

00381
y
2ef



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

EVALUACIÓN DE TIERRAS DEL
MUNICIPIO DE TUXPAN, NAYARIT

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTOR EN CIENCIAS
(BIOLOGÍA)

PRESENTA

JOSÉ IRÁN BOJÓRQUEZ SERRANO

DIRECTOR DE TESIS: DR. JOSÉ LÓPEZ GARCÍA
CODIRECTOR: DR. DIEGO DE LA ROSA ACOSTA

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

274420 / 1999



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

RECONOCIMIENTOS

Agradezco a los investigadores integrantes de mi comité tutorial, quienes asesoraron y evaluaron este proyecto durante 8 semestres:

Dr. José López García. Instituto de Geografía, UNAM, México.

Dr. Diego de la Rosa Acosta. IRNAS, España

Dr. Gilberto Hernández Silva. Instituto de Geología, UNAM, México

Mi reconocimiento a los Investigadores designados por la Facultad de Ciencias como sinodales para dictaminar este trabajo de tesis: Doctores Gilberto Hernández Silva, David Flores Román, José López García, Jorge López Blanco, Diego de la Rosa Acosta, Norma Eugenia García Calderón y Teresa de Jesús Reyna Trujillo.

Agradezco a quienes participaron en los trabajos de campo y gabinete para el desarrollo de este trabajo: M. en C. José Luis Hernández Bernal, Lic. Fernando Flores Vilchez, Ing. Liborio González Torres, Pas. de Ing. Blanca Patricia Mora Ramírez y C. Refugio Torres Ceja.

Mi reconocimiento y gratitud a la Universidad Nacional Autónoma de México (Facultad de Ciencias, Instituto de Geografía y Dirección de Intercambio Académico), por su apoyo y permitirme ser parte de su comunidad universitaria.

Gracias a la Universidad Autónoma de Nayarit (Coordinación de Investigación Científica), por el espacio institucional y económico que me brindó durante el desarrollo del trabajo de tesis y para obtener el grado de doctor.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y al Programa de Mejoramiento del Profesorado de la SEP (PROMEP), por el apoyo económico complementario recibido para mis estudios de doctorado.

Al Consejo Estatal de Educación, al Ayuntamiento y ejidos de Tuxpan, por los apoyos varios recibidos para el desarrollo del presente proyecto.

DEDICO esta tesis a mi esposa Ana Isabel Valenzuela, por su paciencia y el amor que he recibido en estos 5 años de conocerte. A mis padres, José Bojórquez y Aurelia Serrano, quienes no tuvieron la oportunidad de aprender a leer y escribir, pero si la oportunidad de ver a uno de sus hijos con grado de doctor.

Con mucho cariño para mis hermanos y familiares de mi pueblo natal (La Laguna de los Bojórquez, Sinaloa), a quienes debo una buena parte de mi inspiración para llegar a este objetivo.

De manera especial, dedico este trabajo a los productores agrícolas del municipio de Tuxpan y a mis amigos y compañeros de trabajo: Manuel Femat, Rosa Esthela González, Raymundo Arvizu, Saúl Aguilar, Alberto Madueño, Oyolsi Nájera, Fernando Flores, Bernal, Blanca, Chely.

CONTENIDO

	Página
Índice de cuadros	III
Índice de figuras	VI
RESUMEN	VIII
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	3
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos específicos	3
2.3. Hipótesis	3
III. MARCO TEÓRICO	4
3.1. Conceptual	4
3.1.1. Concepto de suelo	4
3.1.2. Concepto de tierra	5
3.1.3. Evaluación de tierras	5
3.1.4. Sistemas automatizados de evaluación de tierras	11
3.1.5. Metodologías para clasificación de tierras	17
3.2. Marco teórico referencial	20
3.3. Descripción del área en estudio	21
Localización	21
Geología y geomorfología	23
Riesgo de inundaciones	23
Clima	24
Hidrología	24
Vegetación y flora	27
Uso actual del suelo	28
Población y vivienda	28
Educación	29
Tenencia de la tierra	29

IV.	MATERIALES Y MÉTODOS	31
4.1.	Definición de unidades de mapeo de suelos	31
4.1.1.	Levantamiento de suelos	31
4.1.2.	Análisis climático	37
4.1.3.	Disponibilidad de agua para riego y riesgo de inundación	37
4.2.	Fase de conversión de las características de cada unidad de mapeo a cualidades	38
4.3.	Selección de los tipos de utilización de la tierra (TUTs)	42
4.4.	Evaluación de las unidades de mapeo de suelos	45
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
5.1.	Delimitación de unidades de mapeo de suelos	59
	Fisiografía y suelos	59
	Suelos salinos y sódicos	67
	Disponibilidad de nutrimentos	69
5.2.	Análisis climático	71
5.3.	Disponibilidad de agua para riego y riesgo de inundaciones	71
5.4.	Selección de cultivos	75
5.5.	Evaluación de tierras	75
5.5.1.	Capacidad general de uso de las tierras	75
5.5.2.	Deficiencia bioclimática	77
5.5.3.	Aptitud relativa agrícola	79
5.5.4.	Capacidad agrícola de las tierras	85
VI.	CONCLUSIONES	87
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	90
	ANEXO 1. Estadísticas de cultivos del municipio de Tuxpan, Nayarit	100
	ANEXO 2. Descripción de las unidades de mapeo de suelos	104
	ANEXO 3. Recomendaciones derivadas del estudio.	127
	ANEXO 4. Resultados experimentales del algodón	140
	ANEXO 5. Album fotográfico.	142
	ANEXO 6. Base de datos de suelos del municipio de Tuxpan, Nayarit	148
	ANEXO 7. Sistema de evaluación de tierras ALMAGRA-TUXPAN	148
	ANEXO 8. Mapa de unidades fisiográficas y de mapeo de suelos.	151

Indice de cuadros

	Página
Cuadro 1. Estaciones climatológicas de la zona en estudio.	26
Cuadro 2. Determinaciones físicas, químicas y técnicas empleadas (Ortíz <i>et al.</i> , 1993).	35
Cuadro 3. Criterios de interpretación de CIC y cationes intercambiables (Etchevers <i>et al.</i> , 1971).	36
Cuadro 4. Criterios de interpretación del N total (Tavera, 1985) y fósforo extractable (CSTPA, 1980).	36
Cuadro 5. Características de los experimentos de algodón.	45
Cuadro 6. Matriz de gradación entre los niveles de generalización establecidos por el factor pendiente (t) y las clases de capacidad de uso.	46
Cuadro 7. Matriz de gradación entre los niveles de generalización establecidos para las características del factor suelo (l) y las clases de capacidad de uso.	47
Cuadro 8. Matriz de gradación entre los niveles de generalización establecidos para las características del factor de riesgo de erosión (r) y las clases de capacidad de uso.	47
Cuadro 9. Matriz de gradación entre los niveles de generalización establecidos para las características del factor deficiencia bioclimática (b) y las clases de capacidad de uso.	48
Cuadro 10. Coeficientes K_c , K_y y K_{ys} de algunos cultivos seleccionados	51
Cuadro 11. Rangos de reducción anual de producción establecidos para cada clase de deficiencia hídrica.	51
Cuadro 12. Rangos de número de meses para cada clase de riesgos de heladas.	52
Cuadro 13. Conjunto de clases bioclimáticas estimadas por el modelo <i>Terraza</i> .	52
Cuadro 14. Matriz de gradación de los diferentes niveles de generalización de la <u>profundidad útil</u> , como determinante de la facilidad para el desarrollo de raíces y de las disponibilidades de agua.	54

Cuadro 15. Matriz de gradación de los diferentes niveles de generalización de la <u>textura</u> , como determinante de distintas cualidades fundamentales del suelo y de acuerdo con las exigencias de cultivo.	55
Cuadro 16. Matriz de gradación de los diferentes niveles de generalización del <u>drenaje</u> , como determinante de las disponibilidades de agua y oxígeno del suelo y de acuerdo con las exigencias de cada cultivo.	55
Cuadro 17. Matriz de gradación de los diferentes niveles de generalización del <u>contenido total en carbonato</u> , de acuerdo con la tolerancia de cada cultivo.	55
Cuadro 18. Matriz de gradación de los diferentes niveles de generalización de la <u>salinidad</u> , de acuerdo con la tolerancia de cada cultivo.	56
Cuadro 19. Matriz de gradación de los diferentes niveles de generalización de la <u>saturación de sodio</u> , de acuerdo con la tolerancia de cada cultivo.	57
Cuadro 20. Matriz de gradación de los diferentes niveles de generalización del <u>grado de desarrollo del perfil</u> como determinante de la disponibilidad de nutrimentos y de acuerdo con las exigencias del cultivo.	57
Cuadro 21. Leyenda fisiográfica-edafológica del municipio de Tuxpan, Nayarit.	60
Cuadro 22. Clasificación de suelos salinos y sódicos de las unidades de mapeo del municipio de Tuxpan, Nayarit.	68
Cuadro 23. Disponibilidad de nutrimentos en suelos del municipio de Tuxpan, Nayarit.	70
Cuadro 24. Variables calculadas por la CDBm	71
Cuadro 25. Capacidad de retención de humedad de las unidades de mapeo de suelos del municipio de Tuxpan, Nayarit.	73
Cuadro 26. Disponibilidad de agua para riego y riesgo de inundaciones del municipio de Tuxpan, Nayarit.	74
Cuadro 27. Evaluación cualitativa de la capacidad general de uso de las tierras del municipio de Tuxpan, Nayarit ; utilizando el modelo CERVATANA de MicroLEIS 4.1.	76
Cuadro 28. Evaluación de las limitaciones bioclimáticas de las tierras del municipio de Tuxpan, Nayarit ; utilizando el modelo TERRAZA de MicroLEIS 4.1.	78
Cuadro 29. Resumen de la evaluación de las unidades de tierra parra 12 cultivos con ALMAGRA-TUXPAN.	80

Cuadro 30. Superficies del municipio de Tuxpan, Nayarit, con diferentes niveles de aptitud de cultivos.	80
Cuadro 31. Superficies potencialmente cultivables por tipos de uso de la tierra.	81
Cuadro 32. Capacidad agrícola de las unidades de mapeo de suelos del municipio de Tuxpan, Nayarit.	86
Cuadro 33. Superficie sembrada (ha) de los principales cultivos agrícolas durante los años 1994-1998, en el municipio de Tuxpan, Nayarit.	100
Cuadro 34. Superficie cosechada y valor de la producción de los cultivos de Tuxpan, Nayarit, ciclos P.V. 1996/97 y O.I. 1997/97.	101
Cuadro 35. Rango de variación de las características de los pozos 7 y 23.	110
Cuadro 36. Rango de variación de las características de los pozos 12, 14, 16, 24 y 34.	114
Cuadro 37. Rango de variación de las características de los pozos 15, 18, 19, 21 y 23.	115
Cuadro 38. Rango de variación de las características de los pozos 9 y 10.	117
Cuadro 39. Rango de variación de las características de los pozos 20, 28 y 29.	118
Cuadro 40. Rango de variación de las características de los pozos 17 y 22.	120
Cuadro 41. Rango de variación de las características de los pozos 25, 26 y 27.	122
Cuadro 42. Rango de variación de las características de los pozos 30, 31 y 32.	123
Cuadro 43. Rango de variación de las características de los pozos 8 y 11.	125
Cuadro 44. Resumen de las limitantes y acciones de manejo agrícola del municipio de Tuxpan, Nayarit.	138
Cuadro 45. Rendimiento de algodón en hueso por variedad, ciclo y sitio experimental.	140

Indice de Figuras	Página
Figura 1. Localización de la zona en estudio	22
Figura 2. Riesgo de inundaciones	25
Figura 3. Tenencia de la tierra	30
Figura 4. Proceso de evaluación de tierras del municipio Tuxpan, Nayarit.	32
Figura 5. Fase de definición de unidades de mapeo de suelos.	33
Figura 6. Criterios de selección de los tipos de utilización de la tierra (TUTs).	43
<i>Figura 7. Esquema general del modelo Cervatana</i>	46
Figura 8. Esquema general del modelo Terraza	50
Figura 9. Esquema seguido en la elaboración del modelo Almagra, mostrando las influencias directas e indirectas de las características seleccionadas en la producción de cultivos a través de las cualidades.	53
Figura 10. Unidades fisiográficas y de mapeo de suelos	61
Figura 11. Regímenes de humedad del suelo	72
Figura 12. Capacidad general de uso de las tierras	76
Figura 13. Frijol	82
Figura 14. Sorgo	82
Figura 15. Maíz	82
Figura 16. Tabaco burley	82
<i>Figura 17. Tabaco virginia</i>	83
Figura 18. Chile	83
Figura 19. Jitomate	83

Figura 20. Melón	83
Figura 21. Sandía	84
Figura 22. Jícama	84
Figura 23. Cacahuate	84
Figura 24. Algodón	84

RESUMEN

Se determinó el potencial agrícola del municipio de Tuxpan, Nayarit, considerando los siguientes cultivos más importantes de la zona: frijol, sorgo, maíz, tabacos tipo burley y virginia, chile, jitomate, melón, sandía, jícama y cacahuete. Adicionalmente y como otra opción adaptativa al medio, algodón.

El área en estudio se localiza en la llanura costera norte de Nayarit, tiene una población de 31,778 habitantes que se distribuye en 11 localidades con tierra bajo tenencia predominantemente ejidal y agricultura como actividad económica importante.

El método incluyó el análisis de variables climáticas (temperatura, precipitación y evapotranspiración) y el levantamiento edafológico que incluye la cartografía de suelos, identificación de áreas con problemas de salinidad y, la disponibilidad de nutrimentos para los cultivos; al efecto, se manejaron datos de 4 estaciones climatológicas y aereofotografías de la zona; habiéndose descrito 35 perfiles de suelo y tomado 134 muestras para análisis de laboratorio. Para la evaluación de tierras se aplicó el Sistema Integrado para la Transferencia de Datos y Evaluación Agro-ecológica de Tierras (MicroLEIS 4.1), con algunas adaptaciones relacionadas con el lugar y el mejoramiento del modelo *Almagra*.

Sobre amplitud total de 30,670 ha estudiadas, se delimitaron 20 unidades de mapeo de suelos. Por nivel de salinidad, el 43% de los suelos no presentan limitación para el desarrollo de cultivos, el 11% cuentan con limitación moderada, mientras que el 46% son inadecuadas para fines agrícolas.

Se determinaron niveles bajos de nitrógeno y fósforo, siendo altos los de calcio, magnesio y potasio; circunstancia debida a la gran demanda de N y P que tienen los cultivos, falta de suplemento para el desarrollo de las plantas y la práctica del monocultivo.

La comparación de las cualidades de las unidades de mapeo de suelos con los requerimientos de los cultivos seleccionados permitió determinar los niveles de aptitud; las mejores tierras identificadas para fines agrícolas son las unidades "semizona", "tierras altas", "llanura", "canal" y "antiguas lagunas"; y como no aptas o marginales, "cerril", "la punta", "salitre", "inundable", "lagunas", "marisma" y "manglar".

De acuerdo con las compatibilidades encontradas se hicieron recomendaciones de manejo, las cuales están relacionadas con las limitantes para el desarrollo de los cultivos, como por ejemplo, la deficiencia hídrica, compactación, presencia de texturas finas o gruesas, el drenaje externo deficiente y niveles altos de sales y sodio intercambiable.

SUMMARY

The agricultural potential of the township of Tuxpan, Nayarit was determined by considering the following most important crops of the zone: bean, sorghum, corn, burley and virginia tobacco, chile, tomato, melon, watermelon, jicama and peanut. Another adaptable option for the environment is cotton.

The area being studied is located in the northern coastal plains of Nayarit. It has a population of 31,778 habitants that are distributed among 11 locations, which are predominately ejidal owned land. Agriculture is an important economic activity.

The method included an analysis of climatic variables (temperature, precipitation and evaporate-transpiration) and soil survey, which included the mapping of soils, identification of areas with salinity problems and the availability of nutrients for the crops; in fact, data was used from 4 climatology stations and aerial photographs of the zone; having described 35 soil profiles and taken 134 samples for laboratory analysis. For the land evaluation, the Integrated System for the Transfer of data and Agri-ecological Evaluation of Land (MicroLEIS) was applied, with some adaptation related to the place and improvement of the Almagra model.

From the total amount of 30,760 hectares studied, 20 units of mapped soil were delimited. By salinity levels, 43% of the soils present no limitation for developing crops, 11% have moderate limitations and 46% are inadequate for agriculture means.

Low levels of nitrogen and phosphorus were determined and high levels of calcium, magnesium and potassium were found, this circumstance is due to the great demand of N and P which plants and the practice of monoculture.

Comparison of the unit qualities of the soils mapping with the requirements of the selected crops permitted the levels of aptitud to be determined; the best lands identified for agricultural means are the units "semizone", "high land", "plain", "canal" and "ancient lagoons"; and as not apt or marginal, "mountainous", "the point", "saltpetre", "floodable", "lagoons", "salt marsh" and "mangrove".

According to the capabilities found handling recommendations, were made which are related to the limitations for the development of the crops, for example, the hydric deficiency, compactation, presence of fine or thick textures, deficient external drainage and high levels of interchangeable salts and sodium.

I. INTRODUCCION

Esta tesis contempla la aplicación de un proceso de evaluación de tierras mediante el uso de modelos basados en los esquemas desarrollados por la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Los modelos se originaron para condiciones mediterráneas y fueron adaptados a las condiciones locales con base en la información disponible.

Para generar las unidades de mapeo a evaluar se realizó un levantamiento edafológico, el cual consistió en un análisis fisiográfico-edafológico apoyado en fotografías aéreas, muestreo de perfiles de suelos y análisis de laboratorio. En forma paralela al levantamiento de suelos, se obtuvieron datos de la cobertura vegetal, el uso del suelo, hidrología y los informes de las estaciones climatológicas más próximas a la zona en estudio. Los trabajos de campo, laboratorio y gabinete se realizaron durante los años 1995 a 1997.

Para el corrimiento de los modelos se hicieron mejoras que permiten su uso en latitudes distintas a las de origen, por lo que se convierten en herramientas más universales.

La importancia de evaluar las tierras consiste en determinar el potencial agrícola, mediante el análisis de las características del clima y el suelo, con el fin de apoyar las decisiones públicas para reordenar y mejorar los sistemas productivos agrícolas.

A los productores en lo individual, les ayuda en tomar la decisión de las mejores opciones de cultivo para establecer en sus parcelas, así como, las actividades de manejo relacionadas con el mejoramiento de los terrenos para el lograr mayores rendimientos.

El estudio se llevó a cabo en el municipio de Tuxpan, que se localiza en la llanura costera norte de Nayarit, donde la actividad económica más importante es la agricultura, a base de cultivos como frijol, sorgo y maíz dentro de los básicos; en las hortalizas destacan jitomate, chile, jícama, melón y sandía, y como producto industrial, el tabaco.

Esta región tiene 11 localidades distribuidas en 6 dotaciones ejidales, que ocupan el 97.6% del espacio municipal; de la población de Tuxpan (31,778), el 28.2% de habitantes en edad escolar tienen primaria incompleta, el 16.5% primaria completa y el 41% niveles superiores a la primaria (INEGI, 1991). Del total de viviendas (7,590), el 35.4% carecen de drenaje, el 13.2% no tienen agua entubada y el 1.5% adolece de energía eléctrica (INEGI, 1996).

Por otra parte, Tuxpan ostenta recursos naturales ya sea para fines agropecuarios, pesquería, acuacultura, desarrollo urbano y turístico; actividades que en muchos de los

casos se están dando sin una planeación adecuada, lo cual repercute en bajos rendimientos, desequilibrios ecológicos, pobreza y en general una disminución en la calidad de vida de los habitantes (INEGI, 1991 y 1996).

Con relación a la planeación agrícola, la información disponible está dispersa y generalizada, por lo que es insuficiente para la toma de decisiones a escala municipal. La falta de datos sobre el origen, distribución y propiedades de los suelos (fertilidad, salinidad, textura, permeabilidad), las condiciones climáticas e hidrológicas imperantes y la tecnología empleada, ha limitado la incorporación de elementos de evaluación de tierras al proceso de planeación; por tanto, los resultados muestran bajos rendimientos en la mayoría de los cultivos comparados con otras regiones líderes, por ejemplo el rendimiento promedio del frijol es 15% más alto en Baja California y Sonora; mientras el sorgo, rinde 32% más en Guanajuato y 44% más en Querétaro.

La selección de la zona en estudio surge durante la difusión de los resultados del levantamiento de suelos, la evaluación de la capacidad general de uso y los niveles de aptitud para caña de azúcar de la reserva ecológica Sierra de San Juan, Nayarit (Bojórquez y López, 1995), donde surgió el interés del presidente municipal de Tuxpan por promover en su región de influencia, un estudio con alcances para la mayoría de los cultivos tradicionales y a la vez que planteara opciones más rentables para la región.

Una vez interesado el Presidente, convocó la participación de los campesinos integrantes de las mesas directivas de los 6 ejidos del municipio, con resultados satisfactorios que dieron origen al proyecto de evaluación de tierras de esta zona, el cual fue financiado por la Universidad Autónoma de Nayarit a través de la Coordinación de Investigación Científica y el Fondo de Apoyo a la Investigación (FAIN), el Sistema Estatal de Educación, el Ayuntamiento de Tuxpan y la participación logística y a veces económica por parte de los ejidos involucrados. Para financiamiento de asesorías colaboraron la Dirección de Intercambio Académico de la Universidad Nacional Autónoma de México y el Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, España.

II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1. Objetivo general

Determinar el potencial agrícola del municipio de Tuxpan, Nayarit, mediante la aplicación de un proceso de evaluación de tierras.

2.2. Objetivos específicos

- Delimitar las unidades de mapeo de suelos y sus características.
- Convertir las características de las unidades de mapeo de suelos a cualidades.
- Seleccionar los cultivos por evaluar y determinar sus requerimientos.
- Comparar las cualidades de las unidades de mapeo de suelos con los requerimientos de los cultivos.

En forma complementaria se plantean dos objetivos secundarios:

- Experimentar con variedades de algodón para observar su respuesta de adaptación y rendimientos.
- Contribuir con información para el diseño de un plan de manejo agrícola.

2.3. Hipótesis

El proceso de evaluación de tierras permite determinar el potencial agrícola, apoyar decisiones sobre el reordenamiento de cultivos y la mejora de los sistemas productivos. Por lo tanto, es probable relacionar las cualidades de las unidades de mapeo de suelos del municipio de Tuxpan con los requerimientos de los cultivos tradicionales y opcionales, para generar recomendaciones en función de la compatibilidad encontrada.

III. MARCO TEORICO

3.1. Conceptual

3.1.1. Concepto de suelo

Buckman y Brady (1977) señalan diferentes puntos de vista para describir el suelo, por ejemplo para un ingeniero en minas, es el conjunto de restos que cubren las rocas y minerales que el debe trabajar, por lo tanto es un estorbo que debe separar; para el ingeniero de caminos puede significar el material sobre le cual debe asentarse una carretera; para el ingeniero agrónomo significa la capa arable que sirve de sostén y alimento para las plantas cultivadas; mientras que, un productor considera el suelo como un hábitat para sus plantas, a partir del cual obtiene su forma de vida. En general, el suelo es un término que se refiere a una colección de cuerpos naturales con profundidad, así como anchura, cuyas características sólo pueden ser relacionadas indirectamente a su vegetación normal y uso.

Para FitzPatrick (1985), el suelo es el continuo del espacio-tiempo que forma la parte superior de la corteza terrestre.

Aguilera (1989), aborda el suelo como un ecosistema, en donde atribuye su formación a la relación que guarda con los procesos pedogenéticos y edafogénicos, procesos en los que intervienen la entrada y salida de energía.

Mientras que Foth (1990) destaca algunas definiciones del suelo como un recurso natural, la tierra en que pisamos, el medio para el crecimiento de las plantas, la capa de roca intemperizada o una mezcla de materiales. También señala que el pedón es el volumen menor de un suelo al que se le puede seguir dando ese nombre y tiene una forma aproximadamente poligonal; dependiendo de su variabilidad su extensión puede variar de 1 a 10 m²; a la suma de varios pedones se le denomina polipedón. El pedón se estudia mediante la exposición vertical de los horizontes del suelo (perfil) y los polipedones a través de unidades del paisaje.

En su significado tradicional, el suelo según Ortiz Villanueva y Ortiz-Solorio (1990), se considera como el medio natural para el desarrollo de las plantas y está limitado en profundidad Hasta donde penetran las raíces.

Ponce (1993) define al suelo como un sistema complejo, abierto y dinámico, el cual se deriva de la interacción de múltiples factores formadores como son el material parental, el clima, el relieve y topografía, el efecto de los organismos y el tiempo.

En resumen, el suelo es un cuerpo tridimensional continuo y coherente que cubre porciones de la superficie terrestre, desarrollado a partir de materiales minerales y orgánicos bajo la influencia del clima y del medio natural, como son el material parental, relieve y organismos, todo ello, en un tiempo determinado.

3.1.2. Concepto de tierra

De acuerdo con Christian y Stewart (1968), tierra es geográficamente un área específica de la superficie terrestre; sus características se refieren a todos los atributos razonablemente estables o cíclicamente predecibles de la biosfera, 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 de las interacciones de todos ellos.

"Tierra o terreno" es un término que incluye entre sus características no sólo el suelo, sino a otros atributos físicos, tales como el abastecimiento de agua, la cubierta de plantas existentes y la localización respecto a otras unidades" (Buckman y Brady, 1977).

Para Duch, *et al.* (1980), tierra es una unidad espacial, que tiene valor diferente para cada propósito de uso.

Huizing (1986), denomina tierra a un área geográfica con características específicas, las cuales se emplean como base para la evaluación, por lo regular es cartografiable.

Por otra parte, Ponce (1993) define como "tierra" a un área de la superficie terrestre la cual abarca razonable, estable y predictiblemente los atributos cíclicos relacionados con la atmósfera, suelo, subsuelo, topografía, hidrología, poblaciones de plantas y animales y los efectos de actividades humanas pasadas y presentes, que son relevantes para este propósito.

También señala que usualmente una unidad de tierra es diferente de otras áreas, la cual posee suficiente uniformidad interna en sus características relevantes que puede ser manejada de la misma forma, además puede ser tratada como una entidad simple y luego podría convertirse en una unidad de manejo de suelo.

Una unidad de manejo de suelo comprende una o excepcionalmente más de una unidad de tierra, con características relevantes y uniformes que ameriten el mismo tipo de manejo, sobre toda su extensión espacial. Las unidades de manejo de tierra son los objetos de evaluación.

3.1.3. Evaluación de tierras

La evaluación de tierras permite determinar las alternativas de uso que es posible establecer en una determinada área, sirve como base para la planeación del uso del suelo mediante la selección de las unidades de mapeo con la mejor aptitud para un cultivo específico (Beek, 1978).

Van Diepen et al., (1991) define la evaluación de tierras como "todo método para explicar o predecir el potencial de uso de la tierra" y perfila los avances de la evaluación de tierras desde la intuición hacia la cuantificación.

Para Ponce (1993), la evaluación de tierras es una disciplina que incluye la necesidad de interpretaciones prácticas derivadas de los resultados del inventario de recursos, los cuales proveen información para la interpretación de la aptitud de la tierra para diferentes alternativas de uso.

Rossiter (1996a) comenta que es un proceso sumamente importante para la planificación del uso racional y sostenido del suelo, ya que predice el comportamiento de la tierra bajo usos específicos, en términos de beneficios, costos y efectos ambientales.

En una base teórica expuesta por Rossiter (1996b), propone que los modelos para la evaluación de tierras estén basados en: (1) análisis espaciales, (2) concepto dinámico de los recursos naturales y el contexto socioeconómico, (3) concepto dinámico de la aptitud de tierras, (4) basada en cualidades de la tierra, (5) aptitud expresada por restricciones físicas y la "utilidad" económica, (6) tipos de utilización de la tierra (TUTs) homogéneos, (7) escalas diversas, (8) aptitud de áreas geográficamente relacionadas.

De acuerdo con FAO (1976; 1983), el proceso para la evaluación de tierras incluye los siguientes pasos:

1. Identificación de objetivos.

Nachtergaele (1993), señala los posibles objetivos de una evaluación de tierras:

- a) Predicción de rendimientos.
- b) Generación de recomendaciones de manejo, mediante estudios a nivel de parcela o ejido.
- c) Definición de rangos de aptitud de ciertos ambientes para diferentes cultivos.
- d) Resultados para ser usados en la planeación municipal, distrital o estatal.

2. Fase de inventarios de recursos y colección de datos. En esta fase se definen las unidades de mapeo a evaluar (LUMs).

Los inventarios de recursos es una de las actividades principales del proceso de evaluación de tierras, proveen la delimitación geográfica, datos e información de los las unidades de mapeo que serán evaluadas; éstas son áreas de terreno distintivamente diferentes de otras en sus atributos y con suficiente uniformidad interna en sus características para su manejo (Ponce, 1993).

El tamaño de las unidades y el grado de detalle requerido para la definición de las unidades de mapeo depende de la escala y el propósito del trabajo (Sims, 1993). Los estudios pueden realizarse a pequeña escala, aquellos destinados a importantes extensiones y los estudios a escalas grandes, orientados a superficies pequeñas e intermedias, a través de levantamientos semidetallados y detallados.

Las escalas pequeñas son aplicadas a nivel de país, en extensas regiones dentro de un país o a nivel estatal, son equivalentes a levantamientos de reconocimiento e incluyen la delimitación de áreas sobre la base de distintos complejos ecológicos, siendo expresados en patrones del paisaje.

Las escalas intermedias y grandes se utilizan para inventarios de una región fisiográfica a nivel distrital, municipal, ejidal o unidad de producción. Se apoyan en el uso de fotografías aéreas, trabajo intensivo de campo y en técnicas geoestadísticas.

Conforme se pasa de los inventarios de pequeña a grandes escalas, los criterios de separación de unidades de mapeo van desde los fisiográficos, climáticos, la distribución de clases de suelos, hasta la definición de celdas, en formatos raster para el mapeo de propiedades de suelos.

En México, se cuenta con un levantamiento fisiográfico para el país entero, el cual consiste en una regionalización jerárquica (provincias, regiones y subregiones) que puede servir para la colección y organización de levantamientos más detallados (Cuanalo, et al, 1989). Algunas entidades federativas como es el caso de Nayarit, cuentan con una regionalización fisiográfica, con niveles de separación de provincias, subprovincias y sistemas de topoformas (SPP, 1981a).

Respecto a los inventarios climáticos se parte de la información cartográfica disponible y de los datos de las estaciones climatológicas o meteorológicas distribuidas en los diferentes países. En caso de México se cuenta con cartas a diferentes escalas (UNAM y CETENAL, 1970; SPP, 1981a y SPP, 1981b) y una red de estaciones con diferentes niveles de calidad de datos, los cuales se analizan para obtener las principales variables climáticas (temperatura, precipitación, evapotranspiración, radiación solar, entre otras).

Con relación al inventario del patrón de los suelos, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (1993) propone 5 tipos de levantamientos: 1º orden o muy intensivo (a escala 1:15,840 o más grande), 2º orden o intensivo (1:12,000 a 31,680), 3º orden o semi-extensivo (1:20,00 a 1:63,360), 4º orden o extensivo (1:63,360 a 1:250,000) y 5º orden o muy extensivo (1:250,000).

En el desarrollo de la metodología para levantamientos edafológicos, el Centro Interamericano de Fotointerpretación (CIAF) ahora Instituto "Agustín Codazzi" de Colombia, ha incorporado la interpretación de imágenes por medio del análisis fisiográfico y la clasificación de suelos por el Soil Taxonomy, diseñando 6 clases de

estudios: 1º orden o muy detallado (escalas inferiores a 1:10,000), 2º orden o detallado (1:10,000 a 1:25,000), 3º orden o semidetallado (1:25,000 a 1:50,000), 4º orden o general o de reconocimiento (1:50,000 a 1:100,000), 5º orden o exploratorio (1:250,000 a 1:500,000) y 6º orden o esquemáticos (mayor a 1:500,000) (Villota y Forero, 1986).

La definición de las unidades de mapeo de suelos se realiza mediante el análisis fisiográfico (Botero, 1978; Ortiz y Cuanalo de la Cerda, 1984; Villota, 1991), en el cual se genera una leyenda, que durante el mapeo se mejora continuamente.

De acuerdo con Villota y Forero (1986), el muestreo de campo puede ser hecho sistemáticamente aplicando varios sistemas: 1) red rígida, 2) red flexible, 3) transectos y 4) mapeo libre.

La red rígida es la más laboriosa de ejecutar, se usa únicamente en levantamientos detallados o en áreas donde es difícil hacer predicciones acerca del cambio en las características internas de los suelos, por no haber una buena noción de la relación entre paisaje y suelo. Este sistema tiene la ventaja de que provee de información precisa que sirve para cálculos estadísticos; sin embargo muchas de las observaciones se duplican y otras se hacen sobre puntos no representativos en zonas de transición.

La red flexible, es una alternativa a la anterior, en la cual se especifica la densidad mínima y promedio de observaciones, se utiliza cuando el patrón de suelos es muy intrincado. Tanto la red rígida como la flexible se usan para el mapeo temático de propiedades individuales del suelo como son salinidad, drenaje, pH, nutrimentos o elementos contaminantes. Por lo regular los mapas temáticos son producidos a grandes escalas y considerados dentro de los levantamientos para propósitos especiales o muy detallados.

El levantamiento en transectos se emplea cuando la dirección general de los límites de suelos es ya conocida o cuando se presume al menos su orientación, por lo regular se apoya con fotointerpretación.

El mapeo libre permite caracterizar unidades de suelos cuyos límites y sitios de muestreo han sido establecidos por fotointerpretación, en esta técnica el edafólogo directamente decide el número de observaciones (perfiles y barrenaciones) de acuerdo al presupuesto y objetivos del trabajo, por lo que es el procedimiento más común en los levantamientos edafológicos. En México ha sido ampliamente utilizado debido a la presencia de relieves muy escarpados que controlan la génesis y morfología de los suelos.

Una vez que el rango de variación de suelos de un área ha sido establecido, se localizan los perfiles dentro de clases, cada una de las cuales incluye un concepto central o perfil modal. Durante la definición de la extensión de estas clases, el

levantador genera un modelo mental de la relación entre el paisaje y perfiles de suelo; lo cual en ocasiones acepta inclusiones o impurezas de otras clases en una unidad de mapeo dada.

Las unidades de mapeo de suelos pueden incluir una sola clase de suelo (monotáxicas) o más de una (politáxicas). En las primeras, está la *consociación*, la cual consiste en una unidad con cuerpos de suelos similares, mientras que, en las segundas, están la *asociación* y el *complejo*, que encierran 2 o más clases de suelos dominantes y que éstos ocupan la parte más significativa del área, además los suelos se encuentran asociados geográfica y fisiográficamente; también incluye la *disociación*, que encierra dos o más clases de suelos además de inclusiones, que están asociados fisiográficamente pero no geográficamente y la *inasociación*, que incluye dos o más clases de suelos pero con diferente potencialidad, pueden tener asociación geográfica pero no fisiográfica. Finalmente, las *inclusiones* son aquellas que por su tamaño no son cartografiables o porque presentan un patrón muy intrincado y es difícil separar sus límites.

3. Fase de conversión de las características de cada LUMs a cualidades de la tierra.

Durante el proceso del mapeo sistemático, cada una de las unidades de tierra son muestreadas para definir sus características y propiedades más sobresalientes; la unidad de observación es el paisaje y el perfil del suelo, y los horizontes del perfil, las formas de medida. Posteriormente estas mediciones se convierten en cualidades.

Las cualidades son atributos de la tierra las cuales están directamente relacionadas a los requerimientos de usos específicos agrícolas del suelo (Verheye, 1993). Esto es, a partir de las características y propiedades de cada unidad de mapeo se establecen los niveles de limitación para cada cultivo seleccionado.

4. Selección de los tipos de utilización de la tierra (TUTs).

Un tipo de utilización de la tierra es una forma específica del uso del suelo, bajo condiciones biofísicas y socioeconómicas determinadas (actuales y futuras). Puede ser descrito por especificaciones técnicas o requerimientos. Tradicionalmente los TUTs han sido definidos en términos de tipos de cultivos (Nachtergaele, 1993).

Los criterios de selección de los TUTs para la evaluación en una zona determinada, por lo regular, se orientan hacia los cultivos tradicionales o especies que pueden ser alternativas para esa región. Dependiendo de los objetivos planteados se seleccionan TUTs a nivel de cultivos (maíz, frijol, etc.), por alguna condición de infraestructura (maíz de riego, maíz de temporal) o por sistemas de manejo (maíz de riego con uso de fertilizante, maíz de riego sin uso de fertilizante).

5. *Determinación de los requerimientos de cada TUTs seleccionado.*

Los tipos de uso agrícola tienen requerimientos específicos, los cuales tienen que ser verificados por variedad local. Para cada uno de los requerimientos se establecen las condiciones óptimas y marginales para el crecimiento y producción del cultivo, de seguido este tipo de información no es fácil de obtener; por lo regular derivan de la literatura y la experiencia agronómica local (Verheye, 1993).

Este mismo autor, comenta que los requerimientos pueden ser de tipo climático (temperatura, humedad, luminosidad y otros riesgos climáticos en períodos críticos); edáficos (aquellas condiciones que afecten la germinación y maduración, el desarrollo radicular y anclaje, disposición de agua y oxígeno en la zona de raíces, disponibilidad de nutrimentos y la presencia de elementos tóxicos); aspectos relacionados con el manejo (pendiente, capas duras, pedregosidad y rocosidad); y requerimientos necesarios para la conservación (cobertura vegetal).

Por lo regular, los requerimientos son compilados en tablas, las cuales definen los siguientes aspectos:

- Situación óptima. Las mejores condiciones para el crecimiento de la planta.
- El rango de condiciones en las que son menos óptimas pero aún aceptables.
- Situación insatisfactoria. Comprende los valores críticos arriba de los cuales la producción económica del cultivo ya no es recomendable.

La cuantificación de rangos óptimos y marginales responde a condiciones insatisfechas que pueden ser directamente factores de clasificación o indirectamente a través de la introducción de grados de limitación.

FAO (1983) sugiere los siguientes criterios para definir los grados de limitaciones:

- 1) Sin limitación. El rango de condiciones para características y cualidades de la tierra que son altamente compatibles con el uso específico del suelo.
- 2) Limitación ligera. Las condiciones son tales que tienen pequeños efectos adversos sobre el tipo de utilización seleccionado.
- 3) Limitación moderada. Las condiciones pueden llegar a tener efectos adversos sustanciales sobre el uso de la tierra, sin embargo, el cultivo puede ser practicable y medianamente rentable.
- 4) Limitación severa. Condiciones que causan que el uso agrícola del suelo sea practicable, pero no rentable.
- 5) Limitación muy severa. Condiciones que provocan que el uso del suelo específico llegue a ser impracticable y no económico.

6. Fase de confrontación de los requerimientos de cada TUTs con las cualidades de cada LUMs.

La confrontación es el procedimiento analítico y comparativo de los requerimientos por tipo de uso agrícola del suelo con las cualidades de las tierras. Con este proceso se identifican los grados o niveles de limitación para el crecimiento y maduración de un cultivo determinado (Verheye, 1993).

El resultado de este proceso genera diferentes niveles de limitación para cada cultivo, de acuerdo con las variables consideradas en la evaluación; posteriormente, dichos niveles son convertidos a clases de aptitud, mediante varios métodos, entre ellos están:

- 1) Clasificación subjetiva. El evaluador tiene un buen conocimiento de la ecología y tecnología disponible y del tipo de uso agrícola y emite un juicio subjetivo que puede ser tomado en consideración. Este método no es recomendado cuando se tienen otras posibilidades de evaluación.
- 2) Ley de mínimo. Asume que el factor menos favorable en el análisis global afecta el nivel de aptitud. El uso de esta técnica para la clasificación individual generalmente se basa en un número limitado de características. Sin embargo, la principal ventaja de este método es su simplicidad.
- 3) Combinación del grado y mínimo de limitaciones. Este proceso combina el factor menos apropiado (grado de limitación) con el efecto interactivo y multiplicador de varias limitaciones (número).
- 4) Métodos paramétricos. A cada clase de aptitud es asignado un valor numérico, el cual se ubica en el rango de 0.0 a 1.0. Estos valores son múltiplos y el producto es reconvertido a clases de aptitud con datos fijos indexados, por ejemplo, 0.8 a 1.0 = S1; 0.4 a 0.8 = S2; 0.2 a 0.4 = S3 y 0.0 a 0.2 = N. La ventaja de este método es su facilidad de aplicación, además con mucha importancia para evaluadores con poca experiencia en la práctica de producción de cultivos. La mayor desventaja de esta herramienta es que el resultado final es muy dependiente del número de cualidades consideradas.

3.1.4. Sistemas automatizados para evaluación de tierras

Existen sistemas automatizados para realizar o apoyar algunas etapas del proceso de evaluación de tierras, es el caso del inventario de los tipos de uso agrícola del suelo y la obtención de sus requerimientos, la FAO ha estado desarrollando bases de datos con dos niveles de información; en el primer nivel, llamado ECOCROP 1, abarca alrededor de 1,200 cultivos con datos para identificar las especies candidatas para ciertos límites de suelos y climas, dentro de las cuales cualquiera de las especies seleccionadas puede crecer satisfactoriamente; el segundo nivel, se trata de una base de datos (ECOCROP 2), la cual contiene información sobre el proceso de un cultivo por etapa de crecimiento (por ejemplo, la variación de la fotosíntesis

con el cambio de temperatura, intensidad de la luz, etc.), estas relaciones son mostradas en forma de gráficos o mediante expresiones matemáticas (Sims, 1993).

Con relación a las bases de datos derivadas de los inventarios de recursos, FAO en 1989 en colaboración con ISRIC (Centro Internacional de Información de Suelos) desarrollaron una base de datos de suelos (SDB), cuya función es almacenar, clasificar y sistematizar datos de los estudios edafológicos, referente a la descripción del sitio de muestreo, el perfil del suelo (basado en las guías de FAO para la descripción de perfiles de suelo) y los datos analíticos del laboratorio (Nachtergaele, 1993).

Por otra parte, la misma FAO desarrolló una base de datos climática llamada METEO, en la cual se capturan datos agroclimáticos directos o datos ya digitalizados por ejemplo de CLICOM; incluye algunas utilidades para calcular los rangos de evapotranspiración actual y potencial (Nachtergaele, 1993).

Para la captura de unidades de mapeo, la FAO y el ISRIC han trabajado en el desarrollo de una base de datos digital del terreno y suelos del mundo (SOTER), la cual provee de una metodología para describir los componentes del suelo y de la tierra en un paisaje determinado (Nachtergaele, 1993).

Con un sentido más amplio, existen sistemas expertos que integran algunas de las herramientas anteriores y modelos de decisión para clasificar la aptitud del suelo. Entre ellos destaca MicroLEIS (Sistema Integrado para la Transferencia de Datos y Evaluación Agroecológica de Tierras) y ALES (The Automated Land Evaluation System); además de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) que permiten hacer análisis con mapas y generar otros, a partir de dichos análisis.

MicroLEIS

MicroLEIS (Sistema Integrado para la Transferencia de datos y Evaluación Agroecológica de Tierras) constituye una herramienta para transferir e interpretar la información agroecológica, mediante datos georeferenciados y modelos computarizados de evaluación; fue desarrollado por el Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, España (IRNAS), dependiente del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). El sistema se compone por tres grandes apartados (De la Rosa, 1996).

1. Inventario de recursos naturales, incluye la SDBm (base multilingüe de datos suelos), la CDBm (base de datos mensuales de clima) y actualmente se está incorporando la MDBm (base de datos de manejo).
2. Evaluación de la calidad de las tierras, incluye modelos orientados a aspectos de producción: TERRAZA (deficiencia bioclimática), CERVATANA (capacidad

general de uso), ALMAGRA (aptitud relativa agrícola), SIERRA (aptitud relativa forestal), ALBERO (productividad agrícola) y FCCAS (fertilidad natural agrícola).

3. Evaluación de la vulnerabilidad de las tierras, incluye modelos orientados a riesgos de degradación: RAIZAL (erosión hídrica y eólica), PANTANAL (contaminación específica) y ARENAL (contaminación general).

A continuación se explican las bases de datos y modelos más comúnmente utilizados en la evaluación de tierras para usos agrícolas específicos:

Base multilingüe de datos de suelos: la SDBm es una herramienta de fácil manejo para organizar, almacenar y analizar información básica de suelos, mediante el uso de una computadora. Se trata de una mejora de la base de datos de suelos SDB; la ampliación se refiere al desarrollo informático a partir de la versión en inglés para 3 idiomas diferentes (inglés, francés y español) y a la inclusión de ciertas prestaciones especiales referidas al tratamiento estadístico, gráfico y de transferencia de datos (FAO-ISRIC y CSIC, 1995).

La SDBm facilita el transpaso de los datos a sistemas automatizados de evaluación de tierras, sistemas de información geográfica y modelos de simulación. Permite la captura de perfiles de suelos individuales, introduciendo la información en forma separada para cada perfil; los datos son agrupados en los siguientes bloques: descripción de campo y de horizontes, determinaciones analíticas generales, de sales solubles y físicas.

La información morfológica del lugar y de los horizontes es almacenada, por lo regular, en formato de códigos, de acuerdo con el sistema de codificación de SDBm; sin embargo, este sistema es flexible y forma parte de la base de datos, incluye por defecto una serie de códigos y clases, pudiéndose hacer adiciones y cambios.

Los datos almacenados pueden ser editados, modificados, impresos, borrarse, o intercambiarse a otros formatos; por otra parte, el sistema hace una presentación gráfica de los datos, la generación de capas de suelo y modifica el idioma.

Base de datos climáticos mensuales: la CDBm (De la Rosa, Mayol, Moreno y Rosales, 1996) almacena registros climáticos mensuales, los cuales son valores medios para el período de un mes, de un conjunto de variables termopluviométricas, entre ellas, la temperatura máxima, mínima, precipitación acumulada y diversos registros de días con diferentes tipos de precipitación. La información que se almacena está georeferenciada mediante latitud, longitud y altitud, y funciona tanto en inglés como en español.

Con lo anterior, la CDBm ofrece el cálculo de una serie de variables asociadas a la calidad y agresividad agroecológica del clima, genera datos diarios a partir de los

mensuales para las variables térmicas y para cada estación climatológica y un período de años seleccionado, se puede elaborar un resumen climático referido a variables observadas y calculadas, que se muestra tanto en forma tabular como gráfica. Este resumen se puede imprimir o exportar a otros entornos.

El sistema CDBm incluye un conjunto de rutinas para el cálculo de variables derivadas que son de uso frecuente en evaluación de tierras. No obstante, el uso adecuado de tales *variables calculadas* depende en cada caso de los análisis previos de calibrado y validación.

Realiza un procedimiento de simulación para generar datos diarios a partir de las medidas mensuales; este procedimiento de simulación se refiere a la *temperatura máxima* (Tmax) y a la *temperatura mínima* (Tmin) (Goudriaan, 1984).

Calcula la evapotranspiración potencial por los métodos de Thornthwaite (1948) y de Hargreaves (1985), la duración del período de desarrollo vegetativo y una serie de índices como son: humedad, aridez, Fournier y Arkley.

Modelo Cervatana. Siguiendo las normas convencionalmente aceptadas sobre evaluación de tierras (USDA, 1961; FAO, 1976; Dent y Young, 1981; ONERN, 1982; Verheye, 1986), el modelo Cervatana pronostica la capacidad general de uso de las tierras o aptitud para una serie amplia de posibles utilizaciones agrícolas.

Los criterios metodológicos se refieren al sistema previamente diseñado por De la Rosa y Magaldi (1982) y desarrollado en la publicación Evaluación Ecológica de Recursos Naturales de Andalucía (De la Rosa y Moreira, 1987), con algunas modificaciones.

El modelo *Cervatana* funciona de manera interactiva comparando los valores de las características de la unidad-tierra a evaluar con los niveles de generalización establecidos para cada clase de capacidad de uso.

El criterio de evaluación consiste en un proceso cualitativo de interpretación global de los factores biofísicos: relieve, suelo, clima y uso actual o vegetación; el modelo define tres clases de aptitud y una no apta, en donde para cada uno de los criterios de diagnóstico o factores limitantes se seleccionan las características de tierra, se establecen los niveles de generalización correspondientes y se relacionan con las clases de capacidad de uso mediante matrices de gradación.

Modelo Terraza: Este modelo desarrolla una predicción empírica de las limitaciones bioclimáticas de un lugar para el desarrollo de cultivos, profundizando en los criterios generales establecidos en versiones anteriores del modelo *Cervatana* de MicroLEIS (De la Rosa *et al.*, 1992). Al margen de la radiación y temperatura propias del lugar,

considera que la falta de agua y los riesgos de heladas representan las principales deficiencias climáticas para el desarrollo de los cultivos.

Este modelo evalúa la deficiencia hídrica de un lugar considerando fundamentalmente factores de clima, y algunos correspondientes a planta y suelo, de tal modo que una misma unidad de mapeo puede tener diferente valoración dependiendo del cultivo. En términos generales, se siguen los criterios establecidos por FAO (1979; 1981; 1986).

De acuerdo con las etapas del balance hídrico los cálculos para llegar a esta clasificación bioclimática se inician con la determinación de la evapotranspiración potencial mensual (ET_o) de referencia mediante el método de Thornthwaite (1948), y los riesgos de heladas, equivalentes al período libre de ellas, se determinan de forma genérica según el número de meses con temperaturas mínimas inferiores a 6°C.

Modelo Almagra. Este modelo se ajusta al tipo de evaluaciones biofísicas que tienen como criterios de diagnóstico las características o condiciones favorables de los suelos para el desarrollo de los cultivos en función de su productividad (De la Rosa *et al.*, 1977).

Los usos agrícolas considerados son los siguientes 12 cultivos: trigo, melón, papa, soya, algodón, girasol y remolacha como cultivos anuales; alfalfa como cultivo semianual; y melocotón, cítricos y olivo como formas perennes.

Las variables son medidas en la sección control o sección vertical, referidas a la textura, carbonatos, salinidad y carácter sódico, de la siguiente forma (USDA, 1975):

Para cultivos anuales. Sección entre 25 y 50 cm, o entre 25 y el límite de profundidad útil cuando se encuentre entre 25 y 50 cm, o en alguna parte del suelo dentro de la profundidad útil cuando ésta es menor de 25 cm.

Para cultivos semianuales y perennes. Sección entre las profundidades 25 y 100 cm, o entre 25 y el límite de profundidad útil cuando ésta se encuentra entre 25 y 100 cm, o en alguna parte del suelo dentro de la profundidad útil cuando ésta es menor de 25 cm.

El modelo utiliza matrices de gradación para indicar el grado mínimo que se deben ajustar las distintas variables para corresponder a una determinada clase de aptitud. En base en este planteamiento, para cada criterio o característica del suelo se establece una comparación entre los diferentes niveles de generalización y las necesidades específicas de cada uso agrícola.

De acuerdo con las gradaciones consideradas para cada uno de los criterios seleccionados (matrices de gradación) y en relación con los diferentes usos

agrícolas, se establecen cinco clases de aptitud relativa, que van desde los suelos con aptitud óptima (S1) hasta los suelos con aptitud nula (S5).

ALES

ALES (en inglés "Automated Land Evaluation System") (Rossiter, 1990; 1992; Rossiter & Van Wambeke, 1995) es un programa de computación que permite a los edafólogos construir sistemas de evaluación de tierras, según el método presentado en el esquema de la FAO (1976) y mejorado en cuanto a la valoración microeconómica. Los evaluadores pueden construir sus propios modelos, que son representativos de sus ideas sobre la relación tierra/uso, tomando en cuenta los objetivos y condiciones locales.

Este programa ha tenido cierto éxito en los países en vías de desarrollo donde hay cierta experiencia pero datos poco densos o confiables, donde la modelación de sistemas sería muy difícil por la carencia de datos detallados (León, 1992; Maji, 1992a; Maji, 1992b; Mantel, 1994; Venema & Daink, 1992).

Sin embargo, ALES ha sido usado como parte de evaluaciones más sofisticadas en países con agricultura totalmente comercial e información confiable y más o menos completa sobre recursos naturales y socioeconómicos (Delsert, 1993; Johnson & Cramb, 1991; Johnson *et al.*, 1994; van Lanen *et al.*, 1992a; van Lanen *et al.*, 1992b; van Lanen & Wopereis, 1992).

Sistemas de información geográfica

Los sistemas de información geográfica (SIG) son otra herramienta para la evaluación de tierras, ya sea directamente o como apoyo en los sistemas expertos. En el caso de ALES y MicroLEIS tienen una interfase para SIG, en donde los resultados se pueden manipular y representar en un mapa.

Como ejemplos de software de sistemas de información geográfica orientados a la evaluación de tierras, podemos mencionar ILWIS (Integrated Land and Water Management Information System), IDRISI, ArcINFO, entre otros.

Estos software por lo general utilizan operadores booleanos para la evaluación de tierras, los cuales se aplican a modelos de datos con límites rígidos y marcados, permiten solamente funciones de miembros binarios, por ejemplo verdad o falso, esto es, un individuo es miembro o no de una área dada. Estos criterios se han utilizado para la evaluación de tierras, con datos digitalizados y almacenados en un SIG, en donde pueden ser desplegados, combinados o modificados usando álgebra booleana de unión (OR), intersección (AND), negación (NOT) o ambos aspectos espaciales y otros atributos básicos (Burrough, 1989).

La lógica rígida booleana usada para determinar la aptitud en términos de apta y no apta está siendo remplazada por funciones de membresía difusa. La teoría difusa es una generalización de álgebra booleana a situaciones donde los datos son modelados por entidades con atributos que tienen zonas de transición gradual; la difusividad es un tipo de imprecisión de caracterización de clases, que por varias razones no tienen límites precisos, a esta definición inexacta de clases se le llama "fuzzy set" (Burrough, 1989).

Para definir la cualidad de la tierra se le asignan valores de pertenencia. La función de pertenencia de un "fuzzy set" se define como el grado de membresía de una cualidad de la tierra en las diferentes unidades que se han determinado (Groenemans *et al*, 1997).

Las ventajas de la metodología de los "fuzzy set" para evaluación de tierras son explicados por Burrough (1989) y Tang *et al* (1991) y casos de estudios han sido publicados por Wang *et al* (1990), Hall *et al* (1992), Burrough *et al* (1992), Tang and VanRanst (1992), Davison *et al* (1994) y Dobermann and Oberthur (1997), citados por Groenemans *et al*, (1997).

Groenemans *et al*, (1997) abordan los cálculos relacionales difusos como una nueva herramienta para evaluación de tierras, debido a que la teoría de "fuzzy set" es limitada en el uso de funciones de membresía y tiene debilidad en asignar la forma de cómo los pesos son atribuidos a las cualidades de la tierra consideradas.

3.1.5. Metodologías para clasificación de tierras

Existen metodologías para la clasificación de tierras para diferentes tipos de uso del suelo, desde los muy generales (Klingebiel y Montgomery, 1962; FAO, 1976; Beek, 1977; Beek, 1978) hasta aquellos que intentan identificar áreas para usos más específicos (FAO, 1983; 1984; 1985; Siderius, 1984; Tijerina y Ortiz, 1990).

Dentro de las metodologías generales destaca el sistema de clasificación de tierras desarrollado por el USDA (Klingebiel y Montgomery, 1962), el cual ha sido adoptado por diferentes países con ligeras modificaciones para adecuarlo a sus condiciones particulares, en el caso de México, fue modificado por CETENAL (Quiñones, González y Allende, 1974).

Capacidad general de uso de las tierras. Este sistema de clasificación de tierras tiene como finalidad ubicar los elementos necesarios para dedicar los diferentes terrenos al uso adecuado, según la aptitud particular y de este modo, programar el aprovechamiento óptimo de este recurso. Se caracteriza por clasificar a los terrenos en función del grado o magnitud con que los factores limitantes restringen el establecimiento de actividades agrícolas, pecuarias y forestales, de acuerdo a los

riesgos de deterioro de las condiciones ambientales originales. Los factores limitantes considerados son la deficiencia de agua, el riego de inundación, riesgo de erosión, pendiente, relieve, profundidad efectiva del suelo, profundidad del manto freático, pedregosidad, salinidad y sodicidad.

Los terrenos son agrupados en 8 diferentes clases de capacidad de uso, las 4 primeras se consideran agrícolas, con diferentes grados de limitaciones; las clases de la 5 a la 7, agrupan terrenos adecuados para el crecimiento de especies vegetales perennes como son los pastos, frutales y agaves, es posible utilizarlas para la ganadería y/o forestería. Finalmente, la clase 8 agrupa terrenos que por la severidad en que se expresan los factores limitantes se consideran improductivos. En la modificación hecha para México, conserva las 8 clases de tierras, pero se definen mejor los factores limitantes y se agrega uno, la fijación del fósforo.

La Organización Mundial para la Agricultura y la Alimentación, propuso un esquema general para la evaluación de tierras (FAO, 1976). También ha publicado metodologías para fines específicos, destacan los esquemas para la evaluación de la agricultura de temporal (FAO, 1983), para tierras forestales (FAO, 1984) y para tierras de regadío (FAO, 1990). Siderius (1984) ha publicado sobre la evaluación de tierras para pastizales.

Específicamente para México, Duch *et al.* (1980) proponen un sistema de evaluación de tierras para la determinación del uso potencial agropecuario y forestal, abordan por un lado, la determinación de la aptitud de las tierras, y por otro, la capacidad de uso de las tierras. Al seleccionar entre las alternativas posibles, el tipo de utilización más conveniente se expresa el uso potencial del suelo.

Agricultura de temporal. Se hace una evaluación para cultivos individuales y con diferentes niveles de inversión (bajo y alto), dando especial interés a las condiciones climáticas imperantes durante la estación de lluvias. La elaboración del inventario climático incluye la definición de las divisiones climáticas mayores y la obtención de los períodos de crecimiento (número de días durante el cual el clima permitirá al cultivo completar su ciclo en un régimen de secano). Utiliza el inventario edáfico con el sistema de clasificación de suelos FAO/UNESCO, aplica modificaciones por textura (gruesa, media y fina), pendiente (0-8%, 8-30% y mayor de 30%) y fases de suelos (FAO, 1983; Tijerina y Ortiz, 1990).

Este sistema permite definir los índices siguientes:

Aptitud global (mayor valor a la mejor clase): MA=4, A=3, mA=2 y NA=1.

Aptitud parcial (la suma de las superficies de las tierras con MA, A y mA).

Aptitud económico (la suma de las superficies MA y A)

Agricultura de riego. El principal objetivo de la evaluación de tierras para la agricultura de regadío es predecir las condiciones futuras después de que se hayan llevado a cabo las obras de desarrollo. La estructura de este sistema está basado en el esquema general de evaluación de tierras (FAO, 1976), y considera las siguientes categorías: A nivel de orden (A) Apta o (N) No apta; en el primero incluye las clases (A1) Altamente apta, (A2) Moderadamente apta y (A3) Marginalmente apta y en segundo orden, la (N1) Marginalmente no apta y (N2) Permanentemente no apta; las subclases son definidas de acuerdo con los factores limitantes, por ejemplo (t) topografía, (d) drenaje, etc. (FAO, 1990).

Los pasos principales para la evaluación de tierras de regadío son: 1) Decisión y descripción de tipos de utilización de la tierra a evaluarse (actuales y alternativos); 2) Elaboración de la especificación de clases de aptitud de la tierra (elección de los factores más adecuados, exigencias o limitaciones de uso y cuantificación de los límites críticos correspondientes a los niveles de aptitud; 3) Reconocimiento de campo y representación cartográfica de las clases y subclases de tierras "provisionalmente regables" (definición y descripción de las unidades de tierra, la distribución de unidades en mapas con los valores de las características de la tierra); 4) Combinación de las clasificaciones de factores para obtener una clasificación provisional de la aptitud de la tierra; 5) Presentación de los resultados de la clasificación de tierras "provisionalmente regables" (descripción de cada Tipo de Utilización de la Tierra, se representa en mapas y se indican recomendaciones de manejo); y 6) La determinación y levantamiento de "tierras regables" (con datos económicos y suministro de agua se identifican las tierras regables) (FAO, 1990).

Forestal. A partir de los requerimientos edafoclimáticos de las especies forestales, son generalizados en amplios rangos preferentes para el desarrollo adecuado de las especies seleccionadas, se hace una comparación con los valores correspondientes del lugar a evaluar y se obtiene el listado de las especies apropiadas para ese lugar. Dentro de los sistemas automatizados, el software MicroLEIS cuenta con el modelo SIERRA para evaluar la aptitud relativa forestal (De la Rosa, 1996).

Para el caso de México (Duch, *et al*, 1980), proponen los criterios para la selección de los tipos de utilización de las tierras para uso forestal: Explotación forestal industrial, comercial y domestico, en todos los casos de productos maderables y no maderables.

Pastizales. Para definir el nivel de aptitud de un cierto tipo de utilización de la tierra, se consideran los tipos de productos de interés: primarios (forraje, cereales), secundarios (carne, leche, lana) y terciarios (recorridos sobre animales); los requerimientos para cada tipo de producto, por ejemplo, nutrimentos, agua y temperatura para los primarios, cantidad de forraje, disponibilidad de agua y accesos

para los secundarios y juegos e infraestructura para los terciarios. Con ello, se valora la aptitud potencial de las tierras evaluadas (Siderius, 1984).

Duch *et al.* (1980) proponen para México los criterios para la selección de los tipos de utilización de las tierras para uso pecuario: pastoreo en praderas (de riego o temporal) y pastoreo en agostaderos (en pastizales o en otros agostaderos).

3.2. Marco teórico referencial

Ejemplos de estudios de suelos en México, son la cartografía edafológica a escala 1:50 000 (CETENAL, 1974a) y algunos estudios de caso como los realizados por: Palacios, Gama y López (1988), en la región del volcán Ceboruco, Nayarit; el levantamiento semidetallado de la cuenca baja del río Pílon-Casillas, Nuevo León, de López (1993); el estudio edafológico en la Sierra La Primavera, Jalisco, de Gama, Palacios y Alcalá (1990); el levantamiento taxonómico de la subcuenca de Cuzalapa, en la Sierra de Manantlán, Jalisco (Martínez y Sandoval, 1993); y el levantamiento de suelos de la reserva ecológica Sierra de San Juan, Nayarit, de Bojórquez y López (1995).

En todas estas investigaciones, la metodología utilizada se fundamenta en el manual de levantamiento de suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos; así como en el propuesto por Elbersen, Botero y Benavides (1974), después modificada por Villota y Forero (1986), todos ellos miembros del Centro Interamericano de Fotointerpretación, con sede en Colombia.

Trabajos concretamente abocados a la evaluación de tierras en México son de Hernández *et al.* (1990) que evaluaron la aptitud de los suelos para tres de los principales cultivos (sorgo, trigo y alfalfa) del municipio de Salamanca, Guanajuato, utilizando el esquema de la FAO (1976); Bojórquez y López (1995) aplicaron el sistema propuesto por Beek (1978) en la reserva ecológica Sierra de San Juan, Nayarit, para tres variedades de caña de azúcar de temporal, bajo dos sistemas diferentes de manejo (laboreo mínimo y mecanizado).

Ejemplos de trabajos donde se reportan los modelos utilizados en este trabajo están los publicados por Machín y Navas (1994), quienes evaluaron la capacidad potencial de los suelos de la Plana de Zaragoza, España, mediante el procesado de datos analíticos con los programas SIERRA, ALMAGRA y CERVATANA del sistema MicroLEIS, estableciendo los usos más apropiados, tanto agrícola como forestal. Los mismos autores, también evaluaron la capacidad de uso y conservación de los montes de Peñafior, Zaragoza, España, utilizando los módulos CERVATANA y SIERRA del programa MicroLEIS, así como el sistema de información geográfica (IDRISI) para integrar la información base y diseñar su uso más adecuado.

En la región costera Nayarita, donde se localiza el municipio de Tuxpan, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), realizó estudios de suelos para evaluar la aptitud agrícola, los que generalmente tienen nivel de semidetalle; entre ellos destacan, de sur a norte: margen izquierda del río Santiago (1969, 1970), margen derecha del río Santiago (1971, 1983, 1984), proyecto de riego del río San Pedro (1960), el Bejuco (1988, 1995), temporal Novilleros (1983) y temporal Acaponeta-Cañas (1985).

También existe un estudio agrológico del distrito de riego del río San Pedro, Nayarit, cuyo nivel de reconocimiento, describe generalidades del distrito de riego y las series identificadas dentro del grupo de los suelos recientes: Tamarindos, Tuxpan, Ceiba, Marisma y Crucero, y las series Palmas y Chilapa como suelos medianamente intemperizados. Así mismo, reporta la clasificación agrícola de las tierras de regadío y proporciona superficies de los resultados (suelos de primera clase, 30,930.6 ha, de segunda 13,768.4 ha, de tercera 3,425.9 ha y de cuarta clase 5,024.1). Finalmente representa la clasificación en un plano a escala 1:10,000 con curvas de nivel cada metro. A la zona en estudio corresponden las series Tuxpan y Marisma (CNA-SARH, 1960).

A nivel detallado, existen dos estudios agrológicos del proyecto Coamiles, zona ubicada en la porción sureste del municipio Tuxpan; el primero, describe una serie de suelos "Coamiles", da resultados de análisis físicos y químicos de 3 pozos, clasifica los terrenos y sugiere actividades para su manejo. Así mismo, presenta planos a escala 1:5,000 de la serie de suelos, la clasificación para uso agrícola y el de uso actual del suelo (SARH, 1969).

El segundo estudio describe tres series de suelos La Punta, Coamiles e Ibarra, las clasifica y presenta cartografía a escala 1:20,000 de las series identificadas y su clasificación agrícola (SARH, 1972).

3.3. Descripción del área en estudio

El alcance geográfico del estudio es el municipio de Tuxpan, Nayarit, cuya amplitud superficial de 30,670 ha, se distribuye en 6 dotaciones ejidales (97.66%), terrenos privados (1.1%) y terrenos de la federación (1.24%).

Localización

La zona en estudio localizada en el estado de Nayarit, está comprendida en la provincia fisiográfica de la Llanura Costera del Pacífico e incluye tres sistemas de topofomas, las marismas con lagunas, la llanura deltaica y pequeñas sierras de laderas inclinadas (SPP, 1981 a). Geográficamente se encuentra entre las coordenadas extremas de 21°52' a 22°01' de latitud norte y, de 105°10' a 105°27' de longitud oeste (Figura 1).

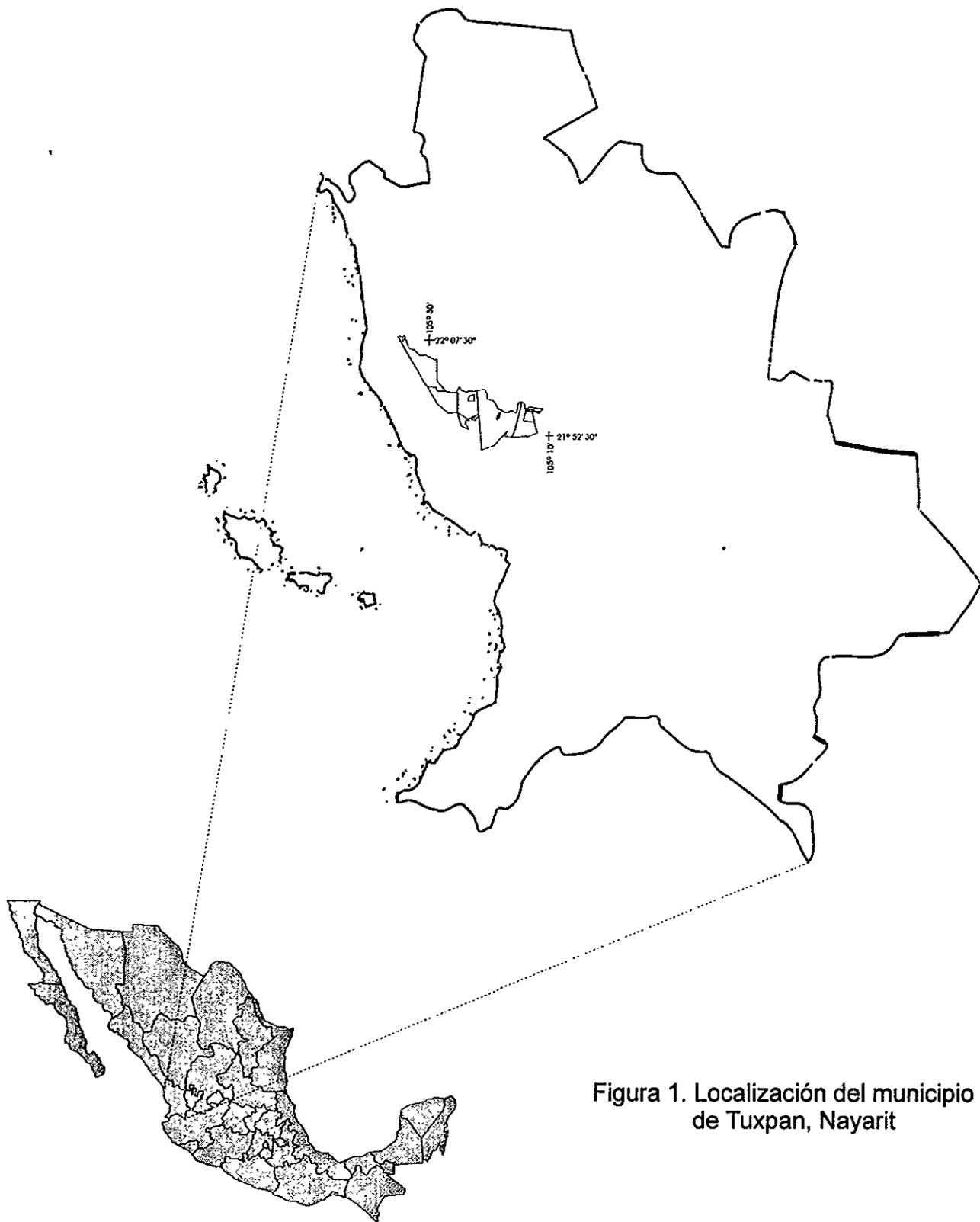


Figura 1. Localización del municipio de Tuxpan, Nayarit

Geología y geomorfología

De acuerdo con el mapa geológico de CETENAL (1974b), en el municipio de Tuxpan afloran rocas andesíticas en el Cerro Peñitas, suelos aluviales en la llanura deltaica y suelos de origen palustre en las marismas.

Curray, *et al.* (1969) en su trabajo sobre "Holocene History of a Strand Plain, Lagoonal Coast, Nayarit, Mexico", comenta que hace 7000 años a.C. ocurre un proceso de transgresión sobre la superficie deltaica, y entre 4750 y 3,600 años a.C. se inicia la regresión de la línea costera de Nayarit. Ello modificó en forma drástica el drenaje del sistema deltáico, el cual se fue acomodando conforme a los cambios en la dirección del transporte de sedimentos, por lo que se han formado largas lagunas y sinuosas entradas de marea que fueron migrando a lo largo de la franja costera; y dado que el aporte de sedimentos tiene velocidad de depósito que supera al avance transgresivo del litoral, se trata de una costa de levantamiento.

Según Ortiz (1979), a principios del fenómeno regresivo los ríos Santiago y San Pedro confluían antes de la desembocadura en el Océano y desde hace unos 500 años dichos ríos se separaron, causando reorientaciones de la línea de costa debido a los cambios de los centros de depósito. A partir de su separación el río San Pedro ha migrado su desembocadura hacia el norte, reconociendo ahora como nivel de base a la Laguna Grande de Mexcaltitán.

Romo (1994), en un análisis geomorfológico de la llanura de inundación del río San Pedro, Nayarit, área en la cual está comprendido el municipio Tuxpan, identifica las siguientes geoformas: elevaciones mayores (sierras de laderas tendidas, con alturas entre 20 y 400 msnm; elevaciones menores (lomeríos dómicos aislados asociados con llanos, con altura de 20 a 70 msnm); lecho fluvial (con 4 niveles de terrazas: canal de estiaje, lecho mayor de inundación ordinaria, lecho mayor de inundación extraordinaria, lecho mayor de inundación excepcional; y la llanura fluvial (llanura alta fluvial, producto del depósito de aluviones antiguos estratificados que subyacen en las rocas continentales más antiguas con alturas entre 10 y 20 msnm, y la llanura baja fluvio-deltaica, zona de transición entre el continente y el océano (brazos de crecida, bancos y barras de meandros, lagunas, meandros abandonados, hoyas de decantación, abanico deltaico y mantos de desplazamiento).

Riesgos de inundaciones

Romo (1994), también reportó la evaluación de riesgos de inundación mediante un análisis multitemporal del escurrimiento del río San Pedro, en donde grafica los gastos promedio anuales en un período de 50 años, posteriormente elabora hidrogramas con los gastos máximos mensuales en intervalos de 10 años, seguido del agrupamiento de los gastos máximos en rangos siguiendo el criterio de la Comisión Nacional del Agua en: menos de 800 m³/seg, 800-1500, 1500-2500 y mayor de 2500 m³/seg.

Por el método de Gumbel determina las crecidas, para períodos de retorno de 1, 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

Por último, define las áreas susceptibles de inundación con alta, media, baja, muy baja y nula probabilidad, mediante la combinación de los rasgos geomórficos y los períodos de retorno para cada intervalo de avenidas (Figura 2).

Clima

El municipio Tuxpan tiene clima cálido húmedo, con temperatura promedio anual de 25.7°C al oeste (estación climatológica Vado de San Pedro), 26.2°C en el centro (Tuxpan) y 26.5°C al oeste (Mexcaltitán); los meses más cálidos son junio a agosto con promedio de 29°C y máximas mensuales de 38 a 42.5°C; los meses más fríos corresponden a enero y febrero con medias de 21.8 a 23.4°C y mínimas mensuales de 10.3 a 14.4°C (Cuadro 1).

La precipitación media anual es de 1,208 mm en Mexcaltitán, aumenta en Tuxpan a 1,352 mm y a 1,474 mm en Vado de San Pedro; en todos los casos, sobresalen dos estaciones de humedad muy marcadas, la húmeda de junio a octubre, que concentra más del 90% del agua precipitada y la seca de septiembre a mayo (Cuadro 8).

De acuerdo con FAO (1981) se trata de un clima tropical caliente, con período de crecimiento normal, apto para el grupo de cultivos II y III, con forma fotosintética C3 y C4, cuyas temperaturas óptimas para la fotosíntesis son de 15-30°C y de 30 a 35°C respectivamente.

Hidrología

La zona en estudio se localiza en la parte baja de la cuenca del río San Pedro, correspondiente a la región hidrológica número 11 (SPP, 1981c).

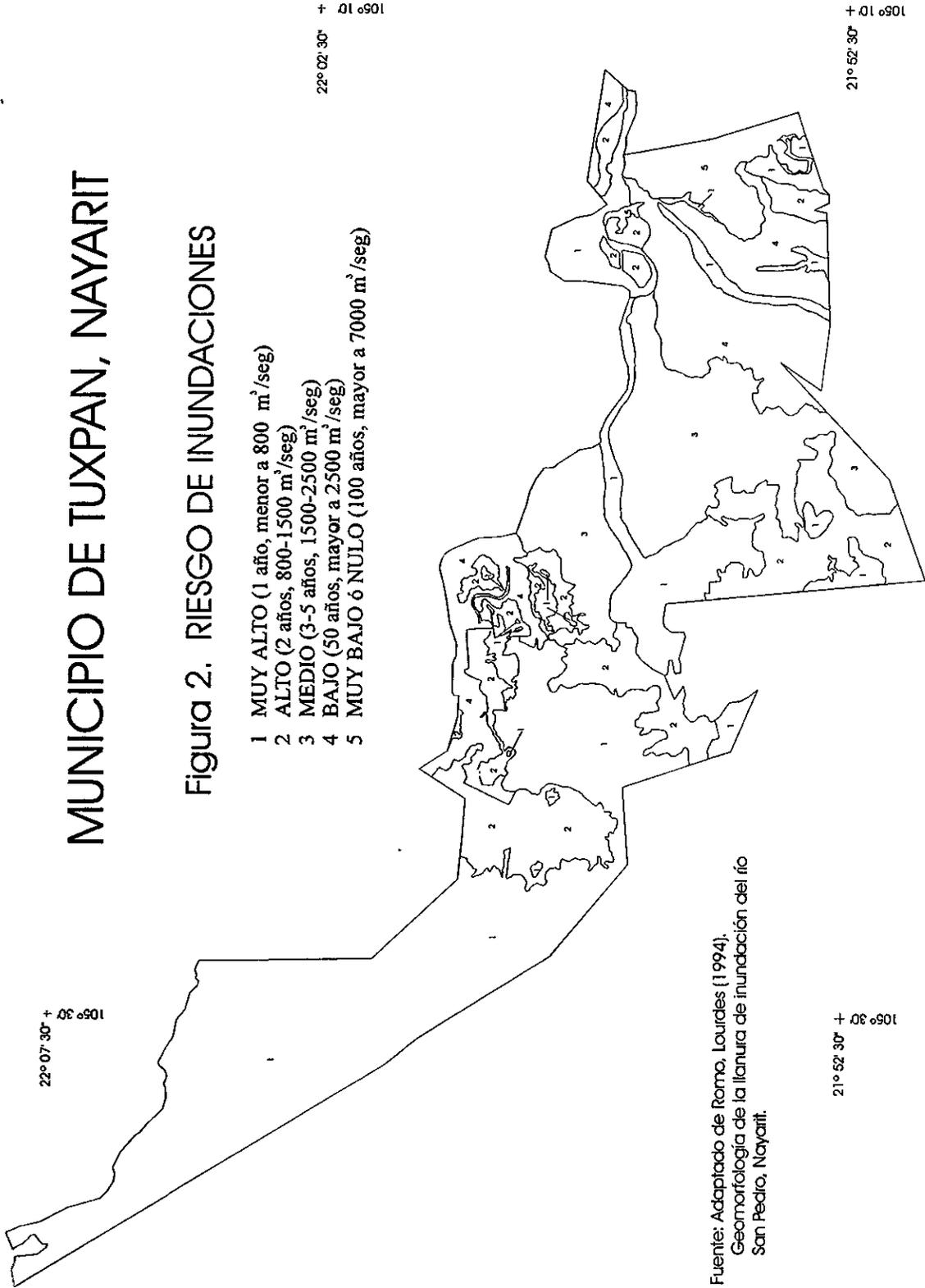
De acuerdo con los gastos máximos mensuales registrados durante un período de 50 años (1944-1993) en la estación hidrométrica Vado de San Pedro Ruíz (21°59'15" de latitud norte y 105°08'30" de longitud oeste), el valor máximo presentado en este río fue de 5,350 m³/seg en noviembre de 1976.

Respecto a la calidad del agua para riego del sistema San Pedro, la SPP (1981b) reporta una muestra de septiembre 30 de 1979, tomada en el canal de estiaje a la altura de Laguna del Mar al este de Estación Ruíz, con agua de baja salinidad y sodio, la cual puede usarse para el riego de la mayor parte de cultivos, en casi cualquier tipo de suelo. Otra muestra tomada en la Laguna Grande de Mexcaltitán al oeste del pueblo de Tuxpan, reportó agua altamente salina, sin calidad para uso de riego.

MUNICIPIO DE TUXPAN, NAYARIT

Figura 2. RIESGO DE INUNDACIONES

- 1 MUY ALTO (1 año, menor a 800 m³/seg)
- 2 ALTO (2 años, 800-1500 m³/seg)
- 3 MEDIO (3-5 años, 1500-2500 m³/seg)
- 4 BAJO (50 años, mayor a 2500 m³/seg)
- 5 MUY BAJO ó NULO (100 años, mayor a 7000 m³/seg)



Cuadro 1. Estaciones climatológicas de la zona en estudio.

ESTACION CLIMATOLOGICA	AÑOS	MESES												ANUAL
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
VADO DE SAN PEDRO	47	10.7	10.3	11.0	12.7	15.7	20.3	21.5	21.5	21.7	19.4	14.6	11.9	15.5
Temp. Mínima (°C)		21.8	22.1	23.1	25.1	27.4	29.0	28.4	27.9	27.9	27.4	25.2	23.0	25.7
Temp. Media (°C)		33.1	34.0	35.3	37.1	37.4	38.1	35.9	34.7	34.6	34.8	34.5	33.8	35.3
Temp. Máxima (°C)		2.11	0.74	0.51	0.37	0.36	14.3	38.4	44.0	33.2	9.11	2.18	2.19	147.4
Precip. Media (cm)														
TUXPAN	40	22.1	22.1	23.0	24.9	27.2	28.1	29.0	29.0	28.7	28.6	28.4	23.5	26.2
Temp. Media (°C)		2.36	1.62	0.54	0.18	0.34	11.2	36.8	36.7	31.1	9.28	2.49	2.66	135.2
Precip. Media (cm)														
MEXCALTITAN	24	23.0	23.2	24.0	25.9	26.9	29.2	29.2	29.3	29.2	29.0	26.4	24.1	26.5
Temp. Media (°C)		3.88	1.21	0.05	0.09	1.14	10.8	28.8	31.4	28.9	7.14	4.48	2.97	120.8
Precip. Media (°C)														
SANTIAGO IXCUINTLA	49	14.4	13.1	13.9	12.1	13.0	16.0	18.8	17.6	21.0	21.9	19.4	17.1	16.5
Temp. Mínima (°C)		23.2	23.4	24.2	25.8	27.9	29.8	29.4	29.4	29.4	29.6	27.3	26.1	27.5
Temp. Media (°C)		38.5	38.5	41.1	41.0	42.0	42.5	42.0	40.5	41.0	41.0	43.5	39.0	38.3
Temp. Máxima (°C)		2.48	0.83	0.61	0.41	0.68	10.2	30.0	37.4	29.6	8.30	1.94	2.85	124.0
Precip. Media (cm)														

Fuente: Delegación Nayarit de la Comisión Nacional del Agua

Vegetación y flora

CETENAL (1974c) registra para la zona vegetación de selva mediana subcaducifolia, palmar, vegetación halófito, manglar y selva baja caducifolia.

Por su parte, Téllez (1995) reporta las siguientes comunidades vegetales: Bosque tropical subcaducifolio en la vertiente oriental de las sierras de Peñitas y Coamiles, cuyos principales componentes son *Brosimum alicastrum*, *Cedrela odorata*, *Bursera arborea*, *B. simaruba*, *Capparis asperifolia*, *Casearia pringlei*, *Ceiba aesculifolia*, *Sapium pedicellatum*, *Sideroxylon capiri* y *Thevetia ovata*.

Bosque tropical caducifolio en la vertiente occidental de las sierras de Peñitas y Coamiles, que muestra cierto grado de alteración según se infiere por su composición florística. Presenta estrato arbóreo compuesto por *Acacia hindsii*, *Bunchosia palmeri*, *Guazuma ulmifolia*, *Bursera simaruba*, *Cedrela odorata*, *Croton reflexifolius*, *Erythrina lanata* subsp. *occidentalis*, *Lysiloma microphylla*, *Colubrina triflora*, *Zanthoxylon fagara*, *Cochlospermum vitifolium*, *Agonandra racemosa*, *Amyris* sp., *Nectandra* sp., *Salvia sessiliflora*.

Al sur del poblado Tuxpan existe una superficie considerable de "palapar" el cual está dominado por palmas, destacando entre ellas *Orbignya cohune*. Las poblaciones de esta palma se intercalan con elementos del bosque tropical subcaducifolio.

En las márgenes del río San Pedro dominan *Astianthus vimialis*, *Taxodium mucronatum*, *Salix humboldtiana* y *S. chilensis*.

En los esteros Coamiles-Pozo de Ibarra y La Boquita-Pimientillo dominan las especies acuáticas *Spirodela polyrrhiza*, *Pistia stratiotes*, *Lemma aequinoctialis*, *Typha domingensis*, *Sagittaria lancifolia*, *Crinum* sp., *Acrostichum danaeifolium*, *Hydrocotyle mexicana*, *Phragmites australis*, *Sorghastrum* sp. y *Paspalum* sp.

Al borde de los caminos con agua encharcada por largos períodos, proliferan especies como *Heteranthera limosa*, *Ammannia* sp., *Nymphaea elegans* y *Azolla* sp. etc.

Entre las especies arbóreas y arbustivas más comunes en los bordes de carretera, caminos, brechas, zonas de vegetación desmontada, campos de cultivo y áreas cercanas a núcleos humanos están: *Belotia mexicana*, *Bocconia arborea*, *Byrsonima crassifolia*, *Cecropia peltata*, *Cochlospermum vitifolium*, *Croton panamensis*, *Guazuma ulmifolia*, *Helicteres guazumaefolia*, *Lantana camara*, *Luehea candida*, *Trema micrantha*, *Pithecellobium dulce*, *Psidium sartorianum*, *P. guajava*, *Tecoma stans*, *Mimosa albida*, *Mimosa pigra*, *Montanoa karvinski*, *Phytolacca rugosa*, *Rauwolfia heterophylla*, *Solanum torvum*, *Waltheria americana* y *Zanthoxylon fagara*. Algunas de las especies herbáceas más frecuentes son *Achyranthes aspera*, *Amaranthus hybridus*, *A. spinosus*, *Anoda cristata*, *Asclepias curassavica*, *Cosmos*

sulphureus, *Desmanthus bicornutus*, *Desmodium incanum*, *Euphorbia heterophylla*, *Hydrolea spinosa*, *Iresine celosia*, *Melochia tomentosa*, *Paspalum paniculatum*, *Rhynchelytrum repens*, *Salvia hispanica*, *Sorghum bicolor*, *Tagetes filifolia*, *Tephrosia vicioides* y *Verbena carolina*. Las trepadoras más comunes son *Antigonon leptopus*, *A. flavescens*, *Calopogonium caeruleum*, *Gronovia scandens*, *Lygodium venustum*, *Momordica charantia*, *Pisonia aculeata* y *Rhynchosia minima*.

En las inmediaciones de Mexcaltitán la composición florística es pobre y como elementos arbóreos característicos están *Avicenia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus*; existen escasas herbáceas, tales como *Cyperus articulatus*, *Nymphaea elegans*, *Phyla nodiflora* y *Physalis angulata*, con *Sarcostemma clausum* y *Luffa operculata* como únicas trepadoras.

Uso actual del suelo

En la llanura aluvial del municipio Tuxpan, el uso del suelo es principalmente agrícola, pecuario en las sierras de Peñitas y Coamiles, forestal en el palmar y el manglar, y pesquero en el sistema lagunar-estuarino de Mexcaltitán.

En zonas con palmar, las hojas se utilizan en la construcción de "ramadas" para el secado del tabaco y en casas para prestar servicios; el mangle se emplea para la construcción de cercas, en la horticultura y para hornear pescados.

En el territorio de Tuxpan, 16,551 ha están parceladas y 13,770 no parceladas. El 55.1% son terrenos de labor, el 13.76% pastos naturales, el 7.26% bosque o selva y el 23.88% tiene un uso distinto a los anteriores. Bajo riego se cultivan 3,600 ha y 9,409 en condiciones de temporal (INEGI, 1994).

Población y vivienda

De acuerdo al Censo de Población y Vivienda de 1995 (INEGI, 1996), el municipio de Tuxpan presenta población total de 31,778 habitantes (15,851 hombres y 15,927 mujeres); 7,590 viviendas, de las cuales 4,904 tienen drenaje (64.6%), 6,594 agua entubada (86.8%) y 7,477 electricidad (98.5%). Carecen de drenaje 2,673 viviendas, 982 de agua entubada y 99 de electricidad.

El total de la población se distribuye en 6 comunidades (Tuxpan, Peñitas, Coamiles, Palma Grande, Unión de Corrientes y El Tecomate) y en 5 localidades menores (La Bomba, El Conejo, La Galinda, Las Ladrilleras y Los Rentería). La tasa de crecimiento poblacional del municipio entre 1980 y 1990 fue de 0.1%, porcentaje muy inferior al crecimiento estatal (1.3%). El promedio de edad en la población es 20 años, el mayor promedio de la entidad.

Educación

La población en edad escolar básica (6 a 14 años) es de 6,599, de los cuales 5,836 saben leer y escribir y 759 son analfabetas. La población adulta (mayores de 15 años) es de 21,121, de ellos, 19,103 saben leer y escribir. Esto significa que hay 4,062 infantes de 1 a 5 años por recibir educación básica, 24,939 habitantes que saben leer y escribir y 2,777 analfabetas (INEGI, 1996).

Por niveles de educación, el 11.2% de la población no han recibido instrucción alguna, el 28.2% primaria incompleta, 16.5% primaria completa y el 41.4% niveles superiores a la primaria (INEGI, 1991).

Tenencia de la tierra

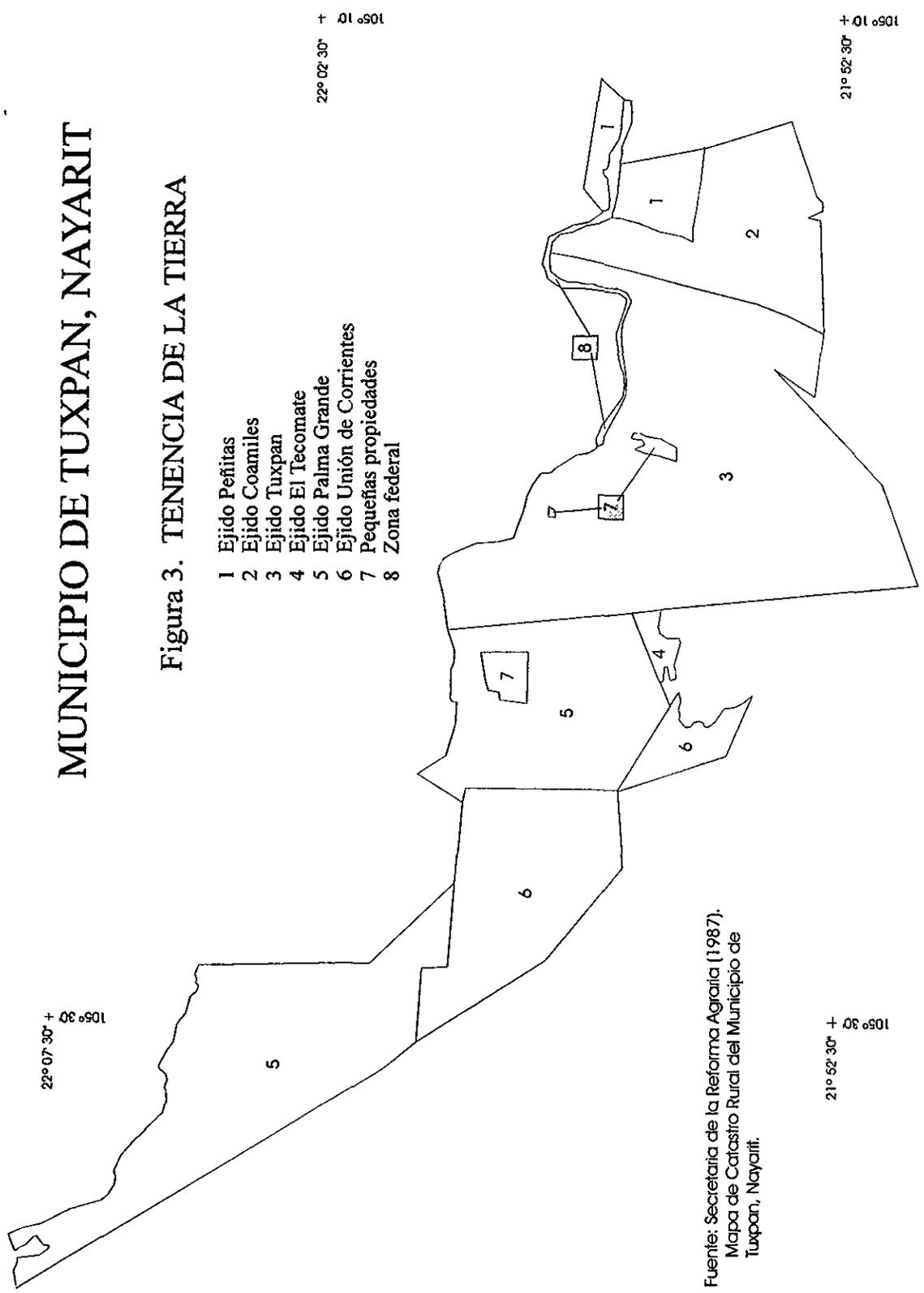
Del territorio que administra el Ayuntamiento de Tuxpan, Nayarit, 30,295 ha (97.66% del total) es propiedad ejidal, 338 ha (1.10%) de terrenos privados y 385 ha (1.24%) corresponden a la federación (Figura 3) (SRA, 1987).

Suman 2,668 campesinos organizados en 6 dotaciones ejidales: Las Peñitas (1,249.78 Ha), Coamiles (3,213.45), Tuxpan (11,403.23), El Tecomate (193.39), Palma Grande (10,001.46) y Unión de Corrientes (4,234.54 ha).

MUNICIPIO DE TUXPAN, NAYARIT

Figura 3. TENENCIA DE LA TIERRA

- 1 Ejido Peñitas
- 2 Ejido Coamiles
- 3 Ejido Tuxpan
- 4 Ejido El Tecomate
- 5 Ejido Palma Grande
- 6 Ejido Unión de Corrientes
- 7 Pequeñas propiedades
- 8 Zona federal



Fuente: Secretaría de la Reforma Agraria (1987).
Mapa de Catastro Rural del Municipio de
Tuxpan, Nayarit.

IV. MATERIALES Y METODOS

Los objetivos de la evaluación de tierras de Tuxpan se definieron tomando en cuenta el interés de las autoridades ejidales y municipales, el tamaño del área en estudio, la escala cartográfica de trabajo y los recursos económicos y logísticos disponibles. El área es de 30,670 ha, que corresponde a la superficie que suman los 6 ejidos que administra el Ayuntamiento, incluyendo las pequeñas propiedades y zonas federales. La escala de los materiales de trabajo fue de 1:20,000 a 1:50,000, lo cual permitió separar unidades de mapeo de suelos a nivel de semidetalle.

Por lo anterior, se planteó definir rangos de aptitud de unidades de mapeo de suelos para diferentes cultivos, pretendiendo que los resultados generados sean incorporados a la planeación y manejo del sector agrícola municipal. Para ello, se siguieron diferentes procesos metodológicos, los cuales se resumen en la Figura 4.

4.1. Definición de unidades de mapeo de suelos.

Por la escala de los materiales aerofotográficos y cartográficos disponibles, el criterio para separar las unidades de mapeo a evaluar fue la definición de clases de suelos mediante la realización de un levantamiento edafológico, apoyado con el análisis climático, la definición de la disponibilidad de agua para riego y los riesgos de inundación determinados en el trabajo de Romo (1994) (Figura 5).

4.1.1. Levantamiento de suelos

Se realizó un levantamiento semidetallado de suelos en el municipio de Tuxpan con la metodología propuesta por Elbersen *et al.*, (1974), actualizada por Villota y Forero (1986) y el manual de levantamientos de suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Soil Survey Staff, 1993). El trabajo se dividió en 7 fases:

I. Fase preparatoria. Consistió en la adquisición y revisión del material ya existente, relacionado con la geología, geomorfología, climatología, hidrología, edafología, vegetación y agricultura; elaboración del mapa base de la zona en estudio y la definición de la escala de trabajo para el levantamiento de suelos.

Figura 4. Proceso de evaluación de tierras del municipio de Tuxpan, Nayarit.

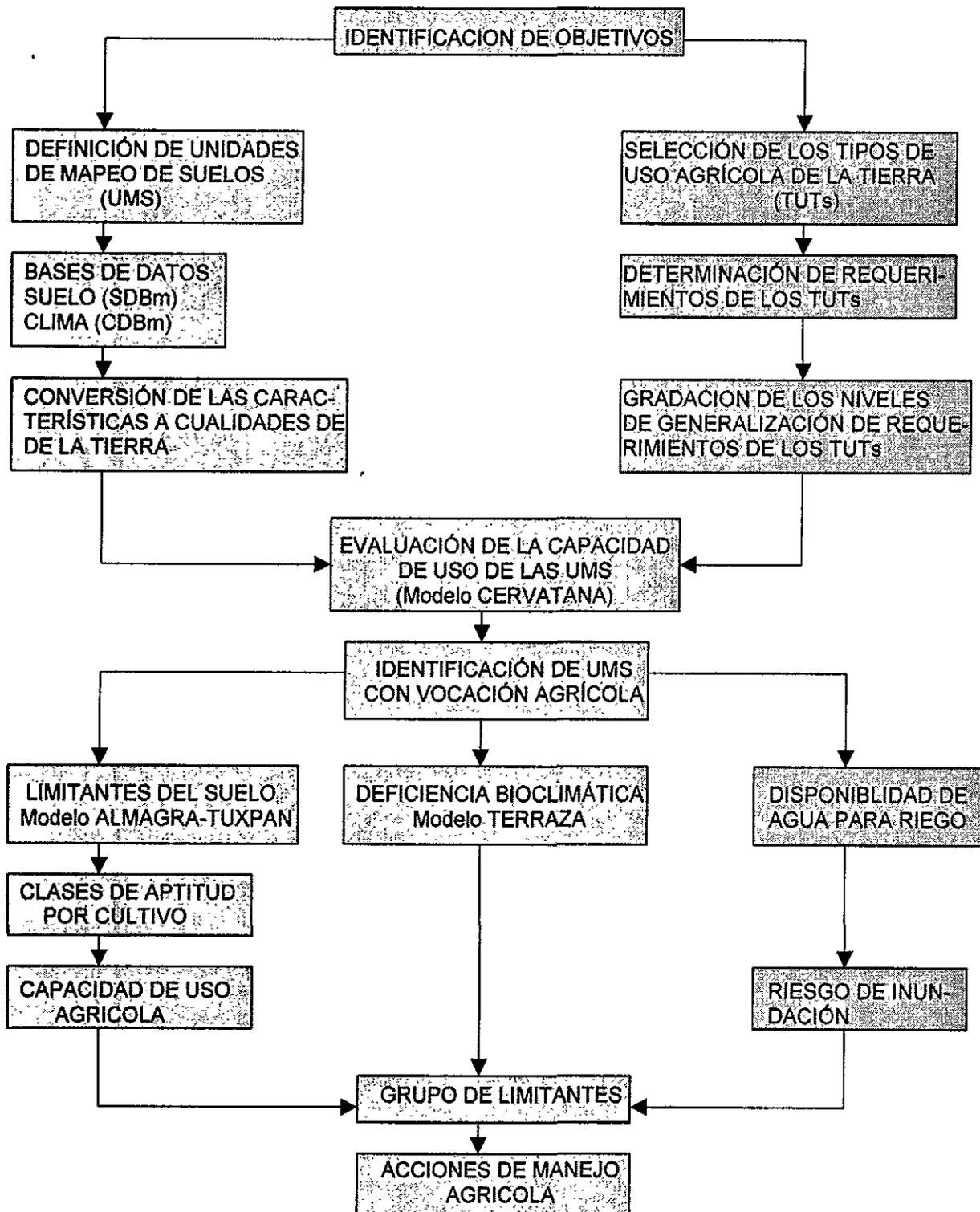
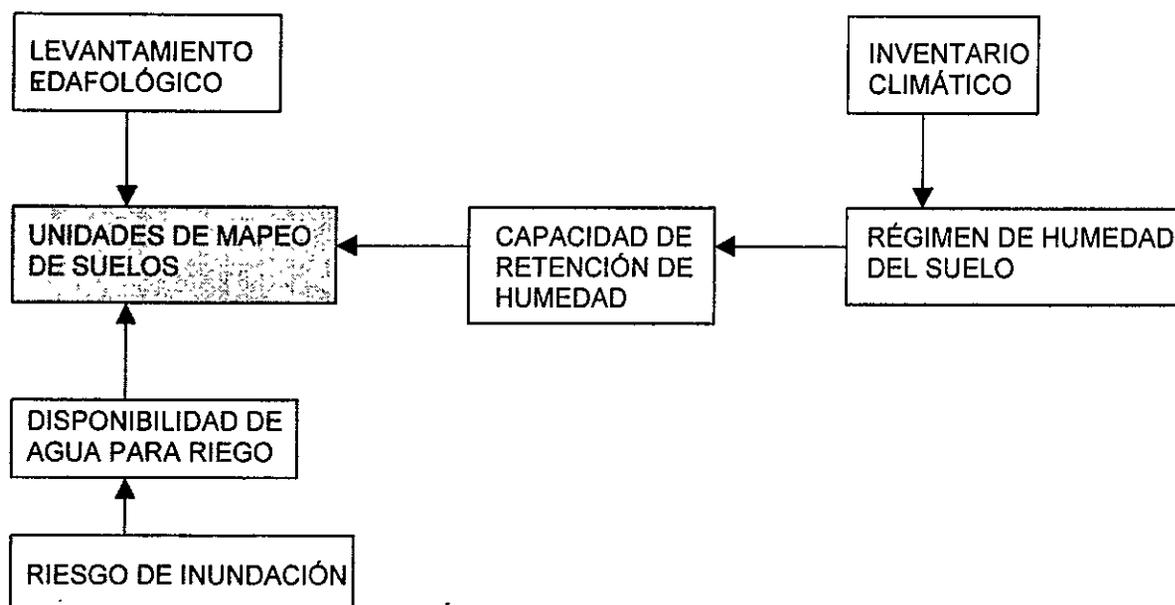


Figura 5. Fase de definición de unidades de mapeo de suelos.



II. *Fase de fotointerpretación.* En fotografías aéreas blanco y negro, a escala entre 1:20,000 y 1:37,000 se interpretaron los límites de suelos mediante el análisis fisiográfico del territorio, el cual es un método de estudio de paisajes, que se basa en el conocimiento de la relación entre fisiografía y suelos. Para este propósito se aplicó el concepto de clasificación fisiográfica de Villota y Forero (1986), como un sistema jerárquico que abarca diferentes niveles de generalización: provincia fisiográfica, unidad climática, gran paisaje, paisaje, subpaisaje y elemento de paisaje.

Entendiendo como "paisaje" una porción tridimensional de la superficie de la tierra, perteneciente a una sola unidad climática, que tiene una relación definida con las áreas que la rodean y dentro de la cual posiciones comparables conllevan a un alto grado de homogeneidad geogenética. Por "gran paisaje" a una asociación de paisajes que tienen una relación espacial y genética; por "subpaisaje" a la primera división de un paisaje de acuerdo con los criterios útiles para el mapa de suelos y por "elemento de paisaje" una posición específica dentro de un subpaisaje (Villota y Forero, 1986).

El resultado de este proceso, originó la construcción de la leyenda fisiográfica preliminar, la cual es una clasificación del terreno en términos de formas fisiográficas dentro de las cuales se determinó la ocurrencia de sus diferentes pedones clasificados taxonómicamente.

Por otro lado, este mismo proceso apoyado con la información de los campesinos, permitió adaptar el trabajo de Romo (1994) para asignar el riesgo de inundación

correspondiente a cada unidad de mapeo de suelos: muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo o nulo.

iii. *Fase de reconocimiento preliminar.* Mediante recorridos de campo se definieron las unidades de mapeo de suelos y se estableció el método y densidad de muestreo. De acuerdo con Villota y Forero (1986), las especificaciones para un levantamiento semidetallado o de tercer orden son: un nivel de generalización fisiográfica de subpaisaje y/o elemento de paisaje; con fotointerpretación ajustada mediante comprobación de campo, caracterización pedológica detallada en áreas de muestreo y el mapeo libre para extrapolación y generalización. La escala de mapeo es de 1:20,000 a 1:40,000, con una densidad promedio de observaciones de 1 por km² en áreas de muestreo y 4 por km² en el resto de la zona.

Para este trabajo, el método de muestreo fue mapeo libre, con una o más observaciones detalladas por cada cambio en el subpaisaje y densidad de muestreo de 0.69 observaciones detalladas por km².

Esta técnica consistió en caracterizar las unidades cuyos límites y sitios de muestreo fueron establecidos por fotointerpretación, considerando el presupuesto y los objetivos del estudio. La caracterización de unidades se realizó mediante recorridos de campo apoyado con pequeñas barrenaciones y la experiencia de los campesinos, generando un modelo mental de la relación entre el paisaje y el perfil del suelo hasta definir el rango de variación, es entonces cuando se localizaron los sitios de muestreo (Figura 10).

Se describió al menos un perfil detallado por cada cambio en el subpaisaje, y hasta cinco, cuando se dificultó establecer el grado de variabilidad de suelos o por la extensión de la unidad de mapeo.

Si embargo, con este nivel de detalle y densidad de muestreo no es posible identificar la heterogeneidad de cada una de las unidades de mapeo, por lo que se destacan los aspectos generales más ligados a la producción de cultivos.

IV. *Fase de levantamiento de campo.* De marzo de 1995 a diciembre de 1996 se realizaron 35 perfiles de suelos, de acuerdo con la metodología propuesta por Cuanalo (1990). Se obtuvieron un total de 134 muestras de horizontes de suelos.

V. *Fase de laboratorio.* Previa preparación a las muestras de suelo se les practicó, por duplicado, determinaciones físicas y químicas (Cuadro 2), procediendo a la clasificación taxonómica de cada perfil descrito, acorde con la Leyenda del Mapa Mundial de Suelos (Spaargaren, 1994) y el Sistema Taxonómico del Departamento de Agricultura de los

Estados Unidos (Soil Survey Staff, 1994). Por último, se estableció la leyenda fisiográfica-edafológica definitiva.

Cuadro 2. Determinaciones físico, químicas y técnicas empleadas (Ortiz *et al.*, 1993).

DETERMINACIONES	TÉCNICA EMPLEADA
Textura	Hidrómetro de Boyoucos (1928)
Materia orgánica	Wakley y Black (1936)
Carbón orgánico	M.O. / 1.724
Nitrógeno total	M.O. / 20
Reacción del suelo	Dilución 1:2.5 en agua y KCl,
Bases intercambiables:	Acetato de amonio pH 7
Calcio y Magnesio	Titulación
Sodio y Potasio	Flamómetro
Cap. de intercambio catiónico	Acetato de amonio pH 7
% Saturación de bases	Inferido de las bases intercambiables
% Saturación de Sodio	Inferido del sodio intercambiable
% Carbonato de Calcio	Calcímetro
Fósforo disponible	Bray I
Saturación de bases:	Pasta saturada en agua, relación 1: 2.5
Conductividad eléctrica	Conductímetro
Calcio y Magnesio	Titulación
Sodio y Potasio	Flamómetro

VI. *Fase de compilación de mapas y digitalización.* Los límites de suelos establecidos en el material aerofotográfico se transfirieron al mapa base utilizando un stereosketch, posteriormente el mapa de suelos y los puntos de muestreo fueron digitalizados en el sistema de información geográfica ILWIS 1.3 (Integrated Land and Water Management Information System) (ITC, 1993).

Por otra parte, los datos del lugar y analíticos de los perfiles de suelos se capturaron en la base multilingüe de datos de suelos (SDBm), para lo cual, se hicieron adiciones al sistema de codificación con respecto a la descripción de geoformas, autores, nombres locales de unidades, cobertura del terreno y uso del suelo.

VII. *Fase de interpretación y descripción del informe.* Las unidades de mapeo de suelos fueron identificadas con nombres locales (obtenidos de los productores), esto para facilitar el entendimiento del trabajo por parte de los campesinos.

Para el propósito de este trabajo, se consideró representativa de cada unidad de mapeo de suelos, la información de los puntos de muestreo y la descripción general

recopilada en campo y laboratorio; describiendo la variabilidad mediante el muestreo de las condiciones distintas observadas.

En el análisis de resultados, los criterios de calificación se tomaron de diversos autores, para suelos salinos y sódicos (Richards, 1962), para CIC y cationes intercambiables (Etchevers *et al.*, 1971), para nitrógeno (Tavera, 1985) y para fósforo disponible (CSTPA, 1980) (Cuadros 3 y 4).

En el capítulo de resultados y en el anexo 2, se presenta el informe del estudio edafológico, el cual incluye la presentación general de las características de la zona en estudio, la jerarquización de los elementos fisiográficos, y finalmente, la descripción de cada una de las unidades de mapeo de suelos. Cada unidad descrita incluye, entre otros aspectos, el símbolo en el mapa, extensión, posición en el paisaje, su relación con las unidades vecinas, componentes taxonómicos y su proporción; además de una breve descripción del perfil modal y en su caso, el rango de características de la unidad de mapeo de suelos.

Cuadro 3. Criterios de interpretación de la CIC y cationes intercambiables (Etchevers *et al.*, 1971).

CIC (meq/100 g)	Ca (meq/100 g)	Mg (meq/100 g)	K (meq/100 g)	Interpretación
0-5	Menor de 2	Menor de 0.5	Menor de 0.2	Muy baja
5-10	2-5	0.5-1.3	0.2-0.3	Baja
10-20	5-10	1.3-3.0	0.3-0.6	Media
20-30	Mayor de 10	Mayor a 3.0	0.6-1.3	Alta
Mayor de 30				Muy alta

Cuadro 4. Criterios de interpretación del N total (Tavera, 1985) y Fósforo extractable (CSTPA, 1980).

N total (%)	Interpretación	P extractable (ppm)	Interpretación
Menor de 0.05	Muy pobre	Menor de 15	Bajo
0.05-0.10	Pobre	15-30	Medio
0.10-0.15	Medio	Mayor de 30	Alto
0.15-0.25	Rico		
Mayor a 0.25	Muy rico		

4.1.2. Análisis climático

Se utilizaron los mapas de SPP (1981a; 1981b) que definen las isotermas, isoyetas y el tipo de clima presente en la zona en estudio; por otra parte se identificaron las estaciones climatológicas localizadas dentro y más cercanas al municipio Tuxpan (Cuadro 8).

Dentro del área en estudio sólo se identificó la estación Tuxpan, con 40 años de información de temperatura media y precipitación; al oeste, se localizó Mexcaltitán, aportando datos de precipitación y temperatura media por 24 años; al oriente, la estación Vado de San Pedro, y al sur, Santiago Ixcuintla, ambas con registros de precipitación y temperatura máxima, media y mínima, por más de 45 años.

Con los datos antes mencionados se analizó la variación de la temperatura media mensual y anual de las cuatro estaciones y la concentración de la precipitación durante el año; mientras que el cálculo de la evapotranspiración potencial sólo fue posible para Vado de San Pedro y Santiago Ixcuintla.

Los registros mensuales fueron almacenados en la base de datos climática (CDBm), a través de la cual, se calculó el índice de aridez, el período de desarrollo vegetativo y la evapotranspiración potencial por el método de Thornthwaite; seguido de la presentación gráfica de las variables de temperatura media (T_m), precipitación (P), evapotranspiración (E_{to}), período de crecimiento vegetal (GS) e índice de aridez (ARI), resultando el régimen de humedad del suelo.

La capacidad de retención de humedad se determinó a partir de la clase textural de cada perfil de suelo y después relacionado con la unidad de mapeo correspondiente. Esta determinación se apoyó en el módulo de herramientas del software MicroLEIS, el cual desarrolla un análisis estadístico para estimar algunas propiedades físicas, tales como densidad aparente, capacidad de retención de agua y conductividad hidráulica.

4.1.3. Disponibilidad de agua para riego y riesgo de inundación.

Se consideraron aspectos que tienen que ver con la factibilidad de establecer un cierto nivel de inversión para los cultivos o los posibles riesgos que tiene dicha inversión; en este sentido, se retomaron dos aspectos, la disponibilidad de agua para el riego y el riesgo de inundación de las tierras. La posibilidad de riego se obtuvo a partir de la información de campo recopilada durante el levantamiento de suelos y del registro de infraestructura hidráulica de la Comisión Nacional del Agua.

Se utilizaron los resultados de la evaluación del riesgo de inundaciones realizado por Romo (1994), con base en el análisis multitemporal del escurrimiento del río San Pedro y mejorado en la calidad cartográfica, mediante la interpretación de fotografías aéreas de los años 1970 y 1995.

4.2. Fase de conversión de las características de cada unidad de mapeo de suelos a cualidades.

En esta fase, los datos recabados en campo y laboratorio de cada unidad de mapeo de suelos (características) fueron convertidos a clases de calidad de la tierra, las variables estudiadas fueron las siguientes:

Variables relacionadas con el lugar:

Pendiente. Se define como la inclinación del terreno con relación a la superficie horizontal. Los niveles de generalización considerados en el modelo *Cervatana* son los siguientes rangos:

Nula o moderada	<7 %
Moderada	7-15 %
Fuerte	15-30 %
Escarpada	>30 %

Cubierta del terreno. Se refiere al tipo de cubierta vegetal que cubre la unidad de tierra evaluada, o al cultivo considerado. En el modelo *Cervatana* para el cálculo del factor de riesgo de erosión, se contemplan tres niveles de generalización.

Cubierta densa	>30 %
Cubierta moderada	15-30 %
Cubierta ligera	<15 %

Dentro de las variables relacionadas con el suelo están:

Profundidad útil. La parte del suelo que puede ser fácilmente penetrada por las raíces. El modelo *Cervatana* contempla cuatro niveles de generalización:

Elevada	>75 cm
Moderada	50-75 cm
Escasa	25-50 cm
Somera	<25 cm

El modelo *Almagra-Tuxpan* considera siete niveles de generalización:

Limitación nula	>90 cm
Limitación muy ligera	60-90 cm
Limitación ligera	45-60 cm
Limitación moderada	35-45 cm

Limitación severa	25-35 cm
Limitación muy severa	10-35 cm

Pedregosidad y rocosidad. Se refieren a la proporción relativa de fragmentos gruesos o afloramientos rocosos en la superficie del suelo. El modelo *Cervatana* define tres niveles de generalización (Soil Survey Manual; USDA 1951, pp 213-225):

Nula o ligera	<15 %
Ligera a moderada	15-40 %
Elevada	>40 %

Textura. Se define como la proporción relativa de partículas de arena, limo y arcilla en la masa del suelo. *Cervatana* considera solo tres niveles de generalización:

Ligera	Arenosa, areno-francosa y franco arenosa.
Equilibrada	Franca, franco-limosa, limosa, franco-arcillo-arenosa, franco-arcillosa y franco-arcillo-limosa.
Pesada	Arcillo-arenosa, arcillo-limosa y arcillosa.

Los niveles de generalización establecidos para la textura en el modelo *Almagra-Tuxpan* son cinco:

Ligera	Arenosa y areno francosa.
Media ligera	Franco-arenosa.
Media equilibrada	Franca, franco-limosa y limosa.
Media pesada	Franco-arcillo-arenosa, franco-arcillosa y franco-arcillo-limosa.
Pesada	Arcillo-arenosa, arcillosa y arcillo-limosa.

Drenaje. Se define como el proceso de eliminación natural de agua de la superficie del suelo, es el responsable de las disponibilidades de agua y oxígeno en el suelo. Para el modelo *Cervatana* se consideraron 4 niveles de generalización (Soil Survey Manual; USDA, 1951, pp 165-172):

Deficiente	El agua es eliminada tan lentamente que el suelo permanece mojado por largos períodos de tiempo.
Moderado	El agua se elimina del suelo con cierta lentitud, de modo que el perfil permanece mojado durante períodos cortos.
Bueno	El agua es eliminada del suelo con facilidad, pero no rápidamente.
Excesivo	El agua es eliminada del suelo muy rápidamente.

Para el modelo *Almagra-Tuxpan* se establecen seis niveles de generalización con los siguientes drenajes (Soil Survey Manual; USDA, 1951, pp 165-172):

Muy pobre	El agua se elimina tan lentamente, que la capa freática permanece en la superficie del suelo la mayor parte del año.
Pobre	El agua se retira lentamente por lo que el suelo permanece mojado gran parte del año.
Moderado	Corresponde a suelos donde el agua se elimina con cierta lentitud, por lo que el perfil permanece húmedo durante cierto tiempo no muy prolongado.
Bueno	El agua se retira con facilidad, pero no con rapidez.
Rápido	Aquellos suelos en los que el agua se retira rápidamente.
Excesivo	Cuando el agua se elimina con gran rapidez.

Contenido de Carbonatos. Es la cantidad de carbonato de calcio, frecuentemente combinado con carbonato de magnesio presente en el suelo. El modelo *Almagra-Tuxpan* considera cinco niveles de generalización, expresados en porcentaje de peso:

Nulo	<0.5 %
Ligero	0.5-10 %
Moderado	10-30 %
Elevado	30-50 %
Muy elevado	>50 %

Salinidad. Se refiere a la concentración de sales solubles en el perfil del suelo, expresada en dS/m. Los cuatro niveles de generalización para el modelo *Cervatana* son los siguientes (Soil Survey Manual; USDA, 1951, pp 357-363):

Nula a ligera	<4 dS/m
Moderada	4-8 dS/m
Elevada	8-12 dS/m
Muy elevada	>12 dS/m

En el modelo *Almagra-Tuxpan* se consideran siete niveles de generalización:

Libre de exceso	<2 dS/m
Muy ligeramente afectado	2-4 dS/m
Ligeramente afectado	4-6 dS/m
Moderadamente afectado	6-8 dS/m

Elevadamente afectado	8-10 dS/m
Fuertemente afectado	10-16 dS/m
Muy fuertemente afectado	>16 dS/m

Saturación en sodio. Distribución de sodio en el complejo de cambio, medida por el porcentaje de sodio en el total de la capacidad intercambio del suelo. En el modelo *Almagra-Tuxpan* se consideran seis niveles de generalización:

Libre de sodio cambiante	< 5%
Muy ligeramente afectado	5 - 10%
Ligeramente afectado	10 -15%
Moderadamente afectado	15 - 20%
Altamente afectado	20 - 25%
Muy altamente afectado	> 25%

Desarrollo del perfil. Se refiere al grado de desarrollo genético del perfil del suelo, se utiliza para reflejar la importancia de las reservas minerales alterables y el tipo de arcilla presente en el solum, como condicionantes de la fertilidad natural. Cuatro niveles de generalización se establecen para esta variable en el modelo *Almagra-Tuxpan*:

Suelos sin desarrollo de perfil genético: grado-1

Suelos con un moderado desarrollo de horizontes genéticos, caracterizados por un incipiente B (cámbico): grado-2

Suelos con horizontes B (argílico) claramente desarrollado y con muestras evidentes de iluviación de arcilla: grado-3

Suelos con horizonte B (argílico) de muy fuerte desarrollo y con muestras muy evidentes de iluviación de arcilla: grado-4

Variables relacionadas con el riesgo de inversión:

Riesgos de inundación. Se refiere a los rasgos morfológicos de la zona en estudio con relación a los rangos de gastos máximos a partir de los cuales se desborda el río San Pedro y los períodos de retorno de las avenidas (adaptado de Romo 1994). Se considera como determinante del riesgo de la inversión, por siniestros de cultivos y cosechas. Se definieron 5 niveles de generalización:

1 Muy alto Áreas inundables por varios meses del año, todos los años;

2 Alto	Áreas susceptibles de inundarse con gastos máximos del río entre 800 y 1500 m ³ /seg y con períodos de retorno cada 2 años;
3 Medio	Áreas con posibilidad de inundarse con gastos máximos entre 1,500 y 2,500 m ³ /seg y con períodos de retorno cada 3 a 5 años;
4 Bajo	Áreas susceptibles de inundarse con gastos máximos superiores a 2,500 m ³ /seg, en un período de retorno de 50 años.
5 Muy bajo o nulo	Áreas con una inundación probable en un período de 100 años, con gastos máximos superiores a 7,000 m ³ /seg. También aquellas áreas no expuestas a inundaciones.

Disponibilidad de agua para riego. Se refiere a la posibilidad de regar los cultivos agrícolas; se considera en la definición de áreas para cultivos que necesariamente requieren de riego.

No disponible	Unidades de tierra que no tienen acceso al agua para riego.
Disponible	Unidades de tierra en donde es posible regar mediante el bombeo de agua del cauce del río, un canal o un estero.
Inundado	Unidades que pasan inundadas todo el año o la mayor parte del año.

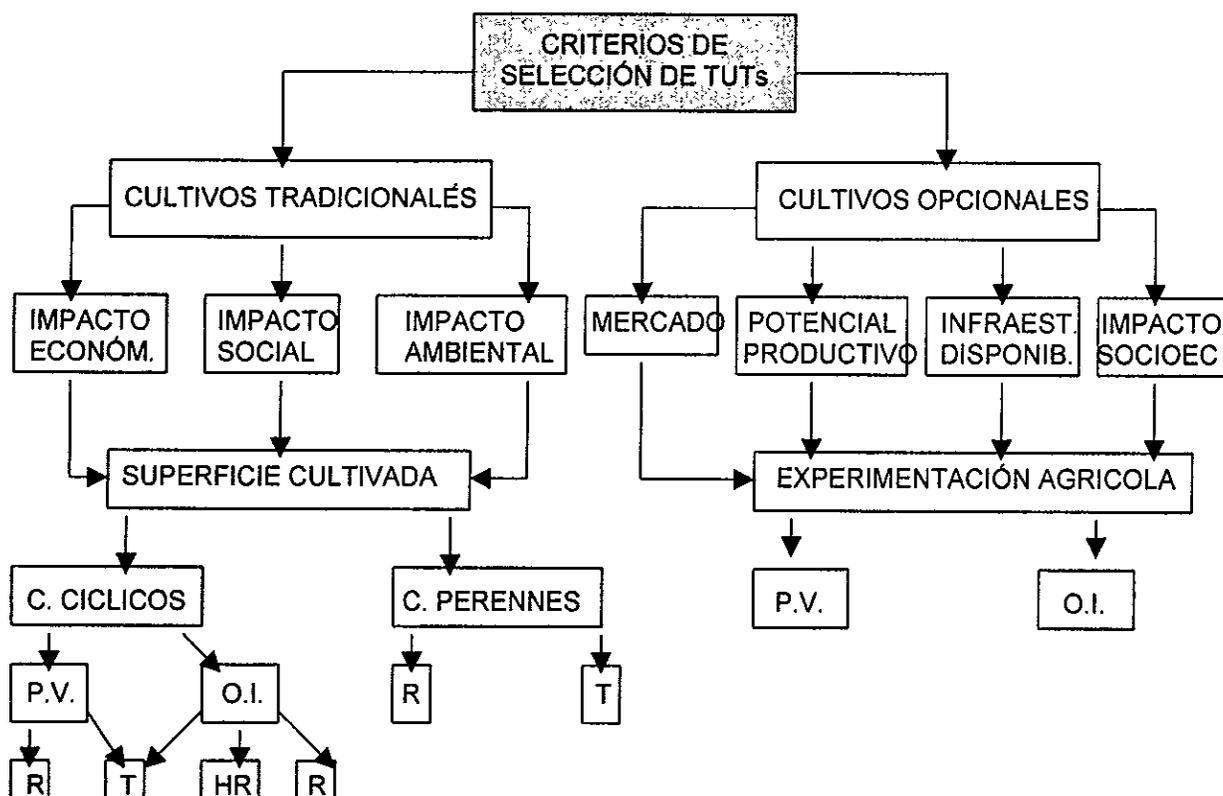
4.3. Selección de los tipos de utilización de la tierra (TUTs).

Se realizó la selección de los tipos de uso de la tierra por evaluar, de acuerdo con el interés de las autoridades municipales y ejidales, relacionado con la definición de las áreas más aptas para los cultivos tradicionales y la búsqueda de opciones para la región; procediendo a identificar los sistemas agrícolas con mayor conocimiento del manejo local, considerados para este propósito como tradicionales, y aquellos que pueden ser opcionales debido a que reúnen características ambientales y de mercado para ser establecidos en la zona.

Para los cultivos tradicionales se siguió el criterio de mayor importancia por superficie cultivada, valor de la producción, tipo de cultivos (ciclicos o perennes), ciclo agrícola (otoño-invierno o primavera-verano) y condición de humedad (temporal, humedad residual o riego). Mientras que para los cultivos opcionales se consideró el mercado, el potencial productivo local, infraestructura disponible y el impacto socioeconómico (Figura 6).

En el anexo 1 aparecen los datos de las estadísticas de cultivos del municipio de Tuxpan para los ciclos O-I 1996/97 y P-V 1997 (Cuadro 33) y la superficie sembrada de cada cultivo durante los años 1994 -1998 (Cuadro 34); en las primeras se analizan los cultivos por ciclo agrícola, la superficie cosechada, el rendimiento, la producción, el precio y el valor de la producción, la superficie fue de 13,505 Ha con un valor de \$86'166,150, destaca el ciclo de otoño invierno con más del 95% de la cosecha y los cultivos de frijol, sorgo, tabaco, maíz, sandía, jitomate, chile, jícama, melón y cacahuate, entre los más importantes. Respecto al comportamiento temporal de la superficie cultivada ha sido muy variable, sin embargo, en términos generales los cultivos guardan el mismo orden jerárquico en la superficie cultivada.

Figura 6. Criterios de selección de los tipos de utilización de la tierra (TUTs).



Por lo anterior, los cultivos tradicionales identificados fueron: frijol (*Phaseolus vulgaris*), sorgo (*Sorghum vulgare*), maíz (*Zea mays*), tabacos tipo virginia y burley (*Nicotiana tabacum*), chile (*Capsicum annum*), jitomate (*Lycopersicon esculentum*), melón (*Cucurbita melo*), sandía (*Citrullus vulgaris*), jícama (*Pachyrhizus erosus*) y cacahuate (*Arachis hypogaea*).

Se eligió un cultivo opcional como ejemplo del proceso de estudiar diferentes alternativas de uso del suelo, se seleccionó el algodón (*Gossypium hirsutum*) debido a los antecedentes de este cultivo en la zona, en donde tuvo gran relevancia económica durante la década de los sesentas; las ventajas del mercado, dado que es un producto demandado por la industria textil nacional e internacional, con una tendencia hacia la alza; por el potencial productivo regional reportado por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), quién estimó que la superficie apta para cultivar algodón en Nayarit es de 86,508 ha, concentradas en su mayor parte, en la llanura costera norte, área en la cual existen alrededor de 58,000 ha con infraestructura de riego (SAGAR, 1998).

En forma colateral, se consideró la respuesta de adaptación del cultivo a las condiciones ambientales de la zona, la cual fue medida a través de los rendimientos experimentales obtenidos durante los ciclos agrícolas otoño-invierno 1995/96 y primavera-verano 1996.

En el primer ciclo, los experimentos se establecieron en dos condiciones de suelo diferentes, por principio, sin un criterio de representatividad, dado que, para entonces no se conocían las clases de suelos y su variabilidad. La primer condición se refiere a un suelo de origen aluvial, con desarrollo moderado y compactado, localizado en el ejido Coamiles, y la segunda, difiere al anterior en que el suelo es de origen aluvial reciente, no compactado y se localiza en el ejido Tuxpan.

Se utilizó un diseño experimental simple, distribuido en bloques al azar, con 3 tratamientos (variedades Hart 1215, Hartz 1220 y DeltaPine 5415) y ocho repeticiones, aplicando una adaptación del paquete tecnológico del norte de Sinaloa y sur de Sonora (Cuadro 5).

El tamaño de las parcelas fue de 4 surcos de 1 metro de ancho por 5 de largo sembrado de oriente a poniente con pendiente en un solo sentido, la parcela útil fueron los 2 surcos centrales, cosechando 4 metros de cada uno de ellos por efectos de orilla; la variable en estudio fue el rendimiento de algodón en hueso. Todo lo anterior, se repitió en el ciclo primavera-verano 1996/96, solamente en el predio del ejido Tuxpan.

Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el paquete de diseños experimentales de la Universidad Autónoma de Nuevo León (Olivares, 1994); el cual consta de herramientas para realizar el análisis de datos resultado de diversos diseños experimentales, hace el análisis de varianza, genera una tabla de medias y compara las medias por distintos métodos (Diferencia mínima significativa y Tukey) con niveles de significancia de 0.05 y 0.01. Para este caso, la comparación de medias se hizo por el método de Tukey con significancia de 0.05.

Cuadro 5. Características de los experimentos de algodón.

2 SITIOS EXPERIMENTALES: EJIDOS COAMILES Y TUXPAN
 3 TRATAMIENTOS: A) HATZ 1215
 B) HARTZ 1220
 C) DELTAPINE 5415

8 REPETICIONES: I, II, III, IV, V, VI, VII y VIII
 EXPERIMENTO: SIMPLE
 DISTRIBUCION: BLOQUES AL AZAR

DISTRIBUCION DE BLOQUES Y TRATAMIENTOS

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	1	2	3	1	3	1	2
2	3	1	2	3	2	2	3
3	2	3	1	2	1	3	1

PAQUETE TECNOLÓGICO:

Fechas de siembra: 15 de diciembre de 1995 y 13 de julio de 1996
 Densidad de siembra: 50 lb por ha de semilla químicamente desbarrada.
 Fertilización: 160-80-80 en dos aplicaciones al suelo y 2 foliares (20-30-10)
 Insecticidas utilizados: Tamarón, Lannate, Decis y Thiodan, con un total de 7 aplicaciones en O-I y 15 para P-V.

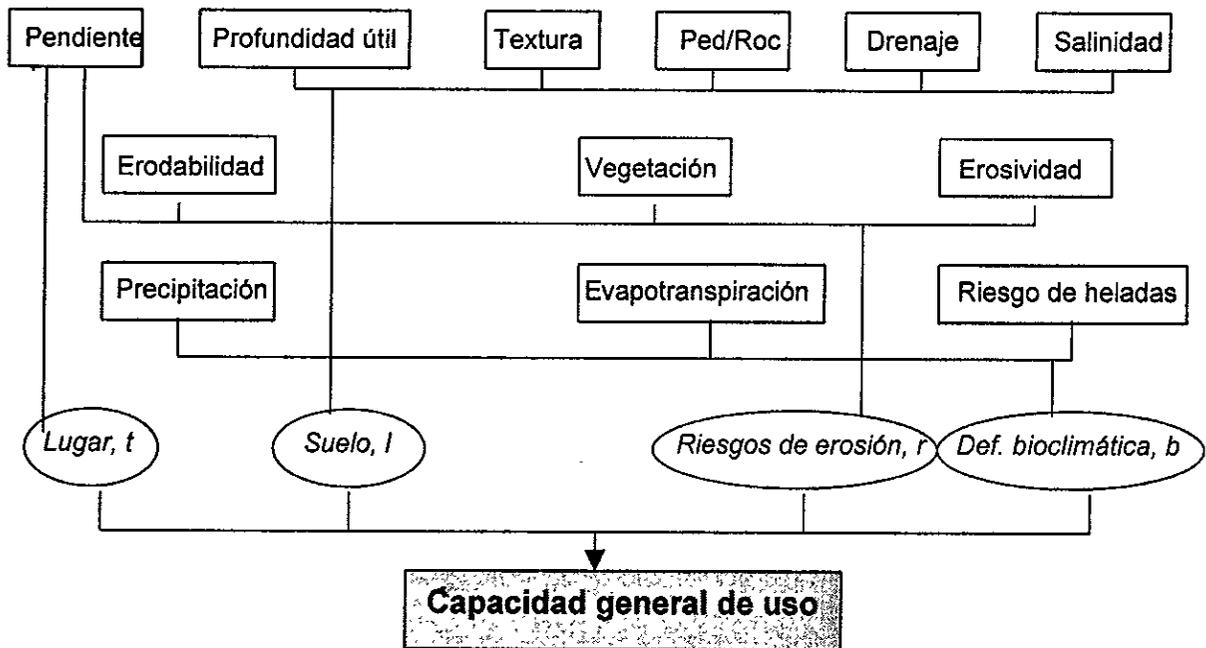
4.4. Evaluación de las unidades de mapeo de suelos.

Para la evaluación de las unidades de mapeo de suelos se utilizó el software MicroLEIS 4.1 (Sistema Integrado para la Transferencia de Datos y Evaluación Agro-ecológica de Tierras) editado por De la Rosa (1996), con algunas adaptaciones para aplicarse al municipio Tuxpan, Nayarit, que se explican en cada modelo usado.

Con el modelo *Cervatana* se pronosticó la capacidad general de uso de las tierras como resultado de un proceso cualitativo de evaluación o interpretación global de los siguientes factores biofísicos: relieve, suelo, clima y uso actual o vegetación (Figura 7)

Para cada uno de los criterios de diagnóstico o factores limitantes se seleccionaron las características por unidad de mapeo de suelos, se establecieron los niveles de generalización correspondientes y se relacionaron con las clases de capacidad de uso mediante matrices de gradación. Los distintos factores engloban al conjunto de variables o características que mejor las definen y de las que se cuenta con mayor información de partida en los reconocimientos básicos (Cuadros 6 al 9).

Figura 7. Esquema general del modelo *Cervatana*.



Cuadro 6. Matriz de gradación entre los niveles de generalización establecidos para el factor pendiente (t) y las clases de capacidad de uso.

Clase o subclase de capacidad	Niveles de generalización	
S1	Nula o Suave	< 7
S2t	Ligera a Moderada	7-15
S3t	Fuerte	15-30
Nt	Escarpada	> 30

Cuadro 7. Matriz de gradación entre los niveles de generalización establecidos para las características del factor suelo (l) y las clases de capacidad de uso.

Clase o subclase	Niveles de generalización				
S1	Elevada (> 75)	Equilibrada	Nula o Ligera (< 15)	Bueno	Nula o Ligera (< 4)
S2l	Moderada (50-75)	Ligera o Pesada	Ligera o Moderada (15-40)	Moderado	Moderada (4-8)
S3l	Escasa (25-50)	---	Elevada (> 40)	Deficiente o Excesivo	Elevada (8-12)
NI	Somera (< 25)	---	---	---	Muy elevada (> 12)

(*) Adaptación de los niveles establecidos para las características intrínsecas de los suelos por FAO (1976) y CEC, DG VI (1982)

Cuadro 8. Matriz de gradación entre los niveles de generalización establecidos para las características del factor riesgo de erosión (r) y las clases de capacidad de uso.

Clase o subclase de capacidad	Niveles de generalización			
S1	Ligera	< 15	Elevada	Ligera (< 150)
S2r	Moderada	15-30	Moderada	Moderada (150-200)
S3r	Elevada	> 30	Nula	Fuerte (200-300)
Nr	---	---	---	Muy fuerte (> 300)

(*) Adaptación de los criterios establecidos por CEC. DG XI (Giordano, 1986) para el proyecto CORINE/Suelo.

Cuadro 9. Matriz de gradación entre los niveles de generalización establecidos para las características del factor deficiencia bioclimática (b) y las clases de capacidad de uso.

Clase o subclase de capacidad	Niveles de generalización	
S1	Bajo (Clase h1)	Nulo a Ligero (Clase f1, f2)
S2b	Moderado (Clase h2)	Ligero a Moderado (Clase f3)
S3b	Elevado (Clase h3)	Elevado (Clase f4)
Nb	Muy elevado (Clase h4)	---

(*) Niveles estimados a través del modelo *Terraza*.

Las unidades de mapeo de suelos de Tuxpan se evaluaron para definir su capacidad general de uso, definiendo tres posibles clases de aptitud y una no favorable para el desarrollo de cultivos. A continuación se explican:

Clase S1. Tierras con excelente capacidad de uso. Los suelos incluidos en esta clase son los de más alta calidad agrológica del sistema, con ninguna o muy pocas limitaciones que restringen su uso. Permiten un amplio cuadro de cultivos agronómicos, no ofrecen problemas de manejo, de excelente productividad bajo un manejo acertado y muy buena fertilidad natural; no requieren de prácticas especiales de conservación, al presentar unos riesgos muy limitados de erosión o cualquier otra degradación.

Clase S2. Tierras con buena capacidad de uso. Las tierras incluidas en esta clase presentan algunas limitaciones de orden topográfico, edáfico o climático, lo que reduce un tanto el conjunto de cultivos posibles así como la capacidad productiva. Pueden ofrecer algunos problemas de manejo, aunque su productividad debe ser buena bajo un manejo adecuado. En general, requieren de prácticas moderadas de conservación de suelos para prevenir su deterioro o mejorar las relaciones agua-aire.

Clase S3. Tierras con moderada capacidad de uso. Las unidades de mapeo de suelos incluidas en esta clase presentan limitaciones importantes vinculadas a los factores topográfico, edáfico o climático, quedando reducido considerablemente el conjunto de cultivos posibles así como su capacidad productiva. Las técnicas de manejo son más difíciles de aplicar y mantener, teniendo costos más elevados.

Precisan de prácticas intensas y, a veces, especiales de conservación para mantener una productividad continuada.

Clase N. Tierras marginales o improductivas. Las incluidas en esta clase no reúnen por lo general las condiciones ecológicas necesarias para cultivo agrícola, siendo recomendable su uso para pastos o producción forestal como única forma de mantener y recuperar la capacidad productiva del recurso y el régimen hidrológico de la cuenca. Pueden precisar prácticas muy diversas de manejo y conservación en función de las deficiencias topográfica, edáfica o climática que las caracterice. Esta clase incluye también las tierras totalmente improductivas.

Con el modelo *Terraza* se hizo una predicción empírica de las limitaciones bioclimáticas de cada unidad de mapeo de suelos, para el desarrollo de seis cultivos tradicionales de Tuxpan (frijol, sorgo, maíz, tabaco, jitomate y melón) y un opcional (algodón). El proceso incluyó el cálculo de la deficiencia de agua y el riesgo de heladas; en el primero, se llevó a cabo un balance hídrico a intervalos mensuales, considerando la precipitación total y la evapotranspiración real calculada por el método de Thornthwaite (1948) y teniendo en cuenta la eficacia fotosintética del cultivo de referencia y la capacidad de almacenamiento de agua útil de los sitios de muestreo de cada unidad de mapeo de suelos (Figura 8).

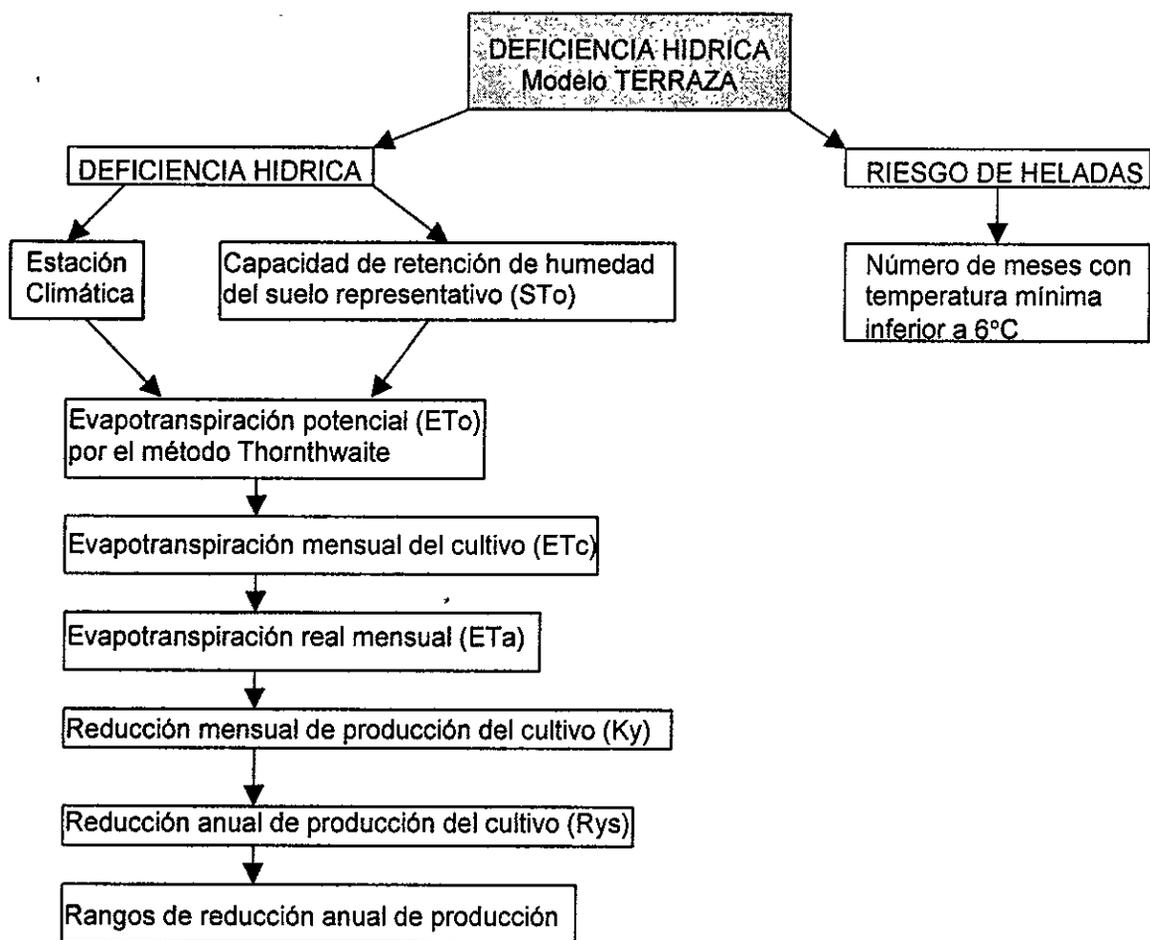
Los datos climáticos utilizados corresponden a la estación Vado de San Pedro, debido a que es la más cercana a la zona en estudio con información disponible por más de 45 años, con registros de precipitación y temperaturas máxima, media y mínima.

La decisión de considerar sólo a estos siete cultivos fue la disponibilidad de información bibliográfica sobre la eficacia fotosintética (valores K_c , K_y y K_{ys}) durante cada etapa fenológica (Cuadro 10). Entendiendo por K_c , el coeficiente de eficiencia mensual del cultivo, por K_y el coeficiente de eficiencia del cultivo que se traduce en la reducción mensual de producción y, K_{ys} el coeficiente de reducción estacional.

El análisis por cultivo se realizó para las fechas de siembra más comunes en la zona, siguiendo la guía para la asistencia técnica agrícola en el área de influencia del campo experimental "Santiago Ixcuintla" (INIFAP, 1994), esto tiene relación con el aprovechamiento del agua residual en el suelo, pasada la temporada de lluvias.

La capacidad de retención de humedad se determinó para los primeros 30 cm de profundidad, esto a partir de la clase textural de cada perfil de suelo y después referido a la unidad de mapeo correspondiente. Esta determinación se apoyó en el módulo de herramientas del software MicroLEIS, el cual desarrolla un análisis estadístico para estimar algunas propiedades físicas, tales como densidad aparente, capacidad de retención de agua y conductividad hidráulica.

Figura 8. Esquema general del modelo Terraza.



Cuadro 10. Coeficientes K_c , K_y y K_{ys} de algunos cultivos seleccionados (FAO, 1979; 1986)

CULTIVOS	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
Frijol Kc Ky Kys 1.15		0.37 0.20	0.75 1.10	1.08 0.75	0.75 0.20							
Sorgo Kc Ky Kys 0.90		1.10 0.20	1.15 0.55	0.55 0.45	0.55 0.20							
Maíz Kc Ky Kys 1.25		0.80 0.40	1.00 0.85	0.94 1.50	0.87 0.50	0.65 0.20						
Tabaco Kc Ky Kys 0.90		0.55 0.60	0.75 0.60	0.95 0.55	0.88 0.50	0.80 0.50						
Jitomate Kc Ky Kys 1.05		0.65 0.40	1.20 1.10	1.25 0.80	0.65 0.40							
Melón Kc Ky Kys 1.10		0.75 0.45	1.00 0.70	1.05 0.80	0.75 0.30							
Algodón Kc Ky Kys 0.85		0.45 0.20	0.75 19.0	1.15 0.20	0.85 0.20	0.85 0.50	0.67 0.50	0.67 0.25				

K_c = Coeficiente mensual del cultivo

K_y = Coeficiente de eficiencia fotosintética del cultivo

K_{ys} = Coeficiente de reducción de producción estacional

De acuerdo con los rangos de reducción anual de producción del cultivo de referencia (R_{ys}), se establecieron cuatro clases de deficiencia hídrica (Cuadro 11).

Cuadro 11. Rangos de reducción anual de producción establecidos para cada clase de deficiencia hídrica.

Clase	R_{ys}
H1	<20 %
H2	20-40 %
H3	40-60 %
H4	>60 %

Los riesgos de heladas, equivalentes al período libre de ellas, se determinaron de forma genérica según el número de meses con temperaturas mínimas inferiores a 6°C (Cuadro 12).

Cuadro 12. Rangos de número de meses para cada clase de riesgos de heladas.

Clases	No. Meses T _{min} < 6 °C
F1	0 meses
F2	0 - 2 "
F3	2 - 5 "
F4	> 5 "

Mediante la combinación de las clases de deficiencia hídrica y las correspondientes a riesgos de heladas y siguiendo el criterio de la limitación máxima se establecieron las clases bioclimáticas (Cuadro 13).

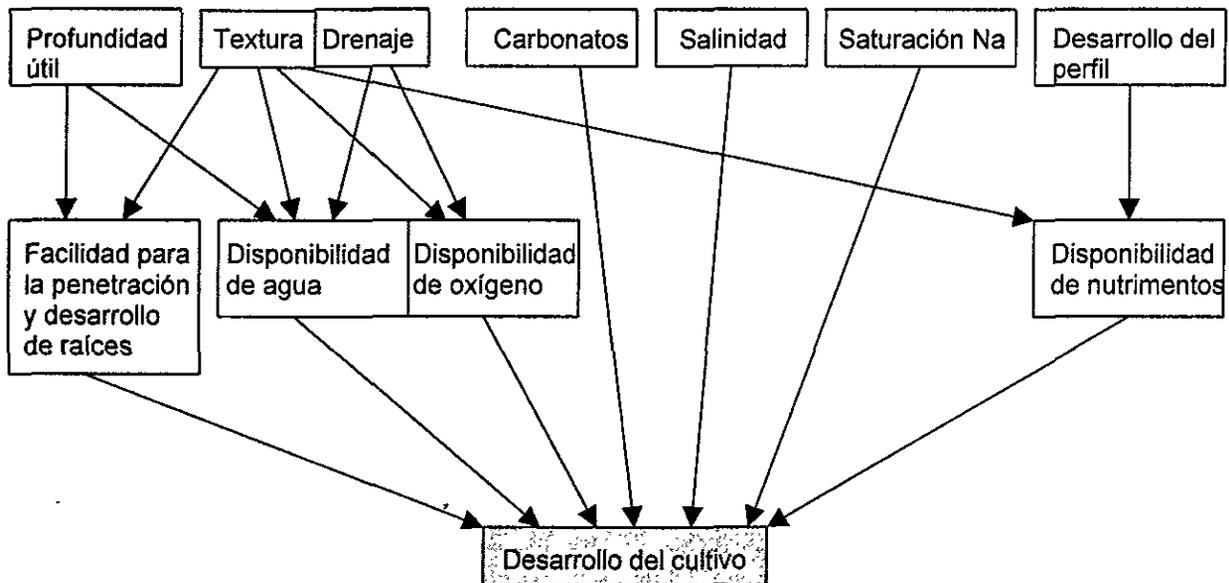
Cuadro 13. Conjunto de clases bioclimáticas estimadas por el modelo *Terraza*.

CLASES BIOCLIMÁTICAS				
Clases de deficiencia hídrica	Clases de riesgos de heladas			
	f1	f2	f3	f4
H1	C1(h1-f1)	C2(h1-f2)	C3(h1-f3)	C4(h1-f4)
H2	C2(h2-f1)	C2(h2-f2)	C3(h2-f3)	C4(h2-f4)
H3	C3(h3-f1)	C3(h3-f2)	C3(h3-f3)	C4(h3-f4)
H4	C4(h4-f1)	C4(h4-f2)	C4(h4-f3)	C4(h4-f4)

Para definir la aptitud relativa agrícola se mejoró el modelo *Almagra*, generado en MS-DOS Basic y orientado a evaluar sólo 10 cultivos de clima mediterráneo. La modificación fue llamada *Almagra-Tuxpan*, la cual se desarrolló en Visual Fox Pro para Windows 95.

Tanto el modelo original como la nueva versión, se basan en el análisis de las características edáficas que inciden más directamente sobre el desarrollo productivo de diferentes cultivos, como son la facilidad de penetración de raíces, disponibilidad de agua, de oxígeno y de nutrimentos, a través de un proceso en cadena, tal como se esquematiza en la Figura 9.

Figura 9. Esquema general seguido en la elaboración del modelo *Almagra-Tuxpan*, mostrando las influencias directas e indirectas de las características seleccionadas en la producción de cultivos a través de las cualidades.



Las principales ventajas del nuevo modelo *Almagra-Tuxpan* son que no tiene restricción en el número de cultivos y que genera un reporte con los resultados de la evaluación de las unidades de mapeo de suelos, con respecto a los niveles de aptitud para los cultivos seleccionados, tanto en forma global como por unidad individual (disketts anexos).

Almagra-Tuxpan consta de dos secciones de captura: *Cultivos* y *Unidades*, en la primera, se introdujo un código para cada cultivo deseado y, sus requerimientos en forma de tablas de gradación relacionados con la profundidad del suelo, textura, drenaje, contenido total en carbonatos, salinidad, saturación en sodio y grado de desarrollo del perfil. En la sección de *Unidades* se capturaron los valores relativos de las cualidades identificadas para cada unidad de mapeo de suelos.

Las variables profundidad, drenaje y grado de desarrollo fueron medidas en el perfil del suelo; la textura, carbonatos, salinidad y sodio, en los primeros 30 cm de profundidad, debido a que en esta sección se concentra la mayor parte de las raíces.

La determinación de los requerimientos de los cultivos seleccionados se realizó con apoyo en la literatura (FAO, 1979; 1986; 1987) y la experiencia agronómica local, para su compilación se utilizaron tablas, en las cuales se definieron los valores óptimos y extremos que afectan la germinación, crecimiento y maduración de los

cultivos. Se consideraron variables relacionadas con el lugar, el clima, el suelo y con el cultivo mismo.

Se siguió la idea de Beek y Bennema (1972) de utilizar matrices de gradación para indicar el grado mínimo que se deben ajustar las distintas variables para corresponder a una determinada clase de aptitud. En base en este planteamiento, para cada criterio o característica del suelo se establece una comparación entre los diferentes niveles de generalización y las necesidades específicas de cada cultivo.

Las matrices de gradación de requerimientos capturas en el sistema *Almagra-Tuxpan* se muestran en los cuadros 14 al 20. Para la construcción de cada cuadro, se consideraron dos criterios, el primero relativo a la información disponible y el segundo al conocimiento de 3 ingenieros agrónomos con experiencia en la agricultura de la región y la consulta de campesinos.

Cuadro 14. Matriz de gradación de los diferentes niveles de generalización de la profundidad útil, como determinante de la facilidad para el desarrollo de raíces y disponibilidad de agua, de acuerdo con las exigencias de cada cultivo.

Niveles de generalización (cm)	Cultivos											
	Fr	So	Ma	Tv	Tb	Ch	J	Me	Sa	Ji	Ca	Al
>90	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
60-90	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
45-60	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	3	2
35-45	3	3	2	2	2	3	3	2	3	3	3	3
25-35	4	4	3	3	3	4	4	3	4	4	4	4
10-25	5	5	4	4	4	5	5	4	5	5	5	5
<10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Cultivos: Fr = Frijol, So = Sorgo, Ma = Maíz, Tv = Tabaco virginia, Tb = Tabaco burley, Ch = Chile, J= Jitomate, Me = Melón, Sa = Sandía, Ji = Jicama, Ca = Cacahuete, Al = Algodón.
Limitaciones: 1 = Ninguna, 2 = Ligera, 3 = Moderada, 4 = Severa, 5 = Muy severa.

Cuadro 15. Matriz de gradación de los diferentes niveles de generalización de la textura, como determinante en distintas cualidades fundamentales del suelo, de acuerdo con las exigencias de cada cultivo. Los niveles definidos se refieren a la clase textural más ampliamente representada en los primeros 30 cm del suelo.

Niveles de generalización	Cultivos											
	Fr	So	Ma	Tv	Tb	Ch	J	Me	Sa	Ji	Ca	Al
Ligera	4	4	4	4	2	2	4	4	2	3	1	4
Media-ligera	2	3	2	3	1	1	3	3	1	1	1	3
Media-equilibrada	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2	1
Media-pesada	2	2	1	1	3	3	1	1	3	2	3	1
Pesada	3	3	3	2	4	4	2	2	4	4	4	2

Cultivos: Fr = Frijol, So = Sorgo, Ma = Maíz, Tv = Tabaco virginia, Tb = Tabaco burley, Ch = Chile, J= Jitomate, Me = Melón, Sa = Sandía, Ji = Jícama, Ca = Cacahuate, Al = Algodón.
Limitaciones: 1 = Ninguna, 2 = Ligera, 3 = Moderada, 4 = Severa, 5 = Muy severa.

Cuadro 16. Matriz de gradación de los diferentes niveles de generalización del drenaje, como determinante de la disponibilidad de agua y oxígeno del suelo, de acuerdo con las exigencias de cada cultivo.

Niveles de generalización	Cultivos											
	Fr	So	Ma	Tv	Tb	Ch	J	Me	Sa	Ji	Ca	Al
Muy pobre	4	4	3	4	5	4	4	4	4	4	5	3
Pobre	3	3	2	3	4	3	3	3	3	3	4	2
Moderado	1	1	1	2	2	2	1	1	2	2	3	1
Bueno	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
Excesivo	2	2	2	1	2	1	2	2	1	1	1	3
Muy excesivo	4	4	4	2	3	2	3	3	2	2	1	4

Cultivos: Fr = Frijol, So = Sorgo, Ma = Maíz, Tv = Tabaco virginia, Tb = Tabaco burley, Ch = Chile, J= Jitomate, Me = Melón, Sa = Sandía, Ji = Jícama, Ca = Cacahuate, Al = Algodón.
Limitaciones: 1 = Ninguna, 2 = Ligera, 3 = Moderada, 4 = Severa, 5 = Muy severa.

Cuadro 17. Matriz de gradación de los diferentes niveles de generalización del contenido total en carbonato de calcio, según la tolerancia de cada cultivo. Los niveles, expresados porcentaje en peso, se refieren al contenido medio en los primeros 30 cm de profundidad.

Niveles de generalización (%)	Cultivos											
	Fr	So	Ma	Tv	Tb	Ch	J	Me	Sa	Ji	Ca	Al
>50	5	4	5	5	5	5	4	5	5	5	5	4
40-50	4	3	4	5	5	4	3	4	4	4	4	3
20-40	3	2	3	4	4	3	2	3	3	3	3	2
10-20	2	1	2	3	3	2	1	2	2	2	2	1
0.5-10	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1
<0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Cultivos: Fr = Frijol, So = Sorgo, Ma = Maíz, Tv = Tabaco virginia, Tb = Tabaco burley, Ch = Chile, J= Jitomate, Me = Melón, Sa = Sandía, Ji = Jícama, Ca = Cacahuete, Al = Algodón.
Limitaciones: 1 = Ninguna, 2 = Ligera, 3 = Moderada, 4 = Severa, 5 = Muy severa.

Cuadro 18. Matriz de gradación de los diferentes niveles de generalización de la salinidad, según la tolerancia de cada cultivo. Los niveles están expresados en función de la conductividad eléctrica del extracto de saturación y se refieren al contenido medio de los primeros 30 cm de profundidad.

Niveles de generalización (dS/m)	Cultivos											
	Fr	So	Ma	Tv	Tb	Ch	J	Me	Sa	Ji	Ca	Al
>16	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
10-16	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4
8-10	5	3	4	5	5	4	4	4	4	4	4	3
6-8	4	2	3	4	4	3	3	3	3	3	3	2
4-6	3	1	2	3	3	2	2	2	2	2	2	1
2-4	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	1	1
<2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Cultivos: Fr = Frijol, So = Sorgo, Ma = Maíz, Tv = Tabaco virginia, Tb = Tabaco burley, Ch = Chile, J= Jitomate, Me = Melón, Sa = Sandía, Ji = Jícama, Ca = Cacahuete, Al = Algodón.
Limitaciones: 1 = Ninguna, 2 = Ligera, 3 = Moderada, 4 = Severa, 5 = Muy severa.

Cuadro 19. Matriz de gradación de los diferentes niveles de generalización de la saturación en sodio, según la tolerancia de cada cultivo. Los niveles están expresados en porcentaje de saturación del sodio cambiante y se refieren al contenido medio en los primeros 30 cm de profundidad.

Niveles de generalización (%)	Cultivos											
	Fr	So	Ma	Tv	Tb	Ch	J	Me	Sa	Ji	Ca	Al
>25	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
20-25	4	4	4	5	5	4	4	4	4	4	4	3
15-20	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3	2
10-15	3	2	3	3	3	2	2	2	2	3	3	1
5-10	2	1	2	2	2	2	1	1	1	2	2	1
<5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2

Cultivos: Fr = Frijol, So = Sorgo, Ma = Maíz, Tv = Tabaco virginia, Tb = Tabaco burley, Ch = Chile, J= Jitomate, Me = Melón, Sa = Sandía, Ji = Jícama, Ca = Cacahuete, Al = Algodón
Limitaciones: 1 = Ninguna, 2 = Ligera, 3 = Moderada, 4 = Severa, 5 = Muy severa.

Cuadro 20. Matriz de gradación de los diferentes niveles de generalización del grado de desarrollo del perfil, como determinante de las disponibilidades de nutrientes, de acuerdo con las exigencias de cada cultivo.

Niveles de generalización	Cultivos											
	Fr	So	Ma	Tv	Tb	Ch	J	Me	Sa	Ji	Ca	Al
Grado 1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1
Grado 2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1
Grado 3	2	1	2	2	3	2	2	2	2	2	3	2
Grado 4	2	2	2	3	4	3	3	2	2	3	4	2

Cultivos: Fr = Frijol, So = Sorgo, Ma = Maíz, Tv = Tabaco virginia, Tb = Tabaco burley, Ch = Chile, J= Jitomate, Me = Melón, Sa = Sandía, Ji = Jícama, Ca = Cacahuete, Al = Algodón
Limitaciones: 1 = Ninguna, 2 = Ligera, 3 = Moderada, 4 = Severa, 5 = Muy severa.

Al ejecutar la sección de *Evaluación* el programa hace una comparación entre los requerimientos de los cultivos seleccionados y las características de las unidades evaluadas; permitiendo visualizar o imprimir los resultados de la evaluación, de manera conjunta o por unidad de mapeo separada.

Siguiendo el criterio de limitación máxima se establecieron cinco clases de aptitud relativa, donde cada factor tiene una acción determinante, siendo la verificación del grado de una sola variable suficiente para que el suelo sea clasificado en la categoría correspondiente. Por tanto, no es necesario que en cada clase se verifique la existencia de todos los factores de clasificación, sino que el más desfavorable es el que condiciona cada clase, independientemente de los restantes factores que pueden presentar grados más favorables (Cardoso, 1970). Las cinco clases de aptitud para cada cultivo son las siguientes:

- Clase S1. Suelos con aptitud óptima.
- Clase S2. Suelos con aptitud elevada.
- Clase S3. Suelos con aptitud moderada.
- Clase S4. Suelos con aptitud marginal.
- Clase S5. Suelos con aptitud nula.

Finalmente, el análisis de los resultados obtenidos con el modelo *Alamgra-Tuxpan* permitió identificar la capacidad de uso agrícola de cada unidad de mapeo de suelos, a partir de los cultivos seleccionados; entendiendo tal capacidad como la suma de los tipos de uso agrícola posibles, por niveles de aptitud, en cada unidad de tierra estudiada.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Delimitación de unidades de mapeo de suelos

Las unidades de mapeo del municipio de Tuxpan, Nayarit, se generaron a partir de un levantamiento de suelos, las cuales se definen con criterios fisiográficos seguido del apoyo de información geológica, climática, hidrológica, de uso del suelo y cobertura del terreno. Se describen en el anexo 2 y se resumen, en forma jerárquica a continuación:

Fisiografía y suelos

Las unidades fueron delimitadas por fotointerpretación, recorridos de campo y descripción de perfiles de suelos, separando para Tuxpan tres grandes paisajes y cinco paisajes, los cuales incluyen diferentes subpaisajes que suman veinte unidades de mapeo de suelos. El primero corresponde a la sierra de Peñas y Coamiles; el segundo, a la llanura aluvial meándrica del río San Pedro, y el tercero, a la llanura de desborde del mismo río, la cual tiene influencia de agua del mar a través del sistema lagunar estuarino de Mexcaltitán. Los resultados están resumidos en la leyenda fisiográfica-edafológica (Cuadro 21) y el mapa de unidades fisiográficas y suelos (Figura 10).

I. **Sierra de Peñas y Coamiles.** Incluye un solo paisaje clasificado como elevación aislada.

A. **Elevación aislada.** Es de origen volcánico y de composición andesítica, con alturas entre 20 y 400 msnm, localmente se identifica como Cerros de Peñitas y Coamiles; incluye 2 subpaisajes, laderas con pendiente moderada a fuerte inclinación y lomeríos con valles.

A1. *Laderas de moderada a fuerte inclinación.* Presentan vegetación de selva baja y mediana subcaducifolia y se utiliza para el pastoreo de ganado vacuno. Se identifica localmente como "tierra cerril", la cual está compuesta por una asociación de Leptosol éutrico con Feozem háplico, el primero se encuentra en las porciones más inclinadas de las laderas, generalmente en la porción mas alta de la Sierra o en donde por la actividad pecuaria ha degradado el horizonte superficial; el Feozem se localiza en laderas con menor inclinación.

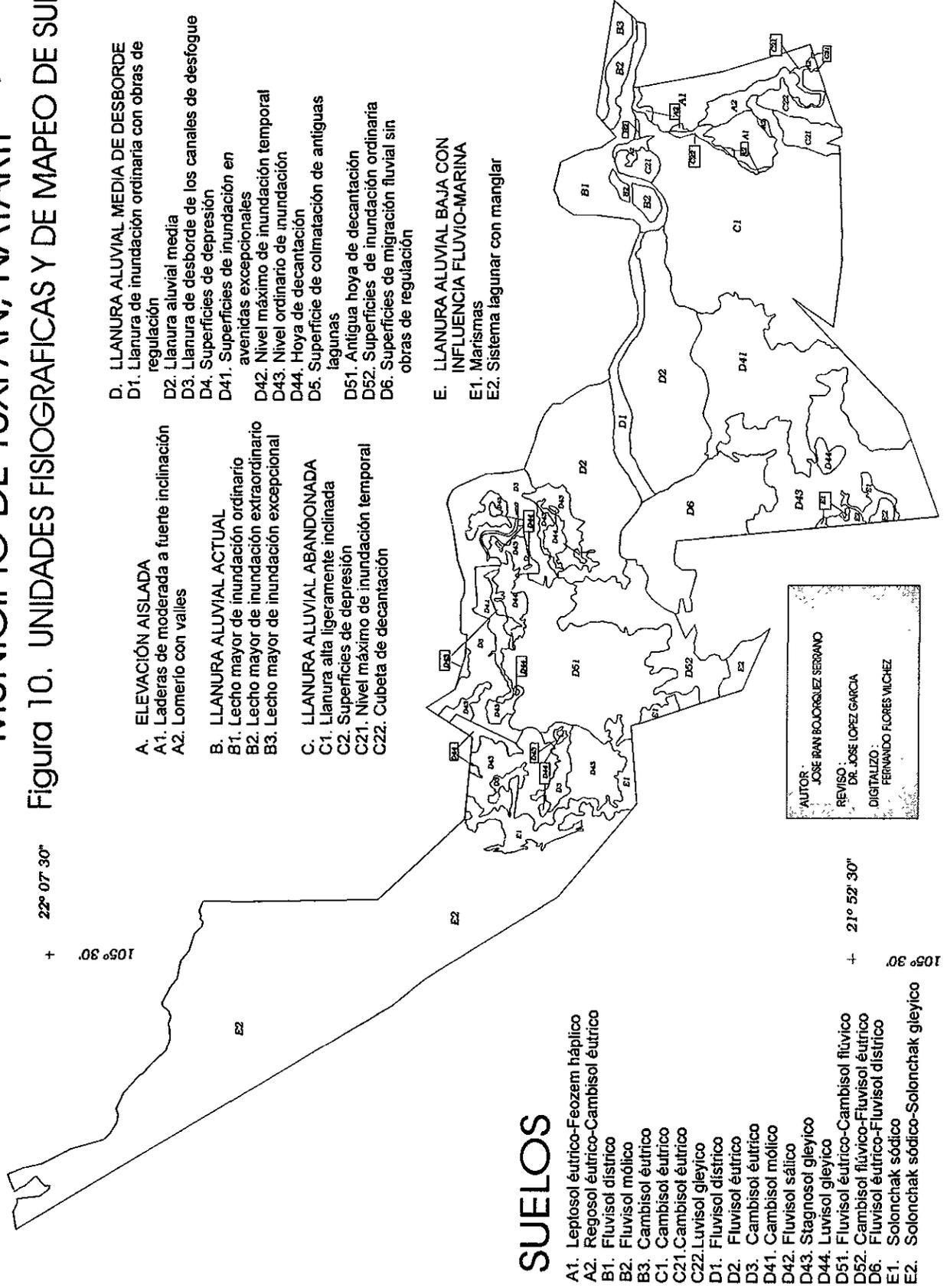
A2. *Lomeríos aislados con valles.* Tienen pendiente ligera, con vegetación secundaria y se utilizan para la agricultura de temporal y pastoreo de ganado vacuno, los productores la conocen como tierras de "lomerío". Se identificó una asociación compuesta por Regosol éutrico y Feozem háplico, el primero es común en la parte

Cuadro 21. Leyenda fisiográfica - edafológica del municipio de Tuxpan, Nayarit

GRANDES PAISAJES	PAISAJES	SUBPAISAJES	ELEMENTOS DE PAISAJES	UNIDAD DE MAPEO	UNIDAD DE CART.	NOMBRE LOCAL	CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA		SUPERFICIE	
							FAO-UNESCO 1994	SOIL TAXONOMY, 1994	Ha	%
Cerros de Peñas y Coarmites	A. Elevación aislada a fuerte inclinación	A1. Laderas de moderada a fuerte inclinación		Asociación	A1	Cerril	Leptosol éutrico	Lúdic Ustorthert	873.51	2.85
							Feozem háplico	Haplumbrept		
							Regosol éutrico	Typic Ustorthert	388.41	1.27
Llanura aluvial meandrifica	B. Llanura aluvial actual	B1. Lecho mayor de inundación ordinario		Consociación	B1	Tierra zona	Cambisol éutrico	Typic Haplumbrept		
							Fluvisol disítrico	Typic Ustifluent	739.36	2.41
							Fluvisol mólico	Mollic Ustifluent	294.01	0.96
Llanura aluvial abandonada	B2. Lecho mayor de inundación extraordinario	B2. Lecho mayor de inundación extraordinario		Consociación	B2	Tierra semizona	Cambisol éutrico	Typic Haplumbrept	160.02	0.52
							Fluvisol éutrico	Typic Haplumbrept		
							Fluvisol disítrico	Typic Ustifluent	3553.18	11.58
Llanura de desborde y fluvio-deltaica	C. Llanura alta ligeramente inclinada	C1. Llanura alta ligeramente inclinada		Consociación	C1	Tierras altas	Cambisol éutrico	Typic Haplumbrept		
							Fluvisol éutrico	Typic Haplumbrept		
							Fluvisol disítrico	Typic Ustifluent	396.84	1.29
Llanura de desborde y fluvio-deltaica	C2. Superficies de depresión	C21. Nivel máximo de inundación temporal		Consociación	C21	Tierra barrialosa	Cambisol éutrico	Typic Haplumbrept		
							Fluvisol gleyico	Vertic Natraqualf	222.94	0.73
							Fluvisol disítrico	Typic Ustifluent	352.50	1.15
Llanura de desborde y fluvio-deltaica	D. Llanura de inundación ordinaria con obras de regulación	D1. Llanura de inundación ordinaria con obras de regulación		Consociación	D1	Bordos	Fluvisol éutrico	Typic Ustifluent		
							Fluvisol éutrico	Mollic Ustifluent	3222.31	10.50
							Fluvisol éutrico	Typic Ustochrept	1439.90	4.69
Llanura de desborde y fluvio-deltaica	D2. Llanura aluvial media	D2. Llanura aluvial media		Consociación	D2	Canal	Cambisol mólico	Typic Haplumbrept		
							Fluvisol éutrico	Typic Haplumbrept		
							Fluvisol éutrico	Typic Haplumbrept	2024.50	6.60
Llanura de desborde y fluvio-deltaica	D3. Llanura de desborde de los canales de desfogue	D3. Llanura de desborde de los canales de desfogue		Consociación	D3	Palapar	Fluvisol éutrico	Typic Ustorthert	304.33	0.96
							Fluvisol éutrico	Typic Ustochrept		
							Fluvisol éutrico	Typic Ustochrept		
Llanura de desborde y fluvio-deltaica	D4. Superficies de depresión en avenidas excepcionales	D41. Superficies de inundación en avenidas excepcionales		Consociación	D41	Salitre	Fluvisol éutrico	Typic Ustochrept		
							Fluvisol éutrico	Typic Ustochrept		
							Fluvisol éutrico	Typic Ustochrept		
Llanura de desborde y fluvio-deltaica	D42. Nivel máximo de inundación temporal	D42. Nivel máximo de inundación temporal		Consociación	D42	Inundable	Fluvisol éutrico	Typic Ustochrept	3425.12	11.16
							Fluvisol éutrico	Typic Ustochrept		
							Fluvisol éutrico	Typic Ustochrept		
Llanura de desborde y fluvio-deltaica	D43. Nivel ordinario de inundación	D43. Nivel ordinario de inundación		Consociación	D43	Lagunas	Fluvisol gleyico	Vertic Natraqualf	406.45	1.32
							Fluvisol gleyico	Vertic Natraqualf		
							Fluvisol gleyico	Vertic Natraqualf		
Llanura de desborde y fluvio-deltaica	D44. Hoya de decantación	D44. Hoya de decantación		Consociación	D44	Antiguas lagunas	Fluvisol éutrico	Typic Ustifluent	2057.40	6.70
							Fluvisol éutrico	Typic Ustifluent		
							Fluvisol éutrico	Typic Ustifluent		
Llanura de desborde y fluvio-deltaica	D5. Superficie de colmatación de antiguas superficies de depresión	D51. Antigua hoya de decantación		Asociación	D51	Tierra dulce	Fluvisol éutrico	Typic Ustochrept		
							Fluvisol éutrico	Typic Ustochrept		
							Fluvisol éutrico	Typic Ustochrept		
Llanura de desborde y fluvio-deltaica	D52. Superficies de inundación ordinaria	D52. Superficies de inundación ordinaria		Asociación	D52	Llanada	Fluvisol éutrico	Typic Ustochrept	908.02	2.96
							Fluvisol éutrico	Typic Ustochrept		
							Fluvisol éutrico	Typic Ustochrept		
Llanura de desborde y fluvio-deltaica	D6. Superficies de migración fluvial sin obras de regulación	D6. Superficies de migración fluvial sin obras de regulación		Asociación	D6	Marisma	Fluvisol éutrico	Typic Ustifluent	1352.89	4.41
							Fluvisol éutrico	Typic Ustifluent		
							Fluvisol éutrico	Typic Ustifluent		
Llanura de desborde y fluvio-deltaica	E. Llanura aluvial baja con influencia fluvio-marina	E1. Marismas		Consociación	E1	Manglar	Solonchak sódico	Typic Halaquept	709.87	2.31
							Solonchak sódico	Typic Halaquept		
							Solonchak sódico	Typic Halaquept	7861.01	25.61

MUNICIPIO DE TUXPAN, NAYARIT

Figura 10. UNIDADES FISIOGRAFICAS Y DE MAPEO DE SUELOS



alta de los lomeríos y el Feozem en las laderas de menor inclinación y en valles (pozos 4 y 6). Esta unidad no presenta problemas de salinidad, es pobre en nitrógeno y de medio a rico en bases intercambiables (Cuadros 22 y 23).

ii. **Llanura aluvial meándrica.** Corresponde a la planicie costera formada por el río San Pedro mediante un proceso de migración del cauce y dominado por formas de un sistema meándrico. Por el proceso de migración del cauce y el grado de desarrollo del perfil del suelo, se separaron dos paisajes, la llanura aluvial actual y la llanura aluvial abandonada.

B. Llanura aluvial actual. Comprende parte del actual lecho de inundación del río San Pedro, se caracteriza por presentar diferentes niveles de terrazas. Los procesos predominantes identificados son la erosión, en avenidas extraordinarias la corriente excava de manera vertical y lateral los taludes; y cuando ésta es decreciente abandona las secciones laterales y va depositando los materiales de mayor a menor tamaño. Para el mapeo de suelos se separaron tres niveles de terrazas (subpaisajes) considerando los niveles de inundación.

B11. Lecho mayor de inundación ordinaria. Corresponde al cauce y márgenes del río San Pedro, los campesinos lo identifican como "tierra zona", está compuesto por una consociación de Fluvisol dístrico (pozo 2), se utiliza para el cultivo de maíz durante el temporal de lluvias, y para algunas hortalizas y cacahuate de humedad residual.

B12. Lecho mayor de inundación extraordinario. Conocido como "tierra semizona", está compuesto por una consociación de Fluvisol úmbrico (pozo 3), formado por aluviones frescos, ricos en materia orgánica; la unidad se distribuye en los márgenes del río San Pedro, al noreste de la comunidad de Peñitas. En esta unidad se desarrollan con buen éxito una variedad de cultivos de riego y humedad residual, entre los más importantes están tabaco burley, sorgo, frijol y plátano.

B13. Lecho mayor de inundación excepcional. Identificado por los campesinos como "tierra dura barrial", es una consociación de Cambisol éútrico (pozo 1), que se distribuye al este de la localidad El Tamarindo; con diversos cultivos de riego y humedad residual, entre ellos, destacan tabaco virginia, frijol y sorgo.

Dentro de las características más sobresalientes de estas unidades es que no presentan problemas de salinidad, en general, tienen niveles muy bajos de fósforo y nitrógeno, a excepción de la "tierra semizona" con valores aceptables, la capacidad de intercambio de bases es media a muy alta; la textura varía conforme la distancia al cauce del río y el nivel de terraza, es ligera (arenosa) en el lecho de inundación ordinario, moderada (franca) en la porción media, y pesada (arcillosa) en la parte más alta de la llanura (Cuadros 22 y 23).

C. Llanura aluvial abandonada. El segundo paisaje de la llanura aluvial meándrica es la planicie resultante del depósito de aluviones antiguos estratificados que sobreyacen a las rocas continentales. Se trata de la llanura formada cuando el río San Pedro estaba unido al Santiago, antes de desembocar al Océano. Para los propósitos del estudio se separaron dos subpaisajes.

C1. Llanura alta ligeramente inclinada. Incluye una amplia llanura y los antiguos cauces abandonados, que actualmente funcionan como esteros, es conocida por los agricultores como "tierras altas". Está compuesta por una consociación de Cambisol éutrico (pozos 7 y 23), con diferencias significativas en su grado de compactación, se distribuye en ambas márgenes del estero que nace en Peñitas y cruza por Coamiles y Pozo de Ibarra (antiguo cauce del río San Pedro). En esta unidad se desarrollan cultivos de riego por aspersión y humedad residual, tales como frijol, sorgo, tabaco virginia, jícama y hortalizas exóticas con sistemas de riego por goteo en acolchados; el agua para riego es tomada de los esteros o cauces abandonados.

C2. Superficies de depresión. Corresponde a un área deprimida próxima al cerro de Coamiles denominada laguna "La Punta", que por su nivel de inundación se separaron dos elementos del subpaisaje; el nivel máximo de inundación temporal y la cubeta de decantación.

C21. Nivel máximo de inundación temporal. Incluye áreas inundadas durante el temporal de lluvias y con nivel freático superficial, durante los meses de julio a noviembre, es conocida localmente como "tierra barrialosa", está compuesta por una consociación de Cambisol éutrico (pozo 5), con ciertas características lúvicas por el predominio de arcilla en el subsuelo; se distribuye en las cercanías de la laguna "La Punta" y entre el lomerío aislado y el meandro del río cercano a Peñitas. Tiene uso agrícola con sorgo y frijol principalmente.

C22. Cubeta de decantación. Abarca aquellas áreas inundadas de manera permanente o casi permanente, conocida localmente como laguna "La Punta", en donde se identificó un Luvisol gleyico.

La susceptibilidad de inundación en este paisaje, varía desde nula en la llanura alta ligeramente inclinada (a excepción de los cauces abandonados), llegando a muy alta en las superficies de depresión. Entre las características más sobresalientes es que comparten niveles muy pobres de nitrógeno, moderada salinidad, alta capacidad de intercambio de bases y de ligera a fuerte compactación (Cuadros 22 y 23).

III. Llanura aluvial de desborde y fluvio-deltaica. Corresponde al tercer gran paisaje clasificado para el municipio Tuxpan, Nayarit; incluye dos paisajes, la llanura aluvial media de desborde y la llanura aluvial baja con influencia fluvio-marina.

D. Llanura aluvial media de desborde. Se trata de una llanura a partir de la cual el río San Pedro se desborda en avenidas extraordinarias, es muy dinámica y da origen a una gran diversidad de geoformas; para los propósitos del estudio se separaron seis subpaisajes.

D1. Llanura de inundación ordinaria con obras de regulación de cauces. Se localiza en forma longitudinal al cauce del río San Pedro y está limitada por los bordos de protección de avenidas; en esta unidad se identificó una consociación de Fluvisol dístico muy arenoso (pozo 13), con muy alta susceptibilidad de inundación, en donde se desarrollan cultivos de humedad residual (frijol) y riego (tabaco burley).

D2. Llanura aluvial media. Comprende el manto de desborde cuando al río San Pedro alcanza gastos superiores a los 1,500 m³/seg, en esta unidad se localiza la cabecera municipal de Tuxpan; se le identificó como "llanura", la cual está compuesta por una consociación de Fluvisol éutrico, con diferencias significativas en su grado de compactación (pozos 12, 14, 16, 24 y 34); se desarrollan con buen éxito cultivos de humedad residual y riego, tales como frijol, sorgo, tabaco burley, jitomate, chile, melón sandía, maíz, jícama y hortalizas exóticas con sistemas de riego por goteo en acolchados.

D3. Llanura de desborde de los canales de desfogue. Se trata de diques formados por antiguos brazos de crecida o canales de desfogue del río San Pedro, de los más importantes está el "canal" o estero que pasa por Vicente Guerrero y Pimientillo. Está compuesta por una asociación de Cambisol éutrico y dístico con diferencias significativas en su grado de compactación (pozos 15, 18, 19 y 21). Las tierras de esta unidad presentan baja susceptibilidad de inundación, se desarrollan con éxito cultivos de humedad residual y de riego (por aspersion y goteo desde el canal o estero), tales como frijol, sorgo, chile, jitomate, melón, sandía y hortalizas exóticas.

D4. Superficies de depresión. Son áreas deprimidas localizadas regularmente entre dos canales de desfogue, las cuales están sujetas a un régimen de inundación temporal de acuerdo con los niveles de agua que alcanzan, por ello, se separaron cuatro elementos del subpaisaje:

D41. Superficies de inundación en avenidas excepcionales. Corresponde a las áreas de transición entre la llanura de desborde y las superficies de depresión del sistema lagunar estuarino de Mexcaltitán, está compuesta por una consociación de Cambisol mólico (pozos 9 y 10); por lo general, esta unidad pasa inundada durante el temporal de lluvias, presenta un bosque tropical subcaducifolio, dominado por

Orbignya cohune, especie de palma que en su conjunto localmente se le llama "palapar"; se encuentra con algunas porciones abiertas a la agricultura, donde el principal cultivo es sorgo.

D42. Nivel máximo de inundación temporal. Los siguientes tres elementos del subpaisaje se caracterizan por la acumulación temporal o permanente de agua de lluvia y por la alta evapotranspiración durante la estación seca, lo cual provoca la concentración de sales en la superficie; otra fuente de sales es el agua freática de influencia marina. En este caso, el proceso es más evidente debido a que hay menos posibilidad de lavados naturales de sales y éstas afloran en la superficie del suelo, localmente se le llama "salitre". La unidad está compuesta por una consociación de Fluvisol sálico, con diferencias significativas en su grado de salinidad (pozos 20, 28 y 29). Se distribuye en los alrededores de las lagunas localizadas cerca de La Palma, El Tecomate y Unión de Corrientes.

D43. Nivel ordinario de inundación. En este nivel, la concentración de sales en el subsuelo es más elevada, sin embargo, en la superficie el pH es medianamente ácido debido al proceso de lavado de bases, el suelo presenta rasgos de hidromorfía debido a que pasa inundado hasta 7 meses del año. Se le identificó como unidad "inundable", la cual está compuesta por una consociación de Stagnosol gleyico, con moteados de color rojizo (pozos 17 y 22). Las unidades "salitre" e "inundable" se utilizan para el cultivo de sorgo, presentándose problemas de germinación en manchones y bajos rendimientos en general.

D44. Hoyas de decantación. Corresponde a la parte más baja de las superficies de depresión, pasan inundadas más de 8 meses del año y se les identificó como "lagunas"; verificando la presencia de Luvisol gleyico (pozo 35), el cual se utiliza para el pastoreo de ganado durante la temporada de secas.

D5. Superficies de colmatación de antiguas superficies de depresión. Se trata de antiguas lagunas colmatadas en los últimos 20 años, rellenas por sedimentos frescos; se separaron dos elementos del subpaisaje.

D51. Antigua hoyo de decantación. Se refiere a las partes más bajas del subpaisaje, el perfil del suelo se caracteriza por presentar un horizonte superficial sedimentos aluviales frescos, y en el subsuelo, los materiales antiguos de la superficie deprimida, por lo regular de color pardo oscuro; se les identificó como "antiguas lagunas", con una asociación de Fluvisol éutrico y Cambisol flúvico (pozos 25, 26 y 27);

D52. Superficie de inundación ordinaria. Corresponde las porciones altas de la antigua hoyo de decantación, denominada "tierra dulce", se identificó una asociación de Fluvisol dístico y Cambisol flúvico (pozos 30, 31 y 32); ambas

unidades presentan alto riesgo de inundación durante los meses de julio a octubre, y a partir de noviembre se cultivan con sorgo de humedad residual.

D6. Superficies de migración fluvial sin obras de regulación. Se refiere a las superficies donde el río ha migrado su cauce, dejando grandes cantidades de limos finos a gruesos y capas de arenas, es el punto donde el cauce del río San Pedro pierde su verticalidad y se dispersa hacia las superficies de depresión. Esta unidad es conocida por los productores con "lamadal" o "tierra lama", está compuesta por una consociación de Fluvisol dístico (Pozos 8 y 11), en donde se desarrollan diversos cultivos de humedad residual y riego, tales como tabaco burley, sorgo, frijol, maíz, sandía y melón.

Derivado de la dinámica que le imprime el régimen de inundaciones, los cambios en el sistema de drenaje de la llanura de desborde y la influencia del sistema lagunar marino de Mexcaltitán, las características de este paisaje son muy variables; por ejemplo, la textura es arenosa a franca en los márgenes del río (D1 y D6); franca, en la mayor parte de la extensa llanura aluvial (D2, D51 y D52); y de franca a limo arcillosa, en las superficies deprimidas localizadas dentro de la llanura (D3, D41, D42, D43 y D44). Al igual que la salinidad, se identificaron los niveles más bajos en los márgenes el río y los más altos en las superficie deprimidas (Cuadro 22).

El contenido de nitrógeno en los suelos de esta unidad es regularmente pobre, llegando a niveles medio y altos en las superficies de depresión, producto de la acumulación de materiales orgánicos durante el proceso de sedimentación. Por otra parte, en todos los sitios analizados dentro del paisaje se presentaron niveles bajos de fósforo; mientras que, los valores de la capacidad de intercambio de cationes fue alta (Cuadro 23).

E. Llanura aluvial baja con influencia fluvio-marina. Se trata del segundo paisaje de la llanura de desborde, correspondiendo a una zona de transición entre los sistemas continental y el marino, en este caso, se refiere al sistema lagunar estuarino de Mexcaltitán, en donde se distinguieron dos subpaisajes.

E1. Marismas. Se trata de la llanura intermareal, que son las áreas sujetas de inundación con agua de mar, desde el nivel máximo durante la época de estiaje hasta el nivel máximo en el temporal de lluvias. Esta unidad "*marisma*" presenta alto contenido de sales en la superficie, por lo tanto no es susceptible de uso agrícola, el tipo de utilización más frecuente es el establecimiento de granjas para el cultivo de camarón.

E2. Sistema lagunar con manglar. Son áreas permanentemente inundadas, encerradas por flechas litorales y rebordes deltaicos, donde la principal actividad económica es la captura de camarón y de especies de escama y la explotación de la madera del mangle.

Estas dos últimas unidades fueron delimitadas por fotointerpretación y recorridos de campo. CETENAL (1974a), reporta para estas unidades una asociación de Solonchak sódico y Solonchak gleyico.

En el anexo 2 se describen las características de las unidades de mapeo de suelos, destacando su identificación en el mapa, la extensión, posición el paisaje, su relación con las unidades vecinas, los componentes taxonómicos, la descripción del perfil representativo y el rango de características.

Suelos salinos y sódicos

En el cuadro 22 se muestran los resultados de textura, pH, conductividad eléctrica y el porcentaje de sodio intercambiable de las unidades de mapeo de suelos. Las texturas reportadas corresponden a una clasificación de MicroLEIS, con base en el contenido de arena, limo y arcilla de cada pozo analizado.

Las unidades de mapeo que presentaron altos niveles de salinidad son las superficies de depresión de la llanura media de desborde y la llanura baja del río San Pedro; con valores de pH entre 5.8 y 9.6, salinidad hasta de 38.4 dS/m y sodicidad de 171.3%. Estos valores se explican por la influencia freática de agua del mar a través del sistema lagunar estuarino de Mexcaltitán; mientras que la acidez se debe al mal drenaje y el lavado de los horizontes superficiales del suelo durante la temporada de lluvias, lo cual da lugar a procesos de óxido - reducción y moteados en el perfil.

Se identificaron niveles moderados de salinidad en la llanura aluvial abandonada y en las superficies de colmatación de antiguas lagunas; mientras que, los valores bajos se encontraron en los cerros de Peñitas y Coamiles, en los lomeríos, en la llanura aluvial actual del río San Pedro y en la mayor parte de la llanura media de desborde.

Desde el punto de vista de la tolerancia de las plantas a la salinidad, los terrenos de la zona en estudio se clasificaron en 10 722 ha no salinos, 1 705 ligeramente salinos, 3 553 moderadamente salinos, 1 353 fuertemente salinos y 4 135 con extrema salinidad, además de 9 667 ha no estudiadas, que de acuerdo a la bibliografía se suman 873 se suman a los no salinos y 8 783 ha a los extremadamente salinos. Por otra parte, se encontraron 11 075 ha de suelos sin problemas de salinidad (no salinos y no sódicos), 4 461 ha salinos, 4 135 ha salino-sódicos y 9 667 ha que no fueron estudiadas, pero según la bibliografía 873 ha se suman a los suelos normales y 8784 a los salino-sódicos.

Cuadro 22. Clasificación de suelos salinos y sódicos de las unidades de mapeo de suelos del municipio de Tuxpan, Nayarit.

UNIDAD	POZOS	TEXTURA	pH	INTERPRETACION	ECa (dS/m)	INTERPRETACION	PSI (%)	CLASE
A1	V	Media equilib. Media pesada	-		-		-	
A2	4, 6	Media ligera Media pesada	6.0	Medianamente ácido	0.2-0.3	No salino	0.8-2.1	Normal
B1	2	Ligera	6.4	Ligeramente ácido	0.3	No salino	2.9	Normal
B2	3	Media equilibrada	5.8	Medianamente ácido	0.5	No salino	0.6	Normal
B3	1	Media pesada	6.5	Ligeramente ácido	0.4	No salino	5.1	Normal
C1	7, 23	Media equilibrada	7.4	Ligeramente alcalino	4.3	Medianamente salino	5.0	Salino
C21	5	Media pesada	6.0	Medianamente ácido	0.4	No salino	3.5	Normal
C22	V	Pesada	-		-		-	
D1	13	Media ligera	7.3	Muy ligeramente alcalino	2.1	Ligeramente salino	2.9-3.9	Normal
D2	12, 14 16, 24 34	Media equilibrada Media pesada	7.2-8.0	Muy ligeramente alcalino Medianamente alcalino	0.6-1.1	No salino	7.6	Normal
D3	15, 18 19, 21	Media equilibrada Media pesada	7.4-8.0	Ligeramente alcalino Medianamente alcalino	0.8-1.5	No salino	1.4-5.9	Normal
D41	20, 28 29	Media pesada	5.8-6.4	Ligeramente ácido Medianamente ácido	0.7-1.7	No salino	2.0-4.4	Normal
D42	9, 10	Media equilibrada	8.1-9.6	Medianamente alcalino Extremadamente alcalino	8-16	Extremadamente salino	18.9-171	Salino-sódico
D43	17, 22	Media equilibrada Media pesada	5.8-6.3	Ligeramente ácido Medianamente ácido	27.2-38.4	Extremadamente salino	26.2-29.1	Salino-sódico
D44	35	Pesada	9.0	Muy fuertemente alcalino		Extremadamente salino	60.6	Salino-sódico
D51	25, 26 27	Media equilibrada Media pesada	6.4-6.7	Muy ligeramente ácida	1.5	No salino	1.3-4.8	Normal
D52	30, 31 32	Media ligera Media pesada	7.2-7.6	Muy ligeramente alcalino Ligeramente alcalino	5.5	Medianamente salino	6.5-8.5	Salino
D6	8, 11	Ligera Media equilibrada	6.4-7.4	Ligeramente ácido Ligeramente alcalino	0.9-2.1	Ligeramente salino	8.2-14.4	Normal
E1	V	Media pesada	-		-			
E2	V	Pesada	-		-			

V = Observación general

- Sin datos

Disponibilidad de nutrimentos

En el cuadro 23 se muestran por unidad de mapeo de suelos, los resultados de los nutrimentos más importantes para el desarrollo de cultivos agrícolas, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, así como la capacidad de intercambio catiónico.

Se encontró que la mayoría de los suelos del municipio de Tuxpan presentan niveles bajos de nitrógeno total (menos de 0.10%), a excepción de las tierras "semizona" y "salitrosas"; las primeras, se localizan en el lecho mayor de inundación extraordinario del río San Pedro, son muy ricas en nitrógeno debido a la carga orgánica de las inundaciones periódicas; las segundas, se localizan en superficies de depresión con niveles medios de este elemento.

El fósforo se encontró en proporciones bajas (menos de 15 ppm), sólo en las tierras "salitrosas" y "altas" existen niveles medios (18 – 25 ppm). Por otra parte, el nivel de calcio (Ca) y potasio (K) son altos (de 13.1 a 44.2 y 0.7 a 2.6 meq/100 g respectivamente); los de magnesio (Mg) son altos, en la mayoría de las tierras estudiadas, medios en los márgenes del río y muy bajos en las tierras "cerriles y lomeríos"; el contenido de potasio (K) es alto en todas las unidades de mapeo de suelos estudiadas; finalmente, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) presentó valores altos a muy altos y sólo en algunas porciones de las tierras "zona" se mantienen niveles medios .

Cuadro 23. Disponibilidad de nutrimentos en suelos del municipio de Tuxpan, Nayarit.

UNI-DAD	POZOS	N total %	INTERPRE-TACION	P ppm	INTERPRE-TACION	CIC meq/100g	INTERPRE-TACION	Ca meq/100g	INTERPRE-TACION	Mg meq/100g	INTERPRE-TACION	K meq/100g	INTERPRE-TACION
A1	V	-		-		-		-		-		-	
A2	4, 6	0.08	pobre	-		19-49	Medio-muy alto	11.8-30.6	alta	0.5	muy pobre	0.7-1.3	
B1	2	0.07	pobre	5	Bajo	17	Medio	13.1	alta	3.0	media	1.3	alta
B2	3	0.29	muy rico	8	Bajo	33	Muy alto	25.8	alta	4.8	alta	1.7	alta
B3	1	0.06	pobre	6	Bajo	29	Alto	19.7	alta	5.2	alta	0.8	alta
C1	7, 23	0.04-0.07	pobre	25	Medio	26-29	Alto	17.2-27.5	alta	10.0-10.2	alta	1.8-13.0	alta
C21	5	0.07	pobre	-		29	Alto	26.2	alta	12.2	alta	2.5	alta
C22	V	-		-		-		-		-		-	
D1	13	0.10	pobre	7	Bajo	22	Alto	18.0	alta	6.0	alta	1.8	alta
D2	12, 14 16, 24 34	0.03-0.16	pobre	-		20-27	Alto	13.1-20.2	alta	3.2-6.1	alta	2.0-2.3	alta
D3	15, 18 19, 21	0.06-0.08	pobre	8	Bajo	23-31	Alto-muy alto	18.4-25.1	alta	6.3-10.0	alta	1.9-3.2	alta
D41	20, 28 29	0.11-0.15	medio	-		29-32	Alto-muy alto	21.5-24.5	alta	7.5-7.8	alta	1.2-2.6	alta
D42	9, 10	0.05-0.07	pobre	31	Alto	22-25	Alto	22.0-34.0	alta	5.3-8.0	alta	2.1-3.2	alta
D43	17, 22	0.15-0.20	rico	19	Medio	34-42	Muy alto	27.3-44.2	alta	10.9-13.6	alta	2.0-2.1	alta
D44	35	0.43	medio	18	Medio	36	Muy alto	24.5	alta	10.5	alta	2.0	alta
D51	25, 26 27	0.11	medio	5	Bajo	35-40	Muy alto	26.0-27.0	alta	6.1-7.2	alta	0.8-1.8	alta
D52	30, 31 32	0.06	pobre	13	Bajo	36	Muy alto	30.0	alta	12	alta	1.5	alta
D6	8, 11	0.05-0.09	pobre	8	Bajo	19	Medio	15-25.3	alta	6.0	alta	1.5	alta
E1	V	-		-		-		-		-		-	
E2	V	-		-		-		-		-		-	

V = Observación general

Sin datos

5.2. Análisis climático

Los resultados de las variables calculadas por la CDBm se presentan en el cuadro siguiente:

Cuadro 24. Variables calculadas por la CDBm.

VARIABLES CALCULADAS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Evapotranspiración potencial												
Vado de San Pedro (cm)	6.60	6.50	8.70	11.4	13.5	15.2	14.8	14.4	14.4	14.4	9.60	7.50
Santiago Ixcuintla (cm)	11.8	10.0	13.9	13.5	13.9	15.2	15.8	15.2	16.8	16.8	15.8	14.4
Índice de Aridez	*	*	*	*	*	*				*	*	*
Período de desarrollo vegetat.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

* Meses en que la evapotranspiración potencial excede a la precipitación.

+ Meses del año en que la temperatura media sobrepasa los 5°C.

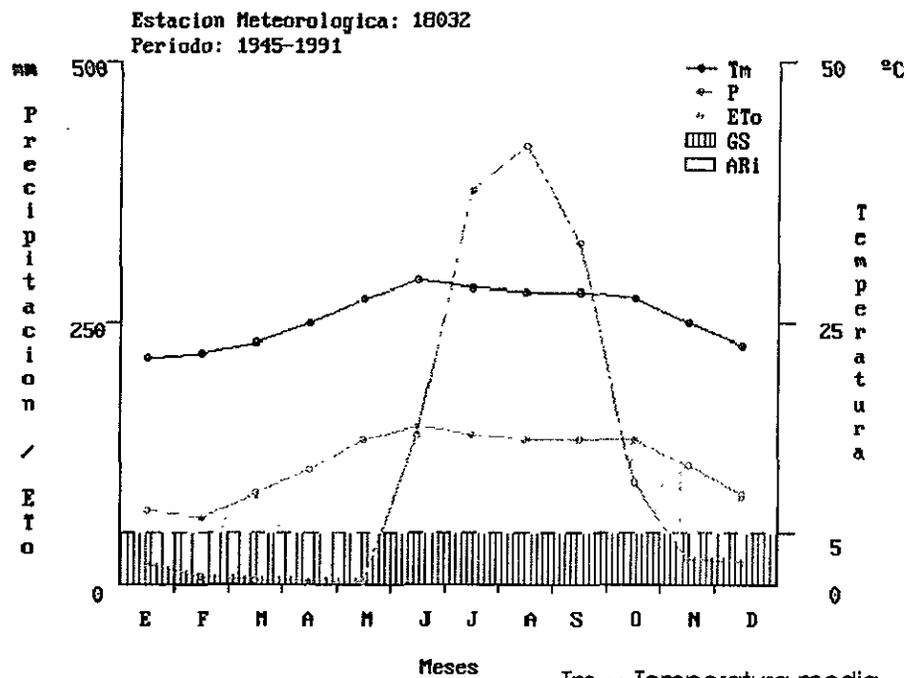
De acuerdo con la figura 11, la zona en estudio presenta un régimen de humedad del suelo *ústico*, esto quiere decir que presenta dos períodos de humedad muy marcados; durante los meses de junio y julio (inicio del temporal de lluvias) se da la recarga de agua en el suelo, seguido de un período de excedencia, esto es, agosto y septiembre, durante los meses de octubre a febrero se utiliza el agua residual del suelo para los cultivos establecidos en esta región, finalmente, de marzo a mayo hay un déficit de este recurso, por lo que se hace necesario la adición de agua mediante el riego.

Por otra parte, las capacidades de retención de agua de las unidades de mapeo de suelos se presentan en el cuadro 25.

5.3. Disponibilidad de agua para riego y riesgo de inundaciones

En el cuadro 26 aparecen los resultados de disponibilidad de agua para riego y el riesgo de inundación en las unidades de mapeo de suelos; el menor riesgo se presenta en las tierras "cerriles y lomeríos", los valores altos y muy altos ocurren en las unidades más próximas al cauce del río, en las superficies de depresión (lagunas) y en el sistema lagunar estuarino de Mexcaltitán.

Los cultivos que se programen en las unidades con aptitud agrícola y que no tienen acceso al agua para riego (A2, D41, D43, D51 y D52), tienen que ser necesariamente en condiciones de temporal o de humedad residual; mientras que, en aquellas donde sea posible regar, se pueden programar sistemas de humedad residual, con riego de auxilio o con riego completo (B1, B2, B3, C1, C21, D1, D2, D3, D42 y D6).



Tm = Temperatura media
P = Precipitación
ETo = Evapotranspiración
GS = Período de crecimiento
ARi = Índice de aridez

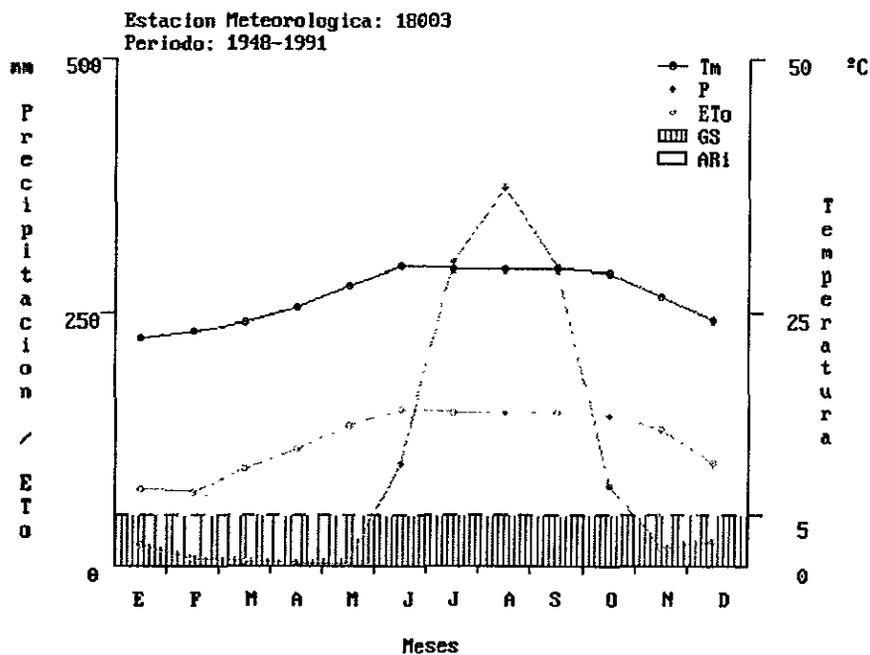


Figura 11. Regímenes de humedad de las estaciones climatológicas Vado de San Pedro (18032) y Santiago Ixcuintla (18003)

El siguiente aspecto a considerar es el nivel de riesgo de inundación y las fechas probables de presentarse el evento, en la figura 5 se muestran los niveles de riesgo de inundación para las unidades de tierra, según el análisis realizado por Romo (1994).

Cuadro 25. Capacidad de retención de humedad de las unidades de mapeo de suelos de Tuxpan, Nayarit.

UNIDAD	POZOS	CLASE TEXTURAL	CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE HUMEDAD mm/m (STo)
A1	V	Franco Franco arcilloso	-
A2	4 6	Franco arenoso Franco arcilloso	15.26 16.99
B1	2	Arenoso	4.07
B2	3	Franco	15.26
B3	1	Franco arcilloso	16.99
C1	7 23	Franco limoso Franco limoso	22.52 22.52
C21	5	Franco	19.04
C22	V	Arcilloso	-
D1	13	Franco arenoso	15.26
D2	12 14 16 24 34	Franco arenoso Franco limoso Franco arcillo arenoso Franco limoso Franco	15.26 22.52 12.03 22.52 19.04
D3	15 18 19 21 33	Franco limoso Franco limoso Arcillo limoso Franco limoso Arcillo limoso	22.52 22.52 16.68 22.52 16.68
D41	20 28 29	Franco limoso Franco limoso Franco limoso	22.52 22.52 22.52
D42	9 10	Limoso Franco arcillo limoso	23.77 13.98
D43	17 22	Franco limoso Franco limoso	22.52 22.52
D44	35	Lomoso	23.77
D51	25 26 27	Franco Franco limoso Arcillo limoso	19.04 22.52 16.68
D52	30 31 32	Franco arcillo arenoso Areno francoso Franco limoso	12.03 13.29 22.52
D6	8 11	Franco limoso Areno francoso	22.52 13.29
E1	V	Arcillo limoso	-
E2	V	Arcillo limoso	-

V = Observación general

- Sin datos

Cuadro 26. Disponibilidad de agua para riego y riesgo de inundaciones de las tierras del municipio de Tuxpan, Nayarit).

UNIDADES DE MAPEO	DISPONIBILIDAD DE AGUA PARA RIEGO (Obtenido con trabajo de campo)	RIESGO DE INUNDACION (Adaptado de Romo, 1994)
A 1	No disponible	Nulo
A2	No disponible	Muy bajo
B1	Disponible por bombeo del cauce del Río San Pedro	Muy alto
B2	Disponible por bombeo del cauce del Río San Pedro	Alto
B3	Disponible por bombeo del canal lateral de la margen derecha del Río San Pedro	Bajo
C1	Disponible por bombeo del estero Coamiles-Pozo de Ibarra y a través de pequeños pozos.	Bajo
C21	Disponible por bombeo desde las lagunas cercanas	Alto
C22	Inundado casi permanentemente	Muy alto
D1	Disponible por bombeo desde el cauce del Río San Pedro	Muy alto
D2	Disponible por bombeo del cauce y canal lateral del Río San Pedro y a través de pequeños pozos.	Medio
D3	Disponible en una sección de la unidad por bombeo desde el estero La Boquita-La Palma-Pimientillo, y no disponible en el resto de la unidad (rumbo a Unión de Corrientes)	Bajo
D41	No disponible	Medio
D42	Disponible por bombeo desde el estero La Boquita-La Palma-Pimientillo.	Alto
D43	No disponible.	Muy alto
D44	Inundado casi permanentemente.	Muy alto
D51	No disponible	Muy alto
D52	No disponible	Muy alto
D6	Disponible desde el cauce del Río San Pedro.	Muy alto
E1	No disponible	Muy alto
E2	Inundado permanentemente.	Muy alto

5.4. Selección de cultivos

Los cultivos tradicionales seleccionados y evaluados fueron: frijol (*Phaseolus vulgaris*), sorgo (*Sorghum vulgare*), maíz (*Zea mays*), dos tipos de Tabaco (*Nicotiana tabacum*), virginia y burley, chile (*Capsicum annuum*), jitomate (*Lycopersicon esculentum*), melón (*Cucurbita melo*), sandía (*Citrullus vulgaris*), jícama (*Pachyrhizus erosus*) y cacahuete (*Arachis hypogaea*); mientras que el cultivo opcional fue algodón (*Gossypium hirsutum*).

5.5. Evaluación de tierras

El proceso de evaluación de las unidades de mapeo de suelos del municipio de Tuxpan, permitió definir la capacidad general de uso, esto es, la clase de los terrenos para uso agrícola (S1, S2 y S3) y forestal (N). Las unidades que resultaron con vocación agrícola, junto con otras, cuyas limitantes son posibles de modificar con prácticas especiales de manejo, se evaluaron en dos formas: la primera, para conocer las deficiencias bioclimáticas de los cultivos más importantes de la zona, y la segunda, para definir la aptitud relativa agrícola considerando variables del suelo.

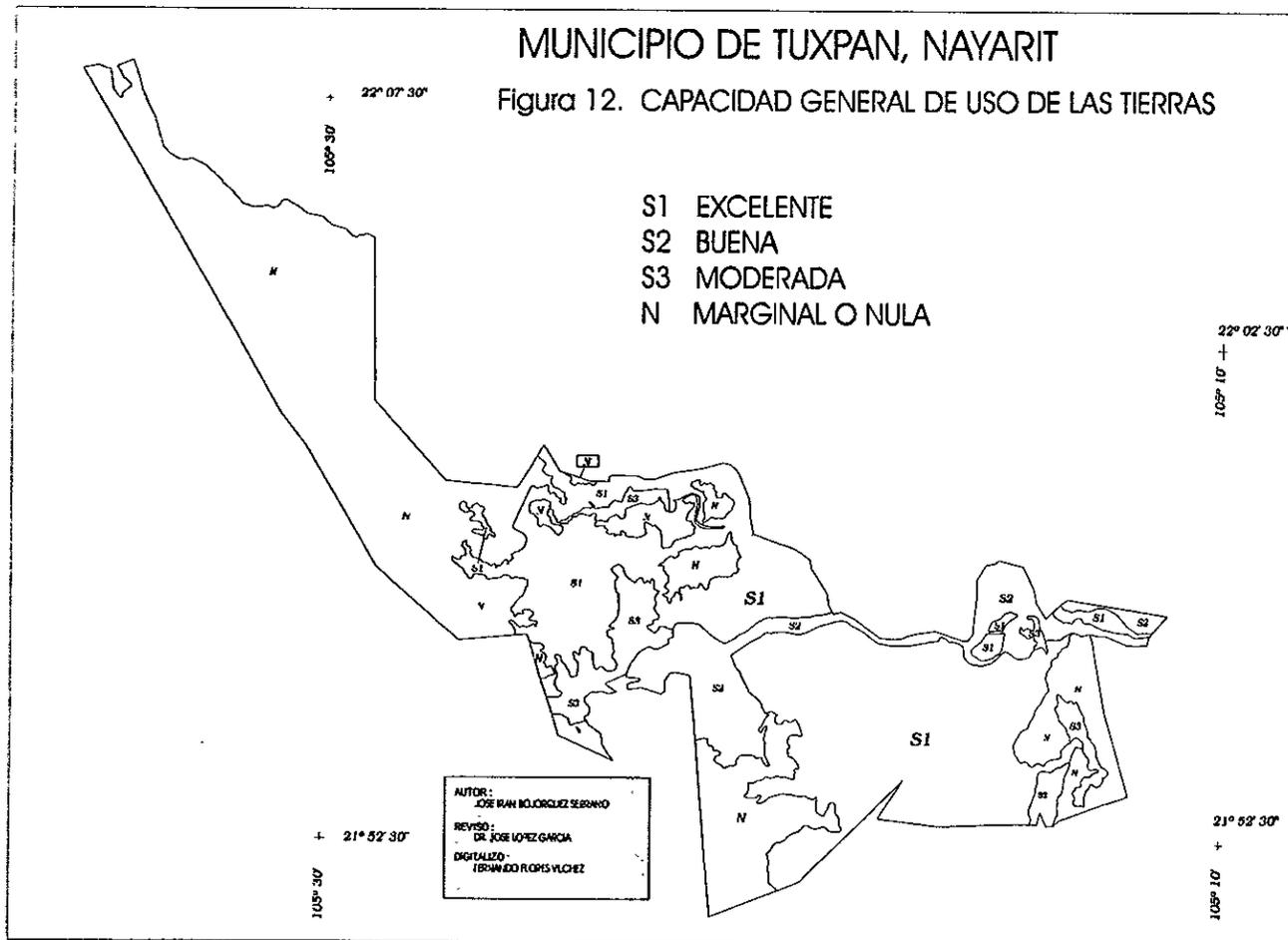
5.5.1. Capacidad general de uso de las tierras

En el cuadro 27 se muestran los resultados obtenidos con el modelo CERVATANA de MicroLEIS; se identificaron 12,591 ha de excelente clase, 3,001 ha de clase buena, 1,519 ha de clase moderada y 13,580 ha marginales para la producción agrícola, estas últimas corresponden a las tierras "cerril", "salitre" y "marismas" (Figura 12)

Dentro de las unidades identificadas con excelente capacidad de uso están B2, D2, C3, D41 y D51. La unidad D41 por la vegetación que soporta (bosque tropical subcaducifolio), su destino debería ser la conservación y restauración para la protección de especies de flora y fauna silvestres; las tierras con buena capacidad son B1, B3, C21, D1 y D6; mientras que presentan moderada capacidad de uso las unidades A2, C22 y D52; y finalmente se consideran tierras marginales A1, D42, D43, D44, E1 y E2; sin embargo, las unidades D42 y D43 se cultivan con sorgo obteniendo rendimientos bajos. Es importante señalar que las unidades D44 y E2 pasan inundadas la mayor parte del año, mientras que, D43 y E1 están inundadas de 4 a 6 meses seguidos.

Cuadro 27. Evaluación cualitativa de la capacidad general de uso de las tierras del municipio de Tuxpan, Nayarit; utilizando el modelo CERVATANA de MicroLEIS 4.1

UNIDAD DE MAPEO	CLASE	CAPACIDAD GENERAL DE USO	FACTORES LIMITANTES	EXTENSION (ha)
A1	Nl	Marginal o nula	Pendiente	873
A2	S3 II	Moderada	Pendiente y suelo (profundidad)	388
B1	S2I	Buena	Suelo (textura)	739
B2	S1	Excelente		294
B3	S2I	Buena	Suelo (drenaje)	160
C1	S1	Excelente		3 553
C21	S2I	Buena	Suelo (drenaje)	397
C22	Nl	Marginal o nula	Suelo (drenaje)	223
D1	S2I	Buena	Suelo (textura)	352
D2	S1	Excelente		3 222
D3	S1	Excelente		1 440
D41	S1	Excelente		2 024
D42	S3	Moderada	Suelo (salinidad)	304
D43	NI	Marginal o nula	Suelo (salinidad)	3 425
D44	NI	Marginal o nula	Suelo (salinidad)	406
D51	S1	Excelente		2 057
D52	S3 I	Moderada	Suelo (salinidad)	908
D8	S2I	Buena	Suelo (textura)	1 352
E1	NI	Marginal o nula	Suelo (sal, drenaje)	710
E2	NI	Marginal o nula	Suelo (sal, drenaje)	7 861



5.5.2. Deficiencia bioclimática

Para las unidades con capacidad de uso agrícola se determinó la deficiencia bioclimática con el modelo TERRAZA de MicroLEIS 41, los resultados se muestran en el cuadro 28, por un lado, las unidades de mapeo de suelos y por otro, los cultivos de frijol, sorgo, maíz, tabaco, jitomate, melón y algodón, con las fechas de siembra recomendadas por INIFAP (1996).

Los resultados indican que durante los ciclos de cultivo evaluados no hay riesgo de heladas; sin embargo, se obtienen diferentes clases por deficiencia hídrica para la mayoría de los cultivos, esto dependiendo de la demanda de cada uno y de la fecha de siembra en la que se establece. Las tierras con clase C1, indican que es posible establecer el cultivo evaluado con la humedad residual del suelo; las tierras clase C2 requieren de riegos de auxilio para lograr buenos rendimientos del cultivo y la C3 y C4 necesariamente tendrán que cultivarse bajo sistema de riego (Cuadro 29).

La forma de interpretar el cuadro 28 se inicia con la identificación de la unidad de mapeo de interés (p.e. B1, Tierra zona), seguido del cultivo deseado (p.e. FRIJOL) y la fecha de siembra (p.e. OCT, NOV); siguiendo este ejemplo, significa que la tierra zona presenta deficiencia hídrica para el cultivo del frijol, en grado moderado cuando se siembra en octubre y marginal cuando se establece en noviembre; en ambos casos se requiere de riego completo.

En la región de Tuxpan se recomienda sembrar frijol del 15 de octubre al 20 de noviembre (INIFAP, 1996); la evaluación indica que en la mayoría de las unidades de mapeo es posible establecer el cultivo con la humedad residual del suelo, a excepción de las unidades "lomerío" y "lamadal", que en siembras de noviembre se requiere riego de auxilio; por otra parte, las tierras "zona" necesitan de riego completo, tanto en siembras de octubre como de noviembre.

En cultivos como el melón donde la fecha de siembra sugerida es muy amplia (de octubre a marzo), encontramos que cuando se cultiva en octubre, resulta clase excelente, debido a que con la humedad existente en el suelo es suficiente para obtener una producción adecuada; mientras que, en plantaciones de diciembre se hace necesario el riego completo en todas las unidades de mapeo de suelos.

Cuadro 28. Evaluación de las limitaciones bioclimáticas de las tierras del municipio de Tuxpan Nayarit; utilizando el modelo TERRAZA de MicroLEIS 4.1.

UNI-DAD	NOMBRE	CULTIVOS						
		FRIJOL (OCT) FRIJOL (NOV)	SORGO (NOV) SORGO (DIC) SORGO (FEB)	MAIZ (NOV)	TABACO (OCT) TABACO (NOV) TABACO (DIC)	JITOMATE (NOV)	MELON (OCT) MELON (DIC)	ALGODÓN (NOV)
A2	Lomerío	C1 (h1-f1) C2 (h2-f1)	C2 (h2-f1) C4 (h4-f1) C4 (h4-f1)	C3 (h3-f1)	C1(h1-f1) C2 (h2-f1) C4 (h4-f1)	C3 (h3-f1)	C1 (h1-f1) C4 (h4-f1)	C3 (h3-f1)
B1	Tierra zona	C3 (h3-f1) C4 (h4-f1)	C4 (h4-f1) C4 (h4-f1) C4 (h4-f1)	C4 (h4-f1)	C2 (h2-f1) C4 (h4-f1) C4 (h4-f1)	C3 (h3-f1)	C3 (h3-f1) C4 (h4-f1)	C4 (h4-f1)
B2	Tierra semizona	C1 (h1-f1) C1 (h1-f1)	C2 (h2-f1) C4 (h4-f1) C4 (h4-f1)	C3 (h3-f1)	C1 (h1-f1) C2 (h2-f1) C4 (h4-f1)	C2 (h2-f1)	C1 (h1-f1) C4 (h4-f1)	C3 (h3-f1)
B3	Tierra dura barrial	C1 (h1-f1) C1 (h1-f1)	C2 (h2-f1) C3 (h3-f1) C4 (h4-f1)	C3 (h3-f1)	C1 (h1-f1) C2 (h2-f1) C4 (h4-f1)	C2 (h2-f1)	C1 (h1-f1) C4 (h4-f1)	C3 (h3-f1)
C1	Tierras altas	C1 (h1-f1) C1 (h1-f1)	C1 (h1-f1) C3 (h3-f1) C4 (h4-f1)	C2 (h2-f1)	C1 (h1-f1) C1 (h1-f1) C3 (h3-f1)	C1 (h1-f1)	C1 (h1-f1) C3 (h3-f1)	C2 (h2-f1)
C21	Tierra barrialosa	C1 (h1-f1) C1 (h1-f1)	C2 (h2-f1) C3 (h3-f1) C4 (h4-f1)	C1 (h1-f1)	C1 (h1-f1) C2 (h2-f1) C4 (h4-f1)	C2 (h2-f1)	C1 (h1-f1) C3 (h3-f1)	C3 (h3-f1)
D1	Bordos	C1 (h1-f1) C1 (h1-f1)	C2 (h2-f1) C4 (h4-f1) C4 (h4-f1)	C3 (h3-f1)	C1 (h1-f1) C2 (h2-f1) C4 (h4-f1)	C2 (h2-f1)	C1 (h1-f1) C4 (h4-f1)	C3 (h3-f1)
D2	Llanura	C1 (h1-f1) C1 (h1-f1)	C1 (h1-f1) C4 (h4-f1) C4 (h4-f1)	C3 (h3-f1)	C1 (h1-f1) C2 (h2-f1) C4 (h4-f1)	C2 (h2-f1)	C1 (h1-f1) C4 (h4-f1)	C3 (h3-f1)
D3	Canal	C1 (h1-f1) C1 (h1-f1)	C1 (h1-f1) C3 (h3-f1) C4 (h4-f1)	C2 (h2-f1)	C1 (h1-f1) C1 (h1-f1) C3 (h3-f1)	C1 (h1-f1)	C1 (h1-f1) C3 (h3-f1)	C2 (h2-f1)
D41	Palapar	C1 (h1-f1) C1 (h1-f1)	C1 (h1-f1) C2 (h2-f1) C4 (h4-f1)	C2 (h2-f1)	C1 (h1-f1) C1 (h1-f1) C3 (h3-f1)	C1 (h1-f1)	C1 (h1-f1) C2 (h2-f1)	C2 (h2-f1)
D42	Salitre	C1 (h1-f1) C1 (h1-f1)	C1 (h1-f1) C3 (h3-f1) C4 (h4-f1)	C2 (h2-f1)	C1 (h1-f1) C1 (h1-f1) C3 (h3-f1)	C1 (h1-f1)	C1 (h1-f1) C3 (h3-f1)	C2 (h2-f1)
D43	Inundable	C1 (h1-f1) C1 (h1-f1)	C1 (h1-f1) C3 (h3-f1) C4 (h4-f1)	C2 (h2-f1)	C1 (h1-f1) C1 (h1-f1) C3 (h3-f1)	C1 (h1-f1)	C1 (h1-f1) C3 (h3-f1)	C2 (h2-f1)
D51	Antiguas lagunas	C1 (h1-f1) C1 (h1-f1)	C2 (h2-f1) C3 (h3-f1) C4 (h4-f1)	C3 (h3-f1)	C1 (h1-f1) C2 (h2-f1) C3 (h3-f1)	C2 (h2-f1)	C1 (h1-f1) C3 (h3-f1)	C3 (h3-f1)
D52	Tierra dulce	C1 (h1-f1) C1 (h1-f1)	C1 (h1-f1) C2 (h2-f1) C4 (h4-f1)	C3 (h3-f1)	C1 (h1-f1) C1 (h1-f1) C3 (h3-f1)	C1 (h1-f1)	C1 (h1-f1) C3 (h3-f1)	C2 (h2-f1)
D6	Lamadal	C1 (h1-f1) C2 (h2-f1)	C2 (h2-f1) C4 (h4-f1) C4 (h4-f1)	C4 (h4-f1)	C1 (h1-f1) C3 (h3-f1) C4 (h4-f1)	C3 (h3-f1)	C1 (h1-f1) C3 (h3-f1)	C3 (h3-f1)

Clases de deficiencia bioclimática: C1= excelente, C2= buena, C3= moderada y C4= marginal

Clases de deficiencia hídrica*: h1= <20%, h2= 20-40%, h3= 40-60% y h4= >60%

Clases de riesgo de heladas**: f1= 0 meses, f2= 0-2 meses, f3= 2-5 meses y f4= >5 meses

(OCT, NOV) = fechas de siembra

5.5.3. Aptitud relativa agrícola

Para la zona en estudio, se evaluaron 11 cultivos y 16 unidades con vocación agrícola, en el cuadro 29 se resumen los resultados obtenidos de las unidades de mapeo de suelos y en el anexo 4 (disketts anexos) se pueden consultar los resultados de la evaluación de tierras con el sistema ALMAGRA-Tuxpan.

El cuadro 30 presenta por un lado, las unidades de mapeo que presentaron vocación agrícola, además de otras que no la tienen pero que en este momento se cultivan, y por el otro, los tipos de uso seleccionados. Cada unidad está calificada con los resultados de la evaluación, que corresponde al grado de limitación identificado: 1= ninguno, 2= ligero, 3= moderado, 4= severo y 5= muy severo; lo anterior se traducen en clases de aptitud: 1= óptima, 2= elevada, 3= moderada, 4= marginal y 5= nula.

A manera de ejemplo, la evaluación del frijol indica que la unidad "lomerío" (A2), presentó de ligera a moderada dificultad para el desarrollo del cultivo, debido a la profundidad del suelo (< 35 cm) y al tipo de textura (media pesada); las tierras "zona" (B1) presentan severas restricciones por textura (ligera) y drenaje (excesivo); las tierras "semizona" (B2) no presentan problemas para el crecimiento de este cultivo; mientras que las unidades "salitre" e "inundable" tienen limitación muy severa, debido principalmente al grado de salinidad del suelo.

Se identificaron niveles elevados de aptitud para el cultivo del melón, en la mayoría de las unidades de mapeo, a excepción de las "tierras zona" (D1 y D6) que presenta problemas de drenaje excesivo, y las "tierras salitrosas" (D42 y D43) con altos niveles de salinidad.

Desde el punto de vista de la calidad de las tierras para la mayoría de los cultivos seleccionados destacan las unidades "semizona" (B2), "palapar" (D41) y "antiguas lagunas" (D51) con niveles de limitación ligeros o nulos; seguido de B3, C1, C21, D1, D2, D3 y D52 donde las limitantes por lo general se refieren a problemas de drenaje y textura; con menor calidad sobresalen las unidades "tierras zona" (B1) con limitaciones significativas por el riesgo de inundación y el drenaje excesivo, y las "tierras salitrosas" (D42 y D43) con elevados contenidos de salinidad.

Cuadro 29. Resumen de la evaluación de unidades de tierra para 12 cultivos con el programa ALMAGRA-TUXPAN.

UNIDADES DE MAPEO	CULTIVOS											
	Fr	So	Ma	Tb	Tv	Ch	J	Me	Sa	Ji	Ca	Al
A2	2-3	2-3	1-2	3	2	3	2-3	2	3	3	3	2-3
B1	4	4	4	2	4	2	4	4	2	1	1	4
B2	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	2	1
B3	2	2	2	3	2	3	2	2	3	3	3	1
C1	2-3	1	1-2	2-3	2	2-3	2	2	2	2	2-3	1
C21	1	1	1	3	2	3	2	2	3	3	3	1
D1	2	3	2	2	3	2	3	3	1	2	1	3
D2	1-2	1-2	1-2	2-3	1	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	2-3	1-2
D3	2	1-2	1-2	2-3	1-2	2-3	2	2	2-3	2-3	2-3	1
D41	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2-3	2	1
D42	5	4-5	4-5	5	4-5	5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
D43	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
D51	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	2	1
D52	3	1	2	3	2	3	2	2	2	2-3	2	1
D6	3	3	3	3	3	2	3	3	2	2	3	3

Cultivos: Fr= Frijol, So= Sorgo, Ma= Maíz, Tb= Tabaco burley, Tv= Tabaco virginia, Ch=Chile, J= Jitomate, Me= Melón, Sa= Sandía, Ji= Jícama, Ca= Cacahuete, Al= Algodón.

Limitaciones : 1=Ninguna, 2 = Ligera, 3= Moderada, 4= Severa, 5= Muy severa

En el cuadro 30 se presentan las superficies del municipio de Tuxpan con diferentes niveles de aptitud para los 12 cultivos evaluados. De acuerdo con las variables del suelo que más limitan el desarrollo de los cultivos resultaron áreas con diferentes niveles de aptitud, en la medida que se vuelve marginal, también es menos recomendable para el uso seleccionado. Por ejemplo, se recomienda la siembra de frijol preferentemente en las superficies que resultaron con aptitud óptima y elevada, esto es, en 9,857 ha. Para el melón no se presentaron condiciones óptimas, sin embargo, la superficie con aptitud elevada es de 11,117 ha.

Cuadro 30. Superficies (ha) del municipio de Tuxpan, Nayarit, con diferentes niveles de aptitud de cultivos.

Clase de aptitud	Frijol	Sorgo	Maíz	Tabaco burley	Tabaco virginia	Chile	Jitomate	Melón	Sandía	Jicama	Cacahuete	Algodón
Óptima	4713	9173	4713	4353	7538	4353	0	0	4707	736	1082	10778
Óptima a elevada	3185	4631	8584	0	1446	0	0	0	0	0	0	3185
Elevada	1959	159	1418	1082	5377	2461	10778	11177	6567	7607	5259	0
Elevada a moderada	3953	399	0	8185	0	8185	3584	3185	4631	7592	8185	399
Moderada	2285	1732	1379	3202	1732	1823	1732	1732	918	940	2297	1732
Marginal	729	729	729	0	729	0	729	729	0	0	0	1251
Marginal a nula	0	196	196	0	196	0	196	196	196	304	196	196
Nula	13847	13652	13652	13847	13652	13847	13652	13652	13652	13491	13652	13129
Total (ha):	30670	30670	30670	30670	30670	30670	30670	30670	30670	30670	30670	30670

En el cuadro 31 aparecen las superficies potencialmente cultivables para cada tipo de uso de la tierra seleccionado, sobresalen el algodón, maíz y tabaco virginia, lo cual significa que los requerimientos para el desarrollo de estos cultivos son más coincidentes con las características de las unidades de mapeo de suelos de Tuxpan.

Cuadro 31. Superficies potencialmente cultivables por tipo de uso de la tierra.

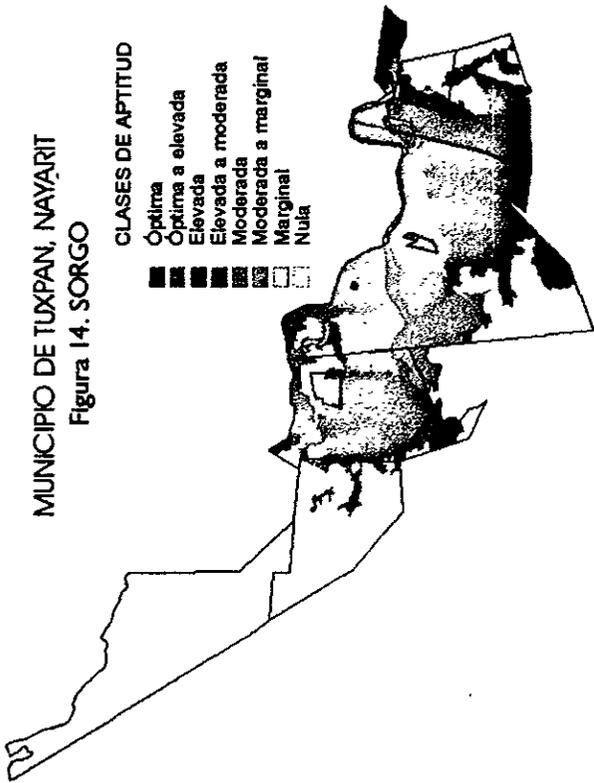
CULTIVOS	NIVEL DE APTITUD (ha)	
	ELEVADA A OPTIMA	MODERADA A ELEVADA
Algodón	14 963	2 131
Maíz	14 715	1 379
Tabaco virginia	14 361	2 461
Sorgo	13 963	2 131
Sandía	11 274	5 549
MeiÓN	11 177	4 917
Jitomate	10 778	5 316
Frijol	9 857	6 238
Jícama	8 343	8 532
Chile	6 814	10 008
Cacahuate	6 341	10 482
Tabaco burley	5 435	11 387

Las figuras 13 a la 24 muestran las clases de aptitud de las tierras del municipio de Tuxpan para los doce cultivos seleccionados. Se diseñó una escala de clases de aptitud y colores, de acuerdo con los resultados generados con el modelo ALMAGRA-Tuxpan, la misma escala fue aplicada a cada uno de los cultivos evaluados, añadiendo además los límites de la tenencia de la tierra.

A manera de ejemplo, la forma de interpretar la figura 13, que muestra las clases de aptitud de las tierras del municipio de Tuxpan para el cultivo de frijol, las condiciones óptimas para el desarrollo de la planta ocurren en las unidades "semizona", "tierras barrialosas", "palapar" y "antiguas lagunas", las cuales suman 4 713 ha; le siguen con menor calidad 5 144 ha localizadas en la "llanura", "tierra dura barrial", "bordos" y "canal" que corresponden a la clase elevada a óptima, y 6 238 ha en las unidades "lomerío", "tierras altas", "tierra dulce" y "lamadal" que tienen aptitud moderada a elevada. Las tierras "zona" resultaron marginales para este cultivo (729 ha) y finalmente, las áreas no aptas son las "tierras cerriles", "salitre", "inundable", "lagunas", "marismas" y "manglares".

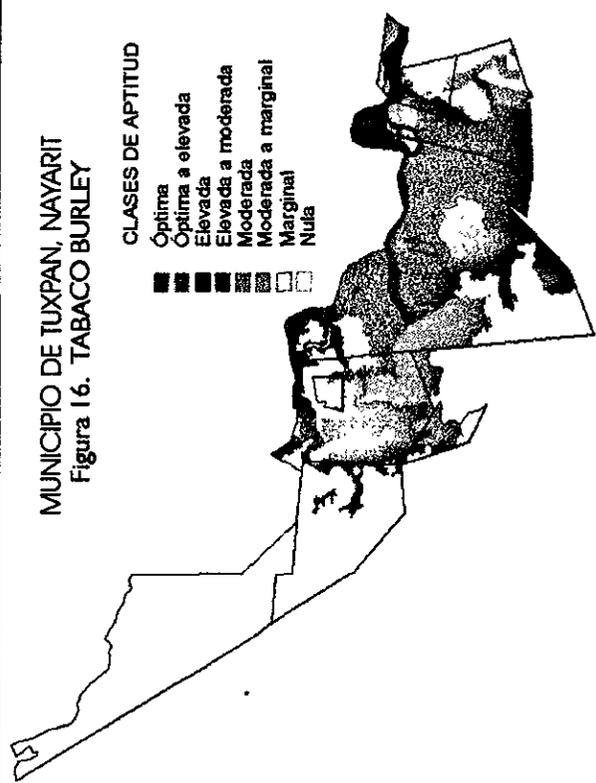
MUNICIPIO DE TUXPAN, NAVARIT
 Figura 14. SORGO

- CLASES DE APTITUD
- Óptima
 - Óptima a elevada
 - Elevada
 - Elevada a moderada
 - Moderada
 - Moderada a marginal
 - Marginal
 - Nula



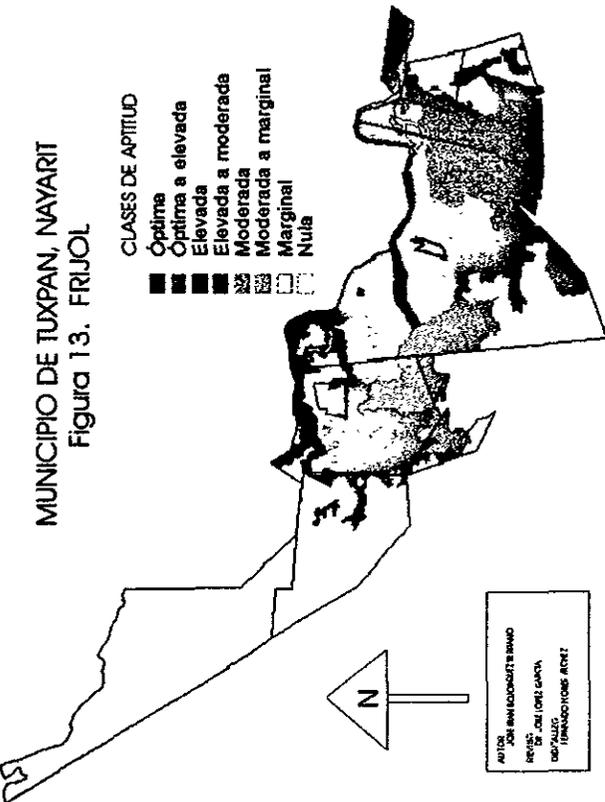
MUNICIPIO DE TUXPAN, NAVARIT
 Figura 16. TABACO BURLEY

- CLASES DE APTITUD
- Óptima
 - Óptima a elevada
 - Elevada
 - Elevada a moderada
 - Moderada
 - Moderada a marginal
 - Marginal
 - Nula



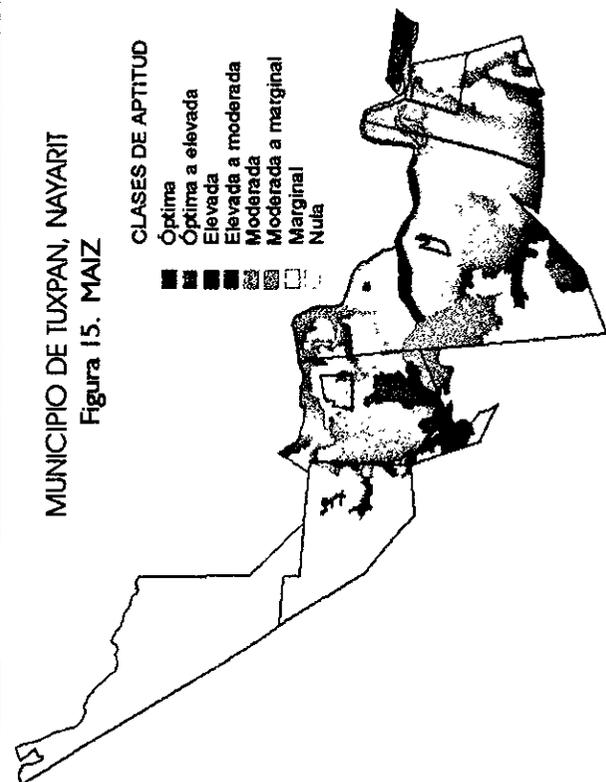
MUNICIPIO DE TUXPAN, NAVARIT
 Figura 13. FRIJOL

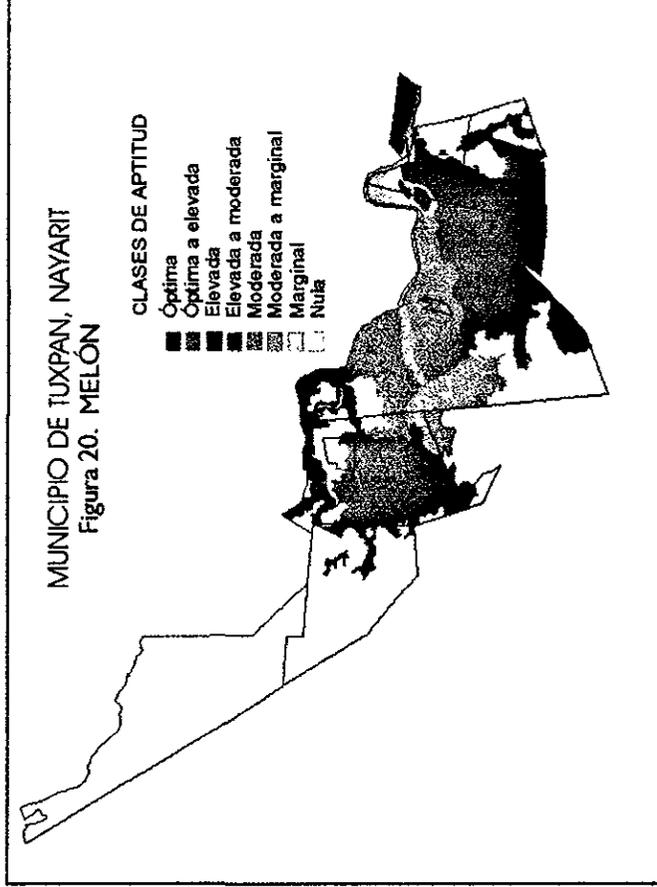
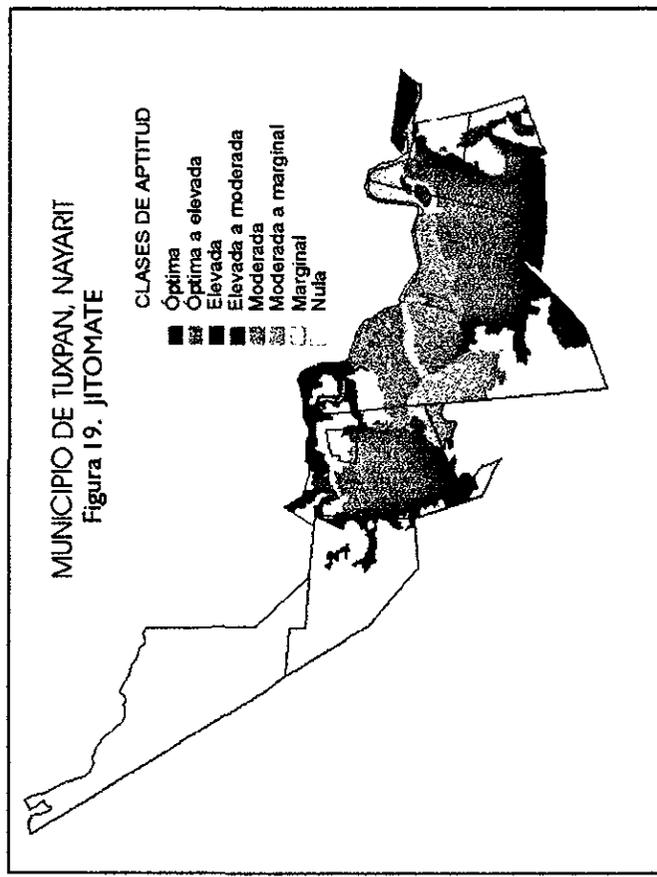
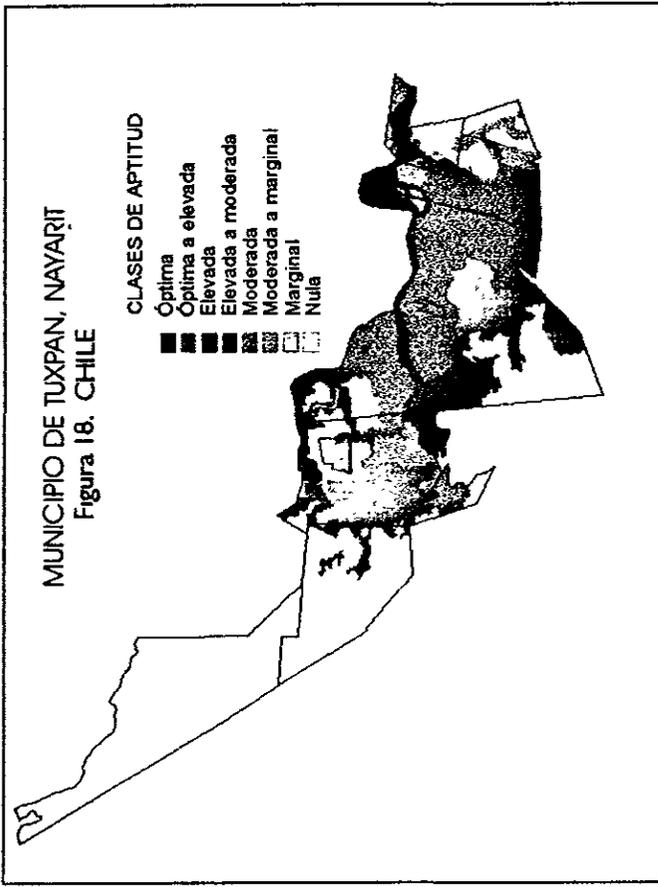
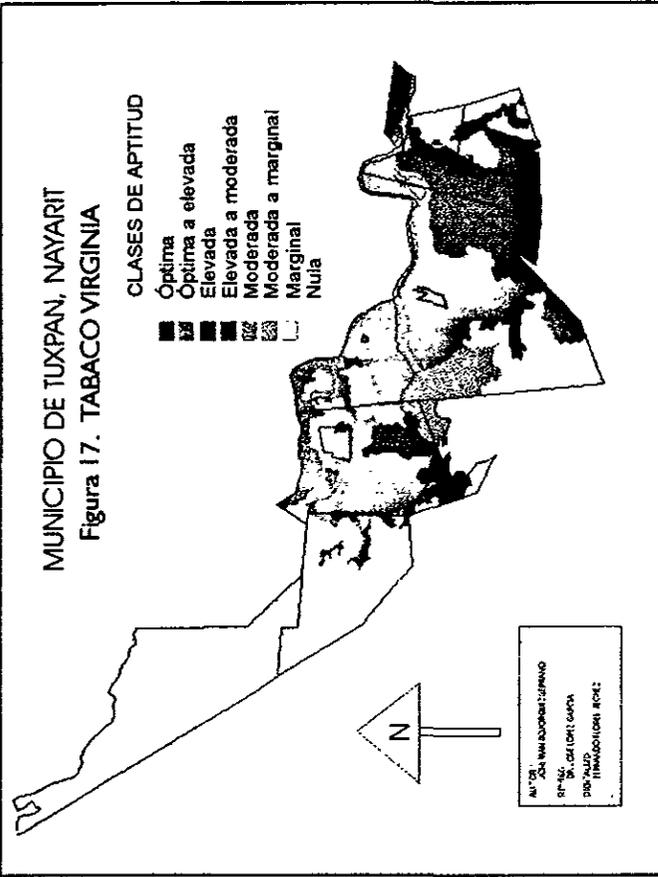
- CLASES DE APTITUD
- Óptima
 - Óptima a elevada
 - Elevada
 - Elevada a moderada
 - Moderada
 - Moderada a marginal
 - Marginal
 - Nula

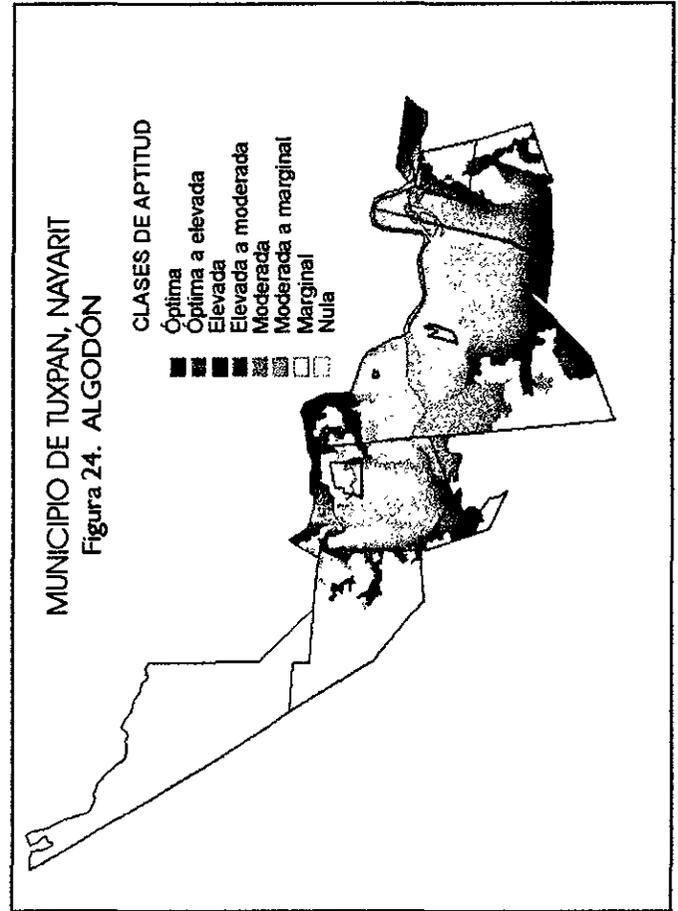
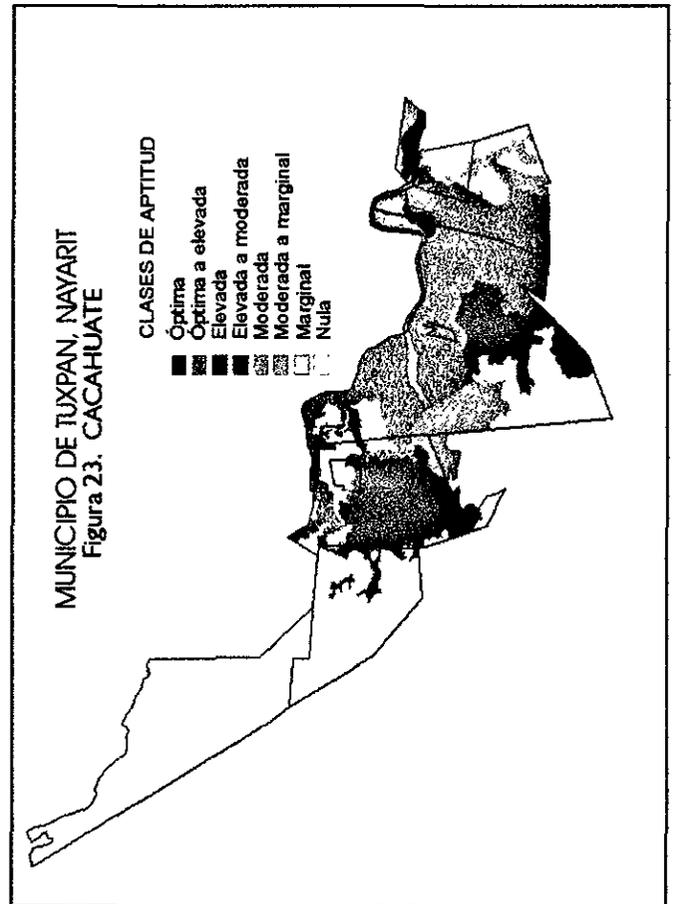
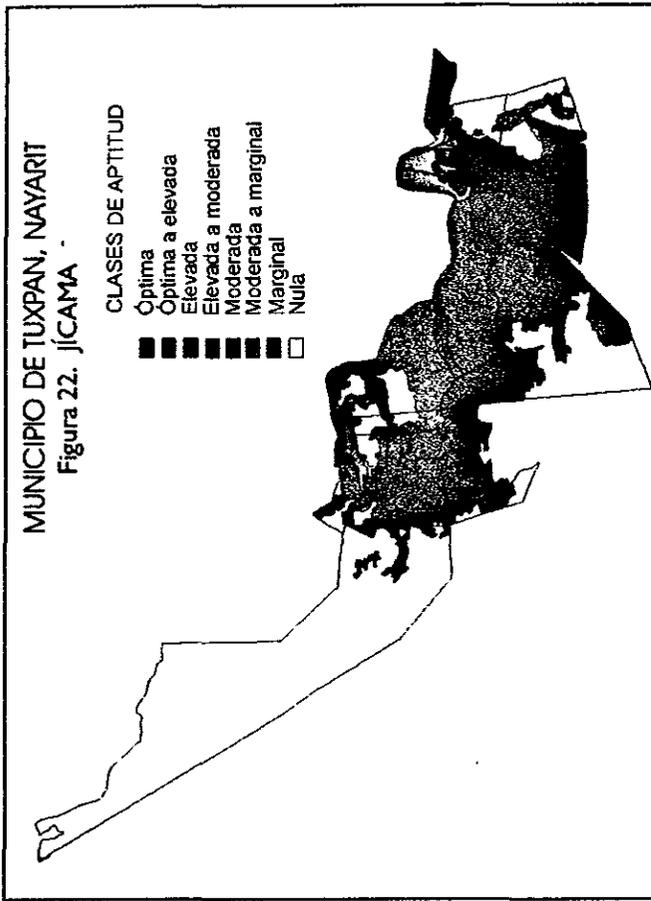
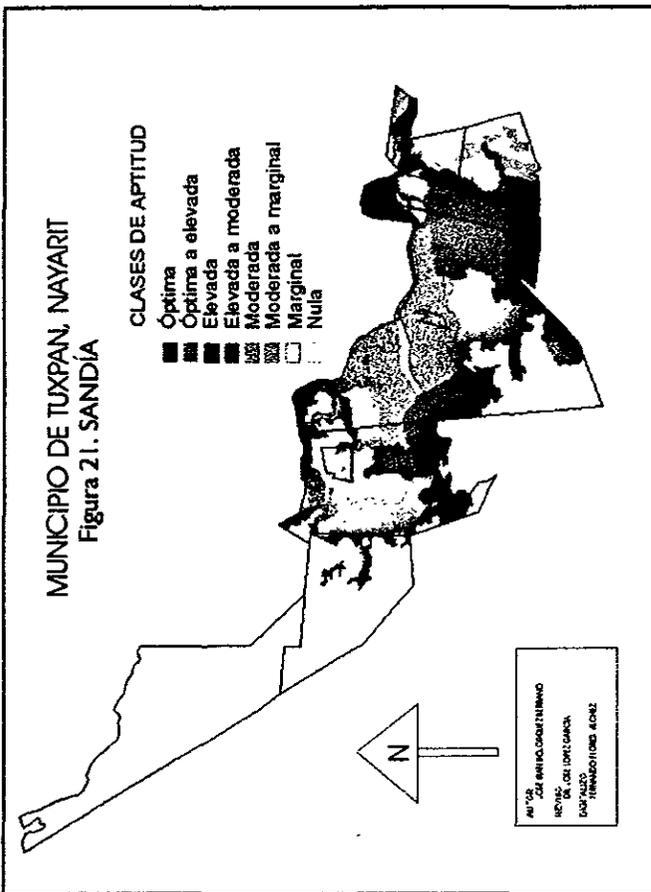


MUNICIPIO DE TUXPAN, NAVARIT
 Figura 15. MAIZ

- CLASES DE APTITUD
- Óptima
 - Óptima a elevada
 - Elevada
 - Elevada a moderada
 - Moderada
 - Moderada a marginal
 - Marginal
 - Nula







5.5.4. Capacidad agrícola de las tierras

La capacidad de uso agrícola de las tierras, se refiere al potencial de cultivos que se pueden establecer en una unidad de tierra determinada, en función de los niveles de aptitud identificados. En el cuadro 32 se resume la capacidad agrícola de las unidades de mapeo de suelos del municipio de Tuxpan, para cada unidad se mencionan los cultivos por clase de aptitud del suelo y se indican las limitantes más importantes para el desarrollo de las plantas; desde este punto de vista los cultivos preferentes son aquellos ubicados en las clases 1 y 2 (óptima y elevada), eventualmente se pueden seleccionar los terrenos con clase 3 (moderada), sólo cuando sea posible corregir las limitantes de manejo identificadas; en el caso de las tierras de clase 4 (marginal), sólo cuando las condiciones del mercado de los productos exijan mayores volúmenes y que sean claramente rentables.

Lo anterior, supone la selección de las mejores de opciones de cultivo por unidad de tierra, desde el punto de vista biofísico. Por ejemplo, la unidad "zona" (B1) que se localiza próxima al cauce del río, se caracteriza por presentar suelos arenosos (textura ligera), drenaje excesivo, con niveles bajos de nitrógeno, fósforo y sales, resultó con aptitud óptima para el cultivo de cacahuete y jícama; elevada, para el tabaco burley, chile y sandía; y marginal, para el frijol, sorgo, maíz, tabaco virginia, jitomate, melón y algodón.

Por otra parte, la "tierra semizona" (B2) reúne condiciones óptimas y elevadas para el desarrollo de la mayoría de los cultivos, sin embargo, se tendrá que considerar el alto riesgo de inundación, como un factor de riesgo de la inversión. En el caso de las "tierras altas" (C1), presentan clase de aptitud óptima para sorgo, maíz y algodón; elevada para frijol, tabaco virginia, chile, jitomate, melón, sandía y jícama; mientras que presenta moderada aptitud para tabaco burley y cacahuete.

Cuadro 32. Capacidad agrícola de las unidades de mapeo de suelos del municipio de Tuxpan, Nayarit.

UNIDAD	CLASE	CAPACIDAD DE USO AGRICOLA	LIMITANTES
A1	5	Suelos con aptitud nula	Pendiente del suelo
A2	1 2 3	Ma. Fr, So, Ma, Tv, Me, Ji, Al. Fr, So, Tb, Ch, J, Sa, Ji, Ca, Al.	Profundidad efectiva Textura fina Drenaje interno
B1	1 2 4	Ca, Ji. Tb, Ch, Sa. Fr, So, Ma, Tv, J, Me, Al.	Textura gruesa Drenaje excesivo Muy alto riesgo de inundación
B2	1 2	Fr, So, Ma, Tb, Tv, Ch, Sa, Al. J, Me, Ca, Ji, J.	Textura Alto riesgo de inundación
B3	1 2 3	Al. Fr, So, Ma, Tv, Me. Tb, Ch, Sa, Ca, Ji, J.	Textura Drenaje deficiente
C1	1 2 3	So, Ma, Al. Fr, Ma, Tv, Ch, J, Me, Sa, Ji, Ca. Fr, Tb, Ch, Ca.	Drenaje Textura Salinidad y sodio intercambiable
C21	1 2 3	So, Ma, Al. Tv, J, Me, Fr. Tb, Ch, Sa, Ca, Ji.	Drenaje interno Textura fina Sodio intercambiable
C22	5	Aptitud nula	Drenaje externo
D1	1 2 3	Sa, Ca. Fr, Ma, Tb, Ch, Ji. So, Tv, J, Me, Al.	Textura gruesa Drenaje excesivo Salinidad
D2	1 2 3	Fr, So, Ma, Tv, Al. Fr, So, Ma, Tb, Ch, J, Me, Sa, Ji, Ca, Al Tb, Ch, J, Me, Sa, Ca, Ji.	Textura gruesa Drenaje interno deficiente Sodio intercambiable
D3	1 2 3	So, Ma, Tv, Al. Fr, So, Ma, Tv, Tv, Ch, J, Me, Sa, Ji, Ca. Tb, Ch, Sa, Ca, Ji.	Textura fina Drenaje interno Sodio intercambiable
D41	1 2	Fr, So, Ma, Tb, Tv, Ch, Sa, Al. J, Me, Ca, Ji.	Textura fina
D42	4 5	So, Ma, Tv, J, Me, Sa, Ji, Ca, Al. Fr, So, Ma, Tb, Tv, Ch, J, Me, Sa, Ji, Ca, Al	Salinidad Sodio, Drenaje externo
D43	5	Suelos con aptitud nula	Sodio intercambiable, Salinidad Drenaje interno y externo
D44	5	Suelos con aptitud nula	Sodio y textura, Drenaje externo
D51	1 2	Fr, So, Ma, Tb, Tv, Ch, Sa, Al. J, Me, Ca, Ji.	Textura Alto riesgo de inundación.
D52	1 2 3	So, Al. Ma, Tv, J, Me, Sa, Ji, Ca. Fr, Tb, Ch, Ji.	Salinidad Sodio, Textura Drenaje externo
D8	2 3	Ch, Sa, Ji. Fr, So, Ma, Tb, Tv, J, Me, Ca, Al	Textura gruesa Drenaje excesivo, Sodio intercambiable
E1	5	Suelos con aptitud nula	Sodio, Salinidad.
E2	5	Suelos con aptitud nula	Drenaje externo e interno

Cultivos: Fr= Frijol, So= Sorgo, Ma= Maíz, Tb= Tabaco burley, Tv= Tabaco virginia, Ch=Chile, J= Jitomate, Me= Melón, Sa= Sandía, Ji= Jícama, Ca= Cacahuete, Al= Algodón.

VI. CONCLUSIONES

La definición de unidades de mapeo de suelos fue posible mediante el análisis fisiográfico del territorio de Tuxpan, se delimitaron 20 unidades (14 consociaciones y 6 asociaciones), las cuales se agruparon en 5 paisajes y 3 grandes paisajes. La escala del trabajo fue adecuada para generar información a nivel municipal; sin embargo, se requiere de una mayor densidad de muestreo de pozos de suelos, que permitan hacer análisis con técnicas difusas para el mapeo de las propiedades y dar recomendaciones a nivel de parcela.

La definición de las características y propiedades de las unidades de mapeo de suelos presentó dificultades debido al nivel semidetallado del levantamiento de campo, considerando uno o dos muestreos suficientes para obtener la información representativa de cada unidad; sin considerar con detalle los cambios entre una parcela y otra. Aún con estas implicaciones, para los propósitos de este trabajo se parte del supuesto que la información recopilada en uno o más perfiles de suelo es representativa de cada unidad mapeada.

Los suelos muestreados fueron clasificados en orden de importancia, como Cambisoles éutricos, flúvicos y mólicos, seguido por los Fluvisoles éutricos, dístricos y sálicos, Solonchaks sódicos y gleyicos, Stagnosoles gleyicos, Regosoles éutricos, Leptosoles éutricos, y Feozems háplicos.

Dentro de las características más sobresalientes estudiadas fueron la salinidad y la disponibilidad de nutrimentos; los terrenos identificados con problemas de sales están localizados en la llanura baja y en las hoyas de decantación (superficies deprimidas) de la llanura media de desborde y la llanura alta abandonada; en el primer caso, la presencia de sales es debida a la influencia del agua del mar a través de esteros y lagunas, mientras que en las superficies deprimidas existe acumulación de agua salobre durante la estación de lluvias, seguido de la desecación por el proceso de evaporación, dejando las sales en contacto con el suelo.

Desde el punto de vista de la tolerancia de las plantas a la salinidad, se clasificaron en 10,722 ha de terrenos no salinos, 1,705 ligeramente salinos, 3,553 moderadamente salinos, 1,353 fuertemente salinos y 4,135 con extrema salinidad, además de 9,667 no estudiadas, que por bibliografía se suman 873 a los no salinos y 8,783 a los extremadamente salinos.

La presencia de los elementos básicos para la nutrición vegetal está en función de la dinámica de las inundaciones, el tipo de sedimentos y el manejo que el productor realiza. La inundación es una de las principales fuentes de nutrimentos del suelo, por lo regular aportan grandes cantidades de materia orgánica, iones y sedimentos minerales. La adición de fertilizantes orgánicos al suelo (estiercoles, abonos verdes) no es una práctica común en esta región, la aplicación de fuentes minerales es más regular, sobre todo en el cultivo de tabaco y hortalizas. En este sentido, se encontró

que la mayoría de las unidades de mapeo de suelos son pobres en nitrógeno (N) y fósforo (P), mientras que la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y los cationes intercambiables (Ca, Mg y K) se encuentran en niveles generalmente altos. Lo anterior se debe a la gran demanda de N y P que tienen los cultivos, a la falta del suplemento para el desarrollo de las plantas y a la práctica del monocultivo.

La evaluación del potencial agrícola de las tierras se hizo con una adaptación metodológica generada para clima mediterráneo, sin tener datos de su grado de sensibilidad para las latitudes de Tuxpan; sin embargo, el poder discriminante de los modelos aplicados fue satisfactorio, se requiere medir la sensibilidad y validar en campo los resultados obtenidos, de ello dependerá el empleo de esta herramienta para otras regiones del mundo. En este caso, se definieron como mejores tierras para la agricultura a las unidades "semizona" (B2) > "tierras altas" (C1) > "llanura" (D2) > "canal" (C3) > "antiguas lagunas" (D51). Mientras que no son aptas o son marginales, las unidades "cerril" (A1), "la punta" (C22), "salitre" (D42), "inundable" (D43), "lagunas" (D44), "marisma" (E1) y "manglar" (E2).

El uso de los modelos del Sistema Integrado para la Transferencia de Datos y Evaluación Agro-ecológica de Tierras (MicroLEIS) fue adecuado para el propósito de definir la calidad de los terrenos de Tuxpan. En especial, el mejoramiento del modelo de evaluación biofísica de tierras ALMAGRA-Tuxpan constituye otra herramienta para el proceso de evaluación de tierras.

El modelo *Cervatana* permitió evaluar en forma cualitativa la vocación del uso del suelo, lo cual, posibilitó la identificación de unidades de mapeo para fines agrícolas.

El modelo *Terraza* apoyó en calcular la deficiencia hídrica y el riesgo de heladas; dentro de los principales problemas encontrados para su uso están: la disponibilidad de información acerca de los requerimientos de los cultivos por etapa fenológica y los datos de referencia para cada unidad por evaluar; las variables climáticas se tomaron de las estaciones de registro más cercanas, teniendo esto un sesgo en los resultados; por otra parte, la capacidad de retención de humedad del suelo se calculó a partir de los sitios de muestreo en cada unidad de mapeo, partiendo del supuesto que los datos son representativos de toda la unidad. Con todo ello, los resultados obtenidos muestran congruencia con los comentarios prácticos de los campesinos.

La limitante climática más importante para el desarrollo de los cultivos fue la deficiencia hídrica, debido a que se presenta un período de exceso de humedad en el suelo (julio-septiembre) que dificulta su manejo, seguido de un período de aprovechamiento de la humedad residual (octubre-febrero) con especies de baja demanda de agua y niveles bajos de inversión, como es el caso del frijol, sorgo y melón, o bien, cultivos con sistemas de riego de auxilio o completo; finalmente, se presenta una estación seca con un importante déficit de agua, donde necesariamente se requiere programar riegos.

El modelo *Almagra-Tuxpan* permitió determinar la aptitud relativa agrícola, considerando variables del suelo como la profundidad útil, textura, drenaje, contenido total en carbonato de calcio, salinidad, porcentaje de saturación de sodio y desarrollo de perfil. Los principales problemas observados en su uso fueron la disponibilidad de *información validada localmente sobre requerimientos de cultivos*; se utilizan sólo algunas variables que determinan el desarrollo y producción de las cosechas; y que los valores para calificar a cada unidad de mapeo fueron analizados en uno o más puntos de muestreo, considerados en este trabajo como representativos de la unidad.

En este caso, se señalaron como limitantes del suelo, la compactación, presencia de texturas finas o gruesas; drenaje externo deficiente y niveles altos de sales y sodio intercambiable.

En resumen, el estudio de las características y la comparación de las cualidades de las unidades de mapeo de suelos con los requerimientos de los cultivos permitió determinar niveles de aptitud para los diferentes usos específicos, que en suma, definen el potencial agrícola de Tuxpan. Por otra parte, fue posible generar recomendaciones de manejo de acuerdo con las compatibilidades encontradas.

Dentro del proceso de evaluación de tierras, sólo se incluyeron variables físicas (clima y suelo), pudiéndose avanzar en esta tarea incluyendo también aspectos socioeconómicos.

Finalmente, este trabajo plantea la posibilidad y necesidad de estudiar con mayor profundidad los procesos de origen de los suelos y de sus propiedades, en especial la salinidad y sodicidad, y el desarrollo de tecnología de cultivos a partir de la problemática identificada.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguilera, H.N., (1989). Tratado de edafología de México, Tomo I, Universidad Nacional Autónoma de México, p 1-14.
- Beek, K.J. y Bennema, (1972). Expert Consultation Land Evaluation for Rural Purposes, Wageningen.
- Beek, K.J., (1978). Land evaluation for agricultural development, Integrated Institute Land Reclamation and Improvement, USA.
- Bojórquez, S.I. y J. López, (1995). Levantamiento de suelos de la reserva ecológica Sierra de San Juan, Nayarit, Investigaciones Geográficas Boletín, No.30. Instituto de Geografía, UNAM, p 9-35.
- Boyoucus, G.J., (1936). The hydrometer ethod for studing soils, Soil Sci. 42: 225-230.
- Bratney, A.B. and I.O.A. Odeh, (1997). Application of fuzzy sets in soil science: fuzzy logic, fuzzy measurements and fuzzy decisions, Geoderma Vol. 77, p 85-114.
- Buckman, O.H. y N.C. Brady, (1977), Naturaleza y propiedades de los suelos, Montaner y Simon, S.A, editores, España, p 1-16.
- Burrough, P.A., (1989). Fuzzy mathematical methods for soil survey and land evaluation, Journal of Soil Science, Vol 40, p 477-492.
- Burrough, P.A., R.A. McMillan and W. van Dausen, (1992). Fuzzy classification methods for determining land suitability from soil profile observations and topography, Journal of Soil Science, Vol. 43, p 193-210.
- Burrough, P.A., P.F.M Van Gaans and R. Hootsmans, (1997). Continuous clasification in soil survey: spatial correlation, confusion and boundaries, Geoderma Vol. 77, p 115-136.
- Cardoso, J.C. *et al*, (1970). A soil classification of Viar and Valle Inferior irrigation areas, Sevilla. CEBAC Res..Rep. Sevilla, Spain.
- CEC, (1992). CORINE soil erosion risks and important land resorces. Comission of the European Communities, DGXII.EUR 13233 EN, Brussels.
- CEC DG VI, (1992). Land and Water management and utilization programme 1984-88, Draft Rep. Brussels.

- CETENAL, (1974 a). Carta edafológica, escala 1 :50 000, hojas F-13-C-18 y F-13-C-19, México.
- CETENAL, (1974 b). Carta geológica, escala 1 :50 000, hojas F-13-C-18 y F-13-C-19, México.
- CETENAL, (1974 c). Carta uso de suelo y vegetación, escala 1 :50 000, hojas F-13-C-18 y F-13-C-19, México.
- Christian, C.S. y G.A. Stewart, (1968). Methodology of Integrated Survey, Proc. UNESCO Conf. Principles Methods, Integrating Aerial Studies Nat. Res. Potential Development, Toulouse, 1967, p 233-288.
- CNA-SARH, (1960). Estudio agrológico del distrito de riego del río San Pedro, Nayarit, 93 pp.
- CSTPA, (1980). Council on soil testing and plant analysis. Handbook on reference methods for soil testing, Athens, Georgia.
- Cuanalo de la Cerda, H., (1990). Manual para la descripción de perfiles en el campo, 3ª edición, CP. Chapingo, México, pp.13 - 40.
- Cuanalo de la Cerda, H., E. Ojeda, A. Santos y C. Ortiz, (1989). Provincias, regiones y subregiones terrestres de México, Colegio de Posgraduados, Centro de Edafología, Chapingo, México.
- Curray, J.R., F.J. Emmel and P.J.S. Crampton, (1969). Holocene History of Strand Plain, Lagoonal Coast, Nayarit, México, Mem. Simp. Intern. Lagunas Costeras, UNAM-UNESCO, Nov.28-30, 1967, México, D.F. pp. 63-100.
- De la Rosa, D., F. Cardona y G. Paneque, (1977). Evaluación de suelos para diferentes usos agrícolas. Un sistema desarrollado para regiones mediterráneas. Anales de Edafología y Agrobiología 36: 1100-1112.
- De la Rosa, D. y D. Magdali, (1982). Rasgos metodológicos de un sistema de evaluación de tierras para regiones mediterráneas. Soc. Esp. Cien. Suelo, Madrid, España.
- De la Rosa, D. y J.M. Moreira, (1987). Evaluación ecológica de recursos naturales de Andalucía. Pub. AMA, Junta de Andalucía, Sevilla, España.
- De la Rosa D., J.A. Moreno, L.V.. García and J. Almorza, (1992). MicroLEIS: A microcomputer-based Mediterranean land evaluation information system. Soil Use and management 8: 89-96.

- De la Rosa, D. (Editor), (1996). MicroLEIS 4.1, Sistema Integrado para la Transferencia de Datos y Evaluación Agro-ecológica de Tierras, IRNAS, CSIC, Sevilla, España. 470 pp.
- Delsert, E., (1993). Quelles possibilités pour l'utilisation du logiciel ALES dans le contexte de l'agriculture française? :Application a l'évaluation des potentialités du blé en Lorraine, Ing. Agr. Thesis, Institut Supérieur d'Agriculture, Université Catholique de Lille.
- Dent, D. y A. Young, (1981). Soil survey and land evaluation, Allen and Unwin Ltd. Londres.
- Dobermann, A. and T. Oberthur, (1997). Fuzzy mapping of soil fertility -a case study on irrigated riceland in the Philippines, Geoderma Vol. 77, p 317-339.
- Duch, J., A. Bayona, C. Labra y A. Gama, (1980). Sistema de evaluación de tierras para la determinación del uso potencial agropecuario y forestal de México, SPP, 49 pp. México.
- Elbersen G. W.W., S.T. Benavides y P.J. Botero, (1974). Metodología para levantamientos edafológicos (especificaciones y manual de procedimiento), Centro Interamericano de Fotointerpretación, Bogotá, Colombia, pp. 34-42.
- Etchevers, B.J.D., W.G. Espinoza, E. Riquelme (1971). Manual de fertilidad y fertilizantes, 2a. Edición corregida, Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía, Chillán, Chile.
- FAO, (1976). Esquema para la evaluación de tierras, Boletín de suelos de la FAO No.32. Servicio de recursos, fomento y conservación de suelos. Dir. de Fomento de tierras y aguas. Roma.
- FAO, (1979). Efecto del agua sobre el rendimiento de los cultivos, Estudio FAO: Riego y Drenaje 33, Roma, 212 pp.
- FAO, (1981). Agro-ecological Zones Project. Vol III, Methodology and Results for Mexico, Central and South America, Rome, Italy.
- FAO, (1983). Guidelines: Land evaluation for rainfed agriculture. Soil Bulletin 52. Rome, Italy.
- FAO, (1984). Land evaluation for forestry. FAO Forestry Paper 48. Rome, Italy.
- FAO, (1986). Early agrometeorological crop yield forecasting, Plant production and Protection paper 73, M. Frere and G.F. Popov, Rome, Italy.

- FAO, (1987), La calidad del agua para la agricultura, Estudio FAO: Riego y Drenaje 29, Roma, 174 pp.
- FAO, (1990). Evaluación de tierras para la agricultura en regadío: directivas, Boletín de Suelos 55, Roma, Italia.
- FAO-ISRIC-CSIC, (1995). SDBm: Multilingual soil database. World Soil Resources Report No. 81. FAO Pub., Rome, Italy.
- FAO, (1996). Base de datos de indicadores agrícolas.
- FitzPatrick, E.A. (1985). Suelos, su formación, clasificación y distribución, CECSA, México, p 15-22.
- Forbes, T.R., D. Rossiter & A. Van Wambeke, (1982). Guidelines for evaluating the adequacy of soil resource inventories, 1987 printing ed. SMSS Technical Monograph #4, Cornell University Department of Agronomy, Ithaca, NY.
- Foth D.H., (1990). Fundamentos de la ciencia del suelo, CECSA, cuarta reimpresión, México, p 13-33.
- Gama C.J.E., S. Palacios y J.R. Alcalá, (1990). Estudio edafológico en la sierra La Primavera, Estado de Jalisco -edafogénesis y riesgos naturales e inducidos-, Contribuciones a la Edafología Mexicana, Instituto de Geología, UNAM, p 1-24.
- Giordano, A. (1990). Soil erosion risk and important land resources in the CORINE Program. MOPU Pub., Madrid, Spain.
- Goudriaan, J., (1984). Simulation of crop growth.
- Groenemans, R., E. Van Ranst and E. Kerre, (1997). Fuzzy relational calculus in land evaluation, Geoderma Vol. 77, p 283-298.
- Hernández, S.G., M. Villegas, M. Maples y L. Flores, (1984). Aproximación paramétrica para la evaluación de la aptitud de las tierras, Anales de Edafología y Agrobiología, T.43, Num. 5-6, p 735-753. España.
- Hernández, S.G., *et al* (1990). Evaluación de la aptitud de los suelos para tres de los principales cultivos del municipio de Salamanca, Guanajuato, En: Contribuciones a la Edafología Mexicana, Instituto de Geología, UNAM, p 119-138, México.

- Huizing, H., (1986). Land Evaluation, Lecture notes for the N.11 specialization, ITC. The Netherlands.
- INEGI, (1991). Nayarit, Resultados definitivos del XI Censo General de Población y Vivienda, 1990, Aguascalientes, México.
- INEGI, (1994). Nayarit, Resultados definitivos del VII Censo Agrícola Ganadero, México.
- INEGI, (1996). Censo de Población y Vivienda 1995, Aguascalientes, México.
- INIFAP, (1994). Guía para la asistencia técnica agrícola en el área de influencia del campo experimental "Santiago Ixcuintla", Nayarit, México, 257 pp.
- ITC (1993). Integrated Land and Water Management Information System (ILWIS), Netherlands.
- Johnson, A.K. & R.A. Cramb, (1991). Development of a simulation based land evaluation system using crop modelling, expert system and risk analysis, Soil Use Management 7: 239-245.
- Johnson, A.K., R.A. Cramb & J.R. McAlpine, (1994). Integration of biophysical and economic data using an expert system: results from a case study in northern Australia, Soil Use & Management 10: 181-188.
- Klingebiel, A., y H. Montgomery, (1962). Clasificación por capacidad de uso de las tierras, AID, México, 32pp.
- León Pérez, J.C., (1992). Aplicación del sistema automatizado para la evaluación de tierras-ALES, en un sector de la cuenca del río Sinú (Córdoba-Colombia), Revista CIAF 13: 19-42.
- López, G.J., (1993). Levantamiento de suelos de la cuenca baja del río Pílon, Nuevo León, México, Investigaciones Geográficas Boletín, No.26. Instituto de Geografía, UNAM, p 7-29.
- Machin J. y A. Navas, (1994). Evaluación de la capacidad de uso y conservación de los montes de Peñafior (Zaragoza), Anuario de la Estación Experimental de Aula Dei (C.S.I.C.), Zaragoza, España, vol.21, núm.3, p 173-182.
- Maji, A.K., (1992a). A computerized approach for physical suitability evaluation of lands of Singhik sub-watershed, Sikkim, Agropedology 2: 37-43.

- Maji, A.K. (1992b). Economic suitability of lands using ALES program. *Journal of the Indian Society of Soil Science* 40: 527-533.
- Mantel, S., (1994). The Automated Land Evaluation System applied to SOTER, with an example from West Kenya, *International Soil Research and Information Centre (ISRIC)*, 94/10.
- Martínez, R.L. y J.J. Sandoval, (1993). Levantamiento taxonómico de suelos de la subcuenca de Cuzalapa Sierra de Manantlán, Jalisco, *Terra*, Vol.II, Núm.1, México, p 3-11.
- Mitchell, C.W., (1973). *Terrain evaluation*, Editorial Logman, Group, Limited, London.
- Nachtergaele, F., (1993). Land evaluation programs: Identification of land constraints and management remedies for sustainable agricultural production, In: *Land Evaluation for Sustainable Agriculture for Mexico*, p 187-212.
- Olivares, S.C., (1994). Paquete de diseños experimentales versión 2.5, Facultad de Agronomía, UANL, Marín, NL, México.
- ONERN, (1982). *Clasificación de tierras del Perú*. Pub. Ofc. Nac. Ev. Rec. Nat. Lima, Perú.
- Ortiz, H.L., E. Sánchez y M.E. Gutiérrez, (1993). Análisis de suelos, fundamentos y técnicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México, Parte I, pp. 35-97, Parte II, pp. 1-102.
- Ortiz, M. A. (1979). Fotointerpretación geomorfológica del curso bajo del río Grande de Santiago, Nayarit, *Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, num. 9, México, p. 65-92.
- Ortiz, S.C.A. y H.E. Cuanalo de la Cerda (1981). *Introducción a los levantamientos de suelos*, Colegio de Posgraduados, Chapingo, México.
- Ortiz, S.C.A. y H.E. Cuanalo de la Cerda (1984). *Metodología del levantamiento fisiográfico, un sistema de clasificación de tierras*, Colegio de Posgraduados, Chapingo, México, 86 pp.
- Ortiz, S. C.A., D. Pájaro H. y V.M. Ordáz (1990). *Manual para la cartografía de clases de tierras campesinas*, Serie cuadernos de edafología 15, Centro de Edafología, Colegio de Posgraduados, Montecillo, México, 62 pp.

- Ortíz, V.B. y C.A. Ortíz S., (1990). Edafología, Universidad Autónoma de Chapingo, México, 394 pp.
- Pájaro, D.H. y C. Ortíz, S. (1987). El levantamiento de suelos y su relación con la clasificación y cartografía de las clases de tierras campesinas, Mimeógrafo, Centro de Edafología, Colegio de Posgraduados, Chapingo, México.
- Palacios, S.M., J. Gama, J.L. López y E. Vallejo, (1988). Estudio edafológico y microbiológico en la región del Volcán Ceboruco, Estado de Nayarit, Contribuciones a la Edafología Mexicana, Instituto de Geología, UNAM, p. 31-61.
- Ponce, H.R., (1993). Land Resources Inventories for land Evaluation and Land Use Planning: a combined approach for Mexico, In: Land Evaluation for Sustainable Agriculture for Mexico, p 65-88.
- Quiñones H.; S. González y R. Allende, (1974). Clasificación de tierras para uso potencial, CETENAL , México, 190 p.
- Richards, L. A. (1962). Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos, Traducción al español por Sánchez *et al*, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, México.
- Romo, A.L. (1994). Geomorfología de la llanura de inundación del río San Pedro, Nayarit, Tesis de Licenciatura (Geografía), Universidad de Guadalajara, Jalisco, México.
- Rossiter, D.G. y R. Van Wambeke, (1992). ALES, Automated Land Evaluation System, Versión 3 User's Manual, Cornell University, USA.
- Rossiter, D.G., (1996a). Evaluación de tierras: Éxitos y Retos, XIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Sao Paulo, Brasil, 2-8 de agosto de 1996.
- Rossiter, D.G., (1996b). A theoretical framework for land evaluation, Geoderma 72, p 165-190.
- SAGAR, (1997). Estadísticas para cultivos ciclicos OI 1996/97 y PV 1997 y perennes. Delegación Estatal Nayarit.
- SAGAR, (1998). Base de datos del sector agropecuario.
- SARH, (1969). Estudio agrológico detallado del proyecto Coamiles, municipio de Tuxpan, Nayarit, México.

- SARH, (1972). Estudio agrológico detallado del proyecto Coamiles, municipio de Tuxpan, Nayarit, México.
- SRA, (1984) Mapa de catastro rural del municipio de Tuxpan, Nayarit, escala 1:56,000, Tepic, Nayarit, México.
- SEDUE, (1988). Manual de ordenamiento ecológico, México.
- Siderius, W. (editor), (1984). Proceedings of the workshop an land evaluation for extensive grazing (LEEG), IILRIW, Publication 36, Wageningen, The Netherlands.
- Sims, D., (1993). A Framework For Land Evaluation and Land Use Planning in Mexico, In: Land Evaluation for Sustainable Agriculture for Mexico, p 99-117.
- Soil Survey Staff (1993). Soil Survey Manual, USDA,
- Soil Survey Staff (1994). Keys to Soil Taxonomy, USDA, 6a. ed, EUA, 306 pp.
- Spaargaren, O.C. (1994) (editor). World Reference Base for Soil Resources. ISSS-AISS-IBG, ISRIC and FAO. Wageningen/Rome.
- SPP, (1981a). Carta estatal de regionalización fisiográfica, escala 1:500,000, Anexo cartográfico, Síntesis Geográfica de Nayarit, México.
- SPP, (1981b). Carta estatal de climas, escala 1:500,000, Anexo cartográfico, Síntesis Geográfica de Nayarit, México.
- SPP, (1981c). Carta hidrológica de aguas superficiales, escala 1:250 000, hoja Tepic F13-8, México.
- SRA, (1987). Mapa de catastro rural del municipio de Tuxpan, Nayarit, escala 1 :56000, Tepic, Nayarit, México.
- Tavera S. G. (1985). Criterios para la interpretación y aprovechamiento de los reportes de laboratorio para las áreas de asistencia técnica, Publicación 3, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Delegación La Laguna, Matamoros, Coahuila, México.
- Téllez, V.O. (1995). Flora, vegetación y fitogeografía de Nayarit, México, Tesis de Maestría (Biología Vegetal), UNAM, México, 159 pp.
- Thornthwaite, C.W., (1948). An aproach toward a rational classification of climate, The Gerogr. Rev. 38: 55-94.

- Tijerina, L. y C. Ortiz, (1990). Manual de la metodología para evaluar la aptitud de las tierras para la producción de cultivos básicos en condiciones de temporal, Colegio de Posgraduados-SARH, México, 103 pp.
- UNAM y CETENAL, (1970). Carta de climas, escala 1:500,000, San Blas (3Q-III), México.
- USDA, (1951). Soil survey manual. Soil. Cons. Serv., Hb.18, Washington, D.C.
- USDA, (1972). Soil survey laboratory methods and procedures for collecting soil samples. Soil Conservation Service. USDA Soil Survey Investigation Report No.1, Washington, D.C.
- USDA, (1975). Soil taxonomy: A basic system for making and interpreting soil surveys. Soil. Cons. Serv., Hb.436, Washington, D.C.
- Van Diepen, C.A., H. van Keulen, J. Wolf & J. Berkhout, (1991). Land evaluation: from intuition to quantification, In: Advances in Soil Science, (Ed. B.A. Stewart), Springer, new York, p 139-204.
- Van Lanen, H.A.J., M.J.D. Hack-ten Broeke, J. Bouma & W.J.M. Groot, (1992a). A mixed qualitative/quantitative physical land evaluation methodology. Geoderma 55: 37-54.
- Van Lanen, H.A.J., C.A. van Diepen, G.J. Reinds & G.H.J. De Koning, (1992b). A caparaison of qualitative and quantitative physiscal land evaluations, using an assesment of the potencial for sugar beet growth in the European Community, Soil Use & management 8: 80-89.
- Van Lanen, H.A.J. & H. Wopereis, (1992). Computer-captured expert knowledge to evaluate possibilities for injetion of slurry from animal manure in the Netherlands, Geoderma 54: 107-127.
- Venema, J.H. & F. Daink, (1992). Papua New Guinea Land Evaluation Systems (PNGLES), AG:TCP/PNG/0152 Field Document 1 Papua New Guinea Department of Agriculture and Livestock, Port Moresby.
- Verheye, W.H., (1986). Land evaluation and land use planning, in: The EEC.CEC-DG. VI, Draft. Rep. Brussels.
- Verheye, W.H., (1993). Matching Land and Use Requeriment for Land Suitability Classification, In: Land Evaluation for Sustainable Agriculture for Mexico, p 223-235.

- Villota y Forero, (1986). Actualización de la metodología para levantamientos edafológicos, Especificaciones y manual de procedimientos, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá, Colombia.
- Villota, H., (1991). Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de las tierras, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá Colombia.
- Wakley, A.C. y Black, I.A., (1934). An examination of the detjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29-38.

ANEXO 1. Estadísticas de cultivos del municipio de Tuxpan, Nayarit

Cuadro 33. Superficie sembrada (ha) de los principales cultivos agrícolas durante los años 1994-1998, en el municipio de Tuxpan, Nayarit.

CULTIVO	1994/95	1995/96	1996/97	1997/98
Frijol	11,050	8,343	8,454	13,591
Sorgo	2,375	5,314	2,861	5,367
Tabaco	753	744	1044	759
Maíz	1,229	705	192	310
Sandía	714	230	62	25
Jitomate	358	201	93	75
Chile	347	414	358	144
Jícama	346	130	121	17
Melón	215	4	10	0
Cacahuate	28	8	13	3
Otros*	96	217	297	159
Total	17,511	16,310	13,208	20,448

* Berenjena, brócoli, calabaza, calabacita, camote, pepino, plátano, mango y papaya.

Fuente: SAGAR. Delegación Estatal Nayarit.

Cuadro 34. Superficie cosechada y valor de la producción de los cultivos de Tuxpan, Nayarit, ciclos P.V. 1996/97 y O.I. 1997/97.

CULTIVOS	CICLO	CONDICIÓN	SUP. COS. (ha)	REND. (Ton/ha)	PROD.(Ton)	PRECIO M.R.(\$/Ton)	VALOR PROD. (\$)
BERENJENA	P-V	Temporal	6	24.833	149	1500	223500
	O-I	H. Residual	16	22.813	365	1500	547500
		Riego					
Subtotal			22		514		771000
BROCOLI	P-V	Temporal					
	O-I	H. Residual	3	2.667	8	1500	12,000
		Riego					
Subtotal			3		8		12000
CACAHUATE	P-V	Temporal	5	1	5	5000	25000
	O-I	H. Residual	8	1.375	11	800	8800
		Riego					
Subtotal			13		16		33,800
CALABACITA	P-V	Temporal	6	24.333	146	1000	146000
	O-I	H. Residual	16	12.563	2	500	100500
		Riego					
Subtotal			22		148		246500
CALABAZA	P-V	Temporal	11	5.909	65	700	45500
	O-I	H. Residual	4	10	40	500	20000
		Riego					
Subtotal			15		102		65500
CAMOTE	P-V	Temporal					
	O-I	H. Residual	40	15.05	602	700	421400
		Riego					
Subtotal			40		602		421400
CHILE SECO	P-V	Temporal					
	O-I	H. Residual	3	1	3	15000	45000
		Riego					
Subtotal			3		3		45000
CHILE VERDE	P-V	Temporal					
	O-I	H. Residual	105	13.724	1441	3600	5187600
		Riego	250	7.48	187	3600	673200
Subtotal			355		1628		5860800
EJOTE	P-V	Temporal	40	14.05	562	1500	843000
	O-I	H. Residual	84	14.024	1178	500	586000
		Riego					
Subtotal			124		1714		1429000
ELOTE	P-V	Temporal					
	O-I	H. Residual	35	13	45	1000	455000
		Riego	3	13	39	1000	3900
Subtotal			38		84		458900

FRIJOL	P-V	Temporal					
	O-I	H. Residual	8129	1.086	8828	5500	48554000
		Riego	325	1.6	520	5500	2850000
Subtotal			8454		9348		51404000
JICAMA	P-V	Temporal					
	O-I	H. Residual	121	23.446	2837	500	1418500
		Riego					
Subtotal			121		2837		1418500
MAIZ FORRAJERO	P-V	Temporal	8	15	4120	350	42000
	O-I	H. Residual					
		Riego					
Subtotal			8		4120		42000
MAIZ GRANO	P-V	Temporal	98	1.878	184	1300	239200
	O-I	H. Residual	36	2.694	97	1200	116400
		Riego	50	3.5	175	1200	210000
Subtotal			184		456		565600
MELON	P-V	Temporal					
	O-I	H. Residual	10	5.3	53	1000	53000
		Riego					
Subtotal			10		53		53000
OTROS ALIMENTICIOS	P-V	Temporal	5	24	120	1500	180000
	O-I	H. Residual	19	21.53	400	1500	600000
		Riego					
Subtotal			24		520		780000
PEPINO	P-V	Temporal	8	7.875	63	1000	63000
	O-I	H. Residual	1	6	6	500	3000
		Riego					
Subtotal			9		69		66000
SANDIA	P-V	Temporal	18	6.222	112	1500	168000
	O-I	H. Residual	44	8	352	700	246400
		Riego					
Subtotal			62		464		414400
SORGO FORRAJERO	P-V	Temporal	28	14.607	409	350	143150
	O-I	H. Residual	25	14.32	358	450	161100
		Riego					
Subtotal			53		767		304250
SORGO GRANO	P-V	Temporal	346	3.855	1334	1000	1334000
	O-I	H. Residual	2447	4.55	11135	1100	12248500
		Riego	15	5.2	78	1200	93600
Subtotal			2808		12547		13676100
TABACO	P-V	Temporal					
	O-I	H. Residual					
		Riego	1044	0.989	1033	7500	7747500
Subtotal			1044		1033		7747500
TOMATE ROJO	P-V	Temporal					

(JITOMATE)	O-I	H. Residual	72	15.125	1089	1000	108900
		Riego	21	11.524	242	1000	242000
Subtotal			93		1331		350900
Subtotales	P-V	Temporal	579				
		O-I					
		H. Residual	11,218				
		Riego	1708				
Total:			13505				86'166,150

Fuente: Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Delegación Nayarit (1998).

ANEXO 2: Descripción de las unidades de mapeo de suelos

Unidad : CERRIL

Componentes taxonómicos y su distribución: Esta unidad se describió a partir de observación en campo. Está compuesta por una asociación de Leptosol éutrico con Feozem háplico, los primeros se encuentran en las porciones más inclinadas de las laderas, generalmente en la porción más alta de la Sierra o en donde por la actividad pecuaria se encuentra degradado el horizonte superficial; los Feozem se localizan en laderas con menor inclinación y con cierto grado de conservación de la selva baja y media que ahí prevalece.

Características generales de la unidad "Cerril"

Símbolo en el mapa: A1

Extensión: 873.50 hectáreas

Posición en el paisaje: Laderas inclinadas a muy inclinadas de rocas andesíticas de la sierra aislada de Peñas y Coamiles.

Pendiente: mayor a 20 grados

Pedregosidad: mayor al 35%

Drenaje externo: bueno

Grado de erosión: moderado

Riesgo de inundación: nulo

Influencia humana: moderada

Vegetación: selva mediana y baja subcaducifolia

Uso actual: agostadero

Unidad: LOMERÍO

Componentes taxonómicos y su distribución: Esta unidad se describió mediante 2 perfiles de suelo, fotointerpretación y observación visual. Se identificó una asociación compuesta por un Regosol éutrico y un Feozem háplico. Los Regosoles son comunes en la parte alta de los lomeríos de conglomerados (Pozo 4) y los Feozem en las laderas de menor inclinación de los lomeríos y valles (Pozo 6).

Características generales de la unidad "Lomerío"

Símbolo en el mapa: A2

Extensión: 388.40 hectáreas

Posición en el paisaje: Lomeríos aislados de conglomerados con valles situados al pie de la sierra de Peñas y Coamiles.

Pendiente: 12-20 grados

Pedregosidad: frecuentes cantos rodados

Drenaje externo: bueno

Grado de erosión: moderado

Riesgo de inundación: muy bajo
Influencia humana: moderada
Vegetación: selva mediana y baja subcaducifolia
Uso actual: agostadero

El perfil representativo es el pozo 4, localizado en el ejido Coamiles (12 msnm), se trata de un Regosol dístico desarrollado en la parte más alta de lomeríos con origen de conglomerados andesíticos; moderadamente compactado, bien drenado, profundidad efectiva de 35 cm, profundidad del manto freático mayor a 100 cm, con régimen hipertérmico del suelo y régimen de humedad ústico, no disponibilidad de agua para riego, reacción del suelo ligeramente ácido.

Presenta un horizonte superficial de 35 cm, no arado, de color pardo oscuro amarillento en seco y en húmedo, franco arenoso (54% arena, 24% limo y 22% arcilla), presenta estructura de bloques subangulares media y moderada; ligeramente duro, friable, ligeramente adherente y ligeramente plástico.

Las propiedades químicas más comunes son un pH de 6.0, carbón orgánico 1.72% (0.14% de Nitrógeno total), capacidad de intercambio catiónico de 19.0 meq/100 g y la ECe de 0.2 dS/m.

Unidad: TIERRA ZONA

Componentes taxonómicos y su distribución. Esta unidad se describió en un perfil detallado de suelo (pozo 2), fotointerpretación y recorridos sobre el terreno; está compuesta por una consociación de Fluvisol dístico, con capas de arenas gruesas y finas.

Características generales de la unidad “tierra zona”

Símbolo en el mapa: A2

Extensión: 739.36 ha

Posición en el paisaje: Constituye el cauce actual del río San Pedro y los márgenes dejados con los cambios de cauce; esta unidad se inunda con avenidas ordinarias.

Pendiente: menor de 2 grados

Pedregosidad: abundantes cantos rodados

Drenaje interno y externo: excesivo

Grado de erosión: alto

Riesgo de inundación: alto

Influencia humana: alta

Vegetación: cultivos

Cultivos principales: jitomate, cacahuate, maíz

El perfil 2 muestra las principales características de esta unidad de tierra, está localizado en el ejido Las Peñitas (8 msnm), suelo Fluvisol dístico desarrollado a partir de depósitos arenosos en el lecho mayor de inundación ordinaria de la llanura meándrica actual del Río San Pedro; no compactado, excesivamente drenado, con régimen hipertérmico del suelo y régimen de humedad ústico, existe disponibilidad de riego mediante bombeo del canal de estiaje, reacción de suelo ligeramente ácida y cultivado con jitomate.

La profundidad explorada fue de 120 cm, el perfil está compuesto por un horizonte superficial (Ap) arenoso (86% arena), el subsuelo con 2 capas (A12 y A13) con 89 y 59% de arena respectivamente y el material rocoso (R) no consolidado (cantos rodados grandes).

El horizonte superficial es de 30 cm de profundidad, perturbado por pasos de arado, pardo en seco y pardo grisáceo oscuro en húmedo, arenoso (86% arena, 10% limo y 4 arcilla), carece de estructura.

El subsuelo (30-100 cm) es de color pardo pálido en seco y pardo grisáceo oscuro en húmedo, presentan estructura en bloques subangulares, finos y medios, blandos, friables y no plásticos, ni adherentes.

Las propiedades químicas más comunes son un pH de 6.4 que disminuye a 6.1 con la profundidad, carbón orgánico de 0.83%, fósforo disponible en 5 ppm y disminuye a 2 ppm en el subsuelo, capacidad de intercambio catiónico del horizonte superficial de 17.3 meq/100 gramos, ECe de 0.3 dS/m y carbonatos totales en 0.1%.

Unidad: TIERRA SEMIZONA

Componentes taxonómicos y su distribución: Esta unidad de mapeo de suelos de definió por fotointerpretación, caminamientos sobre el terreno y la descripción detallada de un perfil (pozo 3). Está compuesta por una consociación de Fluvisol mólico; se trata un suelo formado por aluviones frescos, ricos en materia orgánica.

Características generales de la unidad "tierra semizona"

Símbolo en el mapa: B2

Extensión: 294 ha

Posición en el paisaje: terrazas intermedias entre el cauce del río San Pedro y la llanura más alta, generalmente se inundan con avenidas extraordinarias.

Pendiente: menor a 2 grados

Pedregosidad: ninguna

Drenaje externo: bueno

Grado de erosión: bajo

Riesgo de inundación: alto, período de retorno de 3-5 años

Influencia humana: muy alta

Vegetación: cultivos

Cultivos principales: tabaco burley, frijol y sorgo

En el perfil 3 se describen las principales características de esta unidad, el pozo está localizado en el ejido Las Peñitas (12 msnm), se trata de un Fluvisol mólico originado a partir de depósitos aluviales en el lecho de inundación extraordinario del río San Pedro; no compactado, bien drenado, manto freático superior a 140 cm de profundidad, con régimen hipertérmico y régimen ústico de humedad del suelo, disponibilidad de agua para riego por bombeo desde el canal de estiaje, reacción del suelo medianamente ácido y con uso agrícola (terreno preparado para plantar tabaco burley).

La profundidad explorada fue de 145 cm, se identificaron 4 horizontes, el superficial tiene 30 cm, es de color pardo amarillento en seco y pardo muy oscuro en húmedo, perturbado por paso de arado, franco (41% arena, 48% limo y 11% arcilla), presenta estructura en bloques subangulares media, débil; blando, muy friable, ligeramente adherente y ligeramente plástico.

La siguiente capa de 10 cm de espesor (A12) es de color pardo grisáceo en seco y pardo grisáceo muy oscuro en húmedo, franco (44% arena, 44% limo y 12% arcilla), conserva las mismas características de estructura y plasticidad que en la superficie. En los dos horizontes restantes existe un aumento en el contenido de arcilla (28%) y el color pasa de pardo a pardo amarillento, evidencias que suponen una tendencia a ser B cámbico.

Las propiedades químicas más sobresalientes son un pH de 5.8 en la superficie y aumenta regularmente a 6.1 con la profundidad, el contenido de carbón orgánico varía de 1.85 a 3.60% en forma irregular, los valores más altos se presentan en el horizonte superficial, el fósforo disponible es de 8 ppm y aumenta hasta 16 ppm en el subsuelo, la capacidad de intercambio catiónico aumenta con la profundidad de 33.0 a 35.7 meq/100 gramos, ECa de 0.5 dS/m y carbonatos totales en 0.2%.

Unidad : TIERRA DURA BARRIAL

Componentes taxonómicos y su distribución: La definición de esta unidad fue por fotointerpretación, recorridos de campo y descripción de un perfil de suelo (pozo 1); se identificó una consociación de Cambisol éutrico.

Características generales de la unidad "tierra dura barrial"

Símbolo en el mapa: B3

Extensión: 160 ha

Posición en el paisaje: Nivel de terraza mas alto de la llanura aluvial meándrica, constituye el lecho mayor de inundación excepcional, esto quiere decir que su probabilidad de inundación es muy baja.

Pendiente: <2 grados

Pedregosidad: ninguna

Drenaje externo: deficiente

Grado de erosión: nula

Riesgo de inundación: muy bajo, período de retorno de 100 años

Influencia humana: muy alta

Vegetación: cultivos

Cultivos principales: frijol, tabaco virginia y sorgo.

El perfil 1 muestra las principales características de esta unidad de tierra, está localizado a 100 m frente al cruce de Mexcaltitán y la carretera internacional Tepic-Mazatlán (10 msnm), se trata de un Cambisol éutrico desarrollado a partir de aluviones antiguos; ligeramente compactado, deficientemente drenado, régimen hipertérmico del suelo y régimen de humedad ústico, existe disponibilidad de riego mediante bombeo del canal, reacción de suelo ligeramente ácida.

La profundidad explorada fue de 75 cm, debido a la presencia del manto freático (octubre 16 de 1995), el perfil está compuesto por un horizonte superficial (Ap) de 30 cm, migajón arcillo arenoso (22% arena, 49% limo, 29% de arcilla); en el subsuelo, presenta un horizonte B cámbico de 45 cm de espesor, migajón arcilloso, con bloques subangulares pequeños a grandes, moderados; muy duro, firme y pegajoso; permeabilidad moderada.

Las propiedades químicas más comunes son un pH de 6.57 que disminuye a 6.2 con la profundidad, carbón orgánico de 1.32%, fósforo disponible en 6 ppm, capacidad de intercambio catiónico del horizonte superficial de 29 meq/100 gramos y ECe de 0.4 dS/m.

Unidad: TIERRAS ALTAS

Componentes taxonómicos y su distribución: Esta unidad fue delimitada por fotointerpretación, recorridos de campo y descripción de dos perfiles de suelo (pozos 7 y 23). Está compuesta por una consociación de Cambisol éutrico con diferencias significativas en su grado de compactación.

Características generales de la unidad “tierras altas”

Símbolo en el mapa: C1

Extensión: 3,553 ha

Posición en el paisaje: Llanura alta ligeramente inclinada correspondiente a los diques formados por los antiguos cauces del río San Pedro, está dividida por el

antiguo cauce y se comporta como un estero, el cual está permanentemente inundado.

Pendiente: nula

Pedregosidad: ninguna

Drenaje externo: bueno

Grado de erosión: nulo

Riesgo de inundación: bajo

Influencia humana: muy alta

Vegetación: cultivos y cuatanteras (*Mimosa* sp.)

Cultivos principales: frijol, sorgo y hortalizas exóticas

En el perfil 7 se muestran las principales características de la unidad, está localizado en el ejido Tuxpan (7 msnm), Cambisol éutrico desarrollado a partir de los sedimentos del antiguo cauce del río San Pedro, en la llanura aluvial abandonada, ligeramente compactado, bien drenado, profundidad del manto freático a 120 cm, con régimen hipertérmico del suelo y régimen de humedad ústico, no disponibilidad de agua para riego, ligeramente alcalino en los primeros 35 cm, medianamente alcalino entre los 35 y 46 cm, a partir de donde se vuelve ligeramente alcalino, con uso agrícola (frijol de ciclo otoño-invierno, sembrado durante la primera quincena de noviembre y para cosecharse en el mes de febrero).

La profundidad explorada fue de 120 cm, el perfil presenta un horizonte superficial perturbado de 35 cm, pardo claro en seco y pardo oscuro en húmedo, franco limoso (17% arena, 60% limo y 23% arcilla), estructura en bloques subangulares media, moderada, ligeramente duro y firme.

El horizonte subsuperficial tiene 45 cm de espesor, dividido en tres partes (Bw11, Bw12 y Bw13) es de color pardo claro en seco y pardo oscuro en húmedo, de franco limoso a franco arcillo limoso (de 27 a 31% de arcilla), con estructura de bloques subangulares media, moderada, ligeramente duro y firme.

Presenta un horizonte de transición BwC de 40 cm de espesor (80-120 cm), rosáceo en seco y pardo oscuro en húmedo, franco limoso (14% arcilla), con estructura en bloques subangulares media, moderada, blando y friable.

Las propiedades químicas más comunes son un pH de 7.4 en el horizonte superficial y aumenta a 8.0 entre 35 y 46 cm y vuelve a disminuir regularmente a 7.1 con la profundidad; el contenido de carbón orgánico disminuye en forma regular de 1.03 a 0.10%, la capacidad de intercambio catiónico va de 26 a 33 meq/100 g en los primeros 60 cm del perfil y la proporción de carbonatos totales es de 0.5% y disminuye a 0.2% en el subsuelo, ECa de 4.3 dS/m.

Cuadro 35. Rango de variación de las características de los pozos 7 y 23.

Horizonte	Profundidad	Textura	% Arcilla	Color en seco
A p	0-25/35	Franco limoso	20-23	Pardo
Bw11	25/35-46/50	Franco a franco limoso	24-27	Pardo
Bw12	45/59-69/70	Franco limoso	27-28	Pardo
Bw13	69/70-80/100	Franco a franco arcillo limoso	24-31	Pardo
BwC	80/100-120	Franco limoso	14	Pardo

Unidad: TIERRA BARRIALOSA

Componentes taxonómicos y su distribución: La definición de esta unidad se hizo por fotointerpretación, observaciones del terreno y descripción de un perfil de suelo (pozo 5). Está compuesta por una consociación de Cambisol éutrico con ciertas características lúvicas por el predominio de arcilla en el subsuelo.

Características generales de la unidad "tierra barrialosa"

Símbolo en el mapa: C21

Extensión: 396 ha

Posición en el paisaje: La porción superior de las superficies de depresión, es una zona con acumulación de agua durante el temporal de lluvias (junio a septiembre) y persiste una alta humedad por 2 o 3 meses después. Se localizan en los alrededores de la Laguna de la Punta en el Ejido de Coamiles y en los límites con la unidad Lomerío (A2).

Pendiente: 2 a 4 grados

Pedregosidad: ninguna

Drenaje externo: deficiente

Grado de erosión: nulo

Riesgo de inundación: alto

Influencia humana: muy alta

Vegetación: cultivos

Cultivos principales: frijol y sorgo

El perfil 5 muestra las principales características de esta unidad de tierra, está localizado en el ejido Coamiles (11 msnm), se trata de un Cambisol éutrico desarrollado a partir de aluviones antiguos, ligeramente compactado, deficientemente drenado, con régimen hipotérmico del suelo y régimen de humedad ústico, existe

disponibilidad de riego mediante bombeo desde al cauce del río San Pedro o desde la Laguna La Punta, presenta reacción de suelo medianamente ácida.

La profundidad explorada fue de 75 cm, debido a la presencia del manto freático (octubre 26 de 1995), el perfil está compuesto por un horizonte superficial (Ap) de 35 cm, franco (25% arena, 46% limo, 29% de arcilla); en el subsuelo, presenta un horizonte B cámbico de 30 cm de espesor, migajón arcilloso, con bloques subangulares pequeños a grandes, duro, firme y pegajoso; permeabilidad moderada y con escasas raíces.

Las propiedades químicas más comunes son un pH de 6.02, carbón orgánico de 0.85%, capacidad de intercambio catiónico del horizonte superficial de 29 meq/100 gramos y ECe de 0.4 dS/m.

Unidad: LA PUNTA

Componentes taxonómicos y su distribución: La definición de esta unidad fue por fotointerpretación y observación visual. Se identificó un Luvisol gleyico, el cual permanece inundado la mayor parte del año.

Características de la unidad “La Punta”

Símbolo en el mapa: C22

Extensión: 223 ha

Posición en el paisaje: Se trata de una superficie deprimida, que limita con las unidades cerril y lomerío, existe gran acumulación de arcilla y permanece inundada la mayor parte del año, todos los años.

Pendiente: < 2 grados

Pedregosidad: ninguna

Drenaje externo: deficiente

Grado de erosión: nulo

Riesgo de inundación: muy alto

Influencia humana: baja

Vegetación: cuantante (*Mimosa* sp.)

Unidad: BORDOS

Componentes taxonómicos y su distribución: Esta unidad fue delimitada por fotointerpretación, recorridos de campo y descripción de un perfil de suelo (pozo 13); está compuesta por una consociación de Fluvisol dístrico, caracterizado por ser muy arenoso.

Características generales de la unidad “bordos”

Símbolo en el mapa: D1

Extensión: 352 ha

Posición en el paisaje: Son las tierras ubicadas entre ambos bordos de protección de inundaciones que se han realizado longitudinalmente al cauce del río San Pedro.

Pendiente: < 2 grados

Pedregosidad: ninguna

Drenaje externo: excesivo

Grado de erosión: alto

Riesgo de inundación: muy alto

Influencia humana: muy alta

Vegetación: cultivares y vegetación riparia (*Salix* sp.)

Cultivos principales: tabaco burley y frijol

El perfil 13 muestra las principales características de esta unidad de tierra, está localizado en el ejido Tuxpan (6 msnm), Fluvisol dístico desarrollado a partir de depósitos arenosos y limos gruesos localizados en ambos márgenes de río San Pedro, entre ambos bordos de protección de avenidas; no compactado, excesivamente drenado, régimen hipertérmico del suelo y régimen de humedad ústico, existe disponibilidad de riego mediante bombeo del canal de estiaje, reacción de suelo muy ligeramente alcalina.

La profundidad explorada fue de 120 cm, el perfil está compuesto por un horizonte superficial (Ap) de 30 cm, de arena migajosa (66% arena, 16% limo, 18% arcilla), le siguen hasta los 100 cm, dos capas (A11, A12) de color pardo oscuro, con bloques subangulares; suelto, muy friable, ligeramente pegajoso; permeabilidad rápida y con raíces pocas y medias. Los siguientes 20 cm, corresponden a un depósito de arena.

Las propiedades químicas más comunes son un pH de 7.3, carbón orgánico de 1.20%, fósforo disponible en 7 ppm, capacidad de intercambio catiónico del horizonte superficial de 22 meq/100 gramos y ECe de 2.1 dS/m.

Unidad: LLANURA

Componentes taxonómicos y su distribución: Esta unidad fue delimitada por fotointerpretación, recorridos de campo y descripción de cinco perfiles de suelo (pozos 12, 14, 16, 24 y 34). Está compuesta por una asociación de Fluvisol dístico y Fluvisol éutrico, con diferencias significativas en su grado de compactación.

Características generales de la unidad "llanura"

Símbolo en el mapa: D2

Extensión: 352 ha

Posición en el paisaje: Se trata de la superficie plana, con ligera inclinación este - oeste de la llanura aluvial de desborde del río San Pedro.

Pendiente: < 2 grados

Pedregosidad: nula

Drenaje externo: bueno

Grado de erosión: nulo

Riesgo de inundación: medio (cada 3-5 años)

Influencia humana: muy alta

Vegetación: cultivos

Cultivos principales: frijol, tabaco, maíz, chile, sorgo, hortalizas exóticas y algodón a nivel experimental.

En el perfil 12 se muestran las principales características de la unidad, está localizado en el ejido Tuxpan (6 msnm), se trata de un Fluvisol dístrico compactado, desarrollado a partir de los sedimentos depositados por las inundaciones periódicas del río San Pedro; drenaje interno moderado, profundidad del mantó freático superior a 140 cm (febrero 23 de 1996), con régimen hipertérmico del suelo y régimen de humedad ústico, disponibilidad de agua para riego, por bombeo desde el cauce del río; ligeramente alcalino en el horizonte superficial.

La profundidad explorada fue de 140 cm, el perfil presenta un horizonte superficial perturbado de 20 cm, pardo claro en seco y pardo oscuro en húmedo, arena migajosa (75% arena, 14% limo y 11% arcilla); estructura en bloques subangulares; duro, friable y ligeramente pegajoso; permeabilidad rápida.

A continuación dos capas del horizonte A: de 20 a 35 cm el A12 y de 35 a 60 cm el A13, ambos de color pardo en seco y pardo oscuro en húmedo; la primera capa de textura migajón arenosa y la segunda, migajón limosa; estructura en bloques subangulares, duro, friable, ligeramente pegajoso y permeabilidad rápida.

Entre los 60 y 85 cm se encuentra un depósito de arena (C1), y de los 85 a 105 cm, el horizonte C2, migajón arcilloso y pegajoso; finalmente, un depósito mayor de arena (105-140 cm).

Las propiedades químicas más comunes son un pH de 8.0 en el horizonte superficial y aumenta a 8.6 en el A13; el contenido de carbón orgánico se mantiene alrededor de 0.3% en todo el perfil, la capacidad de intercambio catiónico varía de 19.7 meq/100 g en la superficie a 22.0 en el A14; la proporción de carbonatos totales es de 0.1%.

Cuadro 36. Rango de variación de las características de los pozos 12, 14, 16, 24 y 34.

<u>Horizonte</u>	<u>Profundidad</u>	<u>Textura</u>	<u>% Arcilla</u>	<u>Color en seco</u>
A p	0-18/25	Franco arenoso a franco limoso	11-18	Pardo a gris rosáceo
A12	18/25-30/50	Franco arenoso a franco limoso	14-21	Pardo claro a gris rosáceo
A13	40/50-60/80	Areno francoso a franco limoso	14-24	Pardo claro a gris rosáceo
A14/C1	60/80-85/100	Arenoso a franco limoso	6-22	Pardo claro
A15/C2	85/100-105/120	Arenoso a franco limoso	11-22	Gris rosáceo

Unidad: CANAL

Componentes taxonómicos y su distribución: Esta unidad fue delimitada por fofointerpretación, recorridos de campo y descripción de 5 perfiles de suelo (pozos 15, 18, 19, 21 y 33). Está compuesta por una asociación de Cambisol éutrico y dístrico con diferencias significativas en su grado de compactación.

Descripción general de la unidad "canal"

Símbolo en el mapa: D3

Extensión: 1,440 ha

Posición en el paisaje: Se trata de diques formados por antiguos brazos de crecida o canales de desfogue del río San Pedro, de los más importantes está el canal o estero que pasa por Vicente Guerrero y Pimientillo; las tierras de esta unidad se localizan a ambos lados de estos brazos de crecidas. Se caracterizan por presentar de ligera a moderada salinidad.

Pendiente: 2-4 grados

Pedregosidad: ninguna

Drenaje externo: bueno

Grado de erosión: nulo

Riesgo de inundación: varía de bajo a alto

Influencia humana: muy alta

Vegetación: cultivos

Cultivos principales: frijol, sorgo, chile, jitomate, melón y hortalizas exóticas.

En el perfil 21 se muestran las principales características de esta clase de tierra, está localizado en la parcela escolar del ejido Unión de Corrientes (2 msnm); Cambisol éútrico desarrollado a partir de depósitos aluviales en los diques de los canales de desfogue o antiguos canales de crecidas, ligeramente compactado, imperfectamente drenado, profundidad del manto freático mayor a 100 cm, con régimen hipertérmico del suelo y régimen de humedad ústico, medianamente alcalino hasta los 130 cm, no disponibilidad de agua para riego (esto sería posible activando una vena del antiguo bazo de crecida), con uso agrícola (en el ciclo anterior se sembró sorgo y se obtuvo un promedio de 3 toneladas por hectárea).

La profundidad explorada fue de 130 cm, el perfil se compone por un horizonte superficial perturbado de 25 cm de espesor, gris rosáceo en seco y pardo oscuro en húmedo, franco limoso (19% arena, 55% limo y 26% arcilla), estructura en bloques subangulares media y gruesa, moderada; duro, muy firme, adherente y plástico.

El horizonte subsuperficial (Bw11) de 25 a 37 cm, es color gris rosáceo en seco y pardo oscuro en húmedo, franco limoso (27% arcilla), estructura en bloques subangulares gruesa, moderada; muy duro, muy firme, adherente y plástico. En el resto del perfil (37-130 cm) disminuye el contenido de arcilla hasta 12%, la estructura es débil, ligeramente duro y muy friable, ligeramente adherente y ligera plasticidad.

Dentro de las propiedades químicas más comunes está el pH entre 7.8 y 8.0, el contenido de carbón orgánico que disminuye con la profundidad de 0.73 a 0.28%, el fósforo disponible en 12 ppm y se reduce a 1 ppm en el subsuelo, la capacidad de intercambio catiónico es de 23.5 meq/100 g, la ECa de 0.9 dS/m en la superficie y baja a 0.3 dS/m a 75 cm, los carbonatos totales corresponden a un 0.2%.

Cuadro 37. Rango de variación de las características de los pozos 15, 18, 19, 21 y 23.

Horizonte	Profundidad	Textura	% Arcilla	Color en seco
A p	0-10/25	Franco limoso a arcillo limoso	20-37	Pardo a gris rosáceo
Bw11	10/25-35/50	Franco a franco limoso	22-27	Pardo claro a gris rosáceo
Bw12	35/50-70/85	Franco a franco arcilloso	12-29	Pardo claro a gris rosáceo
Bw13	70/85-95/130	Franco a franco arcillo limoso	14-32	Pardo a gris rosáceo
BwC	95/130- 110/200	Franco limoso	26	Pardo claro

Unidad: PALAPAR

Componentes taxonómicos y su distribución: Esta unidad fue delimitada por fotointerpretación, recorridos de campo y descripción de 2 perfiles de suelo (pozos 9 y 10). Está compuesta por una consociación de Cambisol mólico.

Características generales de la unidad "palapar"

Símbolo en el mapa: D41

Extensión: 2,024 ha

Posición en el paisaje: Corresponde a una amplia llanura con bosque tropical subcaducifolio ("palapar"), es un área inundable durante el temporal de lluvias y por desbordamiento del río en avenidas extraordinarias.

Pendiente: < de 2 grados

Pedregosidad: ninguna

Drenaje externo: deficiente

Grado de erosión: nulo

Riesgo de inundación: medio (cada 3 a 5 años)

Influencia humana: muy alta

Vegetación: bosque tropical subcaducifolio, dominan la palma de coquito de aceite (*Orbignea cohune*), higueras (*Ficus* sp.) y algunas áreas ya abiertas para la agricultura.

Cultivos principales: sorgo y frijol

En el perfil 9 se muestran las principales características de esta unidad, está localizado en el ejido de Tuxpan (5 msnm); se trata de un Cambisol mólico desarrollado a partir de depósitos aluviales, ligeramente compactado, imperfectamente drenado, profundidad del manto freático mayor a 120 cm, con régimen hipertérmico del suelo, régimen de humedad ústico, de ligera a medianamente ácido.

Se utilizó el perfil de una excavación para obtener material para la construcción de ladrillos, en la superficie destaca un horizonte A mólico de 30 cm, pardo oscuro en seco y en húmedo, migajón arcillo limoso (28% arena, 46% limo, 26% arcilla), estructura de bloques subangulares, media y gruesa, moderada; duro, firme, adherente y plástico.

El horizonte subsuperficial (Bw) tiene 90 cm de espesor, dividido en 3 partes, las primeras dos (Bw1, Bw2), pardo en seco y pardo oscuro en húmedo, mientras que el Bw3 es pardo claro en seco, todos con estructura de bloques subangulares medios y moderados, sin embargo el Bw1 es más firme que el resto.

Dentro de las propiedades químicas más comunes son el pH entre 6.4 y 6.6, el contenido de carbón orgánico que disminuye con la profundidad de 1.27 a 0.16%, la capacidad de intercambio catiónico del horizonte superficial es de 24.8 meq/100 g, la ECa de 1.7 dS/m y los carbonatos totales de 0.2%.

Cuadro 38. Rango de variación de las características de los pozos 9 y 10.

<u>Horizonte</u>	<u>Profundidad</u>	<u>Textura</u>	<u>% Arcilla</u>	<u>Color en seco</u>
A mólico	0-25/30	Limoso a franco arcillo limoso	26-29	Pardo
Bw11	25/30-65	Franco arcilloso a franco arcillo limoso	33-39	Pardo
Bw12	65-95/110	Franco arcilloso a arcilloso	35-46	Pardo
Bw13	95/110-120	Franco arcilloso	34	Pardo claro

Unidad: SALITRE

Componentes taxonómicos y su distribución: Esta unidad fue delimitada por fotointerpretación, recorridos de campo y descripción de tres perfiles de suelo (pozos 20, 28 y 29). Está compuesta por una consociación de Fluvisol sálico, con diferencias significativas en su grado de salinidad.

Descripción general de la unidad "salitre"

Símbolo en el mapa: D42

Extensión: 304 ha

Posición en el paisaje: Se trata de el nivel máximo de inundación temporal de las superficies de depresión formadas entre dos diques de los canales de desfogue. Estas áreas están sujetas a largos periodos de inundación y alta evaporación, lo cual repercute en la concentración de sales, inclusive en la superficie del suelo.

Pendiente: < de 2 grados

Pedregosidad: ninguna

Drenaje externo: deficiente

Grado de erosión: nulo

Riesgo de inundación: muy alto

Influencia humana: muy alta

Vegetación: cultivos

Cultivos principales: sorgo y melón

En el perfil 29 se presentan las principales características de las "tierras salitre", está localizado en el ejido Palma Grande (2 msnm), Fluvisol sálico formado por depósitos aluviales que en la actualidad han formado grandes superficies deprimidas, en este caso se trata de superficies de inundación en avenidas excepcionales dentro de las superficies deprimidas, con niveles freáticos muy superficiales; no compactado, bien drenado, con régimen hipertérmico del suelo, régimen de humedad ústico, muy fuertemente alcalino en los primeros 10 cm y extremadamente alcalino en el resto del

perfil, generalmente no se riega, sin embargo es posible el riego por bombeo desde el brazo de crecida (canal natural), con uso agrícola (sorgo).

La profundidad explorada fue de 110 cm, el perfil muestra un horizonte superficial A perturbado de 10 cm, pardo claro en seco y pardo oscuro en húmedo, franco limoso (21% arena, 58% limo y 21% arcilla), estructura en bloques subangulares fina, muy débil; blando, muy friable, ligeramente adherente y ligera plasticidad. El resto del perfil (10-110 cm) es de color gris rosado en seco y pardo oscuro en húmedo, franco limoso (20% arcilla) de 10 a 40 cm y limoso (14% arcilla) de 40 a 75 cm; la estructura sigue siendo fina, muy débil, blando y muy friable con la profundidad.

Las propiedades químicas más comunes son un pH de 8.8 en los primeros 10 cm y aumenta de 10.1 a 10.5 en el resto del perfil, el contenido de carbón orgánico decrece hasta los 75 cm de 0.65 a 0.37%, la capacidad de intercambio catiónico aumenta regularmente con la profundidad de 21.6 a 39.7 meq/100 g, la ECa es de 76 dS/m, el contenido de carbonatos totales es de 0.3%.

Cuadro 39. Rango de variación de las características de los pozos 20, 28 y 29.

Horizonte	Profundidad	Textura	% Arcilla	Color en seco
Ap	0-10/25	Franco limoso	5-21	Pardo a pardo claro
A12	10/25-40/50	Franco limoso a franco	19-21	Gris rosáceo
A13	40/50-75	Franco limoso a limoso	14-22	Gris rosáceo
A14	75-110/130	Franco limoso a franco arenoso	10-27	Gris rosáceo

Unidad: INUNDABLE

Componentes taxonómicos y distribución: Esta unidad fue delimitada por fotointerpretación, recorridos de campo y descripción de dos perfiles de suelo (pozos 17 y 22). Está compuesta por una consociación de Stagnosol lúvico, el cual presenta moteados de color rojizo.

Características generales de la unidad "inundable"

Símbolo en el mapa: D43

Extensión: 3,425 ha

Posición en el paisaje: Corresponde al nivel ordinario de inundación de las superficies deprimidas, incluye aquellas áreas que alcanzan a inundarse por la acumulación de agua de lluvia (julio-septiembre), permaneciendo con exceso de humedad hasta por 3 meses después.

Pendiente: < de 2 grados

Pedregosidad: ninguna

Drenaje externo: deficiente

Grado de erosión: nulo

Riesgo de inundación: alto

Influencia humana: muy alta

Vegetación : cultivos y cuatenteras (*Mimosa* sp)

Cultivo dominante: sorgo

En el perfil 17 se muestran las principales características de esta unidad, está localizado en el ejido Palma Grande, a unos 100 m al sur de El Tecomate (2 msnm); se trata de un Stagnosol gleyico desarrollado por intemperismo *in situ* a partir de depósitos fluviales finos, se ubica en el nivel de inundación ordinario en las superficies de depresión y presenta moteados rojizos por los procesos de óxido-reducción, ligeramente compactado, drenaje interno deficiente, profundidad del manto freático muy superficial, se inunda de 5 a 7 meses cada año, con régimen hipertérmico del suelo y régimen de humedad acuico, no disponibilidad de agua para riego, fuertemente ácido en los primeros 15 cm y ligeramente ácido el resto del perfil, con uso agrícola (preparación del terreno para sorgo).

La profundidad explorada fue de 110 cm, el perfil se compone de un horizonte superficial perturbado y un B cámbico con propiedades estagnicas. El Ap (0-15 cm) es de color gris rosáceo en seco y pardo oscuro en húmedo, franco limoso (22% arena, 74% limo y 4% arcilla), estructura en bloques subangulares fina a gruesa, moderada; duro, firme, ligeramente adherente y ligera plasticidad. Los siguientes dos horizontes (Bw11c y Bw12c) presentan manchas de color rojizo, pardo claro en seco y pardo oscuro en húmedo, franco limoso (22% arcilla), estructura en bloques subangulares gruesa, moderada; duro, firme, adherente y plástico.

A la profundidad de 65 a 70 cm se encontró una capa de arena de color amarillento (C1); seguido hasta los 110 cm por un C2, gris rosáceo en seco y pardo oscuro en húmedo, franco limoso (29% arcilla), estructura en bloques subangulares gruesa, moderada; ligeramente duro, friable, adherente y ligeramente plástico.

Dentro de las propiedades mas comunes esta un pH de 5.3 en el horizonte superficial y 6.4 en el resto del perfil, carbón orgánico que disminuye en forma regular de 2.35 a 1.35%, capacidad de intercambio catiónico de 33.2 a 35.2 meq/100 g, ECa de 38.4 dS/m en la superficie y disminuye a 11.2 dS/m a los 15 cm, carbonatos totales en un 0.2%.

Cuadro 40. Rango de variación de las características de los pozos 17 y 22.

Horizonte	Profundidad	Textura	% Arcilla	Color en seco
A p	0-15	Franco limoso	4-12	Pardo a gris rosáceo
Bw11	15-45	Franco limoso a arcillo limoso	22-40	Pardo claro a gris rosáceo
Bw12	45-65/85	Franco arenoso a franco limoso	13-21	Pardo claro a gris rosáceo
B13/C1	65/85-110/130	Franco limoso a franco arcillo limoso	29-38	Gris rosáceo

Unidad: LAGUNAS

Clasificación taxonómica: Esta unidad se delimitó por fotointerpretación, observación visual y un perfil de suelo (pozo 35), localizado en los sitios donde se alcanza a secar la superficie durante el período de estiaje. Se indentificó una consociación de Luvisol gleyico.

Características generales de la unidad "lagunas"

Símbolo en el mapa: D44

Extensión: 406 ha

Posición en el paisaje: Se trata de la parte más baja de las superficies de depresión, la cual permanece inundada la mayor parte del año, todos los años.

Pendiente: < de 2 grados

Pedregosidad: ninguna

Drenaje externo: deficiente

Grado de erosión: nulo

Riesgo de inundación: muy alto

Influencia humana: muy alta

Vegetación: cuatante (*Mimosa* sp)

En el perfil 35 se muestran las principales características de esta unidad, está localizado en el ejido Palma Grande (1 msnm); se trata de un Luvisol gleyico desarrollado a partir de sedimentos aluviales finos, decantados en las superficies más bajas de las superficies deprimidas y por la iluviación de los minerales arcillosos; se encuentra inundado casi todo el año, compactado, drenaje deficiente, con régimen hipertérmico del suelo y régimen de humedad acuico, medianamente ácido en los primeros 15 cm y muy fuertemente alcalino de 15-40 cm, con uso actual del suelo de agostadero.

La profundidad explorada fue de 40 cm, el perfil se compone de un horizonte A ócrico de 15 cm, pardo en seco y pardo oscuro en húmedo, limoso (40% arena, 34% limo y 26% arcilla), estructura en bloques subangulares gruesa, de moderada a fuerte; muy duro, muy firme, muy adherente y muy plástico.

Los siguientes 25 cm de espesor se tratan de un B argílico (Bt) pardo en seco y pardo oscuro en húmedo, arcillo limoso (41% arcilla), estructura en bloques subangulares muy gruesa, fuerte; muy duro, muy firme, muy adherente y muy plástico.

Las propiedades químicas más comunes de este perfil son un pH de 5.9 en el horizonte superficial y 9.0 en el subsuelo el contenido de carbón orgánico disminuye de 1.50 a 0.39%, el fósforo disponible de 17-18 ppm, capacidad de intercambio catiónico de 33.0 meq/100 g en la superficie y 39.5 meq/100 g en el subsuelo.

Unidad: ANTIGUAS LAGUNAS

Componentes taxonómicos y su distribución: Esta unidad fue delimitada por fotointerpretación, recorridos de campo y descripción de tres perfiles de suelo (pozos 25, 26 y 27). Está compuesta por una consociación de Fluvisol dístico, el cual se caracteriza por presentar sedimentos frescos sobre materiales arcillosos más antiguos.

Características generales de la unidad "antiguas lagunas"

Símbolo en el mapa: D51

Extensión: 2,057 ha

Posición en el paisaje: Se trata la porción más baja de las antiguas lagunas colmatadas en los últimos 20 años.

Pendiente: < de 2 grados

Pedregosidad: ninguna

Drenaje externo: moderado

Grado de erosión: nulo

Riesgo de inundación: muy alto

Influencia humana: muy alta

Vegetación : selva baja y cultivares

Cultivo principal: sorgo

En el perfil 25 se muestran las principales características de la unidad, está localizado en el ejido Palma Grande (2 msnm), Fluvisol dístico compuesto por sedimentos muy recientes depositados por inundaciones del río San Pedro; presenta drenaje interno moderado, profundidad del manto freático superior a 120 cm (octubre

16 de 1996), con régimen hipertérmico del suelo y régimen de humedad ústico, no disponibilidad de agua para riego; ligeramente ácido.

La profundidad explorada fue de 120 cm, el perfil presenta un horizonte superficial perturbado de 15 cm, gris rosáceo en seco y pardo oscuro en húmedo, franco (43% arena, 38% limo y 19% arcilla); estructura en bloques subangulares fina y media; duro, friable y ligeramente adherente.

Le sigue un horizonte A12 (15-25 cm) con características similares al anterior, pero con mayor contenido de arcilla (24%), y un horizonte de arena (C1) de 25 cm espesor; seguido de 40 cm de otro depósito de suelo (C2), gris rosáceo en seco y pardo oscuro en húmedo, franco arcillo limoso. Finalmente, otro depósito de arena de 30 cm.

Las propiedades químicas más comunes son un pH de 6.5 en el horizonte superficial y aumenta con la profundidad a 7.4; el contenido de carbón orgánico del horizonte superficial es de 2.37% y disminuye a 1.07% y la capacidad de intercambio catiónico es de 35.5 meq/100 g.

Cuadro 41. Rango de variación de las características de los pozos 25, 26 y 27.

Horizonte	Profundidad	Textura	% Arcilla	Color en seco
A p	0-10/15	Franco a arcillo limoso	19-27	Gris claro a gris rosáceo
A12/Bw11	10/15-25/35	Franco a arcilloso	24-49	Gris claro a gris rosáceo
A13/Bw12	25/35-40/70	Arena media a arcilloso	6-53	Gris parduzco claro a gris rosáceo
A14/Bw13	40/70-65/90	Franco a franco arcillo limoso	24-33	Gris rosáceo
C	65/90-100/120	Arenoso a areno francoso	10	Gris rosáceo

Unidad: TIERRA DULCE

Componentes taxonómicos y su distribución: Esta unidad fue delimitada por fotointerpretación, recorridos de campo y descripción de tres perfiles de suelo (pozos 30, 31 y 32). Está compuesta por una asociación de Fluvisol dístico y Cambisol flúvico.

Características generales de la unidad "tierra dulce"

Símbolo en el mapa: D52

Extensión: 908 ha

Posición en el paisaje: Se trata la porción alta, de las antiguas lagunas colmatadas en los últimos 20 años.

Pendiente: < 2 grados

Pedregosidad: ninguna

Drenaje externo: moderado

Grado de erosión: nulo

Riesgo de inundación: alto

Influencia humana: muy alta

Vegetación: cultivares y cuatanteras (*Mimosa sp.*)

Cultivo principal: sorgo

En el perfil 32 se presentan las principales características de esta unidad, está localizado Unión de Corrientes (2 msnm), se trata de un Cambisol éutrico no compactado, con régimen hipertérmico del suelo y régimen de humedad ústico, moderadamente ácido en la superficie y ligeramente alcalino en el subsuelo, no dispone de sistema de irrigación.

La profundidad explorada fue de 120 cm, el perfil muestra un horizonte superficial A perturbado de 15 cm, gris rosáceo en seco y pardo oscuro en húmedo, franco limoso (13% arena, 66% limo y 21% arcilla), estructura en bloques subangulares media, moderada; duro, friable y ligeramente adherente.

Le sigue un horizonte B cámbico de 105 cm; los primeros 65 cm (Bw11 y BW12) se caracterizan por ser franco arcillo limoso (38% arcilla), con estructura en bloques subangulares media, gruesa y moderada; duro, firme y adherente. Mientras que los 40 cm restantes presentan textura franco limosa (28% arcilla).

Las propiedades químicas más comunes es un pH de 6.1 en los primeros 15 cm y aumenta con la profundidad hasta 8.4; el contenido de carbón orgánico del horizonte superficial es de 1.67%, la capacidad de intercambio catiónico de 38.1 meq/100 g, la ECa de 4.8 dS/m y aumenta con la profundidad hasta 8.1 dS/m.

Cuadro 42. Rango de variación de las características de los pozos 30, 31 y 32.

Horizonte	Profundidad	Textura	% Arcilla	Color en seco
Ap	0-10/15	Areno franco a franco arc arenoso	10-27	Gris rosáceo
A12/Bw11	10/15-20/40	Arenoso a franco arc limoso	5-38	Gris rosáceo a pardo claro
C1/Bw12	20/40-45/80	Arenoso a franco arc limoso	8-32	Gris rosáceo a pardo claro
C2/Bw13	45/80-100/120	Franco arenoso a franco arenoso	13-34	Gris rosáceo

Unidad: LAMADAL

Componentes taxonómicos y su distribución: Esta unidad fue delimitada por fotointerpretación, recorridos de campo y descripción de dos perfiles de suelo (pozos 8 y 11). Está compuesta por una consociación de Fluvisol dístico.

Características generales de la unidad "lamadal"

Símbolo en el mapa: D6

Extensión: 1,353 ha

Posición en el paisaje: Corresponde a las áreas donde el río ha migrado su cauce, dejando grandes cantidades de limos finos a gruesos y capas de arenas. Es el punto donde el cauce del río San Pedro pierde su verticalidad y se dispersa hacia el sistema lagunar estuarino de Mexcaltitán.

Pendiente: < de 2 grados

Pedregosidad: ninguna

Drenaje externo: bueno

Grado de erosión: moderado

Riesgo de inundación: muy alto

Influencia humana: muy alta

Vegetación : cultivos

Cultivos principales: frijol, tabaco y sorgo

En el perfil 11 se muestran las principales características de la unidad, está localizado en el ejido Tuxpan (2 msnm), Fluvisol dístico originado a partir de aluviones y depósitos arenosos resultado de la migración del cauce del río San Pedro; presenta drenaje interno excesivo, profundidad del manto freático superior a 120 cm (enero 22 de 1996), con régimen hipertérmico del suelo y régimen de humedad ústico, disponibilidad de agua para riego, por bombeo desde el canal de estiaje; de ligera a moderada alcalinidad.

La profundidad explorada fue de 140 cm, el perfil presenta un horizonte superficial perturbado de 25 cm, areno francoso (72% arena, 18% limo y 10% arcilla); estructura en bloques subangulares fina y muy débil; blando, muy friable y no adherente. Le siguen un horizonte C1 (25-40 cm) arenoso; un depósito aluvial de 80 cm de espesor, pardo oscuro en húmedo; franco arenoso; y finalmente otros 20 cm de arena.

Las propiedades químicas más comunes son un pH de 8.0 en el horizonte superficial y aumenta con la profundidad a 8.9; el contenido de carbón orgánico es de 0.59%, la capacidad de intercambio catiónico es de 12.1 meq/100 g y la Eca de 1.2 dS/m y aumenta con la profundidad hasta 2.8.

Cuadro 43. Rango de variación de las características de los pozos 8 y 11.

<u>Horizonte</u>	<u>Profundidad</u>	<u>Textura</u>	<u>% Arcilla</u>	<u>Color en seco</u>
A p	0-25/30	Areno francoso a franco limoso	10-23	Pardo claro a gris rosáceo
A12/C1	25/30-40/41	Arenoso a franco	3-23	Pardo claro
A13/C2	40/41-55/75	Franco arenoso a franco	13-21	Pardo claro a gris rosáceo
A14/C3	55/75-65/120	Areno francoso a franco limoso	19-24	Pardo claro a gris rosáceo
A15/C4	65/120-105/140	Arenoso a franco	3-24	Pardo claro

Unidad: MARISMA

Componentes taxonómicos y su distribución: Esta unidad fue delimitada por fotointerpretación y recorridos de campo. Está compuesta por una consociación de Solonchak sódico.

Características generales de la unidad "marisma"

Símbolo en el mapa: E1

Extensión: 710 ha

Posición en el paisaje: Corresponde a la llanura mareal extraordinaria, la cual es inundable durante la temporada de lluvias, más dos o tres meses (julio a noviembre).

Pendiente: < de 2 grados

Pedregosidad: ninguna

Drenaje externo: deficiente

Grado de erosión: nulo

Riesgo de inundación: muy alto

Influencia humana: alta

Vegetación: halófitas

Unidad: MANGLAR

Componentes taxonómicos y su distribución: Esta unidad fue delimitada por fotointerpretación y recorridos de campo. Está compuesta por una asociación de Solochack sódico y Solonchack gleyico.

Características generales de la unidad "manglar"

Símbolo en el mapa: E2

Extensión: 7,861 ha

Posición en el paisaje: Corresponde a una parte del sistema lagunar estuarino de mexcaltitán, el cual comprende canales, lagunas y la llanura intermareal.

Pendiente: < de 2 grados

Pedregosidad: ninguna

Drenaje externo: deficiente

Grado de erosión: nulo

Riesgo de inundación: inundación permanente

Vegetación: asociación de manglar (*Laguncularia racemosa*, *Avicenia germinans* y *Conocarpus erectus*).

ANEXO 3. Recomendaciones derivadas del estudio

A partir de los resultados del trabajo de evaluación de tierras del municipio de Tuxpan, Nayarit, se identificó la necesidad de implementar una serie de proyectos y programas para apoyar el desarrollo del sector agrícola, entre los más importantes destacan:

- Diseñar y desarrollar infraestructura para riego y drenaje, con promoción de métodos de uso eficiente del agua.
- Proyectar y aplicar programas de nivelación y subsoleo.
- Formular y promover un sistema integral de nutrición vegetal que atienda particularmente las deficiencias de nitrógeno y fósforo, a partir de los recursos locales y regionales.
- Analizar la respuesta de los cultivos y promover el sistema de no laboreo en algunos terrenos con características adecuadas.
- Investigar y aplicar tecnologías biológicas y orgánicas para el manejo de los cultivos.
- Definir una política de evaluación permanente de cultivos opcionales o alternativos para la zona, en función de los mercados.

Limitantes y acciones de manejo agrícola

A partir de la problemática de uso agrícola, se proponen acciones para el mejor aprovechamiento de cada unidad de tierra; esto supone alcanzar mayores rendimientos por unidad de superficie y con ello, mejorar el nivel de bienestar de las familias campesinas.

Las sugerencias de establecer cultivos preferentes se originaron de la evaluación de tierras hecha con ALMAGRA-TUXPAN y de los resultados obtenidos con el modelo TERRAZA; otras propuestas se retomaron de acuerdo con las características específicas de cada unidad de mapeo de suelos. A continuación se presentan las principales limitantes y acciones de manejo agrícola por unidad:

A1. TIERRA CERRIL

Unidad no apta para la agricultura, su destino deberá ser para la conservación del hábitat para refugio de especies silvestres de flora y fauna, la instalación de infraestructura para comunicaciones y la observación de paisajes de llanuras costeras; con uso restringido para la ganadería extensiva.

A2. TIERRA LOMERIO

Las principales limitantes para el uso agrícola de esta unidad son la pendiente (12-20 grados), la profundidad del suelo (< 40 cm), textura fina (35% de arcilla), la compactación del suelo y deficiencias de nitrógeno, fósforo y magnesio.

Acciones de manejo:

- El tipo de utilización más conveniente deberá ser el establecimiento de praderas de temporal y la agricultura de temporal con nivel de inversión de bajo a medio.
- En caso de cultivarse, sembrar preferentemente maíz, seguido de frijol y sorgo de temporal.
- Las prácticas de manejo del suelo necesarias son el subsoleo, en aquellas área donde el suelo es profundo y arcilloso.
- Establecer surcado al contorno con sistemas de terrazas.
- Aplicación de abonos verdes, estercoladuras o residuos de cosecha, cultivos en fajas, cultivos de cobertura, rotación de cultivos, huertos al contorno y encalados ligeros.
- Aplicar fertilizantes al terreno tomando en cuenta las recomendaciones locales específicas para cada cultivo, atendiendo las deficiencias de nitrógeno, fósforo y magnesio presentes en esta unidad de tierra.

B1. TIERRA ZONA

Los principales problemas de uso agrícola de esta unidad son la textura gruesa (86% de arena), permeabilidad excesiva, pobreza de nutrimentos (nitrógeno, fósforo y magnesio) y alto riesgo de inundación durante los meses de julio a octubre con períodos de retorno anual.

Acciones de manejo:

- Los tipos de uso de la tierra más convenientes para esta unidad (por el riesgo de inundación) son el establecimiento de praderas de riego y el cultivo de especies agrícolas de ciclo corto, por lo que se hace necesario buscar otras opciones.
- Cultivar preferentemente cacahuete y jícama, seguido de tabaco burley, chile y sandía.
- Establecer los cultivos recomendados en las fechas sugeridas en la Guía para la asistencia agrícola en el área de influencia del campo experimental "Santiago Ixcuintla" (INIFAP ,1994), bajo sistema de riego.
- Aplicar materia orgánica al suelo en forma de abonos verdes o estercoladuras con la finalidad de mejorar la fertilidad, las propiedades físicas y la capacidad de retención de humedad.

- Aplicar fertilizantes al terreno tomando en cuenta las recomendaciones locales específicas para cada cultivo, atendiendo las deficiencias de nitrógeno, fósforo y magnesio presentes en esta unidad de tierra.
- Hacer rotaciones con los cultivos recomendados.
- Incorporar otras tecnologías al manejo de los cultivos como puede ser el no laboreo, técnicas biológicas y orgánicas.

B2. TIERRA SEMIZONA

Esta es una de las mejores tierras de la zona en estudio, presenta deficiencias de fósforo y un alto riesgo de inundación.

Acciones de manejo:

- Cultivar preferentemente frijol, sorgo, maíz, tabaco burley, chile, sandía, jícama y algodón.
- Establecer los cultivos recomendados en las fechas sugeridas en la Guía para la asistencia agrícola en el área de influencia del campo experimental "Santiago Ixcuintla" (INIFAP, 1994). En siembras de octubre y noviembre, el frijol y melón pueden desarrollarse con sistema de humedad residual, el resto de los cultivos, en los ciclos de otoño-invierno y primavera, necesariamente requieren riego punteado o completo.
- Aplicar fertilizantes al terreno tomando en cuenta las recomendaciones locales específicas para cada cultivo, atendiendo las deficiencias fósforo presentes en esta unidad de tierra.
- Hacer rotaciones con los cultivos arriba recomendados.
- Incorporar el no laboreo en el manejo de los cultivos y tecnologías biológicas y orgánicas.
- Identificar cultivos opcionales.

B3. TIERRA DURA BARRIAL

Los principales problemas de uso agrícola de esta unidad son: textura fina (29 a 33% de arcilla), el drenaje deficiente debido a la acumulación de agua de lluvia en el manto freático superficial (<1 m) durante los meses de agosto a noviembre y la deficiencia de elementos nutrientes como nitrógeno y fósforo.

Acciones de manejo:

- Cultivar preferentemente algodón, seguido de sorgo, maíz, tabaco virginia, jitomate, melón y frijol.

- Establecer los cultivos recomendados en las fechas sugeridas en la Guía para la asistencia agrícola en el área de influencia del campo experimental "Santiago Ixcuintla" (INIFAP ,1994). El total de los cultivos recomendados como preferentes en los ciclos de otoño-invierno y primavera, necesariamente requieren riego punteado o completo.
- Diseñar y aplicar un sistema de nivelación y drenaje de tierras.
- Realizar subsuelos profundos (80 cm) tendientes a romper el área compacta del suelo.
- Aplicar mejoradores de suelo, como materia orgánica en forma de abonos verdes o estercoladuras con la finalidad de mejorar la fertilidad, las propiedades físicas y la capacidad de retención de humedad.
- Aplicar fertilizantes al terreno tomando en cuenta las recomendaciones locales específicas para cada cultivo, atendiendo las deficiencias de nitrógeno y fósforo presentes en esta unidad de tierra.
- Hacer rotaciones con los cultivos arriba recomendados.
- Incorporar tecnologías biológicas y orgánicas al manejo de los cultivos.
- Buscar cultivos opcionales.

C1. TIERRAS ALTAS

Los principales problemas de uso agrícola de esta unidad son la permeabilidad lenta por efecto de la compactación del suelo, contenido medios de salinidad ($ECa= 4.3$ dS/cm) y la deficiencia de elementos nutrientes tales como el nitrógeno y fósforo.

Acciones de manejo:

- Cultivar preferentemente sorgo, maíz y algodón, seguido de frijol, tabaco virginia, chile, jitomate, melón, sandía y jícama.
- Establecer los cultivos recomendados en las fechas sugeridas en la Guía para la asistencia agrícola en el área de influencia del campo experimental "Santiago Ixcuintla" (INIFAP ,1994). En siembras de octubre y noviembre, el frijol, sorgo y melón pueden desarrollarse con sistema de humedad residual, el resto de los cultivos, en los ciclos de otoño-invierno y primavera, necesariamente requieren riego punteado o completo.
- Diseñar y desarrollar un sistema para optimizar la irrigación de las tierras.
- Diseñar y aplicar un sistema y drenaje de tierras.
- Realizar subsuelos profundos (80 cm) tendientes a romper la sección compacta del suelo.
- Aplicar mejoradores de suelo, como es la materia orgánica en forma de abonos verdes o estercoladuras con la finalidad de mejorar la fertilidad, las propiedades físicas y la capacidad de retención de humedad.

- Aplicar fertilizantes al terreno tomando en cuenta las recomendaciones locales específicas para cada cultivo, atendiendo las deficiencias de nitrógeno y fósforo presentes en esta unidad de tierra.
- Hacer rotaciones con los cultivos arriba recomendados.
- Incorporar tecnologías biológicas y orgánicas al manejo de los cultivos.
- Buscar tipos de uso opcionales.

C21. TIERRA BARRIALOSA

Las principales limitantes identificadas para el uso agrícola de esta unidad, son la baja permeabilidad por compactación, problemas de manejo por el tipo de textura arcillosa, permanencia de manto freático superficial (<100 cm), durante los meses de agosto a noviembre y la deficiencia de elementos nutrientes tales como el nitrógeno y fósforo.

Acciones de manejo:

- Cultivar preferentemente sorgo, maíz y algodón, seguido de tabaco virginia, jitomate, melón y frijol.
- Establecer los cultivos recomendados en las fechas sugeridas en la Guía para la asistencia agrícola en el área de influencia del campo experimental "Santiago Ixcuintla" (INIFAP ,1994). El total de los cultivos recomendados como preferentes, durante los ciclos de otoño-invierno y primavera, necesariamente requieren riego punteado o completo.
- Diseñar y desarrollar un sistema para optimizar la irrigación de las tierras.
- Diseñar y aplicar un sistema de nivelación y drenaje de tierras.
- Realizar subsuelos profundos (80 cm) tendientes a romper el área compacta del suelo.
- Aplicar mejoradores de suelo, como es materia orgánica en forma de abonos verdes o estercoladuras con la finalidad de mejorar la fertilidad, las propiedades físicas y la capacidad de retención de humedad.
- Aplicar fertilizantes al terreno tomando en cuenta las recomendaciones locales específicas para cada cultivo, atendiendo las deficiencias de nitrógeno y fósforo presentes en esta unidad de tierra.
- Hacer rotaciones con los cultivos arriba recomendados.
- Incorporar tecnologías biológicas y orgánicas al manejo de los cultivos.
- Buscar tipos de uso opcionales.

C22. LAGUNA LA PUNTA

Esta unidad no es apta para la agricultura por tratarse de superficies de depresión inundadas casi permanentemente; con algunas obras de drenaje se pudieran recuperar algunas porciones de esta unidad para la agricultura.

D1. BORDOS

Los principales problemas de uso agrícola de esta unidad son la textura gruesa (66-76% de arena), la permeabilidad excesiva, la deficiencia de elementos nutrientes (nitrógeno y fósforo) y el muy alto riesgo de inundación.

Acciones de manejo.

- Los tipos de utilización de la tierra más convenientes para esta unidad (por el riesgo de inundación) son el establecimiento de praderas de riego y el cultivo de especies de ciclo corto, por lo que se hace necesario buscar otras opciones.
- Cultivar preferentemente cacahuete y sandía, seguido de frijol, maíz, tabaco burley, chile y jícama.
- Establecer los cultivos recomendados en las fechas sugeridas en la Guía para la asistencia agrícola en el área de influencia del campo experimental "Santiago Ixcuintla" (INIFAP ,1994). En siembras de octubre y noviembre, el frijol y melón pueden desarrollarse con sistema de humedad residual, el resto de los cultivos, en los ciclos de otoño-invierno y primavera, necesariamente requieren riego punteado o completo.
- Aplicar mejoradores de suelo, como es materia orgánica en forma de abonos verdes o estercoladuras con la finalidad de mejorar la fertilidad, las propiedades físicas y la capacidad de retención de humedad.
- Aplicar fertilizantes al terreno tomando en cuenta las recomendaciones locales específicas para cada cultivo, atendiendo las deficiencias de nitrógeno y fósforo presentes en esta unidad de tierra.
- Hacer rotaciones con los cultivos arriba recomendados.
- Incorporar el no laboreo al manejo de los cultivos y tecnologías biológicas y orgánicas.

D2. LLANURA

Los principales problemas de uso agrícola de esta unidad son la permeabilidad lenta con efecto de la compactación del suelo, de ligera a mediana alcalinidad (pH 7.2-8.0), la deficiencia de elementos nutrientes (nitrógeno y fósforo) y mediano riesgo de inundación.

Acciones de manejo.

- Cultivar preferentemente frijol, sorgo, maíz, tabaco virginia y algodón, seguido de tabaco, chile, jitomate, melón, sandía y jícama.
- Establecer los cultivos recomendados en las fechas sugeridas en la Guía para la asistencia agrícola en el área de influencia del campo experimental "Santiago Ixcuintla" (INIFAP ,1994). En siembras de octubre y noviembre, el frijol, sorgo y melón, pueden desarrollarse con sistema de humedad residual, el resto de los cultivos, en los ciclos de otoño-invierno y primavera, necesariamente requieren riego punteado o completo.
- Diseñar y desarrollar un sistema para optimizar la irrigación de las tierras.
- Diseñar y aplicar un sistema de nivelación y drenaje de tierras
- Aplicar mejoradores de suelo, como es materia orgánica en forma de abonos verdes o estercoladuras con la finalidad de mejorar la fertilidad, las propiedades físicas y la capacidad de retención de humedad.
- Realizar subsoleos a 50 cm de profundidad, para romper la sección compacta del suelo.
- Aplicar fertilizantes al terreno tomando en cuenta las recomendaciones locales específicas para cada cultivo, atendiendo las deficiencias de nitrógeno y fósforo presentes en esta unidad de tierra.
- Hacer rotaciones con los cultivos arriba recomendados.
- En terrenos subsoleados incorporar el no laboreo al manejo de cultivos y tecnologías biológicas y orgánicas.
- Identificar cultivos opcionales.

D3. CANAL

Las principales limitantes de uso agrícola de esta unidad son la permeabilidad deficiente, por efecto de la compactación de suelo, moderada alcalinidad (pH 7.4 – 8.0) y la deficiencia de elementos nutrientes (nitrógeno y fósforo).

Acciones de manejo.

- Cultivar preferentemente sorgo, maíz, tabaco virginia y algodón, seguido de frijol, chile, jitomate, melón, sandía y jícama.
- Establecer los cultivos recomendados en las fechas sugeridas en la Guía para la asistencia agrícola en el área de influencia del campo experimental "Santiago Ixcuintla". (INIFAP ,1994). En siembras de octubre y noviembre, el frijol, sorgo y melón, pueden desarrollarse con sistema de humedad residual, el resto de los cultivos, en los ciclos de otoño-invierno y primavera, necesariamente requieren riego punteado o completo.
- Diseñar y desarrollar un sistema para optimizar la irrigación de las tierras
- Diseñar y aplicar un sistema de nivelación y drenaje de tierras

- Realizar subsoleos a 80 cm de profundidad, para romper el área compacta del suelo.
- Aplicar mejoradores de suelo, como es materia orgánica en forma de abonos verdes o estercoladuras con la finalidad de mejorar la fertilidad, las propiedades físicas y la capacidad de retención de humedad.
- Aplicar fertilizantes al terreno tomando en cuenta las recomendaciones locales específicas para cada cultivo, atendiendo las deficiencias de nitrógeno y fósforo presentes en esta unidad de tierra.
- Hacer rotaciones con los cultivos arriba recomendados.
- En terrenos subsoleados incorporar el no laboreo para el manejo de cultivos, además de tecnologías biológicas y orgánicas.
- Buscar tipos de uso opcionales.

D41. PALAPAR

La política de uso y destino de esta unidad deberá ser la conservación del bosque tropical subcaducifolio que presenta y como refugio de flora y fauna silvestres. Sin embargo, en las áreas abiertas al cultivo se presentan algunos problemas tales como textura fina, un mediano riesgo de inundación y la no disponibilidad de agua para el riego.

Acciones de manejo.

- Cultivar preferentemente sorgo, maíz, tabaco virginia, chile sandía, frijol, jitomate y algodón.
- Establecer los cultivos recomendados en las fechas sugeridas en la Guía para la asistencia agrícola en el área de influencia del campo experimental "Santiago Ixcuintla" (INIFAP ,1994). En siembras de octubre y noviembre, el frijol y sorgo pueden desarrollarse con sistema de humedad residual, el resto de los cultivos, en los ciclos de otoño-invierno y primavera, necesariamente requieren riego punteado o completo.
- Diseñar y aplicar un sistema de nivelación y drenaje de tierras.
- Realizar subsoleos a 80 cm de profundidad, para romper el área compacta del suelo.
- Aplicar mejoradores de suelo, como es materia orgánica en forma de abonos verdes o estercoladuras con la finalidad de mejorar la fertilidad, las propiedades físicas y la capacidad de retención de humedad.
- Aplicar fertilizantes al terreno tomando en cuenta las recomendaciones locales específicas para cada cultivo, atendiendo las deficiencias de nitrógeno y fósforo presentes en esta unidad de tierra.
- Hacer rotaciones con los cultivos arriba recomendados.
- Incorporar tecnologías biológicas y orgánicas al manejo de los cultivos.

D42. SALITRE y D43. INUNDABLE

Los principales problemas de uso agrícola de estas unidades son la salinidad extrema, el alto porcentaje de sodio intercambiable y el alto riesgo de inundación. Por lo anterior, no deberían dedicarse a la agricultura, sino a la ganadería, con establecimiento de especies resistentes a la salinidad y sodicidad.

Acciones de manejo.

- Establecer especies tolerantes, preferentemente forrajeras, en caso de utilizarse para la agricultura, con algodón, sorgo y melón.
- Estudiar la posibilidad de construir un sistema de drenaje de las lagunas con prácticas posteriores de lavado de tierras.
- Aplicar mejoradores químicos tales como yeso, azufre, ácido sulfúrico, etc.

D44. LAGUNAS

Esta unidad no es apta para la agricultura debido a que pasa inundada la mayor parte del año. Se requiere estudiar la posibilidad de construir un sistema de drenaje de las superficies de depresión mediante bombeo y canales o dedicarse al cultivo de organismos acuáticos.

D51. ANTIGUAS LAGUNAS

Las principales limitantes de uso agrícola de esta unidad son la textura gruesa (depósitos arenosos recientes), textura fina en horizontes arcillosos de las antiguas hoyas de decantación. Presenta deficiencias de elementos de nutrientes (nitrógeno y fósforo), tiene muy alto riesgo de inundación y no hay disponibilidad de agua para riego.

Acciones de manejo.

- Cultivar preferentemente de humedad residual frijol y sorgo, seguido de melón. En caso de existir riego, se pueden desarrollar óptimamente el maíz, tabaco burley y virginia, chile, sandía, jícama, algodón y jitomate.
- Establecer los cultivos recomendados en las fechas sugeridas en la Guía para la asistencia agrícola en el área de influencia del campo experimental "Santiago Ixcuintla" (INIFAP ,1994).
- Diseñar y desarrollar un sistema para la irrigación de las tierras.
- Diseñar y aplicar un sistema de nivelación y drenaje de tierras

- Aplicar mejoradores de suelo, como es materia orgánica en forma de abonos verdes o estercoladuras con la finalidad de mejorar la fertilidad, las propiedades físicas y la capacidad de retención de humedad.
- Realizar subsoleos a 50 cm de profundidad, para romper el área compacta del suelo.
- Aplicar fertilizantes al terreno tomando en cuenta las recomendaciones locales específicas para cada cultivo, atendiendo las deficiencias de nitrógeno y fósforo presentes en esta unidad de tierra.
- Hacer rotaciones con los cultivos arriba recomendados.
- Incorporar el no laboreo al manejo de cultivos y tecnologías biológicas y orgánicas.
- Identificar cultivos opcionales.

D52. TIERRA DULCE

Los principales problemas de uso agrícola de esta unidad son salinidad media (5.5dS/m), drenaje externo deficiente, bajos niveles de elementos nutrientes, como son nitrógeno y fósforo, la no disponibilidad de riego y muy alto riesgo de inundación.

Acciones de manejo.

- Cultivar preferentemente sorgo, en caso de existir riego se puede desarrollar el algodón, maíz, tabaco virginia, jitomate, melón sandía, jícama y cacahuete.
- Establecer los cultivos recomendados en las fechas sugeridas en la Guía para la asistencia agrícola en el área de influencia del campo experimental "Santiago Ixcuintla" (INIFAP ,1994). En siembras de octubre y noviembre el sorgo puede desarrollarse con sistema de humedad residual, el resto de los cultivos, en los ciclos de otoño-invierno y primavera requieren riego punteado o completo.
- Diseñar y desarrollar un sistema para la irrigación de las tierras.
- Diseñar y aplicar un sistema de nivelación y drenaje de tierras.
- Realizar pasos de arado a 30 cm de profundidad, para romper el área compacta del suelo.
- Aplicar mejoradores de suelo, como es materia orgánica en forma de abonos verdes o estercoladuras con la finalidad de mejorar la fertilidad, las propiedades físicas y la capacidad de retención de humedad.
- Aplicar fertilizantes al terreno tomando en cuenta las recomendaciones locales específicas para cada cultivo, atendiendo las deficiencias de nitrógeno y fósforo presentes en esta unidad de tierra.
- Realizar rotaciones con los cultivos arriba recomendados.
- Incorporar el no laboreo en el manejo de cultivos y tecnologías biológicas y orgánicas.
- Buscar tipos de uso opcionales.

D6. LAMADAL

Los principales limitantes de uso agrícola son textura gruesa (72-95% de arena), permeabilidad rápida, mediana alcalinidad (pH8), deficiencia en la capacidad de intercambio catiónico y en elementos nutrientes (nitrógeno y fósforo) y el alto riesgo de inundación.

Acciones de manejo.

- Cultivar preferentemente chile y sandía, de manera restringida frijol, sorgo, maíz, tabaco burley, jitomate, melón, jícama y cacahuete.
- Establecer los cultivos recomendados en las fechas sugeridas en la Guía para la asistencia agrícola en el área de influencia del campo experimental "Santiago Ixcuintla" (INIFAP ,1994).
- Aplicar mejoradores de suelo, como es materia orgánica en forma de abonos verdes o estercoladuras con la finalidad de mejorar la fertilidad, las propiedades físicas y la capacidad de retención de humedad.
- Aplicar fertilizantes al terreno tomando en cuenta las recomendaciones locales específicas para cada cultivo, atendiendo las deficiencias de nitrógeno y fósforo presentes en esta unidad de tierra.
- Realizar rotaciones con los cultivos arriba recomendados.
- Incorporar el no laboreo al manejo de los cultivos y tecnologías biológicas y orgánicas.
- Identificar cultivos opcionales.

E1. MARISMA

Unidad no apta para la agricultura, el tipo de uso de la tierra es el establecimiento de granjas para el cultivo de camarón y la conservación del hábitat para especies silvestres.

E2. MANGLAR

Unidad no apta para la agricultura, la política de uso o destino tendrá que ser la conservación del hábitat para especies de flora y fauna silvestres.

Cuadro 44. Resumen de las limitantes y acciones de manejo agrícola del municipio de Tuxpan, Nayarit.

SIM	NOMBRE DE LA UNIDAD	VOCACION DE USO O DESTINO	PRINCIPALES LIMITACIONES PARA USO AGRICOLA	CULTIVOS PREFERENTES	PRACTICAS DE MANEJO DE SUELOS	SUGERENCIAS ADICIONALES
A1	Tierra Ceñi	Conservación Ganadería extensiva Ecoturismo	<ul style="list-style-type: none"> ■ Riesgo de erosión ■ Pendiente ■ Vegetación natural 	1. Maíz 2. Frijol y sorgo	<ul style="list-style-type: none"> ■ Realizar subsuelos según lo permite el terreno ■ Aplicar abonos verdes, cultivos en fajas, cultivos de coberturas, rotaciones de cultivo y encalados ligeros 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Hacer rotaciones de cultivo ■ Incorporar tecnologías biológicas y orgánicas al manejo de los cultivos ■ Buscar tipos de utilización opcionales.
A2	Tierra Lomerío	Establecimiento de praderas Agricultura de Temporal	<ul style="list-style-type: none"> ■ Pendiente ■ Profundidad del suelo ■ Textura fina ■ Deficiencia de N, P y Mg 	1. Maíz 2. Frijol y sorgo	<ul style="list-style-type: none"> ■ Realizar subsuelos según lo permite el terreno ■ Aplicar abonos verdes, cultivos en fajas, cultivos de coberturas, rotaciones de cultivo y encalados ligeros 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Hacer rotaciones de cultivo ■ Incorporar tecnologías biológicas y orgánicas al manejo de los cultivos ■ Buscar tipos de utilización opcionales.
B1	Tierra Zona	Agricultura de riego	<ul style="list-style-type: none"> ■ Textura gruesa ■ Permeabilidad excesiva ■ Deficiencias en N, P y Mg ■ Muy alto riesgo de inundación 	1. Cacahuete 2. Tabaco burley, chile, sandía y jicama	<ul style="list-style-type: none"> ■ Aplicar materia orgánica, en forma de abonos verdes o estercoladuras ■ Aplicar fertilizantes teniendo en cuenta las recomendaciones locales y atendiendo las deficiencias de N, P y Mg 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Hacer rotaciones de cultivo ■ Incorporar tecnologías biológicas y orgánicas al manejo de los cultivos ■ Buscar tipos de utilización opcionales.
B2	Tierra Semizona	Agricultura de humedad residual Agricultura de riego	<ul style="list-style-type: none"> ■ Deficiencia de P ■ Riesgo alto de inundación 	1. Frijol, maíz, tabaco burley, chile, jicama y algodón. 2. Tabaco virginia, jitomate, melón y cacahuete	<ul style="list-style-type: none"> ■ Aplicar fertilizantes teniendo en cuenta las deficiencias de P 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Hacer rotaciones de cultivo ■ Incorporar tecnologías biológicas y orgánicas al manejo de los cultivos ■ Buscar tipos de utilización opcionales ■ Diseñar y aplicar un sistema de nivelación y drenaje de tierras ■ Diseñar y desarrollar un sistema para optimizar la irrigación de las tierras
B3	Tierra Dura BamaI	Agricultura de riego	<ul style="list-style-type: none"> ■ Textura fina ■ Drenaje deficiente ■ Deficiencias de N y P 	1. Algodón 2. Sorgo, maíz, tabaco virginia, jitomate, melón y frijol	<ul style="list-style-type: none"> ■ Realizar subsuelos profundos (80cm) ■ Aplicar mejoradores de suelos (abonos verdes y estercoladuras) ■ Aplicar fertilizantes tomando en cuenta las recomendaciones locales y atendiendo las deficiencias de N y P 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Hacer rotaciones de cultivo ■ Incorporar tecnologías biológicas y orgánicas al manejo de los cultivos ■ Buscar tipos de utilización opcionales ■ Diseñar y aplicar un sistema de nivelación y drenaje de tierras ■ Diseñar y desarrollar un sistema para optimizar la irrigación de las tierras
C1	Tierras Altas	Agricultura de humedad residual Agricultura de riego	<ul style="list-style-type: none"> ■ Permeabilidad lenta por compactación ■ Mediana salinidad ■ Deficiencias de N y P 	1. Sorgo, maíz y algodón 2. Frijol, tabaco virginia, chile, jitomate, melón y sandía	<ul style="list-style-type: none"> ■ Realizar subsuelos profundos (80cm) ■ Aplicar mejoradores de suelos (abonos verdes y estercoladuras) ■ Aplicar fertilizantes tomando en cuenta las recomendaciones locales y atendiendo las deficiencias de N y P 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Hacer rotaciones de cultivo ■ Incorporar tecnologías biológicas y orgánicas al manejo de los cultivos ■ Buscar tipos de utilización opcionales ■ Diseñar y aplicar un sistema de nivelación y drenaje de tierras ■ Diseñar y desarrollar un sistema para optimizar la irrigación de las tierras
C21	Tierra Barriatosa	Agricultura de riego	<ul style="list-style-type: none"> ■ Permeabilidad lenta por compactación ■ Textura arcillosa ■ Manto freático superficial ■ Deficiencias de N y P 	1. Sorgo, Maíz y algodón 2. Tabaco virginia, jitomate, melón y frijol	<ul style="list-style-type: none"> ■ Realizar subsuelos profundos (80cm) ■ Aplicar mejoradores de suelos (abonos verdes y estercoladuras) ■ Aplicar fertilizantes tomando en cuenta las recomendaciones locales y atendiendo las deficiencias de N y P 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Hacer rotaciones de cultivo ■ Incorporar tecnologías biológicas y orgánicas al manejo de los cultivos ■ Buscar tipos de utilización opcionales ■ Diseñar y aplicar un sistema de nivelación y drenaje de tierras ■ Diseñar y desarrollar un sistema para optimizar la irrigación de las tierras
C22	Laguna La Punta	Acuicultura	<ul style="list-style-type: none"> ■ Drenaje interno y externo deficientes 			<ul style="list-style-type: none"> ■ Diseñar y desarrollar un sistema de drenaje de la laguna para recuperar tierras para la agricultura
D1	Sordos	Agricultura de humedad residual Agricultura de riego	<ul style="list-style-type: none"> ■ Textura gruesa ■ Permeabilidad excesiva ■ Deficiencias de N y P ■ Muy alto riesgo de inundación 	1. Cacahuete y sandía 2. Frijol, maíz, tabaco burley, chile y jicama	<ul style="list-style-type: none"> ■ Aplicar mejoradores de suelos (abonos verdes y estercoladuras) ■ Aplicar fertilizantes tomando en cuenta las recomendaciones locales y atendiendo las deficiencias de N y P 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Hacer rotaciones de cultivo ■ Incorporar tecnologías biológicas y orgánicas al manejo de los cultivos ■ Buscar tipos de utilización opcionales ■ Diseñar y aplicar un sistema de nivelación y drenaje de tierras ■ Diseñar y desarrollar un sistema para optimizar la irrigación de las tierras
D2	Llanura	Agricultura de humedad residual Agricultura de riego	<ul style="list-style-type: none"> ■ Permeabilidad lenta por compactación ■ De ligera a mediana alcalinidad ■ Deficiencias de N y P ■ Mediano riesgo de inundación 	1. Frijol, sorgo, maíz, tabaco virginia, jicama y algodón. 2. Tabaco burley, chile, jitomate, melón y sandía	<ul style="list-style-type: none"> ■ Realizar subsuelos (50-80 cm) ■ Aplicar fertilizantes tomando en cuenta las recomendaciones locales y atendiendo las deficiencias de N y P ■ Aplicar mejoradores de suelos (abonos verdes y estercoladuras) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Hacer rotaciones de cultivo ■ Incorporar tecnologías biológicas y orgánicas al manejo de los cultivos ■ Buscar tipos de utilización opcionales ■ Diseñar y aplicar un sistema de nivelación y drenaje de tierras ■ Diseñar y desarrollar un sistema para optimizar la irrigación de las tierras
D3	Canal	Agricultura de humedad residual Agricultura de riego	<ul style="list-style-type: none"> ■ Permeabilidad lenta por compactación ■ Moderada alcalinidad ■ Deficiencias de N y P 	1. Sorgo, maíz, tabaco virginia y algodón 2. Frijol, chile, jitomate, melón, sandía y jicama		

SIM	NOMBRE DE LA UNIDAD	VOCACION DE USO O DESTINO	PRINCIPALES LIMITACIONES PARA USO AGRICOLA	CULTIVOS PREFERENTES	PRACTICAS DE MANEJO DE SUELOS	SUGERENCIAS ADICIONALES
D41	Pelápar	Conservación del bosque tropical subcaducifolio Agricultura de humedad residual	<ul style="list-style-type: none"> ■ Textura fina ■ Mediano riesgo de inundación ■ No disponibilidad de agua para riego 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sorgo 2. En caso de existir riego : maíz, tabaco virgínia, chile, sandía, frijol, jitomate y algodón 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Realizar subsiecos (80 cm) ■ Aplicar fertilizantes tomando en cuenta las recomendaciones locales ■ Aplicar mejoradores de suelos (abonos verdes y estercoladuras) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Hacer rotaciones de cultivo ■ Incorporar tecnologías biológicas y orgánicas al manejo de los cultivos
D42	Salitre	Ganadería Agricultura restringida	<ul style="list-style-type: none"> ■ Salinidad extrema ■ Muy alto riesgo de inundación 	1. Algodón, sorgo y melón	<ul style="list-style-type: none"> ■ Aplicar mejoradores químicos tales como yeso, azufre, entre otros. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Estudiar la posibilidad de realizar un sistema de drenaje de las lagunas con prácticas posteriores de lavado de tierras
D43	Inundable					
D44	Lagunas	Conservación Ganadería				
D51	Antiguas Lagunas	Agricultura de humedad residual Agricultura de riego	<ul style="list-style-type: none"> ■ Textura gruesa ■ Deficiencias de N y P ■ Muy alto riesgo de inundación ■ No disponibilidad de riego 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Frijol y sorgo 2. Melón 3. En caso de existir riego : maíz, tabaco, chile, sandía, jicama, algodón y jitomate 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Realizar barbechos profundos (30- 50 cm) ■ Aplicar mejoradores (abonos verdes o estercoladuras) ■ Aplicar fertilizantes tomando en cuenta las recomendaciones locales, atendiendo las deficiencias de N y P 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Hacer rotaciones de cultivo ■ Incorporar tecnologías biológicas y orgánicas al manejo de los cultivos ■ Buscar tipos de utilización opcionales ■ Diseñar y aplicar un sistema de nivelación y drenaje de tierras ■ Diseñar y desarrollar un sistema para optimizar la irrigación de las tierras
D52	Tierra Dulce	Agricultura de humedad residual Agricultura de riego	<ul style="list-style-type: none"> ■ Mediana salinidad ■ Drenaje externo deficiente ■ Deficiencias de N y P ■ Muy alto riesgo de inundación ■ No disponibilidad de riego 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sorgo 2. Melón y sandía 3. En caso de existir riego : algodón, maíz, tabaco virgínia, jitomate jicama y cacahuete 		
D6	Lamadai	Agricultura de humedad residual Agricultura de riego	<ul style="list-style-type: none"> ■ Textura gruesa ■ Permeabilidad rápida ■ Mediana alcalinidad ■ Deficiencias de N, P y en la CIC ■ Muy alto riesgo de inundación 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Chile y sandía 2. Frijol, sorgo, maíz, tabaco burley, jitomate, melón, jicama y cacahuete 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Aplicar mejoradores (abonos verdes o estercoladuras) ■ Aplicar fertilizantes tomando en cuenta las recomendaciones locales, atendiendo las deficiencias de N y P 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Realizar rotaciones de cultivo ■ Incorporar tecnologías biológicas y orgánicas al manejo de los cultivos ■ Buscar tipos de utilización opcionales
E1	Marisma	Acuicultura Ganadería	<ul style="list-style-type: none"> ■ Salinidad extrema 			
E2	Manglar	Conservación Pesca	<ul style="list-style-type: none"> ■ Drenaje deficiente ■ Vegetación natural 			

ANEXO 4: Resultados experimentales del algodón

Los rendimientos obtenidos se proyectaron a una hectárea y se muestran en el cuadro 45, en el primer ciclo, el rendimiento de algodón en hueso del Fluvisol del ejido Tuxpan fue superior al Cambisol de Coamiles, en ambos casos, fue mayor que la media nacional (3,000 kg/ha). Sin embargo, en el segundo ciclo, el rendimiento fue muy inferior al primero e inclusive, que la media nacional.

En los tres experimentos hubo significancia entre tratamientos, en todos ellos la variedad DeltaPine 5415 fue superior a las Hartz, sin embargo no existió significancia en estas últimas.

Los rendimientos por ciclo agrícola son muy diferentes, siendo muy inferiores en el ciclo P-V, debido principalmente a la alta incidencia de plagas, tales como picudo, gusanos bellotero y trozador. En cambio, en O-I estas plagas no fueron económicamente significativas, en este caso, lo fueron mosquita blanca y gusano peludo.

Al comparar los rendimientos de algodón en hueso de cada variedad, entre el experimento de Tuxpan, Nayarit y el Valle del Yaqui, Sonora, se encontró una diferencia negativa de 433 kg/ha en la variedad Hartz 1215 y 271 kg en la Hartz 1220; sin embargo, la Delta Pine fue superior en Nayarit con 500 kg.

Los costos de producción de algodón con riego por bombeo para el ciclo agrícola 1995-96, se proyectaron a una hectárea y resultaron del orden de \$5,000, los cuales fueron un 29% menos que en Sonora, cuando se practica el riego por gravedad (\$7,000) y un 41% menos cuando el riego es por bombeo (\$8,500).

Por lo anterior, es posible la producción comercial de algodón en la región experimental; en especial, durante el ciclo otoño-invierno y en suelos Fluvisoles eútricos, donde la variedad Delta Pine 5415 mostró la mayor producción.

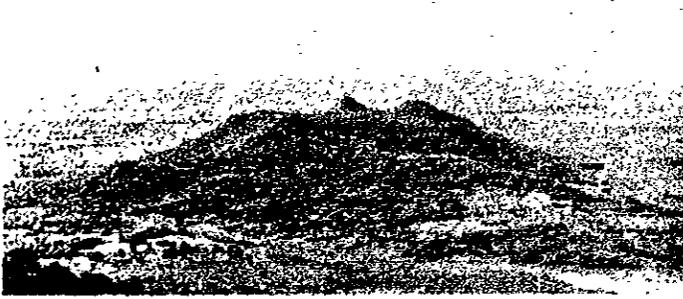
Cuadro 45. Rendimiento de algodón en hueso por variedad, ciclo y sitio experimental.

VARIEDAD	CICLO O-I 1995/96		CICLO P-V 1996/96
	kg/ha Coamiles	kg/ha Tuxpan	kg/ha Tuxpan
Hartz 1215	4,086	4,250	1,889
Hartz 1220	3,765	4,047	2,175
DeltaPine 5415	4,718	5,391	2,889

Por lo tanto, las expectativas de adaptación de variedades de algodón en la costa de Nayarit son muy favorables, debido a la respuesta obtenida en los experimentos del municipio de Tuxpan durante el ciclo otoño-invierno, en especial en Fluvisoles éutricos donde la variedad Delta Pine 5415 mostró la mayor producción. Al respecto, se tendrá que evaluar la respuesta de otras variedades preferentemente de la línea Delta Pine en suelos con problemas de salinidad para conocer el potencial real de este cultivo, además de orientar el paquete tecnológico hacia la producción orgánica y promover insumos de origen biológico.

ANEXO 5

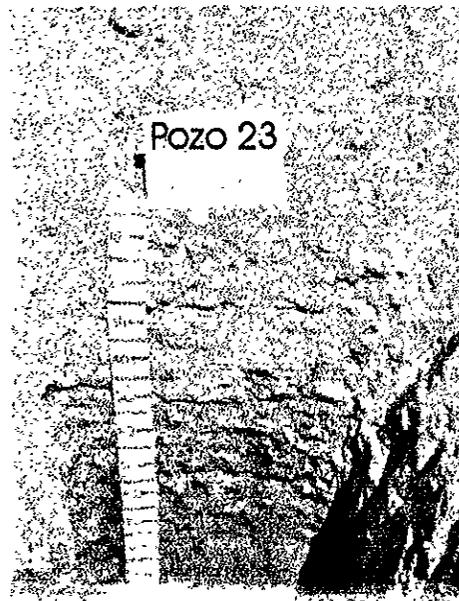
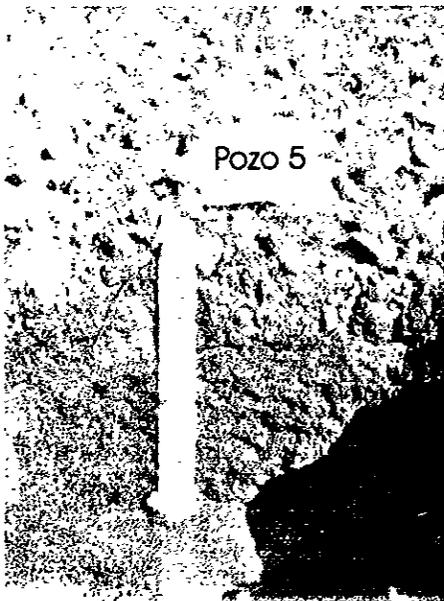
Album fotográfico



Ejemplos de tierras cerriles y lomeríos



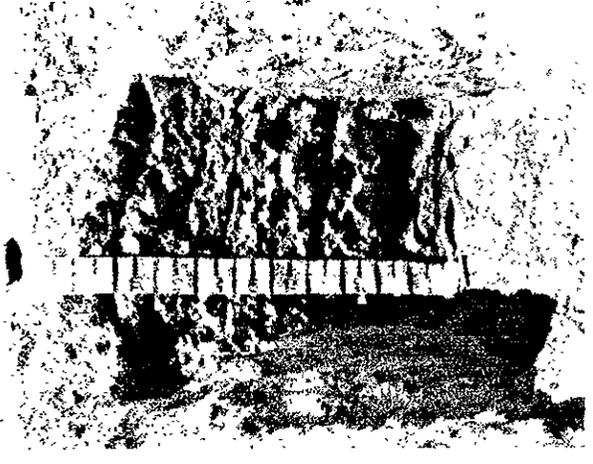
Ejemplos de tierras altas



Pozo 25



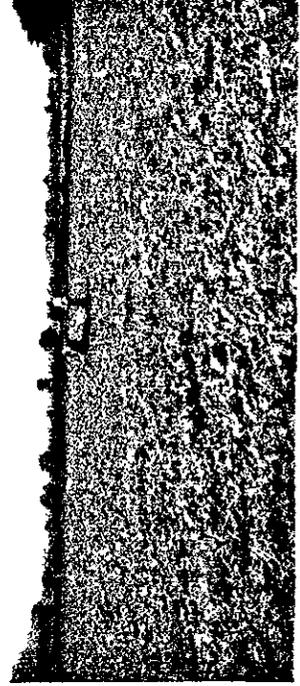
Pozo 24



Ejemplos de tierras zona



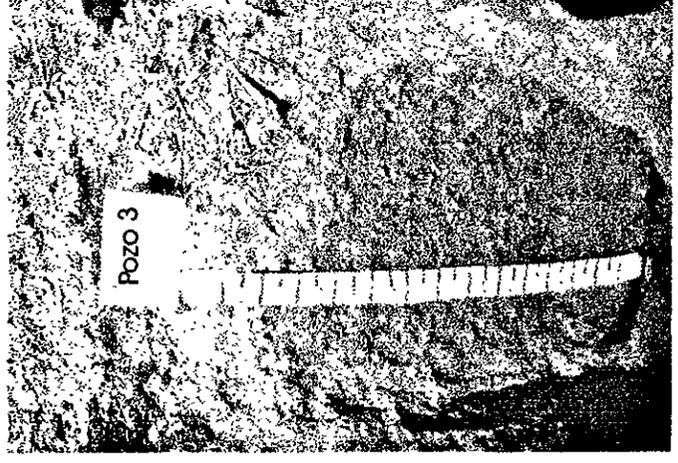
Ejemplos de tierras semizona



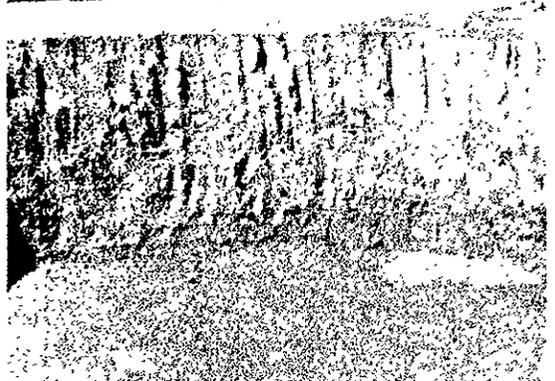
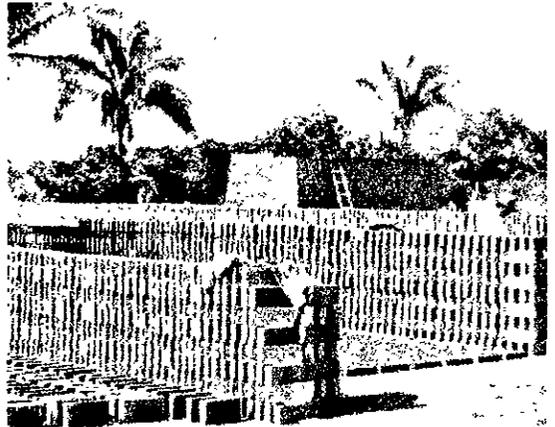
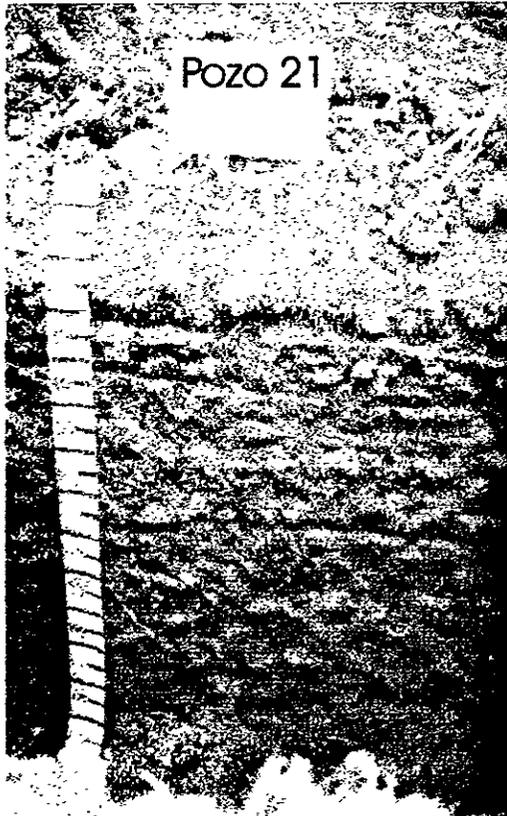
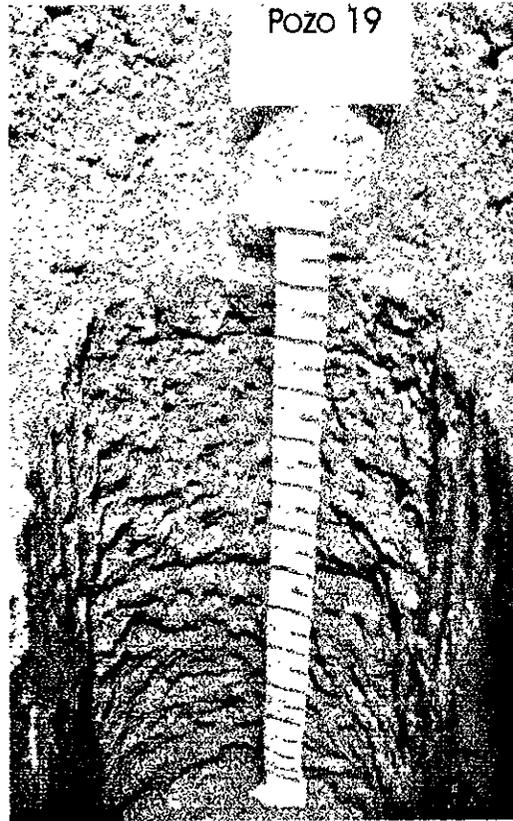
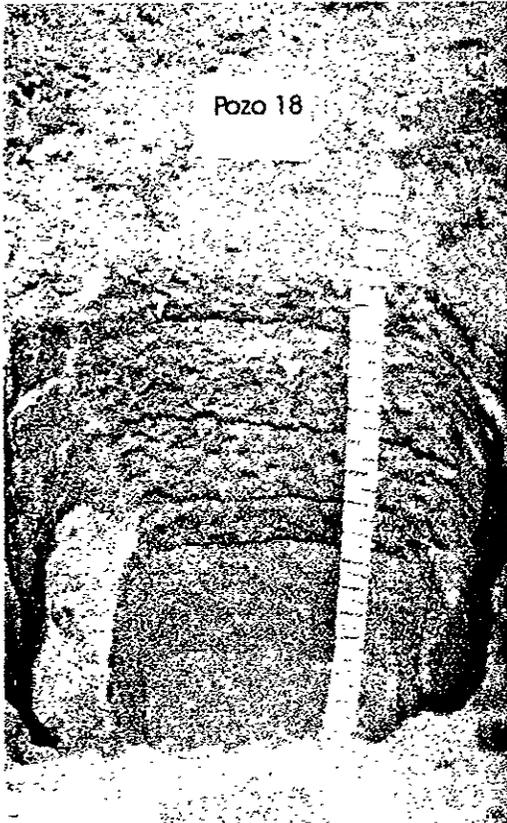
Pozo 31

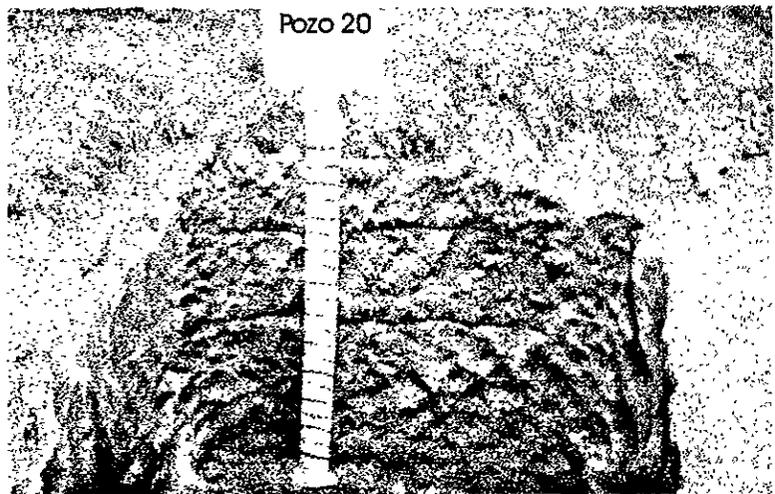
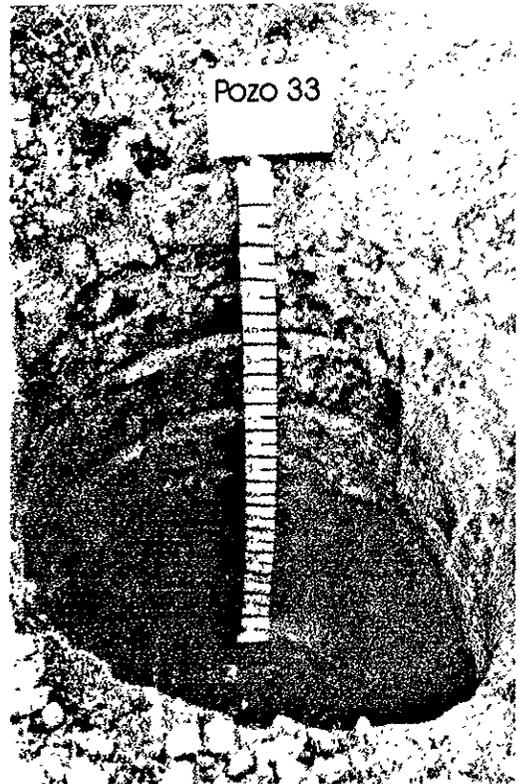
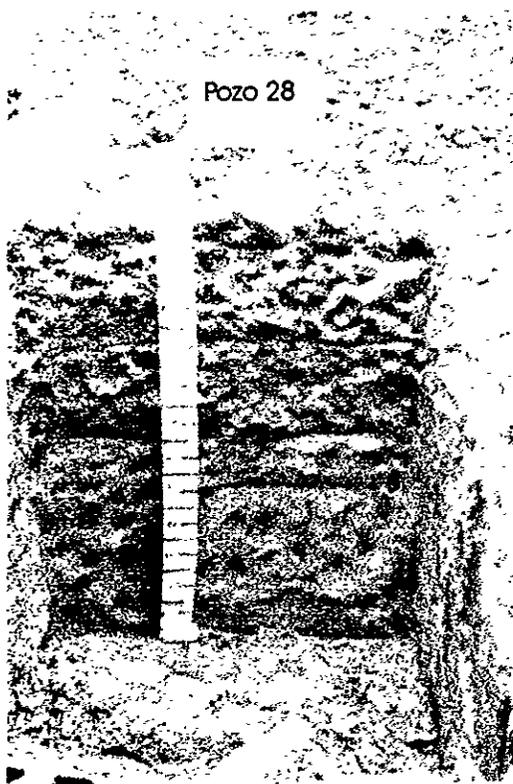


Pozo 3

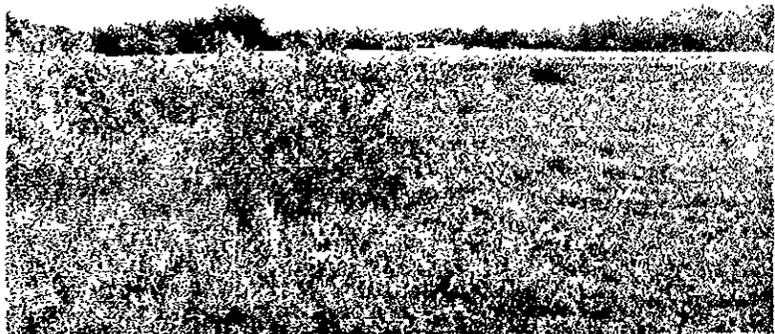


Ejemplos de tierras barrialosas

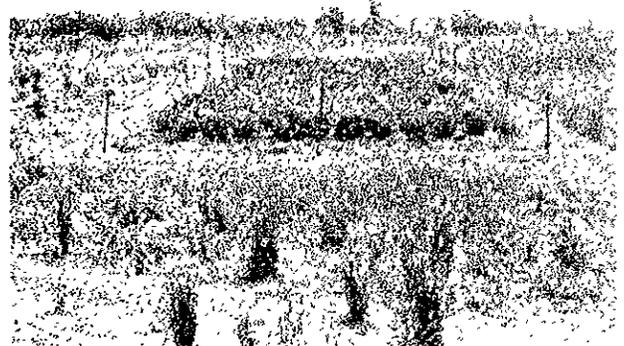
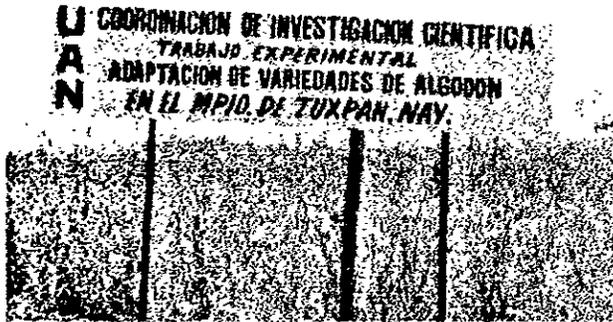




Ejemplos de tierras de marismas



Experimentación del cultivo de algodón



ANEXO 6

Base de datos de suelos del municipio de Tuxpan, Nayarit (1 diskette)

ANEXO 7

Sistema de evaluación de tierras ALMAGRA-TUXPAN (3 diskettes)

FALTAN PAGINAS

De la:

149

161:

150

ANEXO 8

Mapa de unidades fisiográficas y de
mapeo de suelos del municipio de
Tuxpan, Nayarit