-799	9.0-9.4999		0.9
2550-2649		10.5-10.9999		
2250-2349	700-749	8.5-8.9999		0.8
2650-2749		11.0-11.4999		
2150-2249	650-699	8.0-8.4999		0.7
2750-2849		11.5-11.9999		
2050-2149	600-649	7.5-7.9999		0.6
2850-2949		12.0-12.4999		
1950-2049	550-599	7.0-7.4999		0.5
2950-3049		12.5-12.9999		
1850-1949	500-549	6.5-6.9999		0.4
3050-3149		13.0-13.4999		
1750-1849	450-499	6.0-6.4999		0.3
3150-3249		13.5-13.9999		
1650-1749	400-449	5.5-5.9999		0.2
3250-3349		14.0-14.4999		
1550-1649	350-399	5.0-5.4999		0.1
3350-3449		14.5-14.9999		
< 1550	≥ 350	< 5.0	3 <sup>3</sup>	0.0
≥ 3450		≥ 15.0		

<sup>1</sup> clases texturales arenosas de acuerdo con FAO/Unesco.

<sup>2</sup> clases texturales medias de acuerdo con FAO/Unesco.

<sup>3</sup> clases texturales arcillosas de acuerdo con FAO/Unesco.

Cuadro 18A. Funciones de membresía para mezquite.

<b>Altitud (m)</b>	<b>Precipitación (mm anuales)</b>	<b>Temperatura (media anual en °C)</b>	<b>Prof. de suelo (cm)</b>	<b>Pendiente (%)</b>	<b>Valor asignado</b>
1900-1999	575-624	19.0-19.9999	3 <sup>1</sup>	0-14.9999	1.0
1800-1899	550-574	18.5-18.9999		15-15.999	0.9
2000-2099	625-649	20.0-20.4999			
1700-1799	525-549	18.0-18.4999		16-16.9999	0.8
2100-2199	650-674	20.5-20.9999			
1600-1699	500-524	17.5-17.9999		17-17.9999	0.7
2200-2299	675-699	21.0-21.4999			
1500-1599	475-499	17.0-17.4999		18-18.9999	0.6
2300-2399	700-724	21.5-21.9999			
1400-1499	450-474	16.5-16.9999	2 <sup>2</sup>	19-19.9999	0.5
2400-2499	725-749	22.0-22.4999			
1300-1399	425-449	16.0-16.4999		20-20.9999	0.4
2500-2599	750-774	22.5-22.9999			
1200-1299	400-424	15.5-15.9999		21-21.9999	0.3
2600-2699	775-799	23.0-23.4999			
1100-1199	375-399	15.0-15.4999		22-22.9999	0.2
2700-2799	800-824	23.5-23.9999			
1000-1099	350-374	14.5-14.9999		23-23.9999	0.1
2800-2899	825-849	24.0-24.4999			
< 1000	< 350	< 14.5	1 <sup>3</sup>	24-24.9999	0.0
≥ 2900	≥ 850	≥ 24.5			

<sup>1</sup> clases texturales arcillosas de acuerdo con FAO/Unesco.

<sup>2</sup> clases texturales medias de acuerdo con FAO/Unesco.

<sup>3</sup> clases texturales arenosas de acuerdo con FAO/Unesco.

Cuadro 19A. Archivo de comandos (.bat) para determinar las zonas potenciales para zacate Buffel, mediante el enfoque de límites de transición gradual para especies sin datos de productividad.

<p>ECHO "DETERMINACIÓN DE ZONAS POTENCIALES FUZZY PARA ZACATE BUFFEL EN EL DDR 004"</p> <p>REM RECLASIFICACION FUZZY DE LA PRECIPITACION ACUMULADA ANUAL  RECLASS X I PRAD4 TEMPO 2 0 1 400 1 400 425 2 425 450 3 450 475 4 475 500 5 500 525 -9999  RECLASS X I TEMPO TEMPO1 2 6 525 550 7 550 575 8 575 600 9 600 625 10 625 650 -9999  RECLASS X I TEMPO1 TEMPO2 2 9 650 675 8 675 700 7 700 725 6 725 750 5 750 775 -9999  RECLASS X I TEMPO2 TEMPO3 2 4 775 800 3 800 825 2 825 850 1 850 875 0 875 10000 -9999  REM CONVERSION A VALORES DE 0 A 1  SCALAR X TEMPO3 PRABUF 4 10  REM PONDERACION DE LA PRECIPITACION ACUMULADA ANUAL  SCALAR X PRABUF PRAPOBUF 3 0.30</p>
<p>REM RECLASIFICACION FUZZY DE LA ALTITUD  RECLASS X I DEM4 TEMPO 2 10 1 1000 9 1000 1100 8 1100 1200 7 1200 1300 6 1300 1400 -9999  RECLASS X I TEMPO TEMPO1 2 5 1400 1500 4 1500 1600 3 1600 1700 2 1700 1800 1 1800 1900 0 1900 10000 -9999  REM CONVERSION A VALORES DE 0 A 1  SCALAR X TEMPO1 DEMBUF 4 10  REM PONDERACION DE LA ALTITUD  SCALAR X DEMBUF DEMPOBUF 3 0.14</p>
<p>REM RECLASIFICACION FUZZY DE LA TEMPERATURA MEDIA ANUAL  RECLASS X I TMAD4 TEMPO 2 0 1 14.5 1 14.5 15.5 2 15.5 16.5 3 16.5 17.5 4 17.5 18.5 5 18.5 19.5 -9999  RECLASS X I TEMPO TEMPO1 2 6 19.5 20.5 7 20.5 21.5 8 21.5 22.5 9 22.5 23.5 10 23.5 24.5 -9999  RECLASS X I TEMPO1 TEMPO2 2 9 24.5 25.5 8 25.5 26.5 7 26.5 27.5 6 27.5 28.5 -9999  RECLASS X I TEMPO2 TEMPO3 2 5 28.5 29.5 4 29.5 30.5 3 30.5 31.5 2 31.5 32.5 1 32.5 33.5 0 33.5 1000 -9999  REM CONVERSION A VALORES DE 0 A 1  SCALAR X TEMPO3 TMABUF 4 10  REM PONDERACION DE LA TEMPERATURA MEDIA ANUAL  SCALAR X TMABUF TMAPOBUF 3 0.17</p>
<p>REM RECLASIFICACION FUZZY DE LA PROFUNDIDAD DE SUELO  RECLASS X I CMSUD4 TEMPO 2 100 100 100 75 75 75 25 25 25 0 5 5 -9999  REM CONVERSION A VALORES DE 0 A 1  SCALAR X TEMPO CMSUBUF 4 100  REM PONDERACION DE LA PROFUNDIDAD DE SUELO  SCALAR X CMSUBUF CMSPOBUF 3 0.24</p>
<p>REM RECLASIFICACION FUZZY DE LA PENDIENTE  RECLASS X I PEND4 TEMPO 2 10 0 5 9 5 5.5 8 5.5 6 7 6 6.5 6 6.5 7 5 7 7 5 -9999  RECLASS X I TEMPO TEMPO1 2 4 7.5 8 3 8 8.5 2 8.5 9 1 9 9.5 0 9.5 1000 -9999  REM CONVERSION A VALORES DE 0 A 1  SCALAR X TEMPO1 PENDBUF 4 10  REM PONDERACION DE LA PENDIENTE  SCALAR X PENDBUF PENPOBUF 3 0.15</p>
<p>REM DETERMINACION DE LA APTITUD TOTAL  OVERLAY X 1 PRAPOBUF DEMPOBUF TEMPO  OVERLAY X 1 TEMPO TMAPOBUF TEMPO1  OVERLAY X 1 TEMPO1 CMSPOBUF TEMPO2  OVERLAY X 1 TEMPO2 PENPOBUF APTOTBUF</p>
<p>REM RECLASIFICACION DE LA APTITUD TOTAL PARA FINES DE PRESENTACION  RECLASS X I APTOTBUF APTOTBUR 2 1 0 .1 2 .1 2 3 2 .3 4 3 .4 5 .4 .5 6 .5 .6 7 .6 7 8 .7 8 9 .8 9 10 .9 1 -9999</p>
<p>REM ADICIONAR PRINCIPALES ZONAS URBANAS  OVERLAY X 3 APTOTBUR PCD4R TEMPO  OVERLAY X 3 TEMPO MASK04 BUFTF</p>
<p>ECHO OFF</p>

Cuadro 20A. Clases de aptitud (ha) por municipio, resultantes de la aplicación del enfoque de límites de transición gradual para las especies que no cuentan con datos de productividad.

Especies y municipios	Clases de aptitud									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Zacate Buffel</b>										
Juventino Rosas	----	----	----	5,535	12,038	6,810	16,608	115	----	----
Comonfort	----	----	760	14,398	15,014	8,964	6,901	96	----	----
Celaya	----	----	----	3,642	1,465	5,830	35,707	412	----	----
Apaseo el Alto	----	----	1,459	8,461	4,136	21,813	2,081	1	----	----
Apaseo el Grande	----	----	128	2,705	1,080	16,341	21,531	268	----	----
Tarimoro	----	----	1,240	8,991	2,081	16,555	1,540	----	----	----
Jerécuaro	2	5,380	27,969	23,853	21,585	8,846	484	----	----	----
Coroneo	----	3,510	5,301	5,058	762	5	----	----	----	----
<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>8,890</b>	<b>36,857</b>	<b>72,643</b>	<b>58,161</b>	<b>85,164</b>	<b>84,852</b>	<b>892</b>	----	----
<b>Zacate Navajita</b>										
Juventino Rosas	----	----	----	----	----	1	116	15,091	22,546	3,352
Comonfort	----	----	----	----	----	----	252	12,108	28,719	5,054
Celaya	----	----	----	----	----	----	869	28,053	15,891	2,243
Apaseo el Alto	----	----	----	----	----	----	22	1,526	23,673	12,730
Apaseo el Grande	----	----	----	----	----	----	7	5,117	25,296	11,633
Tarimoro	----	----	----	----	----	----	427	9,621	17,142	3,217
Jerécuaro	----	----	39	230	898	3359	13,384	26,026	38,746	5,437
Coroneo	----	----	----	21	23	192	6,169	8,168	63	----
<b>Total</b>	----	----	<b>39</b>	<b>251</b>	<b>921</b>	<b>3,552</b>	<b>21,246</b>	<b>105,710</b>	<b>172,076</b>	<b>43,666</b>
<b>Nopal tunero</b>										
Juventino Rosas	----	----	----	----	----	2,174	36,273	2,636	23	----
Comonfort	----	----	----	----	3	2,883	37,820	4,901	526	----
Celaya	----	----	----	----	----	3,447	41,211	2,192	206	----
Apaseo el Alto	----	----	----	----	561	26,810	9,220	1,360	----	----
Apaseo el Grande	----	----	----	----	----	12,043	28,279	1,717	14	----
Tarimoro	----	----	----	1	1,544	21,677	6,135	1,050	----	----
Jerécuaro	----	----	1,957	7,503	23,337	45,669	9,055	598	----	----
Coroneo	----	----	75	4,488	9,076	997	----	----	----	----
<b>Total</b>	----	----	<b>2,032</b>	<b>11,992</b>	<b>34,521</b>	<b>115,700</b>	<b>167,993</b>	<b>14,454</b>	<b>769</b>	----

Cuadro 21A. Clases de aptitud (ha) por municipio, resultantes de la aplicación del enfoque de límites de transición gradual para las especies que no cuentan con datos de productividad.

Especies y municipios	Clases de aptitud									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Pino piñonero</b>										
Juventino Rosas	----	----	----	570	18,986	2,044	15,780	3,726	----	----
Comonfort	----	----	----	244	15,578	6,495	20,092	3,424	300	----
Celaya	----	----	----	281	40,644	3,000	2,419	712	----	----
Apaseo el Alto	----	----	----	23	13,738	12,502	2,410	8,382	896	----
Apaseo el Grande	----	----	----	57	28,512	11,040	753	1,504	187	----
Tarimoro	----	----	----	105	13,193	6,055	5,551	5,503	----	----
Jerécuaro	----	----	----	1	6,503	22,677	13,903	39,118	5,917	----
Coroneo	----	----	----	----	27	1,098	1,700	7,977	3,834	----
<b>Total</b>	----	----	----	<b>1,281</b>	<b>137,181</b>	<b>64,911</b>	<b>62,608</b>	<b>70,346</b>	<b>11,134</b>	----
<b>Encino</b>										
Juventino Rosas	----	----	----	15,903	9,438	15,051	714	----	----	----
Comonfort	----	----	1,129	7,187	17,315	19,971	531	----	----	----
Celaya	----	----	60	28,156	13,788	4,989	63	----	----	----
Apaseo el Alto	----	----	----	8,052	23,390	4,510	1,999	----	----	----
Apaseo el Grande	----	----	180	35,918	2,105	3,837	13	----	----	----
Tarimoro	----	----	----	316	13,506	4,576	8,009	----	----	----
Jerécuaro	----	----	----	331	32,400	17,025	30,725	7,638	----	----
Coroneo	----	----	----	----	----	7,076	2,982	4,578	----	----
<b>Total</b>	----	----	<b>1,369</b>	<b>9,9863</b>	<b>111,942</b>	<b>77,035</b>	<b>45,036</b>	<b>12,216</b>	----	----
<b>Mezquite</b>										
Juventino Rosas	----	----	----	----	----	33	1,774	6,344	20,988	11,967
Comonfort	----	----	----	----	1	976	3,614	4,138	24,153	13,251
Celaya	----	----	----	----	----	423	1,042	2,080	23,318	20,193
Apaseo el Alto	----	----	----	----	4	350	3,747	19,641	14,209	----
Apaseo el Grande	----	----	----	----	16	163	582	5,451	31,400	4,441
Tarimoro	----	----	----	299	1,124	1,869	3,280	17,265	6,570	----
Jerécuaro	----	1,408	2,820	6,498	6,962	14,726	40,464	14,581	660	----
Coroneo	----	155	245	810	7,561	5,865	----	----	----	----
<b>Total</b>	----	<b>1,563</b>	<b>3,065</b>	<b>7,607</b>	<b>15,668</b>	<b>24,405</b>	<b>54,503</b>	<b>69,500</b>	<b>121,298</b>	<b>49,852</b>

**8.4. ANEXO IV: INFORMACION Y RESULTADOS DE LA APLICACION DEL ENFOQUE DE LIMITES DE TRANSICION GRADUAL PARA CULTIVOS CON DATOS DE PRODUCTIVIDAD**

Cuadro 22A. Rendimientos promedio (kg/ha) de maíz, frijol, sorgo y garbanzo de temporal, por municipio, del estado de Guanajuato.

<b>Municipio</b>	<b>Maíz</b>	<b>Frijol</b>	<b>Sorgo</b>	<b>Garbanzo</b>
Abasolo	926	491	2270	619
Acámbaro	1618	523	2944	871
Allende	510	248	811	----
Apaseo el Alto	1238	458	----	643
Apaseo el Grande	1329	460	2605	754
Atarjea	233	----	----	----
Celaya	1201	429	2818	745
Comonfort	1471	491	2806	471
Coroneo	1559	873	----	553
Cortazar	1390	515	2902	997
Cuerámara	1244	359	2844	662
Doctor Mora	121	101	----	----
Dolores Hidalgo	550	203	1542	----
Guanajuato	812	263	1627	407
Huanímaro	1050	----	1832	506
Irapuato	1216	332	2472	788
Jaral del Progreso	1796	673	3500	1099
Jerécuaro	1366	581	----	502
Juventino Rosas	1220	402	3003	735
León	1051	408	1783	563
Manuel Doblado	1017	370	2008	781
Moroleón	1165	616	2161	361
Ocampo	418	327	1405	----
Pénjamo	1159	469	2547	714
Pueblo Nuevo	1316	----	2689	444
Purísima del Rincón	1389	402	2792	621
Romita	959	284	1617	912
Salamanca	1182	505	2688	1127
Salvatierra	1239	376	2154	784
San Diego de la Unión	534	176	380	----
San Felipe	648	341	650	----
San Fco. del Rincón	1542	352	2304	508
San José de Iturbide	291	232	----	----
San Luis de la Paz	326	167	----	----
Santa Catarina	250	----	----	----
Santiago Maravatío	1112	----	1751	601
Silao	999	335	1879	585
Tarandacua	1284	486	3179	531
Tarimoro	1288	579	2376	675
Tierra Blanca	0	40	----	----
Uriangato	1292	599	2112	410
Valle de Santiago	1118	544	2320	813
Victoria	421	232	----	----
Villagrán	1683	556	2560	1224
Xichú	282	160	----	----
Yuriria	1439	582	2639	771

Cuadro 23A. Rendimientos promedio (kg/ha) de maíz, sorgo, trigo y alfalfa de riego, por municipio, del estado de Guanajuato.

<b>Municipio</b>	<b>Maíz</b>	<b>Sorgo</b>	<b>Trigo</b>	<b>Alfalfa</b>
Abasolo	3919	6885	5371	69948
Acámbaro	3986	6139	4955	59953
Allende	3910	5159	4329	48594
Apaseo el Alto	4146	6159	4588	-----
Apaseo el Grande	4596	7007	4989	61953
Atarjea	-----	-----	-----	-----
Celaya	5065	6982	5241	65049
Comonfort	4723	6159	5006	64056
Coroneo	3632	-----	4000	47320
Cortazar	4872	7789	5553	71773
Cuerámara	3792	6354	5269	69992
Doctor Mora	4141	3740	3562	-----
Dolores Hidalgo	3400	6024	3879	47144
Guanajuato	3997	5417	5736	45298
Huanímaro	3628	6946	5396	72945
Irapuato	3635	6806	5190	72691
Jaral del Progreso	5060	7501	5572	94004
Jerécuaro	3458	5480	4546	-----
Juventino Rosas	4714	6854	5146	62584
León	4416	5798	4781	59773
Manuel Doblado	3518	4712	4665	53700
Moroleón	2937	7454	3717	56237
Ocampo	2369	4670	2400	-----
Pénjamo	3622	6460	5444	64516
Pueblo Nuevo	3075	6436	4769	78954
Purísima del Rincón	3943	5570	5040	65006
Romita	4441	6237	4492	66576
Salamanca	4443	7601	5365	77011
Salvatierra	4355	6550	4974	51561
San Diego de la Unión	3203	-----	5094	41529
San Felipe	3107	4282	3272	25979
San Fco. del Rincón	4233	5695	5142	60755
San José de Iturbide	4140	5620	4806	-----
San Luis de la Paz	4478	5430	4279	68224
Santa Catarina	1700	-----	-----	-----
Santiago Maravatío	4321	6246	5296	44520
Silao	4558	5776	4678	60339
Tarandacuao	4017	5905	4561	60516
Tarimoro	5088	7044	5050	70542
Tierra Blanca	1520	-----	-----	-----
Uriangato	3325	6695	5523	53179
Valle de Santiago	4733	7255	5471	82879
Victoria	2521	-----	3597	84457
Villagrán	5032	7524	5429	70009
Xichú	3500	-----	-----	-----
Yuriria	3726	7073	5286	69699

Cuadro 24A. Precipitación anual, de junio a septiembre y de octubre a febrero, e índice precipitación / evaporación de junio a septiembre P/EJS, por municipio, del estado de Guanajuato.

<b>Municipio</b>	<b>Anual (mm)</b>	<b>Jun-Sep (mm)</b>	<b>Oct-feb (mm)</b>	<b>P/EJS (mm)</b>
Abasolo	683	554	76	0,82
Acámbaro	731	577	92	1,02
Allende	581	466	78	0,67
Apaseo el Alto	588	550	93	0,80
Apaseo el Grande	700	526	92	0,80
Atarjea	674	450	90	0,73
Celaya	618	503	87	0,67
Comonfort	648	488	78	0,75
Coroneo	798	604	108	1,03
Cortazar	688	550	84	0,80
Cuerámaro	692	550	70	0,81
Doctor Mora	500	450	75	0,60
Dolores Hidalgo	561	467	79	0,79
Guanajuato	650	550	85	0,80
Huanímaro	700	550	80	1,00
Irapuato	602	518	75	0,66
Jaral del Progreso	694	548	86	0,80
Jerécuaro	750	579	100	0,97
Juventino Rosas	628	545	75	0,76
León	661	536	89	0,80
Manuel Doblado	703	580	75	0,93
Moroleón	710	553	95	1,05
Ocampo	523	450	81	0,65
Pénjamo	774	638	83	1,12
Pueblo Nuevo	603	550	75	0,71
Purísima del Rincón	678	578	76	0,88
Romita	619	535	74	0,73
Salamanca	608	528	78	0,66
Salvatierra	700	550	85	0,83
San Diego de la Unión	464	450	68	0,45
San Felipe	528	452	80	0,61
San Fco. del Rincón	698	550	77	0,80
San José de Iturbide	510	450	76	0,60
San Luis de la Paz	493	450	73	0,54
Santa Catarina	454	450	68	0,45
Santiago Maravatío	700	550	85	0,88
Silao	604	550	79	0,79
Tarandacuao	800	650	107	1,07
Tarimoro	700	550	86	0,82
Tierra Blanca	500	450	75	0,60
Uriangato	700	550	94	1,00
Valle de Santiago	661	547	82	0,82
Victoria	514	450	78	0,60
Villagrán	624	550	80	0,72
Xichú	538	450	83	0,65
Yuriria	718	565	92	0,95

Cuadro 25A. Temperaturas medias (°C) de diferentes períodos, por municipio, del estado de Guanajuato.

<b>Municipio</b>	<b>Anual</b>	<b>Abr-Oct</b>	<b>Jun-Sep</b>	<b>Dic-May</b>	<b>Oct-Feb</b>
Abasolo	18.5	20.1	20.1	17.9	15.7
Acámbaro	16.9	18.5	18.7	16.4	15.1
Allende	17.1	19.0	19.2	16.8	14.0
Apaseo el Alto	17.3	19.1	18.9	17.9	15.1
Apaseo el Grande	18.2	19.9	19.6	17.1	15.6
Atarjea	18.9	20.9	20.5	18.1	15.1
Celaya	19.0	21.0	20.8	17.5	16.0
Comonfort	18.8	20.5	18.3	17.0	15.8
Coroneo	15.1	17.0	16.7	15.0	14.0
Cortazar	19.0	21.0	20.4	17.0	15.9
Cuerámaro	18.9	20.6	20.4	17.9	16.0
Doctor Mora	17.0	18.9	18.3	15.7	13.9
Dolores Hidalgo	16.7	18.5	18.6	16.3	13.5
Guanajuato	18.1	19.9	19.8	17.8	14.5
Huanímaro	14.5	16.2	16.6	14.0	12.3
Irapuato	19.1	21.0	20.8	17.7	16.0
Jaral del Progreso	19.0	21.0	20.6	17.3	16.0
Jerécuaro	17.0	18.8	18.8	16.6	14.9
Juventino Rosas	19.0	20.9	20.5	17.2	16.1
León	18.7	20.7	20.5	18.0	15.2
Manuel Doblado	18.5	20.4	20.1	17.0	14.4
Moroleón	18.0	18.7	19.0	16.9	15.6
Ocampo	14.7	16.5	16.7	14.0	11.7
Pénjamo	18.9	20.9	20.7	18.7	17.0
Pueblo Nuevo	19.0	21.0	20.8	17.7	16.0
Purísima del Rincón	18.7	20.7	20.4	17.0	14.0
Romita	19.0	21.0	20.5	17.2	16.9
Salamanca	19.0	20.9	21.1	18.3	16.0
Salvatierra	18.8	20.5	19.9	17.1	15.7
San Diego de la Unión	16.9	18.8	18.4	15.3	13.2
San Felipe	15.6	17.4	17.5	14.8	12.3
San Fco. del Rincón	19.0	21.0	20.4	17.2	14.7
San José de Iturbide	16.9	18.5	18.0	15.8	13.8
San Luis de la Paz	16.9	18.5	18.4	15.5	12.8
Santa Catarina	18.5	20.4	20.0	18.4	15.4
Santiago Maravatío	18.0	19.7	19.4	17.0	15.8
Silao	19.0	21.0	20.9	17.4	15.6
Tarandacuao	16.6	18.2	18.1	15.6	14.3
Tarimoro	18.8	20.3	20.0	17.0	16.0
Tierra Blanca	16.9	18.5	18.5	16.4	13.7
Uriangato	18.5	19.6	19.7	17.3	16.0
Valle de Santiago	17.8	19.7	19.5	17.0	15.2
Victoria	17.5	19.4	19.1	17.0	14.2
Villagrán	19.0	21.0	20.6	17.1	14.0
Xichú	18.7	19.7	19.7	18.3	15.1
Yuriria	18.3	19.5	19.6	17.5	15.6

Cuadro 26A. Evaporación acumulada (mm) de diferentes períodos, por municipio, del estado de Guanajuato.

<b>Municipio</b>	<b>Anual</b>	<b>Dic-May</b>	<b>Abr-Oct</b>	<b>Oct-Feb</b>	<b>Jun-Sep</b>
Abasolo	2053	1070	1302	695	672
Acámbaro	1863	1000	1177	626	568
Allende	1971	1040	1251	663	698
Apaseo el Alto	1964	1038	1243	662	688
Apaseo el Grande	1964	1020	1264	639	661
Atarjea	1674	849	1073	553	618
Celaya	2105	1062	1358	702	746
Comonfort	2012	1040	1302	661	647
Coroneo	1729	920	1068	577	589
Cortazar	2035	1040	1322	674	689
Cuerámaro	2096	1092	1330	702	679
Doctor Mora	1803	950	1150	613	750
Dolores Hidalgo	1913	1013	1213	638	590
Guanajuato	1992	1023	1277	652	684
Huanímaro	1767	922	1128	597	549
Irapuato	2187	1128	1398	717	790
Jaral del Progreso	1972	1027	1275	635	685
Jerécuaro	1862	974	1116	629	598
Juventino Rosas	2124	1066	1358	715	721
León	1987	1051	1259	658	670
Manuel Doblado	2004	1082	1266	667	625
Moroleón	1698	893	1076	561	526
Ocampo	1809	950	1150	607	690
Pénjamo	1727	917	1085	575	568
Pueblo Nuevo	2139	1092	1349	722	770
Purísima del Rincón	1987	1056	1248	653	655
Romita	2149	1144	1357	721	729
Salamanca	2152	1090	1373	719	802
Salvatierra	1937	1017	1242	634	661
San Diego de la Unión	1884	973	1195	622	1009
San Felipe	1898	987	1203	625	741
San Fco. del Rincón	2093	1116	1320	698	688
San José de Iturbide	1782	952	1152	602	750
San Luis de la Paz	1887	970	1184	640	830
Santa Catarina	2007	1027	1234	691	991
Santiago Maravatío	1852	957	1187	610	628
Silao	2024	1054	1287	672	694
Tarandacuaio	1894	965	1150	627	606
Tarimoro	2002	1051	1279	669	674
Tierra Blanca	1816	948	1146	612	750
Uriangato	1757	933	1123	579	549
Valle de Santiago	1955	1021	1255	648	667
Victoria	1828	950	1151	628	750
Villagrán	2115	1067	1363	704	764
Xichú	1726	891	1108	586	692
Yuriria	1820	942	1158	612	597

Cuadro 27A. Altitud sobre el nivel del mar, profundidad de suelo, porcentaje de Bajío, índice de aptitud edáfica y pendiente, por municipio, del estado de Guanajuato.

<b>Municipio</b>	<b>asnm 1 (m)</b>	<b>asnm 2 (m)</b>	<b>Suelo 1 (cm)</b>	<b>Suelo 2 (cm)</b>	<b>% de Bajío</b>	<b>Aptieda</b>	<b>Pend 1 (%)</b>	<b>Pend 2 (%)</b>
Abasolo	1708	1718	88	87	40	1.70	1.08	1.81
Acámbaro	1918	1933	80	74	0	3.03	1.81	3.12
Allende	2016	2031	58	53	0	2.69	1.88	2.97
Apaseo el Alto	2006	2007	76	78	0	3.66	2.06	3.17
Apaseo el Grande	1795	1829	96	94	23	2.44	1.55	2.57
Atarjea	1930	1865	63	59	0	3.62	2.48	4.93
Celaya	1716	1751	98	96	40	1.75	0.87	1.50
Comonfort	1886	1912	60	49	4	3.06	2.03	3.63
Coroneo	2445	2419	51	48	0	2.85	1.99	3.27
Cortazar	1727	1795	97	97	20	2.71	1.10	2.55
Cuerámaro	1746	1748	94	91	30	2.10	1.13	1.78
Doctor Mora	2104	2111	77	71	0	3.07	1.72	2.49
Dolores Hidalgo	1971	1989	53	52	0	2.45	1.66	2.31
Guanajuato	2023	2082	48	46	1	3.77	2.20	3.97
Huanímaro	1712	1720	78	75	27	1.87	1.72	2.46
Irapuato	1724	1734	83	83	33	1.81	1.00	1.45
Jaral del Progreso	1705	1718	98	98	43	2.14	1.12	1.70
Jerécuaro	2052	2083	64	59	0	3.05	2.25	3.88
Juventino Rosas	1800	1853	80	70	29	2.52	1.19	2.29
León	1887	1940	88	82	14	2.74	1.51	2.42
Manuel Doblado	1763	1794	85	85	13	3.78	1.62	2.63
Moroleón	1962	1994	87	84	0	3.85	2.22	4.07
Ocampo	2220	2234	36	34	0	2.85	1.70	2.51
Pénjamo	1740	1772	84	83	24	3.31	1.64	2.73
Pueblo Nuevo	1701	1701	87	89	39	1.91	1.02	1.80
Purísima del Rincón	1751	1771	81	78	19	2.12	1.50	2.25
Romita	1740	1748	82	82	33	1.98	1.14	1.49
Salamanca	1724	1745	91	88	38	1.89	1.25	1.93
Salvatierra	1767	1818	94	91	23	2.87	1.16	2.54
San Diego de la Unión	2080	2092	54	48	0	2.84	1.86	2.74
San Felipe	2132	2160	44	37	0	2.97	1.77	2.82
San Fco. del Rincón	1751	1768	74	72	28	2.11	1.39	1.87
San José de Iturbide	2113	2134	76	68	0	3.02	1.59	2.56
San Luis de la Paz	2033	2045	65	55	0	3.12	1.74	3.09
Santa Catarina	1685	1745	34	21	0	3.34	2.55	4.99
Santiago Maravatío	1844	1866	89	91	7	3.10	1.35	3.00
Silao	1810	1833	91	88	19	1.80	1.03	1.57
Tarandacuao	1934	1947	76	72	0	2.40	2.24	3.27
Tarimoro	1848	1917	91	85	16	3.05	1.30	2.72
Tierra Blanca	1987	2017	39	33	0	3.43	2.51	4.78
Uriangato	1778	1896	90	90	1	3.77	2.05	3.61
Valle de Santiago	1727	1752	87	87	31	2.72	1.38	2.24
Victoria	1818	1814	44	33	0	3.72	2.51	4.80
Villagrán	1700	1700	100	99	75	1.00	0.82	0.82
Xichú	1596	1627	45	43	0	3.98	2.50	4.99
Yuriria	1798	1819	92	92	8	3.03	1.05	2.23

1= indica la altitud, suelo y pendiente para el área agrícola de temporal, 2= indica la altitud, suelo y pendiente para el área agrícola de riego.

Cuadro 28A. Archivo de comandos (.bat) para determinar las zonas potenciales para maíz de temporal, mediante el enfoque de límites de transición gradual para cultivos con datos de productividad.

<p><b>ECHO "DETERMINACION FUZZY DE ZONAS POTENCIALES PARA MAIZ TEMPORAL EN EL DDR 004"</b></p> <p><b>REM APLICACION DE LA FUNCION DE MEMBRESIA DE PRECIPITACION DE JUNIO A SEPTIEMBRE</b>  SCALAR X PRJSD4 PRJSD4X 3 6.8713  SCALAR X PRJSD4X PRJSD4XC 2 2607.5  <b>REM NORMALIZACION A VALORES DE 0 A 1</b>  SCALAR X PRJSD4XC PRJSD4N 4 1811.2  <b>REM PONDERACION DE LA PRECIPITACION DE JUNIO A SEPTIEMBRE</b>  SCALAR X PRJSD4N PRJSPD4 3 0.405</p>
<p><b>REM APLICACION DE LA FUNCION DE MEMBRESIA DE EVAPORACION ABRIL A OCTUBRE</b>  SCALAR X EAOD4 EAOD4X 3 1.8452  SCALAR X EAOD4X EAOD4XC 2 1261.1  <b>REM NORMALIZACION A VALORES DE 0 A 1</b>  SCALAR X EAOD4XC EAOD4N 4 1848.8  <b>REM PONDERACION DE LA EVAPORACION DE ABRIL A OCTUBRE</b>  SCALAR X EAOD4N EAOPD4 3 0.065</p>
<p><b>REM APLICACION DE LA FUNCION DE MEMBRESIA DE LA PROFUNDIDAD DEL SUELO</b>  SCALAR X PROSID4 PROSID4X 3 16.1  SCALAR X PROSID4X PROID4XC 2 201.2  <b>REM NORMALIZACION A VALORES DE 0 A 1</b>  SCALAR X PROID4XC PROID4N 4 1408.8  <b>REM PONDERACION DE LA PROFUNDIDAD DEL SUELO</b>  SCALAR X PROID4N PROIPOD4 3 0.275</p>
<p><b>REM APLICACION DE LA FUNCION DE MEMBRESIA DE PENDIENTE DEL TERRENO</b>  SCALAR X PENID4 PENID4X 3 -475.93  SCALAR X PENID4X PENID4XC 2 1784.3  <b>REM NORMALIZACION A VALORES DE 0 A 1</b>  SCALAR X PENID4XC PENID4N 4 1784.3  <b>REM PONDERACION DE LA PENDIENTE DEL TERRENO</b>  SCALAR X PENID4N PENIPOD4 3 0.155</p>
<p><b>REM RESTRICCIONES POR FASES QUIMICAS Y TEXTURAS ARENOSAS</b>  <b>REM RECLASIFICACION DE LOS POLIGONOS CON FASES QUIMICAS Y/O TEXTURAS ARENOSAS</b>  RECLASS X I FQTEX1 FQTEX1R 2 100 0 0 50 1 1 25 2 2 0 3 3 0 4 4 0 5 5 -9999  <b>REM NORMALIZACION A VALORES DE 0 A 1</b>  SCALAR X FQTEX1R FQTEX1N 4 100  <b>REM PONDERACION DE LAS FASES QUIMICAS Y TEXTURAS ARENOSAS</b>  SCALAR X FQTEX1N FQTXPOD4 3 0.100</p>
<p><b>REM DETERMINACION DE LA APTITUD TOTAL</b>  OVERLAY X 1 PRJSPD4 EAOPD4 TEMPO  OVERLAY X 1 TEMPO PROIPOD4 TEMPO1  OVERLAY X 1 TEMPO1 PENIPOD4 TEMPO2  OVERLAY X 1 TEMPO2 FQTXPOD4 APTOTMT</p>
<p><b>REM RECLASIFICACION DE LA APTITUD TOTAL PARA FINES DE PRESENTACION</b>  RECLASS X I APTOTMT APTOTMTR 2 1 0 .1 2 .1 2 3 .2 3 4 .3 4 5 .4 5 6 .5 6 7 .6 7 8 .7 8 9 .8 9 10 .9 1 -9999</p>
<p><b>REM ADICIONAR PRINCIPALES ZONAS URBANAS</b>  OVERLAY X 3 APTOTMTR PCD4R TEMPO  OVERLAY X 3 TEMPO MASK04 MAIZTF2</p>
<p>ECHO OFF</p>

Cuadro 29A. Clases de aptitud (ha) por municipio, resultantes de la aplicación del enfoque de límites de transición gradual a los cultivos de temporal.

Cultivos y municipios	Clases de aptitud									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Maíz</b>										
Juventino rosas	6735	2455	3259	3788	4516	2106	4209	14028	10	-----
Comonfort	15122	3589	4748	6907	6834	3184	4454	1295	-----	-----
Celaya	4284	1490	1930	2258	2362	2743	8145	23814	30	-----
Apaseo el Alto	2718	1115	1567	2156	4809	7414	7270	9609	1293	-----
Apaseo el Grande	2993	1154	1452	2040	2959	5672	12731	13021	31	-----
Tarimoro	7204	1681	1878	2152	2178	2240	2961	4068	6045	-----
Jerécuaro	19157	4712	6486	9106	10713	11308	10852	9631	5703	451
Coroneo	1582	521	883	1365	1776	2977	2484	2563	473	12
<b>Total</b>	<b>59795</b>	<b>16717</b>	<b>22203</b>	<b>29772</b>	<b>36147</b>	<b>37644</b>	<b>53106</b>	<b>78029</b>	<b>13585</b>	<b>463</b>
<b>Frijol</b>										
Juventino Rosas	-----	-----	-----	-----	2200	13042	7458	18406	-----	-----
Comonfort	-----	-----	-----	-----	-----	25514	7348	13271	-----	-----
Celaya	-----	-----	-----	-----	-----	6421	1650	38985	-----	-----
Apaseo el Alto	-----	-----	-----	-----	-----	2297	8640	8769	18245	-----
Apaseo el Grande	-----	-----	-----	-----	27	5934	1136	27320	7553	83
Tarimoro	-----	-----	-----	-----	-----	1574	8824	8169	11785	55
Jerécuaro	-----	-----	-----	-----	-----	301	12301	35379	25800	14338
Coroneo	-----	-----	-----	-----	-----	-----	73	7145	4327	3091
<b>Total</b>	-----	-----	-----	-----	<b>2227</b>	<b>55083</b>	<b>47430</b>	<b>157444</b>	<b>67710</b>	<b>17567</b>
<b>Sorgo</b>										
Juventino Rosas	74	170	487	957	2415	5977	9746	9130	12180	-----
Comonfort	1150	1206	1815	2554	3757	6377	14689	14440	145	-----
Celaya	277	208	278	602	1542	3481	5487	12580	22601	-----
Apaseo el Alto	40	58	181	721	1592	3041	8406	21949	1963	-----
Apaseo el Grande	34	37	125	390	1417	3013	5328	16753	14956	-----
Tarimoro	612	453	685	1450	3140	5076	5950	4008	9033	-----
Jerécuaro	3826	2778	4164	5690	6597	10748	21128	24678	8373	137
Coroneo	127	144	284	411	1154	6494	5837	185	-----	-----
<b>Total</b>	<b>6140</b>	<b>5054</b>	<b>8019</b>	<b>12775</b>	<b>21614</b>	<b>44207</b>	<b>76571</b>	<b>103723</b>	<b>69251</b>	<b>137</b>
<b>Garbanzo</b>										
Juventino Rosas	8737	19 50	2137	2509	3382	2525	1964	3878	3090	10934
Comonfort	15649	2492	3008	3743	4786	5419	3563	1974	2714	2785
Celaya	5379	1214	1382	1398	1767	1895	2140	3406	3760	24715
Apaseo el Alto	3882	1096	1323	1630	2799	5058	6247	5335	6828	3753
Apaseo el Grande	3446	838	998	1296	1853	2695	4263	8273	7202	11189
Tarimoro	9638	1338	1459	1499	1568	1762	2066	2112	1612	7353
Jerécuaro	27406	4745	5796	6807	8576	9634	8757	6841	6115	3442
Coroneo	2800	780	942	1110	1376	2020	2516	1702	1303	87
<b>Total</b>	<b>76937</b>	<b>14453</b>	<b>17045</b>	<b>19992</b>	<b>26107</b>	<b>31008</b>	<b>31516</b>	<b>33521</b>	<b>32624</b>	<b>64258</b>

Cuadro 30A. Clases de aptitud (ha) por municipio, resultantes de la aplicación del enfoque de límites de transición gradual a los cultivos de riego.

Cultivos y Municipios	Clases de aptitud									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Maíz</b>										
Juventino Rosas	6314	1608	2043	2560	2837	3092	3824	1952	6196	10680
Comonfort	12628	2215	2751	3609	4475	6033	5793	3383	3622	1624
Celaya	4168	1121	1430	1596	1827	2177	2331	1991	7930	22485
Apaseo el Alto	2803	907	1268	1664	2284	4233	7780	7602	7671	1739
Apaseo el Grande	2588	827	999	1266	1768	2991	4676	6605	12152	8181
Tarimoro	8104	1334	1564	1739	1829	1986	2424	2509	4035	4883
Jerécuaro	23116	4094	5495	6913	8938	10995	11668	8636	7278	986
Coroneo	2188	661	886	1238	1440	1927	3238	2303	748	7
<b>Total</b>	<b>61909</b>	<b>12767</b>	<b>16436</b>	<b>20585</b>	<b>25398</b>	<b>33434</b>	<b>41734</b>	<b>34981</b>	<b>49632</b>	<b>50585</b>
<b>Sorgo</b>										
Juventino Rosas	166	283	511	872	1851	4140	7731	5368	4347	15837
Comonfort	1166	1009	1510	2115	3060	4658	8236	12703	5566	6110
Celaya	311	214	310	524	733	1266	2450	3767	5351	32130
Apaseo el Alto	60	79	201	388	812	1653	3590	9611	12582	8975
Apaseo el Grande	26	45	110	255	604	1219	1935	3441	8710	25708
Tarimoro	775	501	738	1094	1965	3071	3922	4721	4350	9270
Jerécuaro	3539	2237	3137	4603	6185	9975	17140	18004	18908	4391
Coroneo	183	136	316	444	913	2997	5016	4120	511	-----
<b>Total</b>	<b>6226</b>	<b>4504</b>	<b>6833</b>	<b>10295</b>	<b>16123</b>	<b>28979</b>	<b>50020</b>	<b>61735</b>	<b>60325</b>	<b>102421</b>
<b>Trigo</b>										
Juventino Rosas	88	175	400	701	1285	3048	6843	7156	5202	16208
Comonfort	717	744	1263	1812	2674	3991	6785	13638	7590	6919
Celaya	200	195	244	431	644	1074	2178	3983	5502	32605
Apaseo el Alto	41	45	128	268	535	1310	2730	9013	11325	12556
Apaseo el Grande	18	19	79	158	478	957	1844	3285	8154	27111
Tarimoro	534	427	587	897	1575	2639	3963	4762	5322	9701
Jerécuaro	2316	1713	2497	3671	5366	8037	14669	21251	20801	7798
Coroneo	120	91	186	354	565	1453	4328	5494	2045	-----
<b>Total</b>	<b>4034</b>	<b>3409</b>	<b>5384</b>	<b>8292</b>	<b>13122</b>	<b>22509</b>	<b>43340</b>	<b>68582</b>	<b>65941</b>	<b>112898</b>
<b>Alfalfa</b>										
Juventino Rosas	75	134	339	643	1347	3308	5360	7986	5968	15946
Comonfort	928	889	1244	1776	2355	3448	5232	10995	14776	4490
Celaya	240	182	220	322	841	1683	2954	4274	5676	30664
Apaseo el Alto	47	59	186	604	1166	1957	4264	13464	14517	1687
Apaseo el Grande	30	33	65	187	516	1518	2762	4319	12315	20308
Tarimoro	821	468	625	1277	2453	4014	5073	3766	4017	7893
Jerécuaro	6440	3248	4289	4969	5543	8203	16197	27769	10913	548
Coroneo	309	225	349	650	2262	8953	1883	5	-----	-----
<b>Total</b>	<b>8890</b>	<b>5238</b>	<b>7317</b>	<b>10428</b>	<b>16483</b>	<b>33084</b>	<b>43725</b>	<b>72578</b>	<b>68182</b>	<b>81536</b>

Cuadro 31A. Características socioeconómicas de las poblaciones ubicadas en las áreas clasificadas con uso adecuado para la agricultura en el Distrito de Desarrollo Rural 004 Celaya, Guanajuato.

Identificador	Municipio	Clave Loc.	Nombre de la localidad	Longitud	Latitud	Altitud	Pob. Total
1042	Apaseo el Alto	8	Buenos Aires (El Cerrito)	1003400	202104	2080	194
1059	Apaseo el Alto	33	Luisiada, La	1003543	202536	1970	785
1082	Apaseo el Alto	62	San Antonio Calichar	1003100	202945	1850	1352
1165	Apaseo el Grande	1	Apaseo el Grande	1004113	203245	1770	18500
1178	Apaseo el Grande	18	Guadalupe del Monte	1003814	203326	1790	902
1181	Apaseo el Grande	21	Jocoque, El	1004154	203446	1770	2287
1197	Apaseo el Grande	42	San Cristobal	1003655	203013	1790	958
1200	Apaseo el Grande	46	San José Viborillas	1003802	203400	1790	1175
1202	Apaseo el Grande	48	San Ramón	1004230	203345	1760	698
1212	Apaseo el Grande	67	Tesoro, El	1003730	203437	1810	162
1354	Celaya	78	Aguirre, Los	1005237	203624	1760	359
1356	Celaya	82	Arreguín de Abajo	1005000	202825	1750	319
1362	Celaya	91	Cruz, La	1004748	202721	1760	1427
1379	Celaya	121	San José de Mendoza (Mendoza)	1004616	203633	1770	384
1407	Celaya	165	San Miguel Octopan	1004452	203425	1760	11751
1441	Celaya	256	Primera Fracción de Crespo (El molino)	1005100	202943	1750	2124
1516	Celaya	412	Colonia Luis Donald Colosio	1004556	203356	1760	187
1576	Celaya	506	Puente de las Brujas	1004710	204009	1790	46
1610	Celaya	559	Colonia 15 de Mayo	1005028	203255	1750	385
1936	Comonfort	1	Comonfort	1004525	204250	1790	20088
2005	Comonfort	99	Charcas, Las (Jesús Martínez Músico)	1004518	204130	1800	73
2095	Coroneo	11	Piedra Larga	1002046	201548	2400	780
3697	Jerécuaro	69	Puroagüita	1002823	200350	1950	512
3699	Jerécuaro	71	Refugio, El	1003342	201445	2150	126
3707	Jerécuaro	79	Salto de Peña	1003654	201823	2000	1075
3714	Jerécuaro	88	San Lucas	1003310	201738	2050	1560
3758	Jerécuaro	159	Potrero de la Campana	1002755	200217	1960	32
7491	Juventino Rosas	1	Santa Cruz de Juventino Rosas	1005943	203832	1750	33403
7547	Juventino Rosas	74	Santa María de Guadalupe (El Ranchito)	1010212	203635	1740	346
7570	Juventino Rosas	115	Estancia, La	1010010	203429	1735	117
8070	Trimoro	6	Buenavista	1004704	202043	1770	257
8086	Trimoro	22	Moncada, La	1004819	201701	1755	4574
8091	Trimoro	27	Providencia de Cacalote	1004720	202050	1765	524
8118	Trimoro	70	Chorreadero, El (El francés)	1004734	201627	1760	28
<b>Suma</b>						<b>62605</b>	<b>107490</b>
<b>Media</b>						<b>1841.3</b>	<b>3161.5</b>

Continuación...

Nombre de la localidad	pobtmas	pobtfem	p5ymas	p6a14	p15ymas	p6a14sl	p6a14nsl	p15alfa
Buenos Aires (El Cerrito)	100	94	164	46	112	41	5	69
Luisiada, La	369	416	649	213	406	164	49	310
San Antonio Calichar	672	680	1181	346	794	285	61	654
Apaseo el Grande	8859	9641	16286	4126	11709	3869	256	10696
Guadalupe del Monte	439	463	793	212	550	174	38	445
Jocoque, El	1117	1170	1921	557	1299	424	130	1002
San Cristobal	462	496	851	239	587	212	27	507
San José Viborillas	593	582	1030	262	756	199	63	596
San Ramón	356	342	604	187	398	161	26	335
Tesoro, El	88	74	133	47	79	35	12	56
Aguirre, Los	184	175	302	92	195	60	32	137
Arreguín de Abajo	155	164	279	83	190	67	16	162
Cruz, La	679	748	1273	287	954	266	21	848
San José de Mendoza (Mendoza)	198	186	317	101	204	77	24	140
San Miguel Octopan	5719	6032	10052	2898	6774	2236	652	5574
Primera Fracción de Crespo (El molino)	1057	1067	1856	577	1230	473	104	1047
Colonia Luis Donaldo Colosio	91	96	149	34	112	18	16	88
Puente de las Brujas	20	26	41	12	27	9	3	11
Colonia 15 de Mayo	171	214	327	92	219	89	3	218
Comonfort	9375	10713	17564	4780	12274	4246	532	10535
Charcas, Las (Jesús Martínez Músico)	33	40	62	17	43	16	1	34
Piedra Larga	358	422	705	181	506	157	24	361
Puroagüita	242	270	460	113	337	89	24	244
Refugio, El	61	65	104	33	64	24	9	49
Salto de Peña	512	563	953	246	689	160	86	523
San Lucas	766	794	1384	371	978	274	97	723
Potrero de la Campana	14	18	27	3	22	2	1	14
Santa Cruz de Juventino Rosas	16277	17126	29290	7545	20845	6643	892	17613
Santa María de Guadalupe (El Ranchito)	173	173	317	63	248	61	2	217
Estancia, La	58	59	105	31	67	29	2	50
Buenavista	108	149	222	64	147	39	24	112
Moncada, La	2127	2447	4079	1091	2874	944	147	2441
Providencia de Cacalote	220	304	475	122	337	108	14	257
Chorreadero, El (El francés)	9	19	23	7	14	6	1	10
<b>Suma</b>	<b>51662</b>	<b>55828</b>	<b>93978</b>	<b>25078</b>	<b>66040</b>	<b>21657</b>	<b>3394</b>	<b>56078</b>
<b>Media</b>	<b>1519.5</b>	<b>1642.0</b>	<b>2764.06</b>	<b>737.6</b>	<b>1942.4</b>	<b>637.0</b>	<b>99.8</b>	<b>1649.4</b>

pobtmas = población total masculina; pobtfem = población total femenina; p5ymas = población mayor de 5 años; p6a14 = población de 6 a 14 años; p15ymas = población mayor de 15 años; p6a14sl = población de 6 a 14 años alfabeta; p6a14nsl = población de 6 a 14 años analfabeta; p15alfa = población mayor de 15 años alfabeta.

Continuación...

Nombre de la localidad	p15analfa	p5hlind	p5hliye	p5hliyne	totvivh	viv_part	o_v_part	pro_o_vp
Buenos Aires (El Cerrito)	43	0	0	0	31	31	194	6.3
Luisiada, La	96	0	0	0	139	139	785	5.6
San Antonio Calichar	138	2	2	0	258	258	1352	5.2
Apaseo el Grande	1003	4	4	0	3684	3679	18450	5.0
Guadalupe del Monte	105	0	0	0	151	151	902	6.0
Jocoque, El	295	0	0	0	416	415	2284	5.5
San Cristobal	80	0	0	0	159	159	958	6.0
San José Viborillas	160	0	0	0	191	191	1175	6.2
San Ramón	63	0	0	0	131	131	698	5.3
Tesoro, El	23	5	5	0	23	23	162	7.0
Aguirre, Los	58	0	0	0	59	59	359	6.1
Arreguín de Abajo	28	1	1	0	59	59	319	5.4
Cruz, La	106	0	0	0	261	261	1427	5.5
San José de Mendoza (Mendoza)	64	0	0	0	77	77	384	5.0
San Miguel Octopan	1196	8	8	0	2061	2060	11747	5.7
Primera Fracción de Crespo (El molino)	182	0	0	0	379	379	2124	5.6
Colonia Luis Donald Colosio	24	0	0	0	48	48	187	3.9
Puente de las Brujas	16	0	0	0	10	10	46	4.6
Colonia 15 de Mayo	1	0	0	0	109	109	385	3.5
Comonfort	1730	20	19	0	3626	3620	20068	5.5
Charcas, Las (Jesús Martínez Músico)	9	0	0	0	16	16	73	4.6
Piedra Larga	144	0	0	0	160	160	780	4.9
Puroagüita	93	0	0	0	126	126	512	4.1
Refugio, El	15	0	0	0	17	17	126	7.4
Salto de Peña	166	3	3	0	224	224	1075	4.8
San Lucas	253	2	2	0	338	338	1560	4.6
Potrero de la Campana	8	0	0	0	6	6	32	5.3
Santa Cruz de Juventino Rosas	3204	20	20	0	5740	5729	33328	5.8
Santa María de Guadalupe (El Ranchito)	31	0	0	0	62	62	346	5.6
Estancia, La	17	0	0	0	19	19	117	6.2
Buenavista	35	0	0	0	44	44	257	5.8
Moncada, La	428	0	0	0	939	939	4574	4.9
Providencia de Cacalote	80	0	0	0	113	113	524	4.6
Chorreadero, El (El francés)	4	0	0	0	6	6	28	4.7
<b>Suma</b>	<b>9898</b>	<b>65</b>	<b>64</b>	<b>0</b>	<b>19682</b>	<b>19658</b>	<b>107338</b>	<b>182.2</b>
<b>Media</b>	<b>291.1</b>	<b>1.9</b>	<b>1.9</b>	<b>0</b>	<b>578.9</b>	<b>578.2</b>	<b>3157</b>	<b>5.4</b>

p15analfa = población analfabeta mayor de 15 años; p5hlind = población mayor de 5 años que habla lengua indígena; p5hliye = población mayor de 5 años que habla lengua indígena y español; p5hliyne = población mayor de 5 años que habla lengua indígena y no habla español; totvivh = total de viviendas habitadas; viv\_part = viviendas particulares; o\_v\_part = ocupantes de viviendas particulares; pro\_o\_vp = promedio de ocupantes de viviendas particulares.

Continuación...

Nombre de la localidad	vivp_elec	vivp_agua	vivp_dren	im	p_p0a4*	p_p5ymas	p_p6a14	p_p15ymas
Buenos Aires (El Cerrito)	30	1	1	106.4	15.5	84.5	23.7	57.7
Luisiada, La	132	139	0	88.7	17.3	82.7	27.1	51.7
San Antonio Calichar	256	252	163	98.8	12.6	87.4	25.6	58.7
Apaseo el Grande	3611	3622	3244	91.9	12.0	88.0	22.3	63.3
Guadalupe del Monte	142	141	1	94.8	12.1	87.9	23.5	61.0
Jocoque, El	383	371	285	95.5	16.0	84.0	24.4	56.8
San Cristobal	156	156	8	93.1	11.2	88.8	24.9	61.3
San José Viborillas	180	169	1	101.9	12.3	87.7	22.3	64.3
San Ramón	126	128	46	104.1	13.5	86.5	26.8	57.0
Tesoro, El	2	0	0	118.9	17.9	82.1	29.0	48.8
Aguirre, Los	45	58	0	105.1	15.9	84.1	25.6	54.3
Arreguin de Abajo	59	59	57	94.5	12.5	87.5	26.0	59.6
Cruz, La	256	253	257	90.8	10.8	89.2	20.1	66.9
San José de Mendoza (Mendoza)	67	71	0	106.5	17.4	82.6	26.3	53.1
San Miguel Octopan	1975	1987	1506	94.8	14.5	85.5	24.7	57.6
Primera Fracción de Crespo (El molino)	365	377	334	99.1	12.6	87.4	27.2	57.9
Colonia Luis Donaldo Colosio	1	3	0	94.8	20.3	79.7	18.2	59.9
Puente de las Brujas	0	1	7	76.9	10.9	89.1	26.1	58.7
Colonia 15 de Mayo	109	109	109	79.9	15.1	84.9	23.9	56.9
Comonfort	3522	3470	3240	87.5	12.6	87.4	23.8	61.1
Charcas, Las (Jesús Martínez Músico)	15	0	0	82.5	15.1	84.9	23.3	58.9
Piedra Larga	129	153	47	84.8	9.6	90.4	23.2	64.9
Puroagüita	120	120	15	89.6	10.2	89.8	22.1	65.8
Refugio, El	7	0	0	93.8	17.5	82.5	26.2	50.8
Salto de Peña	222	215	2	90.9	11.3	88.7	22.9	64.1
San Lucas	329	328	10	96.5	11.3	88.7	23.8	62.7
Potrero de la Campana	3	5	0	77.8	15.6	84.4	9.4	68.8
Santa Cruz de Juventino Rosas	5497	5578	5391	95.0	12.3	87.7	22.6	62.4
Santa María de Guadalupe (El Ranchito)	62	61	52	100.0	8.4	91.6	18.2	71.7
Estancia, La	18	1	0	98.3	10.3	89.7	26.5	57.3
Buenavista	44	42	16	72.5	13.6	86.4	24.9	57.2
Moncada, La	922	930	902	86.9	10.8	89.2	23.9	62.8
Providencia de Cacalote	111	112	29	72.4	9.4	90.6	23.3	64.3
Chorreadero, El (El francés)	0	0	0	47.4	17.9	82.1	25.0	50.0
<b>Suma</b>	<b>18896</b>	<b>18912</b>	<b>15723</b>	<b>3112.4</b>	<b>456.3</b>	<b>2943.7</b>	<b>806.8</b>	<b>2028.3</b>
<b>Media</b>	<b>555.8</b>	<b>556.2</b>	<b>462.4</b>	<b>91.5</b>	<b>13.4</b>	<b>86.6</b>	<b>23.7</b>	<b>59.7</b>

vivp\_elec = viviendas particulares con electricidad; vivp\_agua = viviendas particulares con agua potable; vivp\_dren = viviendas particulares con drenaje; im = índice de masculinidad.

\* A partir de aquí se repiten algunas variables expresadas en porcentaje.

Continuación...

Nombre de la localidad	p_p6a14sl	p_p6a14ns	p_p15alfa	p_p15anal	p_p5hlind	p_p5hliye	p_p5hliyn	p_vivp_el
Buenos Aires (El Cerrito)	89.1	10.9	61.6	38.4	0.0	0.0	0.0	96.8
Luisiada, La	77.0	23.0	76.4	23.6	0.0	0.0	0.0	95.0
San Antonio Calichar	82.4	17.6	82.4	17.4	0.2	100	0.0	99.2
Apaseo el Grande	93.8	6.2	91.3	8.6	0.0	100	0.0	98.2
Guadalupe del Monte	82.1	17.9	80.9	19.1	0.0	0.0	0.0	94.0
Jocoque, El	76.1	23.3	77.1	22.7	0.0	0.0	0.0	92.3
San Cristobal	88.7	11.3	86.4	13.6	0.0	0.0	0.0	98.1
San José Viborillas	76.0	24.0	78.8	21.2	0.0	0.0	0.0	94.2
San Ramón	86.1	13.9	84.2	15.8	0.0	0.0	0.0	96.2
Tesoro, El	74.5	25.5	70.9	29.1	3.8	100	0.0	8.7
Aguirre, Los	65.2	34.8	70.3	29.7	0.0	0.0	0.0	76.3
Arreguín de Abajo	80.7	19.3	85.3	14.7	0.4	100	0.0	100.0
Cruz, La	92.7	7.3	88.9	11.1	0.0	0.0	0.0	98.1
San José de Mendoza (Mendoza)	76.2	23.8	68.6	31.4	0.0	0.0	0.0	87.0
San Miguel Octopan	77.2	22.5	82.3	17.7	0.1	100	0.0	85.9
Primera Fracción de Crespo (El molino)	82.0	18.0	85.1	14.8	0.0	0.0	0.0	96.3
Colonia Luis Donald Colosio	52.9	47.1	78.6	21.4	0.0	0.0	0.0	2.1
Puente de las Brujas	75.0	25.0	40.7	59.3	0.0	0.0	0.0	0.0
Colonia 15 de Mayo	96.7	3.3	99.5	0.5	0.0	0.0	0.0	100.0
Comonfort	88.8	11.1	85.8	14.1	0.1	95	0.0	97.3
Charcas, Las (Jesús Martínez Músico)	94.1	5.9	79.1	20.9	0.0	0.0	0.0	93.8
Piedra Larga	86.7	13.3	71.3	28.5	0.0	0.0	0.0	80.6
Puroagüita	78.8	21.2	72.4	27.6	0.0	0.0	0.0	95.2
Refugio, El	72.7	27.3	76.6	23.4	0.0	0.0	0.0	41.2
Salto de Peña	65.0	35.0	75.9	24.1	0.3	100	0.0	99.1
San Lucas	73.9	26.1	73.9	25.9	0.1	100	0.0	97.3
Potrero de la Campana	66.7	33.3	63.6	36.4	0.0	0.0	0.0	50.0
Santa Cruz de Juventino Rosas	88.0	11.8	84.5	15.4	0.1	100	0.0	96.0
Santa María de Guadalupe (El Ranchito)	96.8	3.2	87.5	12.5	0.0	0.0	0.0	100.0
Estancia, La	93.5	6.5	74.6	25.4	0.0	0.0	0.0	94.7
Buenavista	60.9	37.5	76.2	23.8	0.0	0.0	0.0	100.0
Moncada, La	86.5	13.5	84.9	14.9	0.0	0.0	0.0	98.2
Providencia de Cacalote	88.5	11.5	76.3	23.7	0.0	0.0	0.0	98.2
Chorreadero, El (El francés)	85.7	14.3	71.4	28.6	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Suma</b>	<b>2751</b>	<b>646.2</b>	<b>2643.3</b>	<b>755.3</b>	<b>5.1</b>	<b>895</b>	<b>0</b>	<b>2760</b>
<b>Media</b>	<b>80.9</b>	<b>19.0</b>	<b>77.7</b>	<b>22.2</b>	<b>0.15</b>	<b>26.3</b>	<b>0</b>	<b>81.2</b>

Continuación...

Nombre de la localidad	p_vivp_ag	p_vivp_dr	pobtot95	pobtot90	%crec.
Buenos Aires (El Cerrito)	3.2	3.2	194	169	0.25
Luisiada, La	100.0	0.0	785	571	2.14
San Antonio Calichar	97.7	63.2	1352	1223	1.29
Apaseo el Grande	98.5	88.2	18500	17542	9.58
Guadalupe del Monte	93.4	0.7	902	787	1.15
Jocoque, El	89.4	68.7	2287	2301	-0.14
San Cristobal	98.1	5.0	958	987	-0.29
San José Viborillas	88.5	0.5	1175	1145	0.30
San Ramón	97.7	35.1	698	689	0.09
Tesoro, El	0.0	0.0	162	163	-0.01
Aguirre, Los	98.3	0.0	359	267	0.92
Arreguín de Abajo	100.0	96.6	319	579	-2.60
Cruz, La	96.9	98.5	1427	1654	-2.27
San José de Mendoza (Mendoza)	92.2	0.0	384	335	0.49
San Miguel Octopan	96.5	73.1	11751	10652	10.99
Primera Fracción de crespo (El molino)	99.5	88.1	2124	1972	1.52
Colonia Luis Donald Colosio	6.3	0.0	187	-----	-----
Puente de las Brujas	10.0	70.0	46	-----	-----
Colonia 15 de Mayo	100.0	100.0	385	-----	-----
Comonfort	95.9	89.5	20088	18327	17.61
Charcas, Las (Jesús martínez músico)	0.0	0.0	73	67	0.06
Piedra Larga	95.6	29.4	780	860	-0.80
Puroaguita	95.2	11.9	512	559	-0.47
Refugio, El	0.0	0.0	126	113	0.13
Salto de Peña	96.0	0.9	1075	1118	-0.43
San Lucas	97.0	3.0	1560	1552	0.08
Polrero de la Campana	83.3	0.0	32	-----	-----
Santa Cruz de Juventino Rosas	97.4	94.1	33403	29828	35.75
Santa María de Guadalupe (El Ranchito)	98.4	83.9	346	390	-0.44
Estancia, La	5.3	0.0	117	114	0.03
Buenavista	95.5	36.4	257	294	-0.37
Moncada, La	99.0	96.1	4574	4838	-2.64
Providencia de Cacalote	99.1	25.7	524	485	0.39
Chorreadero, El (El francés)	0.0	0.0	28	-----	-----
<b>Suma</b>	<b>2523.9</b>	<b>1261.8</b>	<b>107490</b>	<b>-----</b>	<b>72.31</b>
<b>Media</b>	<b>742</b>	<b>37.1</b>	<b>31.6</b>	<b>-----</b>	<b>2.5</b>

Cuadro 32A. Características socioeconómicas de las poblaciones ubicadas en las áreas clasificadas con uso inadecuado para la agricultura en el Distrito de Desarrollo Rural 004 Celaya, Guanajuato.

Identificador	Municipio	Clave Loc.	Nombre de la localidad	Longitud	Latitud	Altitud (m)	Pob. Total
1049	Apaseo el Alto	18	Congregación de la Cruz (La Cueva)	1004120	202718	1950	871
1094	Apaseo el Alto	81	Talayote, El	1003752	202532	2120	269
1097	Apaseo el Alto	85	Tinaja Samaritana, La (La Tinaja)	1004008	202700	1980	189
1106	Apaseo el Alto	96	Liebre, La (Soledad de la Liebre)	1002857	202206	2110	119
1120	Apaseo el Alto	125	Cañada, La	1003700	202604	1900	147
1176	Apaseo el Grande	14	Escobedo	1003510	203952	1940	239
1196	Apaseo el Grande	41	Rancho Viejo	1003916	203850	2020	208
1355	Celaya	79	Almanza	1004510	202300	2060	74
1357	Celaya	85	Canoas (Congregación de Canoas)	1004244	202452	1940	255
1370	Celaya	105	Huesos, Los	1004411	202306	2200	358
1944	Comonfort	11	Gallinas, Las	1004237	204507	1890	472
1955	Comonfort	27	Ojo de Agua de García	1005613	204719	2050	365
1970	Comonfort	43	San Pablo	1004846	204707	1825	516
2088	Coroneo	4	Capulín, El	1002126	201320	2370	533
2091	Coroneo	7	Cerro Prieto Poniente	1002509	201310	2390	208
2102	Coroneo	19	Puertecito, El	1002332	200931	2320	190
2106	Coroneo	24	Calvario, El	1002156	201234	2340	66
3636	Jerécuaro	3	Altamira	1002704	201302	2190	201
3643	Jerécuaro	10	Candelas	1002648	201852	2340	797
3644	Jerécuaro	11	Canoas	1002343	200305	2350	479
3645	Jerécuaro	12	Carrizo, El	1003815	201034	2320	327
3648	Jerécuaro	15	Cieneguilla de Alzati	1003621	201326	2530	513
3650	Jerécuaro	17	Corrales de la Ordeña	1002848	201810	2250	200
3652	Jerécuaro	19	Cucurucho, El	1002658	201704	2300	252
3657	Jerécuaro	25	Estancia, La (La Presa)	1002442	201942	2245	371
3669	Jerécuaro	38	Lagunilla de Puroagua (La Lagunilla)	1002319	200217	2650	334
3674	Jerécuaro	44	Manzanares del Fresno	1002809	201710	2200	298
3675	Jerécuaro	45	Mesa del Tepozán, La (Los Sánchez)	1002950	201912	2190	257
3676	Jerécuaro	46	Mina, La	1003457	201057	2200	603
3677	Jerécuaro	47	Mora del Capulín, La	1003745	202020	2070	101
3679	Jerécuaro	49	Moras de Tacambarillo, Las	1002658	201323	2190	526
3680	Jerécuaro	51	Novillo, El	1003838	202009	2170	310
3681	Jerécuaro	52	Ojo de Agua de la Ordeña	1002918	201840	2260	171
3689	Jerécuaro	60	Pilas de la Salitrera, Las	1003535	201035	2120	458
3690	Jerécuaro	61	Pilas de Puroagua, Las	1002600	200154	2030	402
3692	Jerécuaro	64	Puerto de Sabanilla, El (El Puerto)	1002356	201929	2300	352
3694	Jerécuaro	66	Purísima de la Barranca (Rancho Nuevo)	1002730	202038	2110	627
3705	Jerécuaro	77	Salitrera, La	1003716	201005	2200	426
3709	Jerécuaro	81	San Antonio de la Presa (EL Fresno)	1002835	201703	2200	407
3710	Jerécuaro	82	San Antonio del Varal	1003619	201218	2600	68
3717	Jerécuaro	91	San Pedro de los Agustinos (San Pedro)	1003410	201333	2210	779
3726	Jerécuaro	101	Terrero, El	1003420	200813	1980	661
3728	Jerécuaro	103	Tomasa, La	1002646	200756	2240	137
3731	Jerécuaro	106	Viuda, La	1002840	201827	2250	53
3740	Jerécuaro	123	Pilas del Sauz de Peña, Las	1003917	201944	2120	132
3753	Jerécuaro	147	Cantera, La	1002902	201758	2210	126
3796	Jerécuaro	218	Santa Teresa del Fresno	1002646	201812	2300	168
7502	Juventino Rosas	19	Fuentes, Las	1010152	203941	1820	309
7538	Juventino Rosas	62	San José de las Pilas	1010240	203910	1820	927
7565	Juventino Rosas	103	Mandujano	1010255	204420	2070	165
8078	Tarimoro	14	Esperanza, La	1004401	201252	1930	628
8098	Tarimoro	34	Tlalixcooya	1004029	202349	2250	167
8099	Tarimoro	35	Toro, El	1004021	202125	2230	410
8129	Tarimoro	86	Huesos, Los	1004405	202300	2210	41
<b>Suma</b>						<b>117060</b>	<b>18262</b>
<b>Media</b>						<b>2167.8</b>	<b>338.2</b>

Continuación...

Nombre de la localidad	pobtmas	pobtfem	p5ymas	p6a14	p15ymas	p6a14sl	p6a14nsl	p15alfa
Congregación de la Cruz (La Cueva)	441	430	770	225	520	174	51	418
Talayote, El	133	136	210	72	129	32	40	76
Tinaja Samaritana, La (La Tinaja)	93	96	154	54	95	32	22	64
Liebre, La (Soledad de la Liebre)	56	63	95	25	66	16	9	40
Cañada, La	65	82	121	51	67	37	14	47
Escobedo	113	126	198	55	134	37	18	80
Rancho Viejo	103	105	170	57	105	19	38	54
Almanza	39	35	62	19	40	14	5	31
Canoas (Congregación de Canoas)	102	153	237	46	184	37	9	150
Huesos, Los	155	203	327	100	221	80	20	162
Gallinas, Las	225	247	414	129	270	101	28	209
Ojo de Agua de García	182	183	291	108	160	69	39	76
San Pablo	246	270	415	132	265	76	56	161
Capulín, El	277	256	486	133	346	95	38	275
Cerro Prieto Poniente	101	107	183	42	133	33	7	90
Puertecito, El	93	97	142	56	78	40	16	53
Calvario, El	26	40	54	14	38	13	1	33
Altamira	90	111	175	53	116	47	6	94
Candelas	382	415	671	219	430	141	78	329
Canoas	218	261	429	137	280	118	19	221
Carrizo, El	157	170	285	82	192	56	26	104
Cieneguilla de Alzati	261	252	436	137	287	113	24	206
Corrales de la Ordeña	103	97	167	61	97	31	30	58
Cucurucho, El	125	127	216	81	126	55	26	79
Estancia, La (La Presa)	183	188	308	90	204	73	17	145
Lagunilla de Puruagua (La Lagunilla)	170	164	273	109	151	76	33	95
Manzanares del Fresno	151	147	246	82	150	40	42	84
Mesa del Tepozán, La (Los Sánchez)	120	137	211	79	120	61	18	90
Mina, La	297	306	506	157	333	116	41	213
Mora del Capulín, La	58	43	90	22	64	18	4	41
Moras de Tacambarillo, Las	257	269	455	177	263	134	43	203
Novillo, El	153	157	265	79	176	57	21	110
Ojo de Agua de la Ordeña	81	90	140	59	74	49	10	39
Pilas de la Salitrera, Las	240	218	378	128	230	90	38	138
Pilas de Puroagua, Las	198	204	342	112	218	82	30	141
Puerto de Sabanilla, El (El Puerto)	187	165	290	91	192	73	18	147
Purísima de la Barranca (Rancho Nuevo)	303	324	519	175	322	114	61	224
Salitrera, La	214	212	356	117	227	89	28	141
San Antonio de la Presa (EL Fresno)	203	204	354	116	221	66	49	155
San Antonio del Varal	35	33	61	16	44	8	8	37
San Pedro de los Agustinos (San Pedro)	377	402	662	195	451	137	58	318
Terrero, El	325	336	568	166	384	133	33	261
Tomasa, La	69	68	121	41	77	37	4	56
Viuda, La	26	27	45	17	25	7	10	13
Pilas del Sauz de Peña, Las	67	65	111	31	77	22	9	55
Cantera, La	57	69	99	32	65	14	18	44
Santa Teresa del Fresno	83	85	142	55	81	39	16	62
Fuentes, Las	151	158	250	78	158	65	13	120
San José de las Pilas	454	473	818	215	572	191	24	410
Mandujano	80	85	138	35	100	27	8	72
Esperanza, La	292	336	562	165	379	136	29	263
Tlaxicooya	71	96	153	49	99	32	17	78
Toro, El	162	248	370	130	228	78	38	163
Huesos, Los	18	23	35	9	25	7	2	20
<b>Suma</b>	<b>8868</b>	<b>9394</b>	<b>15576</b>	<b>4915</b>	<b>10089</b>	<b>3537</b>	<b>1360</b>	<b>7048</b>
<b>Media</b>	<b>164.2</b>	<b>174.0</b>	<b>288.4</b>	<b>91.0</b>	<b>186.8</b>	<b>65.5</b>	<b>25.2</b>	<b>130.5</b>

pobtmas = población total masculina; pobtfem = población total femenina; p5ymas = población mayor de 5 años; p6a14 = población de 6 a 14 años; p15ymas = población mayor de 15 años; p6a14sl = población de 6 a 14 años alfabetas; p6a14nsl = población de 6 a 14 años analfabeta; p15alfa = población mayor de 15 años alfabetas.

Continuación...

Nombre de la localidad	p15analfa	p5hlind	p5hliye	p5hlyne	totvvh	viv_part	o_v_part	pro_o_vp
Congregación de la Cruz (La Cueva)	102	0	0	0	174	174	871	5.0
Talayote, El	51	0	0	0	49	49	269	5.5
Tinaja Samaritana, La (La Tinaja)	31	0	0	0	37	37	189	5.1
Liebre, La (Soledad de la Liebre)	26	0	0	0	21	21	119	5.7
Cañada, La	20	0	0	0	23	23	147	6.4
Escobedo	54	0	0	0	45	45	239	5.3
Rancho Viejo	51	0	0	0	34	34	208	6.1
Almanza	9	0	0	0	14	14	74	5.3
Canoas (Congregación de Canoas)	34	0	0	0	74	74	255	3.4
Huesos, Los	59	0	0	0	81	81	358	4.4
Gallinas, Las	61	0	0	0	79	79	472	6.0
Ojo de Agua de García	84	0	0	0	56	56	365	6.5
San Pablo	104	16	16	0	91	91	516	5.7
Capulín, El	71	0	0	0	106	106	533	5.0
Cerro Prieto Poniente	41	0	0	0	45	45	208	4.6
Puertecito, El	25	0	0	0	31	31	190	6.1
Calvario, El	5	0	0	0	14	14	66	4.7
Altamira	22	0	0	0	37	37	201	5.4
Candelas	101	0	0	0	150	150	797	5.3
Canoas	59	0	0	0	96	96	479	5.0
Carrizo, El	88	0	0	0	76	76	327	4.3
Cieneguilla de Alzati	81	0	0	0	88	88	513	5.8
Corrales de la Ordeña	37	0	0	0	36	36	200	5.6
Cucurucho, El	47	0	0	0	51	51	252	4.9
Estancia, La (La Presa)	59	0	0	0	68	68	371	5.5
Lagunilla de Puruagua (La Lagunilla)	56	0	0	0	56	56	334	6.0
Manzanares del Fresno	66	0	0	0	60	60	298	5.0
Mesa del Tepozán, La (Los Sánchez)	30	0	0	0	40	40	257	6.4
Mina, La	117	0	0	0	124	124	603	4.9
Mora del Capulín, La	23	0	0	0	19	19	101	5.3
Moras de Tacambarillo, Las	60	0	0	0	89	89	526	5.9
Novillo, El	66	0	0	0	60	59	308	5.2
Ojo de Agua de la Ordeña	35	0	0	0	27	27	171	6.3
Pilas de la Salitrera, Las	92	0	0	0	90	90	458	5.1
Pilas de Puroagua, Las	77	0	0	0	77	77	402	5.2
Puerto de Sabaniilla, El (El Puerto)	44	0	0	0	64	64	352	5.5
Purísima de la Barranca (Rancho Nuevo)	98	1	1	0	102	102	627	6.1
Salitrera, La	86	0	0	0	83	83	426	5.1
San Antonio de la Presa (EL Fresno)	66	0	0	0	81	81	407	5.0
San Antonio del Varal	7	0	0	0	12	12	68	5.7
San Pedro de los Agustinos (San Pedro)	132	0	0	0	150	150	779	5.2
Terrero, El	122	0	0	0	133	133	661	5.0
Tomasa, La	18	0	0	0	26	26	137	5.3
Viuda, La	12	0	0	0	8	8	53	6.6
Pilas del Sauz de Peña, Las	22	0	0	0	28	27	128	4.7
Cantera, La	21	0	0	0	26	26	126	4.8
Santa Teresa del Fresno	19	0	0	0	28	28	168	6.0
Fuentes, Las	38	0	0	0	45	45	309	6.9
San José de las Pilas	162	0	0	0	177	177	927	5.2
Mandujano	28	0	0	0	30	30	165	5.5
Esperanza, La	116	0	0	0	115	115	628	5.5
Tlalixcooya	21	0	0	0	38	38	167	4.4
Toro, El	59	0	0	0	82	82	410	5.0
Huesos, Los	5	0	0	0	11	11	41	3.7
<b>Suma</b>	<b>3020</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>0</b>	<b>3457</b>	<b>3455</b>	<b>18256</b>	<b>289.1</b>
<b>Media</b>	<b>55.9</b>	<b>0.3</b>	<b>0.3</b>	<b>0</b>	<b>64.0</b>	<b>64.0</b>	<b>338.1</b>	<b>5.4</b>

p15analfa = población analfabeta mayor de 15 años; p5hlind = población mayor de 5 años que habla lengua indígena; p5hliye = población mayor de 5 años que habla lengua indígena y español; p5hlyne = población mayor de 5 años que habla lengua indígena y no habla español; totvvh = total de viviendas habitadas; viv\_part = viviendas particulares; o\_v\_part = ocupantes de viviendas particulares; pro\_o\_vp = promedio de ocupantes de viviendas particulares.

## Continuación...

Nombre de la Localidad	vivp_elec	vivp_agua	vivp_dren	im	p_p0a4*	p_p5ymas	p_p6a14	p_p15ymas
Congregación de la Cruz (La Cueva)	160	170	4	102.6	11.6	88.4	25.8	59.7
Talayote, El	1	0	0	97.8	21.9	78.1	26.8	48.0
Tinaja Samaritana, La (La Tinaja)	3	0	0	96.9	18.5	81.5	28.6	50.3
Liebre, La (Soledad de la Liebre)	15	0	0	88.9	20.2	79.8	21.0	55.5
Cañada, La	23	0	0	79.3	17.7	82.3	34.7	45.6
Escobedo	45	0	0	89.7	17.2	82.8	23.0	56.1
Rancho Viejo	3	0	0	98.1	18.3	81.7	27.4	50.5
Almanza	14	14	10	111.4	16.2	83.8	25.7	54.1
Canoas (Congregación de Canoas)	72	68	61	66.7	7.1	92.9	18.0	72.2
Huesos, Los	78	79	73	76.4	8.7	91.3	27.9	61.7
Gallinas, Las	71	75	0	91.1	12.3	87.7	27.3	57.2
Ojo de Agua de García	1	30	0	99.5	20.3	79.7	29.6	43.8
San Pablo	85	76	0	91.1	19.6	80.4	25.6	51.4
Capulín, El	92	92	56	108.2	8.8	91.2	25.0	64.9
Cerro Prieto Poniente	41	41	4	94.4	12.0	88.0	20.2	63.9
Puertecito, El	28	27	5	95.9	25.3	74.7	29.5	41.1
Calvario, El	14	13	6	65.0	18.2	81.8	21.2	57.6
Altamira	34	4	0	81.1	12.9	87.1	26.4	57.7
Candelas	140	124	0	92.0	15.8	84.2	27.5	54.0
Canoas	92	75	12	83.5	10.4	89.6	28.6	58.5
Carrizo, El	1	0	0	92.4	12.8	87.2	25.1	58.7
Cieneguilla de Alzati	84	83	0	103.6	15.0	85.0	26.7	55.9
Corrales de la Ordeña	30	0	0	106.2	16.5	83.5	30.5	48.5
Cucurucho, El	0	0	0	98.4	14.3	85.7	32.1	50.0
Estancia, La (La Presa)	30	1	0	97.3	17.0	83.0	24.3	55.0
Lagunilla de Puroagua (La Lagunilla)	0	1	0	103.7	18.3	81.7	32.6	45.2
Manzanares del Fresno	47	0	0	102.7	17.4	82.6	27.5	50.3
Mesa del Tepozán, La (Los Sánchez)	37	33	0	87.6	17.9	82.1	30.7	46.7
Mina, La	122	122	0	97.1	16.1	83.9	26.0	55.2
Mora del Capulín, La	1	0	0	134.9	10.9	89.1	21.8	63.4
Moras de Tacambarillo, Las	80	4	0	95.5	13.5	86.5	33.7	50.0
Novillo, El	58	5	0	97.5	14.5	85.5	25.5	56.8
Ojo de Agua de la Ordeña	19	0	0	90.0	18.1	81.9	34.5	43.3
Pilas de la Salitrera, Las	89	1	0	110.1	17.5	82.5	27.9	50.2
Pilas de Puroagua, Las	63	43	2	97.1	14.9	85.1	27.9	54.2
Puerto de Sabanilla, El (El Puerto)	59	64	2	113.3	17.6	82.4	25.9	54.5
Purísima de la Barranca (Rancho Nuevo)	100	0	0	93.5	17.2	82.8	27.9	51.4
Salitrera, La	77	3	3	100.9	16.4	83.6	27.5	53.3
San Antonio de la Presa (EL Fresno)	67	0	0	99.5	13.0	87.0	28.5	54.3
San Antonio del Varal	0	8	0	106.1	10.3	89.7	23.5	64.7
San Pedro de los Agustinos (San Pedro)	146	6	1	93.8	15.0	85.0	25.0	57.9
Terrero, El	125	124	13	96.7	14.1	85.9	25.1	58.1
Tomasa, La	0	0	0	101.5	11.7	88.3	29.9	56.2
Viuda, La	7	0	0	96.3	15.1	84.9	32.1	47.2
Pilas del Sáuz de Peña, Las	27	0	0	103.1	15.9	84.1	23.5	58.3
Cantera, La	0	0	0	82.6	21.4	78.6	25.4	51.6
Santa Teresa del Fresno	19	0	0	97.6	15.5	84.5	32.7	48.2
Fuentes, Las	43	42	0	95.6	19.1	80.9	25.2	51.1
San José de las Pilas	169	144	0	96.0	11.8	88.2	23.2	61.7
Mandujano	28	0	0	94.1	16.4	83.6	21.2	60.6
Esperanza, La	113	91	33	89.9	10.5	89.5	26.3	60.4
Tlalixcooya	36	0	0	74.0	8.4	91.6	29.3	59.3
Toro, El	76	31	0	65.3	9.8	90.2	31.7	55.6
Huesos, Los	11	11	0	78.3	14.6	85.4	22.0	60.0
<b>Suma</b>	<b>2776</b>	<b>1705</b>	<b>285</b>	<b>5101.8</b>	<b>821.5</b>	<b>4578.5</b>	<b>1452.5</b>	<b>2952.6</b>
<b>Media</b>	<b>51.4</b>	<b>31.6</b>	<b>5.3</b>	<b>94.5</b>	<b>15.2</b>	<b>84.8</b>	<b>27.0</b>	<b>54.7</b>

vivp\_elec = viviendas particulares con electricidad; vivp\_agua = viviendas particulares con agua potable; vivp\_dren = viviendas particulares con drenaje; im = índice de masculinidad.

\* A partir de aquí se repiten algunas variables expresadas en porcentaje.

Continuación...

Nombre de la Localidad	p_p6a14sl	p_p6a14ns	p_p15alfa	p_p15anal	p_p5hlind	p_p5hliye	p_p5hliyn	p_vivp_el
Congregación de la Cruz (La Cueva)	77.3	22.7	80.4	19.6	0.0	0.0	0.0	92.0
Talayote, El	44.4	55.6	58.9	39.5	0.0	0.0	0.0	2.0
Tinaja Samaritana, La (La Tinaja)	59.3	40.7	67.4	32.6	0.0	0.0	0.0	8.1
Liebre, La (Soledad de la Liebre)	64.0	36.0	60.6	39.4	0.0	0.0	0.0	71.4
Cañada, La	72.5	27.5	70.1	29.9	0.0	0.0	0.0	100.0
Escobedo	67.3	32.7	59.7	40.3	0.0	0.0	0.0	100.0
Rancho Viejo	33.3	66.7	51.4	48.6	0.0	0.0	0.0	8.8
Almanza	73.7	26.3	77.5	22.5	0.0	0.0	0.0	100.0
Canoas (Congregación de Canoas)	80.4	19.6	81.5	18.5	0.0	0.0	0.0	97.3
Huesos, Los	80.0	20.0	73.3	26.7	0.0	0.0	0.0	96.3
Gallinas, Las	78.3	21.7	77.4	22.6	0.0	0.0	0.0	89.9
Ojo de Agua de García	63.9	36.1	47.5	52.5	0.0	0.0	0.0	1.8
San Pablo	57.6	42.4	60.8	39.2	3.9	100.0	0.0	93.4
Capulín, El	71.4	28.6	79.5	20.5	0.0	0.0	0.0	86.8
Cerro Prieto Poniente	78.6	16.7	67.7	30.8	0.0	0.0	0.0	91.1
Puertecito, El	71.4	28.6	67.9	32.1	0.0	0.0	0.0	90.3
Calvario, El	92.9	7.1	86.8	13.2	0.0	0.0	0.0	100.0
Altamira	88.7	11.3	81.0	19.0	0.0	0.0	0.0	91.9
Candelas	64.4	35.6	76.5	23.5	0.0	0.0	0.0	93.3
Canoas	86.1	13.9	78.9	21.1	0.0	0.0	0.0	95.8
Carrizo, El	68.3	31.7	54.2	45.8	0.0	0.0	0.0	1.3
Cieneguilla de Alzati	82.5	17.5	71.8	28.2	0.0	0.0	0.0	95.5
Corrales de la Ordeña	50.8	49.2	59.8	38.1	0.0	0.0	0.0	83.3
Cucurucho, El	67.9	32.1	62.7	37.3	0.0	0.0	0.0	0.0
Estancia, La (La Presa)	81.1	18.9	71.1	28.9	0.0	0.0	0.0	44.1
Lagunilla de Puruagua (La Lagunilla)	69.7	30.3	62.9	37.1	0.0	0.0	0.0	0.0
Manzanares del Fresno	48.8	51.2	56.0	44.0	0.0	0.0	0.0	78.3
Mesa del Tepozán, La (Los Sánchez)	77.2	22.8	75.0	25.0	0.0	0.0	0.0	92.5
Mina, La	73.9	26.1	64.0	35.1	0.0	0.0	0.0	98.4
Mora del Capulín, La	81.8	18.2	64.1	35.9	0.0	0.0	0.0	5.3
Moras de Tacambarillo, Las	75.7	24.3	77.2	22.8	0.0	0.0	0.0	89.9
Novillo, El	72.2	26.6	62.5	37.5	0.0	0.0	0.0	98.3
Ojo de Agua de la Ordeña	83.1	16.9	52.7	47.3	0.0	0.0	0.0	70.4
Pilas de la Salitrera, Las	70.3	29.7	60.0	40.0	0.0	0.0	0.0	98.9
Pilas de Puroagua, Las	73.2	26.8	64.7	35.3	0.0	0.0	0.0	81.8
Puerto de Sabanilla, El (El Puerto)	80.2	19.8	76.6	22.9	0.0	0.0	0.0	92.2
Purísima de la Barranca (Rancho Nuevo)	65.1	34.9	69.6	30.4	0.2	100	0.0	98.0
Salitrera, La	76.1	23.9	62.1	37.9	0.0	0.0	0.0	92.8
San Antonio de la Presa (EL Fresno)	596.9	42.2	70.1	29.9	0.0	0.0	0.0	82.7
San Antonio del Varal	50.0	50.0	84.1	15.9	0.0	0.0	0.0	0.0
San Pedro de los Agustinos (San Pedro)	70.3	29.7	70.5	29.3	0.0	0.0	0.0	97.3
Terrero, El	80.1	19.9	68.0	31.8	0.0	0.0	0.0	94.0
Tomasa, La	90.2	9.8	72.7	23.4	0.0	0.0	0.0	0.0
Viuda, La	41.2	58.8	52.0	48.0	0.0	0.0	0.0	87.5
Pilas del Sauz de Peña, Las	71.0	29.0	71.4	28.6	0.0	0.0	0.0	100.0
Cantera, La	43.8	56.3	67.7	32.3	0.0	0.0	0.0	0.0
Santa Teresa del Fresno	70.9	29.1	76.5	23.5	0.0	0.0	0.0	67.9
Fuentes, Las	83.3	16.7	75.9	24.1	0.0	0.0	0.0	95.6
San José de las Pilas	88.8	11.2	71.7	28.3	0.0	0.0	0.0	95.5
Mandujano	77.1	22.9	72.0	28.0	0.0	0.0	0.0	93.3
Esperanza, La	82.4	17.6	69.4	30.6	0.0	0.0	0.0	98.3
Tlaxicooya	65.3	34.7	78.8	21.2	0.0	0.0	0.0	94.7
Toro, El	60.0	29.2	71.5	25.9	0.0	0.0	0.0	92.7
Huesos, Los	77.8	22.2	80.0	20.0	0.0	0.0	0.0	100.0
<b>Suma</b>	<b>4352.5</b>	<b>1570.0</b>	<b>3724.1</b>	<b>1662.4</b>	<b>4.1</b>	<b>200.0</b>	<b>0.0</b>	<b>3930.7</b>
<b>Media</b>	<b>80.6</b>	<b>29.1</b>	<b>69.0</b>	<b>30.8</b>	<b>0.08</b>	<b>3.7</b>	<b>0.0</b>	<b>72.8</b>

Continuación...

Nombre de la Localidad	p_vivp_ag	p_vivp_dr	poabtot95	pobtot90	%creci
Congregación de la Cruz (La Cueva)	97.7	2.3	871	1086	-2.15
Talayote, El	0.0	0.0	269	303	-0.34
Tinaja Samaritana, La (La Tinaja)	0.0	0.0	189	192	-0.03
Liebre, La (Soledad de la Liebre)	0.0	0.0	119	94	0.25
Cañada, La	0.0	0.0	147	113	0.34
Escobedo	0.0	0.0	239	223	0.16
Rancho Viejo	0.0	0.0	208	242	-0.34
Almanza	100.0	71.4	74	88	-0.14
Canoas (Congregación de Canoas)	91.9	82.4	255	557	-3.02
Huesos, Los	97.5	90.1	358	646	-2.88
Gallinas, Las	94.9	0.0	472	412	0.60
Ojo de Agua de García	53.6	0.0	365	542	-1.77
San Pablo	83.5	0.0	516	450	0.66
Capulín, El	86.8	52.8	533	483	0.50
Cerro Prieto Poniente	91.1	8.9	208	265	-0.57
Puertecito, El	87.1	16.1	190	233	-0.43
Calvario, El	92.9	42.9	66	-----	-----
Altamira	10.8	0.0	201	185	0.16
Candelas	82.7	0.0	797	907	-1.10
Canoas	78.1	12.5	479	594	-1.15
Carrizo, El	0.0	0.0	327	338	-0.11
Cieneguilla de Alzati	94.3	0.0	513	455	0.58
Corrales de la Ordeña	0.0	0.0	200	199	0.01
Cucurucho, El	0.0	0.0	252	282	-0.30
Estancia, La (La Presa)	1.5	0.0	371	302	0.69
Lagunilla de Puruagua (La Lagunilla)	1.8	0.0	334	331	0.03
Manzanares del Fresno	0.0	0.0	298	-----	-----
Mesa del Tepozán, La (Los Sánchez)	82.5	0.0	257	169	0.88
Mina, La	98.4	0.0	603	601	0.02
Mora del Capulín, La	0.0	0.0	101	113	-0.12
Moras de Tacambarillo, Las	4.5	0.0	526	564	-0.38
Novillo, El	8.5	0.0	310	321	-0.11
Ojo de Agua de la Ordeña	0.0	0.0	171	183	-0.12
Pilas de la Salitrera, Las	1.1	0.0	458	449	0.09
Pilas de Puroagua, Las	55.8	2.6	402	439	-0.37
Puerto de Sabanilla, El (El Puerto)	100.0	3.1	352	310	0.42
Purísima de la Barranca (Rancho Nuevo)	0.0	0.0	627	676	-0.49
Salitrera, La	3.6	3.6	426	397	0.29
San Antonio de la Presa (EL Fresno)	0.0	0.0	407	472	-0.65
San Antonio del Varal	66.7	0.0	68	84	-0.16
San Pedro de los Agustinos (San Pedro)	4.0	0.7	779	846	-0.67
Terrero, El	93.2	9.8	661	639	0.22
Tomasa, La	0.0	0.0	137	166	-0.29
Viuda, La	0.0	0.0	53	53	0.00
Pilas del Sauz de Peña, Las	0.0	0.0	132	-----	-----
Cantera, La	0.0	0.0	126	134	-0.08
Santa Teresa del Fresno	0.0	0.0	168	119	0.49
Fuentes, Las	93.3	0.0	309	256	0.53
San José de las Pilas	81.4	0.0	927	991	-0.64
Mandujano	0.0	0.0	165	128	0.37
Esperanza, La	79.1	28.7	628	651	-0.23
Tlaxicooya	0.0	0.0	167	204	-0.37
Toro, El	37.8	0.0	410	693	-2.83
Huesos, Los	100.0	0.0	41	-----	-----
<b>Suma</b>	<b>2156.1</b>	<b>427.9</b>	<b>18262.0</b>	<b>19180.0</b>	<b>-14.55</b>
<b>Media</b>	<b>39.9</b>	<b>7.9</b>	<b>338.2</b>	<b>383.6</b>	<b>-0.3</b>