

00381  
1eja  
4

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

METODO PARAMETRICO PARA EVALUAR LA APTITUD  
DE LAS TIERRAS; UN CASO: LA CAÑA DE AZUCAR

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR EN  
CIENCIAS (BIOLOGIA)

PRESENTA

GILBERTO HERNANDEZ SILVA

México, D.F.

1983

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



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 está 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.

# I N D I C E

## PRIMERA PARTE

### RESUMEN

CAPITULO 1		Página
1.1	Prólogo . . . . .	5
1.2	Objetivo del estudio. . . . .	6
1.3	Hipótesis. . . . .	7
1.4	Generalidades sobre la caña de azúcar . . . .	7
1.5	Aspectos generales de las regiones cañeras de México . . . . .	11
1.6	Condiciones socioeconómicas generales de la industria azucarera . . . . .	14
CAPITULO 2		
2.	LOS METODOS PARAMETRICOS	
2.1	Antecedentes. . . . .	20
2.2	Lo más reciente . . . . .	21
2.3	Algunos conceptos del método paramétrico. . .	25
2.4	El método paramétrico y el método sintético .	27
CAPITULO 3		
3.	EL MODELO DE FLUJO	
3.1	Antecedentes. . . . .	31
3.2	El modelo de flujo. . . . .	31
3.3	Los sistemas. . . . .	32
3.4	Tipo de variables . . . . .	34
CAPITULO 4		
4.	LAS VARIABLES	
4.1	Introducción. . . . .	39
4.2	Las variables básicas categoría 1 . . . . .	41
4.2.1	El clima. . . . .	41
4.2.2	Geología. . . . .	42
4.2.3	Geoforma. . . . .	43

4.2.4	El suelo. . . . .	44
4.2.4.1	VARIABLES DE CATEGORÍA 2. . . . .	44
4.2.4.1.1	Profundidad efectiva. . . . .	44
4.2.4.1.2	Textura . . . . .	46
4.2.4.1.3	Estructura. . . . .	50
4.2.4.1.4	Agua aprovechable . . . . .	54
4.2.4.1.5	Riesgo de erosión . . . . .	56
4.2.4.1.6	Riesgo de inundación. . . . .	59
4.2.4.2	VARIABLES DE CATEGORÍA 3	
4.2.4.2.1	Drenaje. . . . .	61
4.2.4.2.2	Permeabilidad . . . . .	62
4.2.4.2.3	Porosidad . . . . .	64
4.2.4.2.4	Densidad aparente . . . . .	66
4.2.4.2.5	Materia orgánica. . . . .	68
4.2.4.2.6	Intercambio catiónico y saturación de bases .	70
4.2.4.2.7	Salinidad y/o sodicidad . . . . .	72
4.2.4.3	VARIABLES DE CATEGORÍA 4	
4.2.4.3.1	Manto freático . . . . .	73
4.2.4.3.2	Traficabilidad. . . . .	74
4.2.4.3.3	Nitrógeno. . . . .	76
4.2.4.3.4	Fósforo. . . . .	77
4.2.4.4	VARIABLES DE CATEGORÍA 5	
4.2.4.4.1	Potasio. . . . .	78
4.3.4.4.2	Micronutrientes. . . . .	79

## SEGUNDA PARTE

## CAPÍTULO 5

## 5. EL MEDIO AMBIENTE

5.1	Antecedentes. . . . .	83
5.2	Descripción general de la zona de Playa Vicente, Ver. . . . .	83
5.3	Unidades geomórficas. . . . .	86
5.3.1	Zona aluvial reciente . . . . .	86
5.3.2	Zona aluvial antigua. . . . .	87
5.3.3	Meseta de Abasolo. . . . .	87

		Página
5.3.4	Zona de lomeríos . . . . .	90
5.3.5	Zona de transición . . . . .	90
5.4	Suelos . . . . .	90
5.5	Clima . . . . .	93
5.6	Vegetación natural y uso actual del suelo . .	93

## CAPITULO 6

6.	EL MEDIO AMBIENTE	
6.1	Descripción general de la zona de San Juan Evangelista, Ver. . . . .	98
6.2	Geología . . . . .	99
6.2.1	Pleistoceno . . . . .	99
6.2.2	Mioceno . . . . .	100
6.3	Unidades geomórficas . . . . .	100
6.3.1	La Planicie Costera del Golfo . . . . .	100
6.3.1.1	Unidad A . . . . .	101
6.3.1.2	Unidad B . . . . .	102
6.4	Suelos . . . . .	103
6.5	Clima . . . . .	103
6.6	Vegetación natural y uso actual del suelo . .	104

## CAPITULO 7

7.	METODOS DE INVESTIGACION	
7.1	Generalidades . . . . .	107
7.2	Segunda etapa: el levantamiento principal . .	110
7.3	Métodos de análisis de laboratorio . . . . .	111

## CAPITULO 8

8.	LA EVALUACION DE LA TIERRA	
8.1	Generalidades . . . . .	115
8.2	El levantamiento de suelos . . . . .	116
8.3	La evaluación de la tierra y la planeación . .	117
8.4	Clasificaciones de la tierra . . . . .	118
8.4.1	Estructura de la clasificación de la aptitud de las tierras (FAO) . . . . .	118

8.4.2	Estructura de la capacidad de la tierra (USDA) . . . . .	119
8.4.3	Clasificación de la aptitud de la tierra por el método paramétrico . . . . .	121
8.4.4	Clasificación de la aptitud por el método paramétrico..	122
CAPITULO 9		
9.	LOS METODOS ESTADISTICOS	
9.1	Generalidades . . . . .	125
9.2	Procedimiento . . . . .	128
CAPITULO 10		
10.	LA APLICACION	
10.1	Otras consideraciones . . . . .	134
10.2	Los antecedentes. . . . .	141.
10.3	Estructura de la clasificación empleada . . .	142
10.4	Las clases. . . . .	143
10.5	Las subclases . . . . .	143
10.6	El método paramétrico y el método tradicional. . . . .	145
10.7	Relación entre el mapa diaptitud de las tierras realizado por el método paramétrico (4 clases) y el mapa de 8 clases. . . . .	146
CONCLUSIONES . . . . .		151
GLOSARIO . . . . .		155
BIBLIOGRAFIA. . . . .		158
APENDICE. . . . .		164

## INDICE DE FIGURAS

- 1.1 Esquema general del trabajo.
- 1.2 Regiones cañeras de México.
- 3.1 Modelo de flujo de correlaciones de las variables consideradas para la evaluación de la aptitud de las tierras para el cultivo de la caña de azúcar.
- 3.2 Jerarquización de los sistemas.
- 4.1 Cuadro general de la génesis de la estructura de los suelos en la zona de estudio.
- 5.1 Mapa de localización de la zona de estudio.
- 5.2 Unidades geomorfológicas en el área de Playa Vicente.
- 5.3 Geología de la zona de estudio.
- 7.1 Diagrama de la evaluación de la aptitud de las tierras para la producción de la caña de azúcar.
- 8.1 Cuadro comparativo de algunas clasificaciones para la evaluación de las tierras.
- 9.1 Gráfica de dispersión.
- 10.1 Monograma de la erodibilidad del suelo.
- 10.2 Estructura general de la clasificación de la aptitud de las tierras.
- 10.3 Características de las subclases.
- 10.4 Gráfica de comparación de las superficies de clases entre los sistemas 8c y 4c.

## INDICE DE TABLAS

- 1.1 Producción de azúcar de algunos ingenios representativos y el total nacional en ocho años.
- 1.2 Rendimientos de caña de azúcar en algunos ingenios representativos, datos de campo de siete años consecutivos.
- 1.3 Producción mundial de caña de azúcar en países específicos.
- 2.1 Factores de clasificación de tierras para el cultivo de la caña de azúcar.
- 4.1 Relación de tres de las variables de la categoría 1.
- 4.2 Relación de agua aprovechable con respecto a las variables de la categoría 1 y 2.
- 4.3 Relación de la textura, densidad aparente y porosidad con respecto a la permeabilidad en algunos de los perfiles muestreados.
- 4.4 Efecto de dos diferentes usos del suelo sobre el espacio total de los poros en algunos perfiles.
- 4.5 Relación de las principales características químicas de algunos perfiles representativos en la zona de estudio.
- 4.6 Niveles generales de macronutrientes en suelos tropicales.
- 9.1 Tabla de conversión de las características de la aptitud de las tierras y los rangos de cada clase.
- 10.1 Cálculo de la erodibilidad de los perfiles muestreados (Playa Vicente, Ver.).
- 10.2 Cálculo de la erodibilidad de los perfiles muestreados (San Juan Evangelista, Ver.).
- 10.3 Características y rangos considerados para determinar la traficabilidad del suelo.
- 10.4 Determinación de la traficabilidad para los perfiles muestreados (Playa Vicente, Ver.).



- 10.5 Determinación de la traficabilidad para los perfiles muestreados (San Juan Evangelista, Ver.).
- 10.6 Areas de clases y subclases de aptitud de las tierras para la zona de Playa Vicente (8 clases).
- 10.7 Areas de clases y subclases de aptitud de las tierras para la zona de Playa Vicente, utilizando el método paramétrico.

#### APENDICE

- A Fotografías de diferentes ejemplos de clases en la zona de estudio.
- B Resultado de los análisis de laboratorio de las muestras de suelos de Playa Vicente, Edo. de Veracruz.
- C Resultado de los análisis de laboratorio de las muestras de suelos de San Juan Evangelista, Edo. de Veracruz.

#### INDICE DE MAPAS

- 1 Mapa de clases de suelos de Playa Vicente, Ver. (8 clases).
- 2 Mapa de aptitud de la tierra de San Juan Evangelista, Ver. (8 clases).
- 3 Mapa de aptitud de las tierras de Playa Vicente, Ver. (4 clases).

## R E S U M E N

En muchos casos de desarrollo integral, de planeación o de manejo de una región agrícola, se plantea la necesidad de conocer el grado de aptitud de las tierras para uno o varios cultivos específicos. Las clasificaciones empleadas para tal efecto en muchas partes del mundo, coinciden en su nivel de generalización; sin embargo, en el terreno de la especificidad, se pierden aspectos básicos de correlación del medio ambiente que funcionan de manera diferente, según sea el objetivo que se persiga.

Ante este planteamiento, se vio la conveniencia de emplear un método que tuviera la cualidad de representar aquellas características del medio ambiente relacionadas con cada rango de aptitud de las tierras que intervienen de alguna manera en la introducción del cultivo de la caña de azúcar en una región de Playa Vicente y de San Juan Evangelista, Ver.

La representación paramétrica cumple este requisito, ya que tiene la ventaja de que la mayor parte de las características ambientales involucradas en el análisis, fueron evaluadas cuantitativamente, resultando una clasificación diseñada y ajustada para el cultivo de la caña de azúcar.

El trabajo fue dividido en dos partes. En la primera, se plantearon los objetivos, hipótesis y ventajas; generalidades sobre los métodos existentes hasta la fecha. El método aquí propuesto se basa en el esquema de un modelo de flujo constituido por una correlación de sistemas; estos sistemas están integrados por 20 variables o características del medio ambiente que se juzgaron específicas para el cultivo de la caña

de azúcar.

La segunda parte abarca una descripción de las zonas de estudio, los métodos de investigación empleados, los antecedentes de la evaluación y aptitud de las tierras y el planteamiento de la estructura de la clasificación de la aptitud. En la siguiente etapa se hicieron los ajustes necesarios para darles valores concretos a estas variables, para contar con un cuadro básico que permitiera el manejo adecuado de toda la información.

El análisis estadístico demostró que la mejor opción para la clasificación de la aptitud de las tierras, fue reunir por análisis de agrupamiento los puntos de muestreo en sólo 4 clases y 9 subclases (limitantes) y sus posibles combinaciones, conservando perfectamente el sello de representatividad. Las técnicas estadísticas empleadas fueron: componentes principales, correlación canónica y análisis de conglomerados.

Finalmente, se aplicó el método paramétrico propuesto en este trabajo pero sólo en el caso de Playa Vicente, ya que desde un principio se vio que el área de San Juan Evangelista resultó no apta para la introducción del cultivo de la caña de azúcar. Para ello, se elaboraron y compararon 2 mapas de aptitud, tomando como base la clasificación de la capacidad de la tierra de 8 clases de la USDA y SARH y el otro, por el método paramétrico de aptitud de las tierras de 4 clases.

De este último se derivaron ventajas sobre el primero: su exactitud fue mayor, puesto que está diseñada exclusivamente para la caña de azúcar; y proporcionó bases confiables para el diseño de modelos de flujo aplicables a otros fines específicos de aptitud de las tierras.

C A P I T U L O I

A N T E C E D E N T E S

# ESQUEMA GENERAL DEL TRABAJO

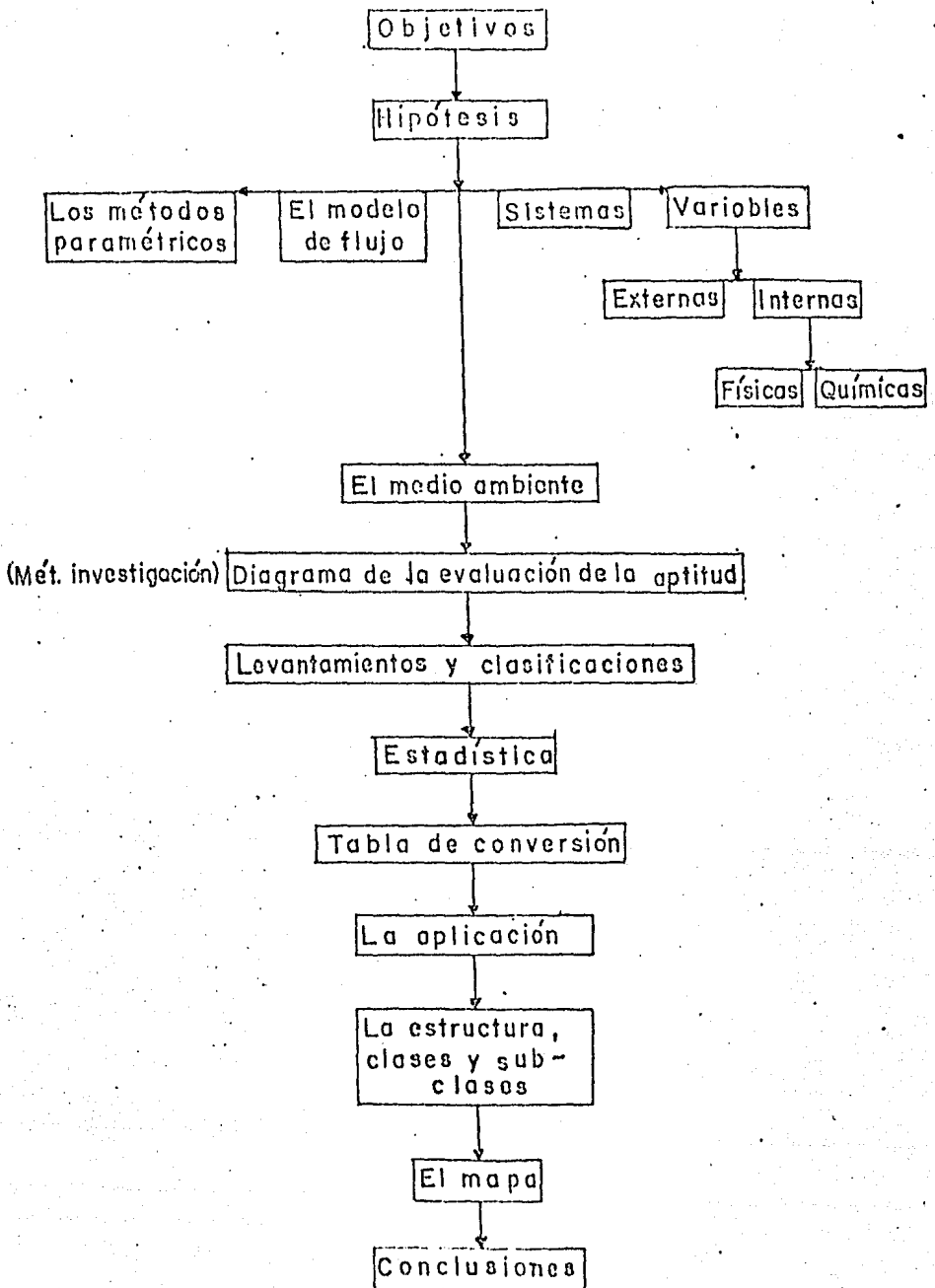


Fig.1.1

## 1.1 Prólogo.

Las clasificaciones para determinar la aptitud de las tierras que actualmente se utilizan en diferentes partes del mundo, se basan en características del medio ambiente que, en su conjunto, influyen para un fin propuesto, llámese agricultura, ganadería, actividad forestal, etc.

Uno de los problemas más serios que se presentan cuando se lleva a la práctica una clasificación de esta naturaleza, es el planteamiento de generalización, la bastedad en el manejo de los datos, así como la rigidez de su aplicabilidad.

Las actividades agrícolas no deben ser encasilladas bajo una misma clasificación de aptitud de las tierras, ya que cada planta tiene su propia exigencia ambiental para su desarrollo normal.

Un sistema de clasificación particular de aptitud de las tierras, con las propias correlaciones de variables ambientales para cada cultivo, tiene que substituir al actual sistema general de clasificación si se quiere contribuir al logro de un mayor rendimiento de cultivos y un mejor uso de los recursos del país.

## 1.2 Objetivo del estudio

El objetivo principal es establecer un método paramétrico para la evaluación de la aptitud de las tierras para la introducción del cultivo de la caña de azúcar. Para ello, se tomaron como modelo dos regiones: Playa Vicente y San Juan Evangelista, al sur del Estado de Veracruz.

Uno de los requisitos iniciales para lograr este objetivo, es el de identificar y agrupar a aquellas tierras que presentan fisonomías ecológicas y de aptitud semejantes, de tal manera que puedan ser incorporadas a dicho cultivo y que además, deban cumplir características adecuadas para un desarrollo normal y sostenido de producción.

Para reunir estas especificaciones es esencial, en primer lugar, llevar a cabo un reconocimiento básico del clima, suelo, vegetación, topografía y otros aspectos de las tierras, es decir, conocer el medio ambiente en función de los requerimientos de la planta en cuestión. Con base en estos factores, es necesario buscar una correlación integrada de todas las variables involucradas, mediante métodos adecuados que apoyen una hipótesis.

La función de tal hipótesis es probar que, a partir de ella, es posible clasificar el terreno, mediante el método paramétrico, desde el punto de vista de su aptitud, para un cultivo específico, por ejemplo, la caña de azúcar.

Para probar la bondad del método, es necesario transferir toda la información a un mapa y analizar su funcionamiento, tal como se hizo en este trabajo.

1.3 Hipótesis.

Bien es sabido que los factores que conforman un medio ambiente, constituyen un sistema sumamente complejo.

El cúmulo de datos que es posible recabar en un lugar de muestreo para la evaluación de recursos es enorme. El problema que entonces se presenta, es el manejo de los datos para la integración adecuada de toda la información.

Para resolver este problema, se plantea la siguiente hipótesis: "Es posible clasificar la aptitud de las tierras de una región determinada, mediante un método paramétrico". Con base en:

- a.- La relación clima/geología/geoforma/suelo.
- b.- Caracterización física y química del suelo.
- c.- Observaciones y mediciones en el campo.
- d.- Estudios fotointerpretativos.
- e.- Asignación, jerarquización y sistematización de valores numéricos a las variables involucradas en el sistema considerado.
- f.- Un flujo de correlación de las variables del sistema.
- g.- Análisis estadístico.
- h.- Una comprobación de la bondad del método mediante la realización de un mapa.

1.4 Generalidades sobre la caña de azúcar.

La caña de azúcar (Saccharum officinarum L.), es la planta más eficiente para almacenar la energía solar si se aprovecha su potencialidad al máximo; para ello, se necesita que la relación suelo-planta y los factores que intervienen en su desarrollo, se integren al óptimo. Las características físicas,



químicas y biológicas del suelo ejercen una influencia dominante en la agricultura de la caña, particularmente en el desarrollo del sistema radicular. La lixiviación y la erosión consumen reservas de nutrimentos del suelo, cuyas pérdidas se aceleran con las malas prácticas culturales. Los hongos, virus y nemátodos son factores en la declinación de los rendimientos de la caña de azúcar (Humbert, 1968).

La raíz tiene una doble función: 1. anclar y sostener la planta en el suelo; 2. absorbe e introduce el agua y los nutrimentos minerales al tallo de la planta. Según distintos investigadores, a los 60 cm de profundidad se concentra el 85% de las raíces; solamente de la octava a la novena parte de los pelos radiculares se desarrollan en los primeros 30 cm alrededor de la planta y son más numerosos a distancias de 90 a 120 cm. Las raíces de la caña requieren oxígeno para respirar, en su ausencia los pelos radiculares mueren y aun la misma raíz; solamente en los lugares del suelo donde hay suficiente oxígeno se observa el crecimiento de las raíces (Barnest, 1974).

La caña de azúcar es nativa de los trópicos y se puede cultivar en las regiones donde la precipitación va de los 1,000' a los 1,250 mm anuales distribuidos favorablemente. Las lluvias deben presentarse en forma regular durante el ciclo de crecimiento, aun cuando también se requieren algunos meses de sequía para una madurez apropiada de la caña. En áreas con una lluvia abundante, en donde no se presenta un período seco definido, la planta produce una gran cantidad de materia verde con bajo contenido de sacarosa, ya que el desarrollo vegetativo nunca reduce lo suficiente para permitir la acumulación

de reservas de carbohidratos en las plantas. La temperatura óptima para el desarrollo de la caña es de 27°C. (Ochse et al, 1972).

La caña de azúcar se cultiva en una gran variedad de tipos de suelos, incluyendo desde las arcillas hasta las arenas ligeras, prefiriéndose los migajones arcillosos, aunque los suelos más ligeros tengan la definitiva ventaja de un mejor drenaje natural. Todos los tipos de suelos necesitan que se les proteja contra la erosión (Ochse, 1972).

Los suelos arcillosos pesados con arcillas del tipo montmorilonita, como en los Mochis, Sin. forman al secarse una costra dura con numerosas grietas que impide el brote de la mata (Ortiz Villanueva, en prensa).

En los trópicos, el exceso de agua en el suelo durante la estación lluviosa es un factor negativo tan importante para el desarrollo de la caña de azúcar como lo es la falta de humedad en la época seca. El buen drenaje fomenta la aireación del suelo, estimula la actividad microbiana benéfica, facilita el mullimiento del suelo con las labores de preparación y promueve el desarrollo de un sistema radicular vigoroso. La aireación afecta no solamente el desarrollo de las raíces, sino también a la asimilación de los nutrimentos. La falta de aireación ocasionada por los excesos de agua, generalmente viene acompañada por síntomas claros de deficiencias de nutrimentos. La transpiración se reduce drásticamente y las hojas se marchitan y arrugan en forma semejante a la producida por la sequía, indicando una reducida absorción de agua ocasionada por la dificultad de la planta para tomarla en condiciones de saturación.

La mayoría de las variedades son tolerantes a las inundaciones en el período de adormecimiento o de crecimiento lento y suele soportar períodos de inundación parcial hasta de 2 a 3 semanas en aguas corrientes que le suministren oxígeno, siempre que la copa quede fuera del agua y hasta pueden conservar el color normal de las hojas. En aguas estancadas, desprovistas de oxígeno, mueren pronto. Si la inundación se presenta durante la época de mayores calores, causa daños severos que se manifiestan por la "quemadura" de las hojas. El nivel de la capa freática marca el límite de profundidad de las raíces; una capa freática ascendente va matando las raíces que sumerge y al descender, deja un sistema radicular reducido que, frecuentemente, es insuficiente para absorber el agua necesaria para el desarrollo óptimo de la caña. (Humbert, 1968).

El tallo es de sección más o menos cilíndrica; está dividido en canutos con una yema lateral cada uno y termina en una yema apical que es básicamente la del crecimiento. Los canutos se cuentan de arriba hacia abajo: el 1 corresponde a la hoja ya desarrollada del cogollo o verticilo central. La hoja número 3 ya muestra visible la lígula en el punto de inserción con la vaina y su canuto correspondiente está en rápido desarrollo. El canuto 4 muestra un crecimiento pujante. Los canutos 5 y 6 están por alcanzar su máxima elongación; del 7 para abajo ya son adultos. El diámetro, forma, color y longitud de los canutos son razonablemente uniformes para cada variedad y estas características, así como la forma, inserción y demás particularidades de la yema, sirven para la identificación de las variedades. Los entrenudos están cubiertos por

una capa de cera que les sirve de protección, y sus características, diferentes según la variedad, también ayudan a la identificación. La hoja de la caña es una lámina delgada, plana, de 90 a 150 cm de largo por 1.5 a 10 cm de ancho, según la variedad; tiene una nervadura que le da resistencia y numerosas estomas para la respiración y la transpiración, que se abren cuando hay suficiente luz y humedad y se cierran con la oscuridad o la sequía.

La caña moledera contiene de 70 a 76% de humedad, 23 a 29% de materia orgánica, compuesta de azúcares, fibra, etc. y de 0.65 a 1.2% de cenizas. La fibra varía de 9 a 18% según la variedad, la madurez y las condiciones de desarrollo. La punta tierna en la época del corte tiene un alto porcentaje de azúcares reductores, poca sacarosa recuperable y puede contener hasta 85% de humedad, (Humbert, 1968).

#### 1.5 Aspectos generales de las regiones cañeras de México.

La caña de azúcar, con fines industriales, se cultiva en México en unas 480,000 has., sin considerar las áreas en rotación de cultivos, en producción de "semilla" y de caña para la fabricación de alcohol y piloncillo.

Las zonas cañeras están distribuidas en 15 estados de la República; se han agrupado en 14 regiones y tres subregiones ecológicamente diferenciadas (Fig. 1.2).

En cuanto al clima, las temperaturas en las zonas cañeras son cálidas, semi-cálidas y templado-cálidas; en general, los promedios anuales de temperatura son de: 23.7°C (media); 31.8°C (máxima) y 14.5°C (mínima).

La altitud de los campos cañeros varía desde cerca del

nivel del mar en áreas costeras del Pacífico y del Golfo de México, hasta los 1,350 m en zonas de Jalisco y Michoacán, y aun se localizan campos aislados a 1,500 m de altitud en las zonas cañeras de Tamazula, Jal. y Santa Clara, Mich.

Las precipitaciones anuales varían desde 358 mm en Sinaloa (riego) a 2,575 mm en Tabasco. Las lluvias más frecuentes se registran de fines de mayo a mediados de octubre, y los meses más secos son de febrero a mayo. Debido a la distribución geográfica de las zonas cañeras, a los rasgos fisiográficos locales y las características del clima y material geológico, se tiene diferencias de los suelos en las zonas cañeras. (Ortiz Villanueva en prensa).

# REGIONES CAÑERAS DE MEXICO

(Según Ortíz Villanueva, en prensa)

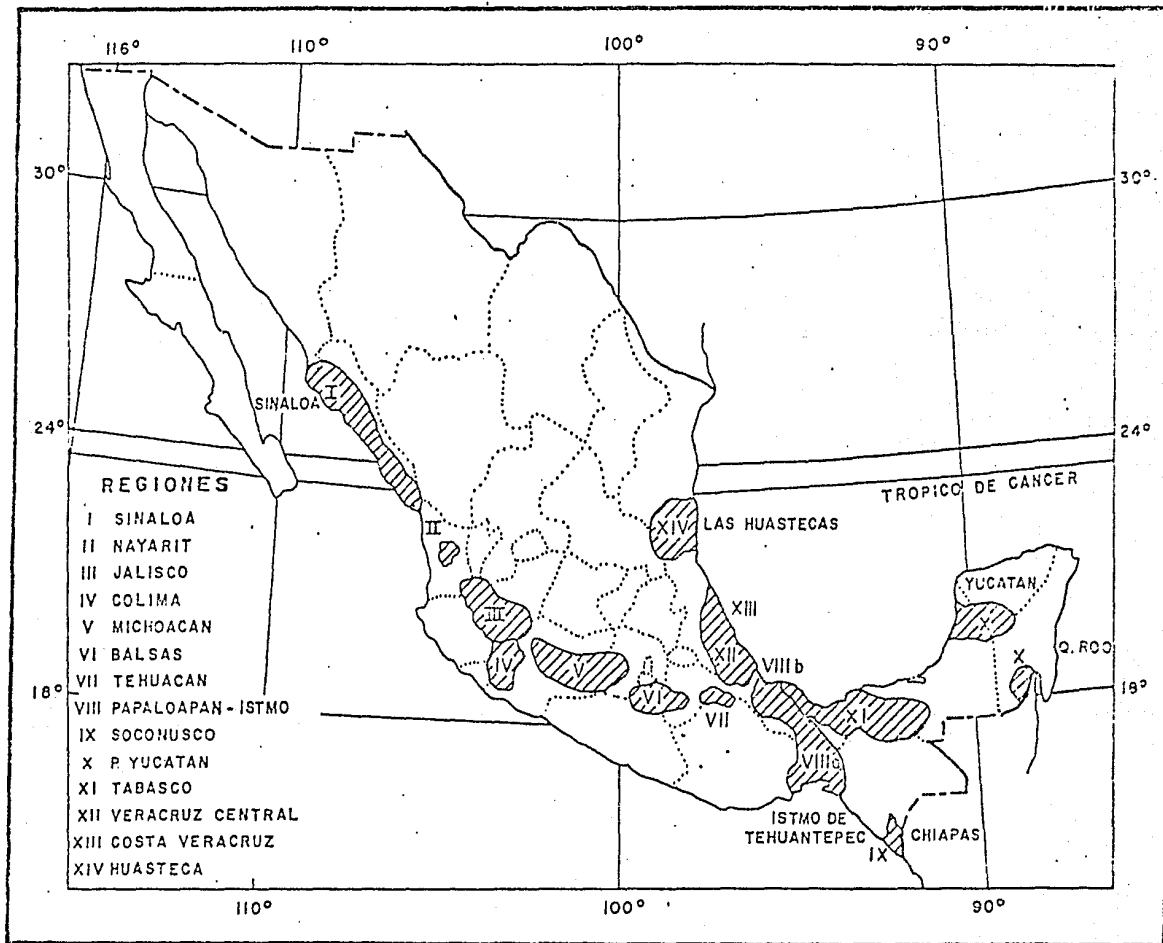


Fig.1.2

## 1.6 Condiciones socioeconómicas generales de la industria azucarera.

En 1980 México ocupaba el cuarto lugar mundial en producción de caña de azúcar con 2,457,000 tons. En cuanto a superficie cosechada este producto ocupó el quinto lugar nacional de área cosechada (35%).

Las actividades relacionadas con la caña de azúcar emplean alrededor de 274,000 trabajadores incluyendo productores, cortadores, transportistas y obreros, quienes sostienen aproximadamente 1.5 millones de personas (Estadísticas azucareras, 1982). En la actualidad esta industria se encuentra en crisis debido a: "la excesiva parcelación de la tierra, los altos costos de producción, cuyo aumento no es proporcional al del precio de liquidación de la caña, además de la baja productividad de los ingenios..." (Sánchez, en prensa).

Desde 1975 el área de cultivo se ha mantenido más o menos estable. Para las 452,849 has sembradas en 1981 el valor de la producción correspondiente ascendió a \$29,147,379,000.00. El 67% de la superficie cañera total corresponde a ejidos, el resto pertenece a pequeños propietarios. La superficie promedio de tierras por campesino es de 3.8 has, lo que se traduce en una baja rentabilidad (Estadísticas azucareras, 1982).

Los cortadores de la caña (27.4% de la mano de obra en el sector, incluyendo campo e ingenio), recibieron el 5.4% del valor de la producción. En su mayoría son trabajadores migratorios cuyos ingresos son con frecuencia menores al salario mínimo. La producción de un cortador es baja: 2 toneladas al día; el bajo rendimiento se debe a las deficiencias de alimentación

y salud, así como a las técnicas rudimentarias del corte (Sánchez, en prensa).

Los estudios inadecuados de las tierras, el mal manejo del suelo y el agua, el empleo de maquinaria deteriorada y obsoleta, la baja productividad del campo (65 ton/ha promedio nacional, contra 119 ton/ha promedio en Hawaii), la mala planeación, problemas sociales y laborales, hacen que los ingenios tengan bajos rendimientos o bien un porcentaje elevado de tiempo perdido.

En gran parte, estas son las causas por las que México ha pasado de ser un gran exportador a un importador de azúcar.



PRODUCCION DE AZUCAR DE ALGUNOS INGENIOS REPRESENTATIVOS Y  
EL TOTAL NACIONAL POR OCHO AÑOS (1)

Ingenio - Estado	1971	1974	1977	1978	1979	1980	1981	1982
Quesaría, Col.	33,026	51,775	47,843	51,439	55,570	43,579	50,402	46,254
Pajilitis, Chis.	20,737	21,704	25,872	42,149	45,710	40,628	37,940	37,391
Santiago, Jal.	4,325	4,271	3,769	4,729	4,391	2,670	3,257	5,251
Federalles, Mich.	13,578	17,119	16,340	19,632	20,066	19,407	18,485	18,600
E. Zapata, Mor.	81,411	122,014	111,218	115,244	121,187	111,455	105,042	114,321
Puga, Nay.	32,097	41,434	36,028	43,054	53,390	45,644	41,589	53,659
A. López Mateos, Oax.	44,341	51,020	50,024	58,014	53,244	43,229	41,564	44,432
El Monte, Tamps.	92,056	93,789	83,117	84,634	93,884	90,502	57,006	80,609
Alianza Popular, S.L.P.	--	--	34,692	52,565	63,233	64,708	39,184	73,017
El Dorado, Sin.	29,974	23,333	37,133	31,883	39,698	34,599	30,036	34,027
H. Galeana, Tab.	2,548	14,014	10,828	8,468	12,206	9,157	9,371	9,433
El Higo, Ver.	20,033	15,886	29,152	25,553	19,546	18,400	13,235	33,199
El Potrero, Ver.	120,815	136,631	128,377	154,666	139,227	120,700	109,216	123,316
San Cristóbal, Ver.	186,438	167,200	123,433	132,471	120,968	107,425	103,554	75,411
Total Nacional	2,392,850	2,649,182	2,541,065	2,849,361	2,880,566	2,603,153	2,366,973	2,577,251

(1) Fuente: Manual Azucarero Mexicano, 1983.  
Estadísticas Azucareras, 1982.

TABLA 1.1

RENDIMIENTOS DE CAÑA DE AZÚCAR EN ALGUNOS INGENIOS REPRESENTATIVOS  
 DATOS DE CAMPO DE SIETE AÑOS CONSECUTIVOS (1)  
 (ton/ha/año)

Ingenio, Estado	1971	1974	1977	1978	1979	1980	1981
Quesería, Col.	42.3	62.4	59.1	68.3	70.5	58.8	65.3
Pujilic, Chis.	67.7	75.2	68.4	76.4	81.4	72.8	64.1
Santiago, Jal.	92.0	82.1	96.7	94.9	78.3	63.9	69.7
Pedernales, Mich.	78.2	93.7	103.0	106.7	90.8	90.0	92.4
E. Capata, Mor.	93.3	108.9	107.6	105.5	110.4	104.9	105.4
Fuga, Nay.	54.0	66.8	55.6	63.2	69.1	56.8	60.5
A. López Mateos, Oax.	70.0	62.4	60.5	64.1	72.8	57.1	51.3
El Mante, Tamps.	51.4	58.8	51.4	54.5	69.0	60.1	49.4
Alianza Popular, S.L.P.	- -	- -	52.3	64.0	64.4	56.7	45.8
El Dorado, Sin.	95.7	91.7	86.1	96.4	106.0	107.5	88.3
H. Galeana, Tab.	81.4	78.0	62.7	62.0	70.3	58.3	60.5
El Higo, Ver.	46.6	50.1	64.3	60.3	52.2	56.2	46.5
El Potrero, Ver.	67.8	70.4	70.3	83.3	81.1	61.2	63.7
San Cristóbal, Ver.	46.5	47.9	49.4	56.1	56.6	55.3	- -
Rendimientos Nacionales	62.4	68.2	67.2	72.7	73.2	65.5	65.3

Fuente: Manual Azucarero Mexicano, 1983

TABLA 1.2

Tabla 1.3 PRODUCCION MUNDIAL DE CABA DE AZUCAR, EN PAISES  
ESPECIFICOS (1977/78 a 1981) (J)

País	1977	1978	1979	1980	1981
	1,000 toneladas			métricas	
Hawaii	934	962	928	943	939
Puerto Rico	185	175	159	137	136
Total E.U.	2,616	2,573	2,575	2,626	2,771
Cuba	7,200	7,500	6,500	6,400	6,800
República Dominicana	1,164	1,203	1,213	1,043	1,100
México	3,029	3,058	2,765	2,518	2,700
Argentina	1,665	1,387	1,395	1,715	1,550
Brasil	8,863	7,740	6,968	8,100	8,500
Colombia	915	1,019	1,193	1,200	1,250
Perú	881	715	552	500	700
Venezuela	325	325	315	253	335
España	1,184	1,106	718	982	1,058
Sud Africa	2,211	2,209	2,206	1,709	2,088
República Popular de China	2,450	2,675	2,507	3,052	3,356
India	8,201	7,071	5,170	6,534	8,194
Indonesia	1,125	1,385	1,313	1,370	1,520
Filipinas	2,397	2,347	2,325	2,373	2,450
Tailandia	1,584	1,851	1,087	1,639	2,150
Australia	3,322	2,978	2,967	3,387	3,550

(1) Fuente: Servicio de Agricultura Extranjera, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

## CAPITULO II

### LOS METODOS PARAMETRICOS

## 2.- LOS METODOS PARAMETRICOS (1)

### 2.1 Antecedentes.

Numerosos sistemas se han creado para la evaluación de las tierras; el principio general se basa más bien en esquemas, en donde la evaluación parte de la unidad de tierra, mediante la sumación de los puntos considerados; por ejemplo, un reporte de Blank (1931), menciona el sistema húngaro de Kreybig, en donde la evaluación del suelo se hace por medio de 3 factores principales:

- 1.- Condiciones del suelo
- 2.- Complejo clima-vegetación
- 3.- Economía del transporte

La región a estudiar se clasifica en las siguientes categorías (fragmento):

	Condición del Suelo	Valor
Textura	Humus/limo	30
	Arena-limo	20
	Arena	9
Humedad del suelo	Muy buena (drenaje perfecto, retención adecuada de humedad, etc.)	10
	buena	8
	satisfactoria	6
	generalmente satisfactoria	4
	tolerablemente satisfactoria	2
	continuamente seco o húmedo	0

Clarke (1951) diseñó un modelo de evaluación para determinar la fertilidad de los suelos (fragmento):

Textura:	limo medio	20
	arena pesada	14
	arcilla	5
	grava	3
Drenaje:	drenaje perfecto	1.0
	de 25 - 30 cm	0.9
	19 - 24 "	0.8
	16 - 18 "	0.7
	13 - 15 "	0.6
	9 - 12 "	0.5

(1) Se refieren a métodos de mediciones cuantitativos de los diferentes procesos involucrados en el análisis o evaluación de un fenómeno determinado.

El valor final que se le atribuye al perfil del suelo se evalúa de la siguiente manera:

Valor de la textura (V) X factor drenaje (G) = valor del perfil.

Por ejemplo, si el factor drenaje es de 27 cm y se trata de una textura de arena pesada y el suelo tiene una profundidad de 10 cm , se tiene:

$$10 \times 14 \times 0.9 = 126$$

La siguiente tabla muestra el orden de las clases:

Valor del perfil	Puntuación	Clasificación
600	66	Primera
500	55	Segunda
400	44	
300	33	
200	22	Tercera
100	11	

### 2.2 Lo más reciente.

Una contribución eficaz en el campo de la evaluación de las tierras, es la introducción del método paramétrico. En estos métodos los efectos de las características individuales de la tierra o del suelo, son evaluadas cuantitativamente y de manera separada y después combinadas.

Uno de los primeros en emplear este método fué Earl Storie (1950); el Índice de Storie para la evaluación de las tierras puede resumirse de la siguiente manera:

- A = perfil del suelo
- B = textura del suelo
- C = pendiente
- D = otros atributos (dependiendo de la naturaleza de la tierra)

El resultado se expresa en porciento de la mejor tierra para una zona representativa del Estado de California, E.U.A. Indices semejantes se han propuesto para tierras forestales y de pastizales; el Indice de Storie se diseñó inicialmente para fines catastrales.

Nelson (1963) creó un sistema diseñado para Hawaii. Sys y Frankart (1971) desarrollaron un sistema para condiciones tropicales. Borden y Warkentin (1974), crearon un índice para una zona de riego en la Isla de Antigua.

Ortiz Villanueva (en prensa), cita unas consideraciones de González Gallardo (1960), en las que menciona la necesidad de establecer una norma en cuanto a la aptitud de los suelos para la agricultura cañera al interpretar las cualidades y características de los terrenos en función de la facilidad o dificultad que presentan para su uso. Esta clasificación para hacerla viable en su aplicación, considera cinco clases con especificación de números romanos (de I a V); las subclases o factores a incluir pueden variar de un lugar a otro. Se han considerado como los más importantes los siguientes (se describen con letras minúsculas):

- Carácter del suelo, describe las limitaciones de la zona radical (s).
- Topografía, tiene relación con las limitaciones para el cultivo, según el grado de pendiente del terreno (t).
- Alcalinidad o grado de concentración de sales, que puede afectar el desarrollo del cultivo (a).
- Pedregosidad, según su interferencia en la mecanización del cultivo (p).

- Drenaje, según la aptitud del suelo al desagüe superficial al dejarse penetrar por el agua, de manera que los excesos de humedad no interfieran con el desarrollo normal del cultivo y con su maduración industrial (d).
- Inundación, o facilidad de anegamiento de los suelos durante el período de lluvias o terrenos sujetos a inundación periódica por desbordamiento de corrientes y comportamiento del manto freático (i).
- Erosión, al considerar sus causas, se juzgan las áreas con cárcavas o zanjones (z) o si predomina la erosión laminar (1) o si la erosión es por efecto del viento (2).

Los factores de clasificación los resume la Tabla 2.1.

Para condiciones ecológicas de la tierra, Riquier (1970), realizó las mayores aportaciones. Sus estudios están basados en investigaciones sobre la influencia de diferentes características de la tierra para el crecimiento del cultivo y para la producción agrícola. Este método se basa en consideraciones de diferentes propiedades, sus interacciones y su uso para determinar la productividad de una región de Nigeria.

El método en general, consiste en estimar los promedios de cada una de las características, en una escala en la que el 100% representa las condiciones óptimas; por ejemplo, a una profundidad efectiva mayor de 150 cm corresponde un 100%; menos de 20 cm representa condiciones lo suficientemente desfavorables como para abatir casi totalmente la productividad. Estas clasificaciones individuales se multiplican en conjunto; si todas las propiedades equivalen al 100%, entonces el índice



Factores de Clasificación de Tierras para el Cultivo de la Caña de Azúcar (Según González, 1960, citado por Cruz Villanueva).

Clases	Profundidad del suelo agrícola	Topografía (pendiente)	Salinidad o alcalinidad (1)	Pedregosidad (2)	Drenaje (3)	Inundación	Erosión
I	Más de 1.5 m	0 - 6%	0 a 0.2% PSI < 15%	Menos de 4 m <sup>3</sup> /ha Menos de 5% vol.suelo	Sin problema	No inundable	Sin problema
II	De 1.5 a 1.0 m	6 - 12%	0.2 a 0.35% PSI < 15%	De 4 a 40 m <sup>3</sup> /ha 5 a 20%	Depresiones de fácil drenaje	Muy ocasionalmente inundable, sin problema posterior	Ligera, menos del 20% del horizonte superficial se ha perdido
III	De 1.0 m a 60 cm	12 - 20%	0.35 a 0.65% PSI < 15%	De 40 a 100 m <sup>3</sup> /ha 20 a 50%	Áreas con agua en períodos de sequía	Peligro de inundaciones	Moderada, del 20 a 25% del horizonte superficial se ha perdido
IV	De 60 a 25 cm	20 - 30%	0.65 a 2.0% PSI > 15%	Más de 100 m <sup>3</sup> /ha Más de 50%	Difícil pero practicable	Frecuentemente inundable	Severa, del 25 al 70% del horizonte superficial se ha perdido
V	Menos de 25 cm	Más de 30%	Más de 2.0% PSI > 15%	Malpaís o pedregal	Difícil por ocupar hondonadas	Inundable	Muy severa, se ha perdido del 70% del horizonte superficial hasta el 90% del horizonte subyacente. Banjones en el terreno.

Tabla 2.1

de productividad será 100%; si cualquier clasificación individual es equivalente a 0, el índice será cero. Este último efecto es semejante al empleado en las limitantes del sistema del USDA; el funcionamiento del método paramétrico difiere de este sistema, en que el efecto combinado de varios factores moderadamente adversos, puede producir un efecto más bajo que una sola característica.

El índice de productividad de Riquier et al (1970) es el ejemplo más clásico del método paramétrico.

$$\text{Índice de productividad} = H \times D \times P \times T \times N$$

$$\text{o también: índice de productividad o} = S \times O \times A \times M$$

donde:

H = humedad

D = drenaje

P = profundidad

T = textura/estructura

N = saturación de bases

S = concentración de sales solubles

M = contenido de materia orgánica

A = capacidad de intercambio catiónico/arcilla

M = reservas minerales

En este trabajo de Riquier se computaron las cualidades de la tierra y de las principales condiciones ecológicas de las tierras y sus componentes para la obtención de una mejor comprensión del método.

### 2.3 Algunos conceptos del método paramétrico

Los métodos comparativos analizan las limitantes del suelo con un suelo real, hipotético o estándar. Este método puede sistematizarse de diferentes formas con el fin de hacerlo

menos subjetivo; una manera de llevar a cabo este objetivo, es mediante los métodos paramétricos.

La mayor parte de estos trabajos se refieren más bien al suelo que al concepto tierra, aunque incorporen en ocasiones, factores tales como pendiente y precipitación. La estructura general de estos sistemas paramétricos es la misma, siendo el efecto combinado de los factores individuales más multiplicativo que aditivo. Este es el caso por ejemplo, de aquellos suelos de excelentes características, profundos, bien drenados, contenidos adecuados de materia orgánica, que en ocasiones pueden traducirse en baja productividad debido a una sola propiedad adversa, como sucede en algunos suelos de San Juan Evangelista, caracterizados por altos contenidos de arena (60-90%) que los hacen inadecuados para el cultivo de la caña.

Los métodos paramétricos pueden considerarse hasta cierto punto, como modelos matemáticos, ya que se basan en datos cuantitativos o semicualitativos, dando como resultado una mayor aproximación a la realidad. Como se ha mencionado ya, generalmente no proporcionan una evaluación completa de la tierra, debido a que se refieren más al crecimiento de las plantas o a procesos biológicos que a aspectos físicos o datos económicos, por ejemplo. Sin embargo, el método paramétrico puede proveer de resultados útiles que los economistas pueden emplear (Brinkman y Smyth, 1973).

Por otro lado, la experiencia demuestra que para la aplicación de los índices paramétricos en zonas que no han tenido un desarrollo definido, muestran ciertas limitaciones. Los valores pueden estar cuidadosamente ajustados para proporcionar

resultados correctos en una región, pero pueden resultar incorrectos para otras, en donde las interacciones y condiciones del medio ambiente son diferentes.

También existen métodos para obtener índices de productividad de los suelos en las actuales condiciones e índices de potencialidad que indican su capacidad . bajo condiciones de introducción de mejoras a futuro (riego, arado profundo, etc.). Estos índices tienen desventajas como es su rigidez de aplicabilidad; sin embargo, han demostrado buenas correlaciones entre índices de productividad y rendimientos de un cultivo en particular, dentro del área para la que el índice fue diseñado. Cuando un sistema es transferido a un clima diferente, el diseño de la clasificación requiere de un ajuste substancial (Young, 1976).

Una práctica común en la aplicación de sistemas de evaluación ha sido el diseñar una tabla de conversión en donde se toman en cuenta por un lado, las características de la tierra, consideradas como limitantes; se enlistan separadamente y cada unidad terrestre es clasificada con base en las principales limitaciones que presentan esas tierras. Alternativamente, los efectos de cada una de las características de la tierra (que serán consideradas de acuerdo con un determinado uso), se evalúan separadamente, combinándose con un procedimiento aritmético, tal como se hace en la mayor parte de los índices de productividad.

#### 2.4 El método paramétrico y el método sintético.

La aproximación paramétrica consiste en un método para considerar los efectos de las características individuales de la tierra que, combinados entre sí, permiten una ordenación en la clasificación para la aptitud de las tierras.

El extremo opuesto, es el considerar a las tierras como un todo, y decidir el rango de aptitud para un uso determinado; ésta es la aproximación sintética, lo que implica automáticamente una generalidad en sus resultados.

La principal ventaja del método paramétrico es que, una vez que se ha establecido la tabla de conversión, se obtienen resultados consistentes. El problema es que, debido a su propia naturaleza, no permite una clara interacción entre los factores en algunas ocasiones por ejemplo, una buena permeabilidad constituye el factor más importante en suelos sujetos a inundaciones intermitentes. Cuando el sistema paramétrico busca un acercamiento entre los factores considerados por medio de subdivisiones dentro de las tablas de conversión (por ejemplo, clasificaciones separadas para la permeabilidad, de acuerdo con la frecuencia de inundaciones), se torne en un sistema más complejo.

Esta confiabilidad puede mantenerse dentro de los límites de confiabilidad cuando la totalidad del área de estudio tiene un clima uniforme para propósitos prácticos, tal como sucede en Playa Vicente y San Juan Evangelista. En cambio, el método se torna problemático cuando existen diferenciaciones climáticas marcadas, como podría ser el establecimiento de sistemas en un mismo estado, en cuyo caso resultaría más práctico diseñar tablas de conversión separadas, basadas en suelos y geoformas para un uso común dentro de las principales regiones climáticas del estado en cuestión.

La principal tabla de conversión relaciona la aptitud de las tierras con las cualidades de la tierra. Posteriormente

se diseñan tablas que transforman combinaciones de las características de la tierra en clases de cualidades de las tierras.

El método de cualidades de las tierras no se ha probado tanto como el de las limitantes.

La aproximación sintética depende de la experiencia y el juicio del individuo que realiza la evaluación. Este caso puede tener dos aspectos: dos personas pueden encontrar diferentes conclusiones en un mismo terreno, o las clasificaciones siempre serán hechas con un sentido moderado de razonamiento.

Probablemente, la mayoría de los levantamientos seguirán utilizando el método paramétrico en parte, para apoyarse consistentemente, y en parte, para dar la impresión de que se han empleado métodos "científicos". Estos dos aspectos no son incompatibles, dado que los valores mostrados en las tablas de conversión se han diseñado hasta ahora con base en juicios subjetivos (Young, 1976).

Con el fin de utilizar las cualidades de las tierras de manera objetiva, cada cualidad se ha dividido con frecuencia, en diferentes rangos; ejemplo: riego de erosión nula, ligera, moderada, severa y muy severa.

El problema planteado por las interacciones se ha superado, en parte, a través del uso de componentes característicos de las tierras. Un ejemplo de esta naturaleza, es la capacidad de agua disponible del perfil de un suelo; ésta se constituye como un componente de la capacidad de cada horizonte, de la textura, el grosor y la profundidad efectiva (Brinkman y Smyth, 1973).

CAPITULO III

EL MODELO DE FLUJO

### 3.- EL MODELO DE FLUJO

#### 3.1 Antecedentes

La experiencia nos ha enseñado que, cuando se tienen perfectamente planteados los objetivos de una investigación, el siguiente paso a dar, es el encontrar la manera de clasificar, organizar y desarrollar el trabajo, mediante el diseño de un esquema lógico que nos permita llegar felizmente a la comprobación de la hipótesis inicialmente planteada. Este camino está dado, en este caso, por el diseño de un Modelo de Flujo (Fig. 3.1).

El enunciado de este trabajo plantea indirectamente un conflicto entre lo general y lo particular; la idea es, desde luego, entrar en el terreno de la especialización. Sin embargo, de este concepto se deriva la preocupación de definir los límites de los fenómenos del medio ambiente que afectan el desarrollo de la caña de azúcar. Cualquier decisión que se tome en cuanto a la delimitación, siempre resultará en un cúmulo de información que no debe escapar a un manejo adecuado y práctico.

Los siguientes capítulos relacionan los conceptos, correlaciones y potenciales que pueden presentarse en el momento de conectar y relacionar los conocimientos que se tienen de las características (variables) involucradas en el medio ambiente relacionado en particular con el desarrollo del cultivo de la caña de azúcar.

#### 3.2 El modelo de flujo

El diseño de un modelo de flujo puede ser contemplado como una estructura secuencial de ideas concernientes a la ordenación de un sistema; esto opera en su primera etapa, mediante el



aislamiento de uno o dos componentes simples de un sistema a investigar y considerado como un todo, seguido en su segunda etapa, por el estudio de sus interrelaciones. Cuando el significado de estas relaciones se ha definido, pueden entonces, construirse progresivamente otros atributos del modelo, hasta lograr uno a nivel descriptivo y explicativo que sea lo suficientemente claro para un manejo adecuado del sistema (Fig. 3.1).

El medio ambiente debe estudiarse de manera analítica, etapa por etapa, conjuntando gradualmente sus componentes de manera que se traduzca en un modelo dinámico del sistema. Se busca entonces el construir una serie de relaciones con el fin de alcanzar una explicación con suficiente poder para propósitos particulares.

La complejidad de los sistemas que constituyen el medio ambiente propicio para el desarrollo de la caña de azúcar, representa un obstáculo, sin embargo, es necesario el diseño de un esquema simple y cuidadoso que represente a un sistema complejo; de ahí la necesidad de alimentar al sistema con instrucciones precisas para el manejo conceptual de todo el sistema. Esta idea se refleja en el uso del método paramétrico (Capítulo 9). El análisis del medio ambiente intenta identificar las correlaciones más importantes que existen en su sistema. También constituye una base para identificar las variables que controlan las correlaciones involucradas (Capítulo 4).

### 3.3 Los sistemas

Un sistema en general, es considerado como un grupo de ideas o representaciones relacionadas con las características de un tema u objetivo y los factores que influyen en tales

características. Un ordenamiento de tipos de sistemas se inicia con las especificaciones y planteamientos de sus límites, seguido por el estudio de la transferencia de energía y de materia a través de estos límites, Fig. 3.2a (Trudgill, 1977).

Un modelo de sistemas es una representación de la interacción de los componentes del sistema y de los subsistemas, su integración y su correlación con variables externas, es decir, constituye en sí una dinámica de los sistemas.

El sistema de este trabajo está definido como aquella parte del medio ambiente que se considera analíticamente en primera instancia (Fig. 3.2b). Los factores circundantes o radiales del sistema, se definen como aquellas porciones del medio ambiente que pueden ser consideradas como necesarias para el conocimiento de los planteamientos del sistema. En este caso en particular, se trata del sistema medio ambiente/ aptitud de las tierras/ caña de azúcar (Fig. 3.2c).

El sistema general puede dividirse jerárquicamente así:

- 1.- Supersistema
- 2.- Sistema
- 3.- Subsistema

La transferencia entre los componentes del sistema puede ser contemplada en cuanto a su interacción, así como la transferencia entre los componentes y sus factores circundantes o radiales. En el caso que aquí nos ocupa, el supersistema está dado por una región de aproximadamente 36,000 has en el Municipio de San Juan Evangelista y otra de 25,000 has en el de Playa Vicente, ambas consideradas en principio, como regiones potenciales para el cultivo de la caña de azúcar.

El sistema está dado por los factores que conforman la aptitud de las tierras (clima, geología, geoforma y suelos), mientras que, el subsistema (variables) estará dado por precipitación, material parental, pendiente, permeabilidad, drenaje, contenido de materia orgánica, nitrógeno, saturación de bases, etc. (Fig. 3.1).

La delimitación de los límites de la construcción del modelo no presenta muchos problemas en sí ya que, como se ha indicado anteriormente, se restringe al medio ambiente de la caña de azúcar.

### 3.4 Tipos de variables

El medio ambiente es un sistema muy complejo en el que un amplio rango de variables entran en juego, siendo algunas de ellas de más peso que otras en el control del medio ambiente. Este último planteamiento permite simplificar todo un sistema que genera el medio ambiente mediante la presentación de un modelo de flujo.

Los sistemas del medio ambiente se caracterizan por ser sistemas multifactoriales, siendo necesario averiguar los efectos mutuos de las diferentes variables que actúan al mismo tiempo; asimismo, es importante en ocasiones, especificar cómo las variables pueden cambiar con el tiempo y cómo puede haber un ajuste entre ellas cuando una o varias de ellas se alteran.

Algunas variables pueden considerarse como claves en el diseño de un sistema para determinar la capacidad de las tierras con fines de producción de caña de azúcar. También existen otras variables menos significativas que también pueden ser situadas jerárquicamente.

Existen varios caminos para llevar a cabo esta relación, por ejemplo, pueden citarse estudios sobre el clima (temperatura y precipitación principalmente), mineralogía de suelos, intemperismo, drenaje del perfil, que se relacionan con los nutrimentos naturales disponibles; a la vez, este aspecto se liga con los estudios de los ciclos vegetativos, pérdidas de cationes y aniones solubles en el drenaje del suelo. Una vez que se ha llevado a cabo esta evaluación, pueden estudiarse los valores entre los nutrimentos existentes en los suelos, la retención y pérdida en el suelo y en la vegetación bajo diferentes condiciones del medio ambiente.

Las variables claves que controlan relaciones de un medio ambiente pueden ser externas o internas para un sistema dado. Si son externas se denominan independientes. Por ejemplo, el clima puede ser considerado como variable externa; en cambio, la permeabilidad del suelo puede ser considerada como un factor del agua aprovechable, del contenido de nutrimentos o de la saturación de bases, (Fig. 3.2c). No obstante, estas variables clave internas, no necesariamente son variables independientes por sí mismas; por ejemplo, la permeabilidad del suelo es dependiente de la textura del suelo, de la estructura y de la formación de horizontes.

# MODELO DE FLUJO DE CORRELACION DE LAS VARIABLES LA EVALUACION DE LA APTITUD DE LAS TIERRAS PARA

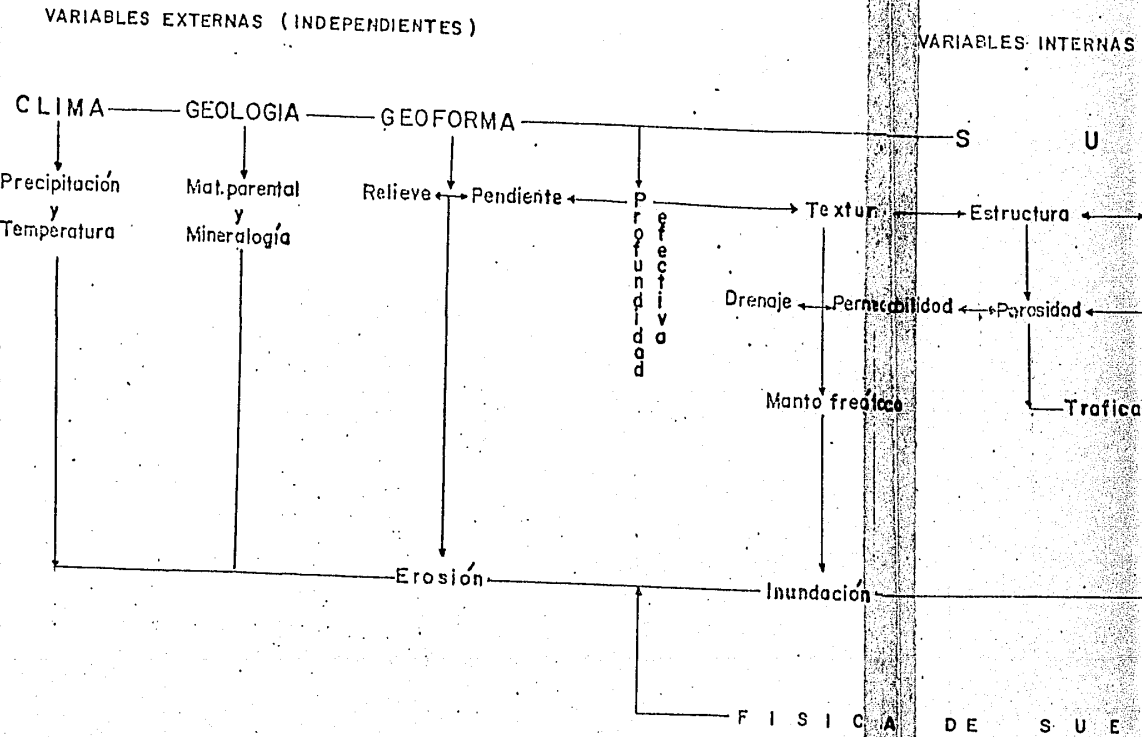


Fig. 3.1

# DE CORRELACION DE LAS VARIABLES CONSIDERADAS PARA LA APTITUD DE LAS TIERRAS PARA EL CULTIVO DE LA CAÑA

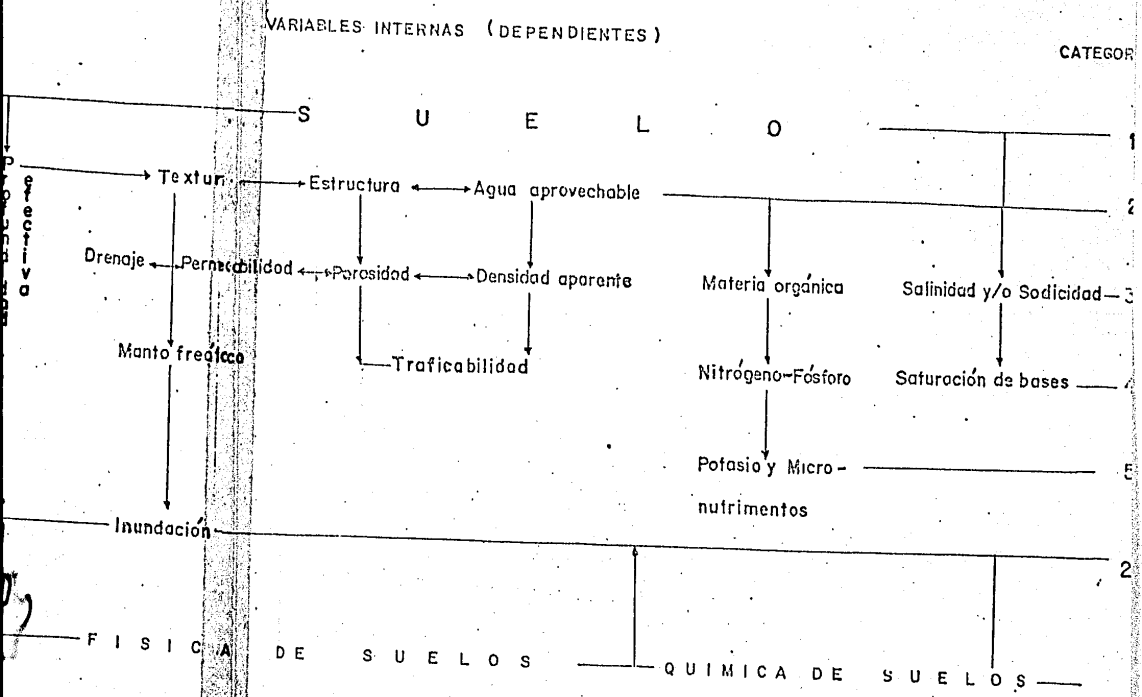
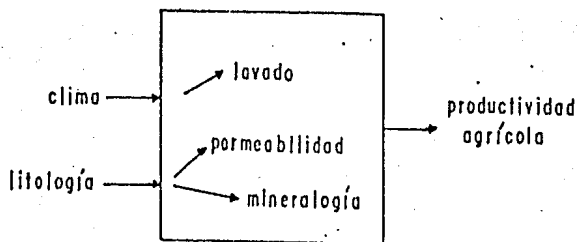
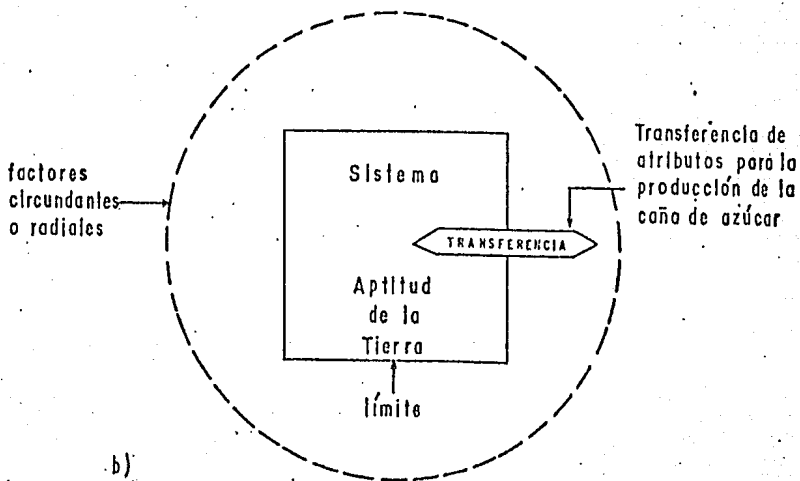
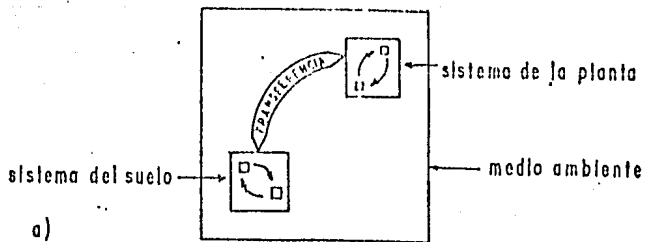


Fig. 3.1

Fig. 3.2 JERARQUIZACION DE LOS SISTEMAS



c) Sistema suelo / agua / caña de azúcar

CAPITULO IV

LAS VARIABLES



#### 4.- LAS VARIABLES

##### 4.1 Introducción

La química del suelo y especialmente el abastecimiento de nutrimentos, reciben generalmente una atención especial y desproporcionada en comparación a las características físicas del suelo. Una de las razones de esta actitud es que, a los análisis químicos, se les asigna un papel preponderante en la evaluación, tanto de la fertilidad como del manejo del suelo y la planta; existe además, un desequilibrio entre la precisión que caracteriza el manejo de los datos químicos cuantitativos en comparación con la escala cualitativa dada por algunas de las propiedades físicas.

La precisión aparente de los datos analíticos del suelo puede ser engañosa, dado que en algunos casos, por ejemplo, el fósforo disponible, representa procedimientos químicos designados para aproximar una relación ideal suelo-planta; en cambio, el medio ambiente natural y la conformación del suelo es alterado en menor magnitud en el transcurso del análisis físico.

Las condiciones físicas del suelo tienen un efecto directo y determinante en la selección, introducción y desarrollo del cultivo de la caña de azúcar; en cambio, el manejo, rendimiento y abastecimiento de nutrimentos son más fácilmente alterables e inducibles y, por lo tanto, más controlables.

La jerarquización en el esquema de flujo de correlación de las variables del sistema (Fig. 3.1), muestra a todas luces, la importancia que tienen los factores físicos sobre los demás elementos del sistema.

Es evidente además, la necesidad de entender el comportamiento de cada una de las variables, la influencia que las otras ejercen sobre cada una de ellas y el efecto de la misma sobre las demás.

Por otro lado, el esquema de flujo constituye el punto de partida adecuado para un manejo estadístico y computacional correcto del sistema. El flujo de correlaciones puede ser criticado en el sentido de que el conjunto de variables del suelo, por su cantidad, no guardan un adecuado equilibrio con el resto de las variables de primer orden (clima-geología-geoforma). A esto puede decirse que a este orden puede llamarse categoría 1 de variables externas independientes; en cambio, las variables internas del suelo constituyen las variables dependientes unas de otras, y que al fin de cuentas, son en su mayoría los resultados de la influencia de los factores externos y los que están íntimamente ligados con la etapa final del ciclo medio ambiente/planta y que en una buena proporción pueden ser cuantificadas, calificadas y manipuladas.

Hay que hacer notar que, en el análisis estadístico, no fueron incluidas algunas variables, entre las que se encuentran el clima que, en este caso en particular, no constituye una limitante, puesto que, tanto para Playa Vicente y San Juan Evangelista, la temperatura y luminosidad no ofrecen ningún problema, y la precipitación media anual cumple perfectamente el requisito de humedad necesaria para el desarrollo normal de la caña de azúcar, tanto por su cantidad como por su distribución a lo largo del año.

Las características geológicas y geomórficas, fueron tomadas como variables externas, considerándoseles de manera muy general a través del material parental, mineralogía y relieve (Fig. 3.1). Con respecto a problemas de salinidad y alcalinidad no se detectaron áreas con estas características, aunque se corren riesgos de incurrir en ellos por manejos inadecuados del suelo y el agua. Por esta razón, no fueron incorporadas estas variables al esquema estadístico general.

A continuación se menciona un resumen de cada variable considerada, así como su interdependencia con respecto a las demás, agrupándolas además en categorías:

#### 4.2 Las variables básicas (categoría 1)

##### 4.2.1 El clima

El clima cubre un amplio rango de factores que tienen un impacto directo en la agricultura: temperatura, precipitación, insolación, velocidad del viento, evaporación, etc.

La temperatura tiene una particular importancia para determinar la temporada de crecimiento de la planta y la intensidad de la fotosíntesis. La distribución de la precipitación puede diferir considerablemente de una región a otra, constituyéndose en un factor determinante en la aptitud de las tierras. La distribución de la precipitación y aun la carencia de la misma puede ser corregida mediante la aplicación del riego. En este caso, la humedad prevaleciente tiene más impacto como limitante para un cultivo, que la radiación solar o la temperatura, ya que es más fácil relativamente, corregir este factor adverso, que la carencia o exceso de humedad (Slatyer, 1967).

La circulación atmosférica, aparte de la influencia directa que tiene sobre la nubosidad y precipitación, también tiene una influencia determinante en el crecimiento de las plantas para la producción agrícola. Este impacto tiene más importancia local y específica en la naturaleza, que los principales factores climáticos.

Los recursos de la tierra generalmente están influenciados por el clima durante su formación; es uno de los principales factores genéticos en la formación del relieve y del suelo. Ha sido, por ejemplo, un factor importante en los paleoclimas y en el origen de la litología de las formaciones geológicas.

Las fluctuaciones climáticas son muy importantes, ya que tienen igual peso si su frecuencia es de períodos cortos pero muy fuertes o de baja frecuencia de ocurrencia pero de efectos prolongados.

#### 4.2.2 Geología

Las formaciones geológicas determinan las principales características del relieve (incluyendo altitud) que en sí constituye en factor ecológico importante. Las formaciones geológicas tienen también una decidida influencia en la formación y degradación de los suelos y el paisaje.

La naturaleza y estructura de las formaciones geológicas tienen también mucha influencia indirecta en la agricultura, por ejemplo, proveen de materiales básicos y estructurales para los materiales parentales de los suelos.

Los estudios de esta índole son esenciales para investigar los problemas de la geología en relación con el uso del

suelo o la aptitud de las tierras. A través del relieve y las formaciones geológicas se tiene un fuerte impacto en el clima y la hidrología (Birkeland, 1974).

#### 4.2.3 Geoforma

La influencia de la geoforma en la aptitud de las tierras es muy variada. Puede expresarse como la interacción de diferentes fenómenos y procesos que se llevan a cabo dentro de la corteza terrestre y en su superficie. Sus formas y dimensiones se relacionan primeramente con las formaciones geológicas y el clima en el pasado y presente además, han actuado directa o indirectamente sobre estas formaciones.

La acción indirecta del clima y los efectos producidos por la naturaleza de las formaciones geológicas en el relieve, se llevan a cabo a través de los procesos del intemperismo y la formación del suelo, así como a través de los organismos vivos, incluyendo plantas, animales y el hombre. El relieve, por lo tanto, está íntimamente conectado con muchos de los otros recursos de la tierra. Por esta razón, el relieve es muy importante en los métodos de la fotointerpretación para el mapeo de los recursos de la tierra. Por sí mismo tiene también una fuerte influencia en procesos y fenómenos relacionados con la tierra y en la formación del suelo. La geomorfología está relacionada con la geología estructural, particularmente en relación con las principales formas de relieve.

Finalmente, la aptitud de las tierras está fuertemente influenciada por el tamaño y modelo de las formas de relieve (Birkeland, 1974).

#### 4.2.4 El suelo

##### 4.2.4.1 Variables de categoría 2

##### 4.2.4.1.1 Profundidad efectiva

La profundidad efectiva del perfil es la profundidad máxima a la que las raíces penetran. La profundidad efectiva puede estar determinada por la presencia de un horizonte limitante que impide la penetración hacia abajo de las raíces; los horizontes limitantes en ocasiones están formados por roca in-situ, fragmentos rocosos o por duripanes. Las raíces generalmente no penetran sino hasta la roca intemperizada. Físicamente es posible que algunas raíces penetren a través de líneas de piedras, o materiales más o menos cementados; sin embargo, tales horizontes constituyen en sí un medio ambiente poco favorable, de tal manera que espesores menores de los 30 cm constituyen una seria limitante (Millar, et al, 1971).

Una profundidad efectiva del suelo de 200 cm es suficiente para todos los cultivos, la presencia de un horizonte limitante a 150 cm tiene un pequeño efecto en cultivos anuales, pero puede demeritar los rendimientos de cultivos perennes. En los trópicos húmedos, como es el caso de Playa Vicente y San Juan Evangelista, las rocas cristalinas pueden originar suelos profundos; en cambio, las margas o areniscas generalmente originan suelos someros (30-100 cm), como sucede al sureste de la población de Playa Vicente. Los horizontes plínticos constituyen también una seria limitante (meseta de Abasolo), que inclusive varían su profundidad a distancias muy cortas.

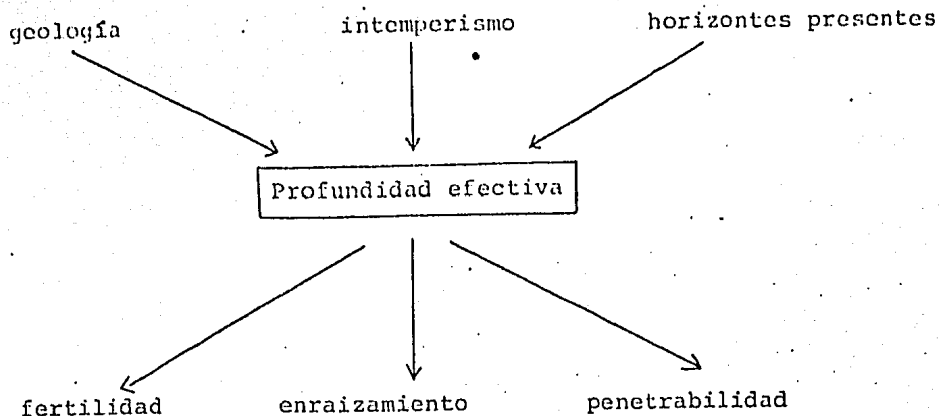
La fácil penetración de la raíz a través del perfil es

un aspecto muy importante para facilitar el funcionamiento en la fertilidad del suelo. Los nutrimentos se mueven a distancias cortas de las raíces, por lo que la planta debe tener una red densa de raíces finas en una proporción razonable en relación al volumen del suelo.

Los suelos arenosos permiten una penetración libre, una característica que compensa hasta cierto grado, sus propiedades químicas menos favorables (suelos arenosos de San Juan Evangelista). En los suelos arcillo-limo-arenosos, la penetrabilidad depende de la estructura y de la consistencia, como sucede con aquellos suelos de propiedades vérticas de Playa Vicente, que se caracterizan por tener una estructura firme y bien desarrollada.

En la zona de estudio existe una correlación directa entre geofoma-relieve-pendiente y profundidad efectiva, tal como sucede en aquellas áreas con relieve muy ondulado y con pendientes superiores a 20%, resultando una profundidad efectiva de menos de 30 cm (clase 4). Este hecho se traduce en la imposibilidad de las raíces de la caña de un desarrollo normal.

En la siguiente figura se muestra la correlación de los principales factores que tienen que ver en la formación de la profundidad efectiva, así como los efectos directos más importantes que producen el suelo.



#### 4.2.4.1.2 Textura

La fase sólida del suelo está constituida por productos del intemperismo del material parental, material de acarreo y los minerales que lo contienen. El interés se centra en el tamaño y forma de las partículas individuales que resultan de este intemperismo, y su composición química y mineralógica, así como el efecto, naturaleza y propiedades de las superficies que participan.

Esta propiedad ayuda a determinar no sólo la facilidad de abastecimiento de nutrimentos, sino también agua y aire, que son tan importantes para la vida de las plantas.

El tamaño del área superficial de una partícula influye mucho en sus propiedades físico-químicas. Los suelos difieren en el área superficial, como resultado de las diferencias de textura, tipos de minerales arcillosos y cantidad de materia orgánica. Propiedades tan importantes como la retención del



agua y capacidad de intercambio están íntimamente relacionadas con la superficie específica de los suelos (Gavande, 1973).

La textura, proporciona información básica para estudios de clasificación, morfología y génesis del suelo, así como acerca de las propiedades físicas del mismo, tales como permeabilidad, retención de agua, plasticidad, aireación, capacidad de intercambio, etc.

Los suelos arenosos (muchos de los suelos de San Juan Evangelista) son sueltos, friables, de buena aireación y drenaje, y de fácil laboreo; sin embargo, tienen aspectos negativos; demasiado sueltos y abiertos y faltos de capacidad para absorber y guardar suficiente humedad y nutrimentos. El manejo de un suelo arcilloso, por otra parte (algunos suelos de Playa Vicente), presentan otro tipo de problemas, por ejemplo, la plasticidad y la cohesión son altas, debido a la presencia de arcilla coloidal.

Muchas de las propiedades físicas del suelo están afectadas por la cantidad, naturaleza y actividad de los iones absorbidos, hecho que está íntimamente ligado a la fracción coloidal mineral del suelo.

La interpretación correcta de muchos de los procesos químicos, físicos y biológicos en el suelo, se deducen al conocerse la distribución del tamaño de las partículas. Los procesos químicos dependen en gran parte del área superficial total, que es donde se efectúan varias de las reacciones del suelo. La fracción con diámetros menores de 2 micras, presenta una mayor cantidad de intercambio de bases; desde el punto de vista químico, el intercambio de las partículas minerales que

proporcionan nutrimentos, depende de la superficie que presentan las partículas que retienen tenazmente al agua y a menudo impiden el drenaje y la aireación; cuando domina esta fracción, los suelos son finos, plásticos y difíciles de trabajar. Una predominancia de partículas grandes da como resultado suelos arenosos que retienen poca agua, drenaje excesivo, bien aireados, conservan el calor y la baja fertilidad natural (Gavande, 1973).

En este esquema se muestran la relación entre la textura y sus efectos directos sobre otras propiedades del suelo; puede inferirse también, la importancia de esta característica, por la correlación compleja que guarda dentro del sistema suelo.

depende de:

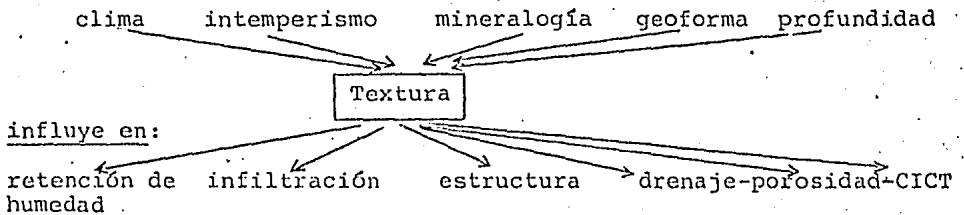


Tabla 4.1 RELACION DE TRES VARIABLES DE LA CATEGORIA 1

Perfil	Prof. (cm)	Textura (%) arena- arcilla		Estructura	Agua aprovechable (mm/h)
287	0-15	92	2	sin	4.44
(SJE)	15-50	94	2	sin	2.95
	50-100	90	2	sin	2.95
297	0-40	9	33	subangular	26.22
(SJE)	40-100	3	33	angular	24.70
417	0-20	89	2	masiva	11.45
(SJE)	20-50	81	7	sin	5.17
	50-80	81	7	sin	5.63
	80-120	81	7	sin	5.63
307	0-25	54	17	angular	20.85
(PV)	25-45	61	17	angular	21.40
	45-65	73	2	subangular	21.52
	65-130	66	4	subangular	13.47

El cuadro muestra el papel preponderante que juega el porcentaje textural de la fracción mineral de una característica del suelo tan fundamental como lo es el agua aprovechable. Esta relación es muy conocida; sin embargo, nos muestra la gran diferencia, en términos generales, entre los suelos de Playa Vicente y San Juan Evangelista; en estos últimos dominan los suelos de textura arenosa en donde el agua se infiltra rápidamente debido al mayor porcentaje de espacios porosos, escasa agregación del suelo, lo que a la vez, se traduce en una ausencia de estructura. En contraste, en los suelos con altos contenidos de arcilla, la retención de humedad es mayor, como lo demuestra el cuadro anterior.

La literatura reporta texturas ideales para un buen desarrollo de la caña de azúcar, desde un punto de vista práctico es necesario desechar las texturas muy finas o muy gruesas.

#### 4.2.4.1.3 Estructura

La estructura del suelo superficial, en particular en la porción arable del suelo es, frecuentemente, diferente a la estructura del subsuelo. Son variadas las causas que originan su formación y alteración: humedecimiento, actividad biológica, labranza, traficabilidad, etc. Consecuentemente, las condiciones estructurales cambian más rápidamente en los horizontes superficiales que en los subsuelos, ya que los primeros están a merced del intemperismo y del manejo de los mismos (Hillel, 1971). Desde el punto de vista de la física del suelo, la estructura es una de las propiedades del suelo más importante en relación al crecimiento de la planta; esto puede verse claramente en una buena parte de los suelos arenosos de San Juan Evangelista, en donde la estructura prácticamente no existe.

Muchos son los aspectos donde la estructura juega un papel muy importante en relación a la retención de humedad, entre los que se puede mencionar:

i. La capacidad de un suelo para disponer del agua de manera rápida; esta característica está directamente relacionada con el grado de compactación de los horizontes presentes en el perfil.

ii. Los poros de menos de 0.05 mm de diámetro son capaces de retener agua en contra de la gravedad, y por lo tanto, contribuyen a una mayor capacidad de almacenamiento de agua en el suelo. En cambio, los poros mayores a este diámetro, permiten un libre movimiento del agua, constituyendo también un medio efectivo para la aireación.

iii. La inestabilidad estructural es característica de muchos suelos, especialmente de las arenas.

El cultivo de la caña de azúcar requiere para su correcto desarrollo de un número de necesidades, en donde la estructura tiene una influencia predominante para lograr estos requerimientos.

Desde el punto de vista agrícola, la estabilidad estructural es muy importante ya que los granos del suelo deben tener suficiente estabilidad para que permitan el paso libre del agua y la entrada de aire conforme el agua sale.

La estructura afecta directamente a la planta a través de los siguientes factores: aireación, compactación, relaciones de agua y temperatura, existiendo interacciones de entre estos factores.

Existen cambios de estructura como consecuencia de las prácticas de laboreo, crecimiento de las plantas, riego, lluvia y prácticas de manejo. En muchos casos la estructura puede ser el factor limitante en la producción de la caña de azúcar. Por ejemplo, tiene una influencia directa en el exceso o deficiencia de agua, falta de aire, incidencia de enfermedades, escasa actividad microbiana, impedimento para el crecimiento de las raíces, alteraciones químicas negativas, etc.; en cambio, una buena estructura influye en un crecimiento adecuado de las plantas (Barnes, 1974).

Junto con la textura y la humedad, la estructura es una de las características físicas fundamentales del suelo, tal como se aprecia en la siguiente figura:

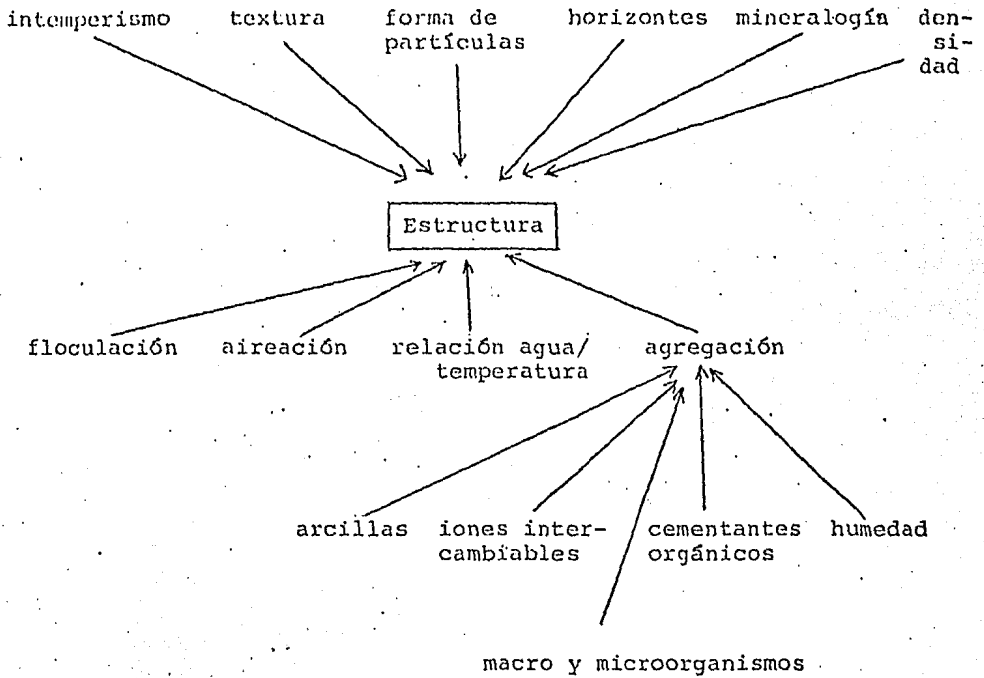


Figura 4.1 CUADRO GENERAL DE LA GENESIS DE LA ESTRUCTURA DE LOS SUELOS EN LA ZONA DE ESTUDIO

Origen	Edad	Estructura	Estabilidad	Textura	Retención de humedad (%)
Aluviones (altos contenidos de $S_1O_2$ )	Inci-pientes	sin estructura	inestables	gruesa	baja
Calizas	maduros	bien desarrollados (migajosa, ang., subangular)	estables	de medias a gruesas	de moderada a alta
Areniscas	jóvenes	moderadamente desarrollados (angular, subangular, prismática).	estables	de medias a finas	de moderada a alta

Los suelos de estructura estable y bien definida tienen una gran influencia positiva en factores importantes del suelo: movimiento y retención del agua, transferencia de calor, aireación, densidad y porosidad.

La naturaleza del material de origen es un factor importante en la génesis de la estructura del suelo, en donde se involucran procesos físicos y bioquímicos del suelo, síntesis y migración de arcillas y óxidos, solubilidad de las sales, acumulación y degradación de la materia orgánica; todos estos aspectos son influenciados considerablemente por el clima. En efecto, considerando que el clima actúa bajo la misma intensidad en la región de estudio, éste va a diversificar su actuación básicamente, a partir del material de origen y de la geofoma, porque es aquí donde las diferencias e intensidades de los procesos formadores del suelo se bifurcan, resultando texturas y porcentajes de retención de humedad diferentes, como lo podemos apreciar en el cuadro general anterior.

#### 4.2.4.1.4 Agua aprovechable

La humedad del suelo influye en muchas propiedades físicas tales como densidad aparente, espacio aéreo, compactación (traficabilidad), penetrabilidad, consistencia, potencial total del agua; influyen también, en procesos químicos y bioquímicos del suelo, actividad microbiana y, desde luego, en el crecimiento de las plantas.

La humedad del suelo constituye un fenómeno dinámico, que depende del clima, de las plantas, de la profundidad del suelo y de las características y condiciones físicas del perfil.

En un momento dado y a una profundidad dada, la humedad es muy variable, dependiendo también de la localización en la geoforma del punto en cuestión.

La humedad del suelo se puede expresar gravimétricamente, con base en su masa o volumétricamente con base en su volumen.

La humedad gravimétrica es la forma más usual de expresar la humedad del suelo, y se define como la masa de agua contenida por unidad de masa de sólidos del suelo; se expresa en por ciento.

$$\% \text{ humedad gravimétrica} = \frac{M(\text{suelo}) - M(\text{suelo secado a la estufa})}{M(\text{suelo secado a la estufa})} \times 100$$

La humedad volumétrica puede considerarse como lámina de agua o tirante contenida en una unidad de profundidad de suelo; esta forma de expresión resulta muy práctica en términos de riego o de lluvia, ya que expresa la humedad del suelo independientemente de la densidad aparente del suelo, mostrando de esta manera una base general para comparar el almacenamiento de agua en suelos con diferentes densidades aparentes



(Forsythe, 1975).

En perfiles con capas u horizontes endurecidos que son una barrera para el desarrollo normal de la raíz, la cantidad de agua disponible es proporcional al espesor de la capa cultivable que se encuentra por encima del horizonte endurecido.

Las rocas impermeables reducen también la capacidad de agua disponible y ésta será proporcional al volumen que ocupan.

La textura afecta la facilidad con que las plantas extraen agua del suelo, las arenas requieren de succiones más pequeñas para que las raíces puedan disponer del agua; en contraste, las arcillas retienen más agua disponible pero requieren de succiones más altas.

Las mediciones de campo para conocer la humedad del suelo son caras, pero se pueden inferir a partir de las propiedades del suelo; de éstas, las más relevantes son textura, estructura y profundidad (Winter, 1978).

Los factores que entrelazan las características de humedad del suelo son:

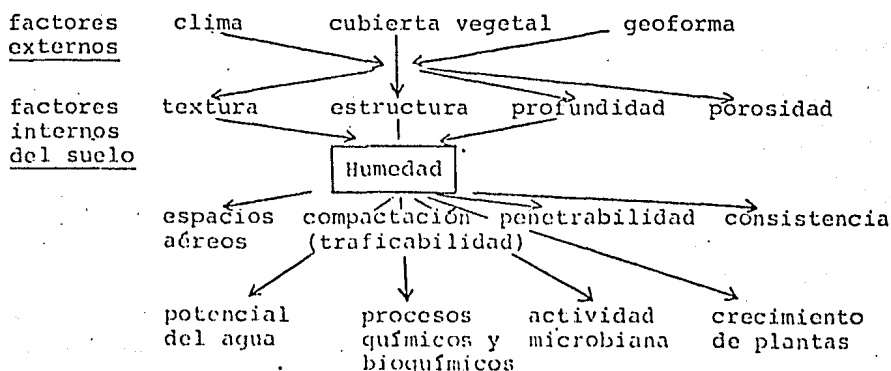


TABLA 4.2 RELACION DEL AGUA APROVECHABLE CON RESPECTO A VARIABLES DE CATEGORIA 1 y 2

Perfil	Profundidad efectiva (cm)		Textura (%)		Porosidad (%)	Agua aprovechable (mm/h)
			arena	arcilla		
429	0-50	A <sub>1</sub>	66	14	58	11.5
(SJE)	50-60	A <sub>21</sub>	27	6	62	38.8
	60-70	A <sub>22</sub>	22	11	56	19.5
	70-120	B	20	14	54	19.6
136x	0-20	A	83	4	50	9.0
(SJE)	20-30	C	77	12	54	6.6
30 x	0-30	A <sub>1</sub>	27	20	54	21.3
(PV)	30-75	A <sub>2</sub>	36	21	62	21.9
	75-115	BC	58	6	62	20.0
	115-	C	62	9	66	18.6

La profundidad efectiva, estructura, textura y porosidad afectan en mayor o menor grado la lámina de agua aprovechable.

#### 4.2.4.1.5 Riesgo de erosión

Los factores que afectan la erosión, pueden agruparse en tres aspectos, según Morgan, 1979: a) energía, b) resistencia, c) protección. El grupo de energía incluye la capacidad potencial de la lluvia, escurrimiento y viento para causar erosión (erosividad). La cantidad de pérdida del suelo está relacionada con la lluvia, a través del golpeteo de las gotas sobre la superficie y particularmente a través de la contribución de la lluvia en el escurrimiento.

Sin embargo, para los fines del presente trabajo, lo que más interesa es el grupo de resistencia (erodibilidad),

definida como la resistencia que presenta el suelo a la disgregación y el transporte del material que lo constituye. Aunque sabido es que la resistencia del suelo a la erosión depende (parcialmente) de la posición topográfica, pendiente y degradación por el hombre, las propiedades del suelo son las más importantes. La erodibilidad varía con la textura del suelo, estabilidad de agregados, resistencia al corte, capacidad de infiltración, contenido de materia orgánica y características químicas del suelo.

Las partículas más grandes son menos resistentes a la disgregación debido a su falta de cohesión; los suelos con un mayor contenido de arcilla, más de 30%, son también más resistentes a la erosión. (Evans in Morgan, 1979).

El uso del contenido de arcilla como un indicador de la erodibilidad, es teóricamente más satisfactorio debido a que la fracción arcillosa constantemente está asociada con la materia orgánica en la formación de agregados del suelo; es precisamente esta estabilidad la que determina la resistencia del suelo. Asimismo, suelos con un alto contenido de bases minerales, generalmente son más estables, ya que contribuyen a la unión de los agregados. La estabilidad depende también del tipo de arcilla mineral presente en el suelo; por ejemplo, la illita y montmorillonita forman más fácilmente agregados, pero debido a que la estructura de la celdilla es más abierta, y debido también a la expansión y contracción, que les es característica, proporcionan menos estabilidad que aquéllos formados por caolinita.

La resistencia al corte del suelo es una medida de la

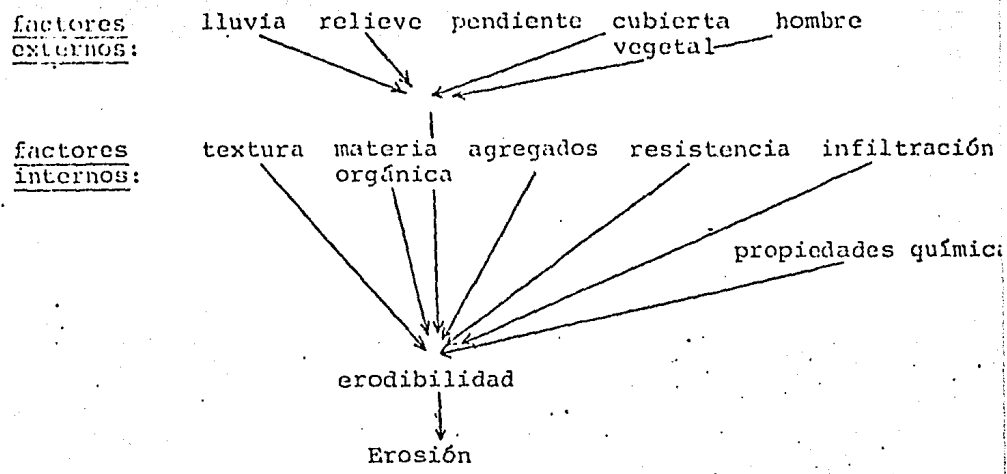
falta de cohesión y resistencia a las fuerzas de corte. Aunque esto tiene relevancia sólo para la respuesta del suelo al impacto o a la fricción de los escurrimientos, es más útil como un indicador del movimiento potencial de la masa.

La capacidad de infiltración es definida como la cantidad máxima de agua que el suelo puede absorber. Esta característica está determinada por el tamaño y estabilidad de los poros y los horizontes del perfil. Suelos con agregados estables, mantienen sus espacios porosos mejor, mientras que los suelos con arcillas expansibles que son inestables con la humedad, tienden a capacidades de infiltración bajas.

Los constituyentes orgánicos y minerales del suelo son importantes debido a su influencia directa en la estabilidad de los agregados. Suelos con menos del 2% de materia orgánica pueden ser considerados como más fácilmente erosionables (Evans in Morgan, 1979).

Se han propuesto varios índices de erodibilidad para determinar una evaluación práctica y confiable de la resistencia de un suelo a la erosión; el índice más comúnmente usado, es la determinación del valor K, que representa la pérdida potencial del suelo por unidad de  $E_{130}$ , como medida en el campo, realizada en un terreno desnudo, de 22 m de longitud y con 5° de pendiente. Esta medida del valor K puede hacerse con base en la textura, contenido de materia orgánica, estructura y permeabilidad. (Wischmeier, Johnson y Cross, 1971), Fig. 10.1 y Tablas 10.3 y 10.4.

Los factores que causan la erosión pueden resumirse así:



#### 4.2.4.1.6 Riesgo de inundación

En épocas de inundación, se crean condiciones desfavorables para el crecimiento normal de la caña de azúcar. Los efectos desfavorables por el exceso de humedad en las plantas aumentan por su pobre aireación quedando sus raíces no sólo desprovistas de oxígeno, sino también decreciendo considerablemente la actividad bacteriana favorable, como la nitrificación, fijación de nitrógeno y amonificación, así como cambios bioquímicos adversos (Humbert, 1968).

Por otro lado, los nutrientes disueltos son lixiviados y perdidos, esto significa un posible desplazamiento descendente hacia un horizonte inferior, donde en ocasiones, los nutrientes pueden ser luego utilizados por las raíces que logran penetrar hasta esas profundidades; en suelos de textura gruesa, los nutrientes se pierden para las raíces por lixiviación.

Las lluvias excesivas producen suelos anegados en áreas

planas y bajas; estas tierras son potencialmente productivas, pero debido a que, de manera impredecible, permanecen inundadas durante intervalos que van de horas a días, rinden solamente parte de lo que podrían producir.

La acumulación excesiva de agua en la superficie puede ser el resultado de la combinación de varios factores, tales como lluvia excesiva, geoforma, drenaje impedido, nivel alto de la capa freática, baja velocidad de infiltración o baja conductividad del suelo.

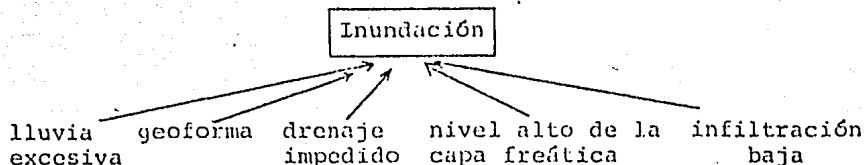
Algunas plantas toleran diferentes períodos de inundación. La tolerancia de los cultivos a condiciones temporales de nivel freático alto depende de muchos factores, tales como especies de plantas, etapa de desarrollo, condiciones del medio ambiente, nivel de fertilidad, posición anterior del nivel freático, etc.

Es importante conocer las características fisiológicas de las plantas para poder diseñar sistemas adecuados de drenaje; la duración de la tolerancia indica la velocidad necesaria para drenar un suelo inundado que tenga una cosecha determinada (Young, 1976).

El riesgo de inundación es una variable externa (Fig. 3.1) que depende fundamentalmente del exceso de precipitaciones. Este riesgo se refiere principalmente a las márgenes de los ríos Tesechoacán en San Juan Evangelista y Playa Vicente, en algunas microrregiones de la zona de Playa Vicente, especialmente en los pequeños valles que se forman en la zona monticular y en las pequeñas depresiones que se forman desde la población de Lealtad de Muñoz hasta la meseta de Abasolo.

Los factores que favorecen la inundación pueden resu-

mirse de la siguiente manera;



#### 4.2.4.2 Variables de categoría 3

##### 4.2.4.2.1 Drenaje

El drenaje de un perfil del suelo está afectado por el drenaje del área; éste se refiere a la frecuencia con que el sitio es afectado por la capa freática, así como por la capacidad del área para remover el exceso de agua a través de la superficie del terreno. El drenaje del perfil del suelo o drenaje interno es la capacidad que tiene el perfil para remover el exceso de agua verticalmente; este tipo de drenaje es frecuentemente afectado por la permeabilidad de los horizontes o por el material parental.

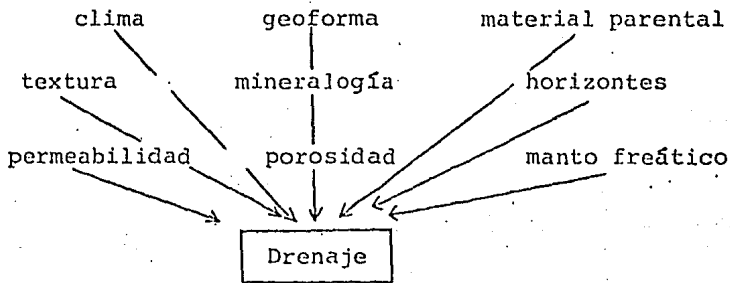
Los suelos de las partes bajas presentan con cierta frecuencia perfiles con drenaje impedido, como resultado de las texturas finas. Por el contrario, suelos con drenaje libre (rápido), se asocian con texturas gruesas donde el exceso de agua se drena a través del perfil, estando sujetos a un fuerte lavado. Esto es dependiente de la permeabilidad que, a la vez, es una función de la textura y del tipo de arcilla mineral presente.

El drenaje está relacionado íntimamente con la aireación del suelo, intercambio de gases entre las atmósferas del aire y del suelo, para proveer de un medio ambiente favorable

para el crecimiento de las raíces y de la actividad microbiana. Si los espacios de los poros son ocupados por el agua, este intercambio no podrá llevarse a cabo, la descomposición de la materia orgánica se retardará y se decrementará el nivel de mineralización del nitrógeno orgánico.

Por otra parte, los suelos húmedos se compactan más fácilmente por efectos de la traficabilidad. Estos efectos de compactación incrementan la densidad aparente del suelo, que a la vez se traduce en un desarrollo menor de las raíces, debido al uso de la maquinaria, y en una disminución del oxígeno en el suelo (Buckman y Brady, 1970).

Las características del suelo asociadas con el drenaje se pueden resumir así:



#### 4.2.4.2.2 Permeabilidad

La permeabilidad determina la cantidad de agua o de aire que el suelo puede conducir. La cantidad del flujo saturado, es controlada por el tamaño y continuidad de estos espacios, y por lo tanto, por el tamaño, forma y porosidad de la estructura. El comportamiento del agua del suelo dentro de la estructura está influenciado por la distribución del tamaño de las partículas y la textura, debido a que los suelos areno-



Los tienen poros grandes por los que circula el agua rápidamente, mientras que los suelos arcillosos la conducen lentamente debido a que los poros finos comprimen gran parte del total del espacio poroso.

El diseño de un drenaje depende de la permeabilidad de los horizontes del suelo; esta cualidad, generalmente, se evalúa a través de la textura, estructura y porosidad. El drenaje de campo se relaciona con las series de los suelos; las clases se definen por la frecuencia, duración y nivel de inundación en los perfiles, usando una combinación de observaciones de campo y mediciones del nivel del agua. Este método se usa para establecer el régimen de humedad de las series, así como para establecer la característica mínima permeable del horizonte arriba del cual ocurren problemas de drenaje (Winter, 1974).

La finalidad de un diseño de drenaje no es sólo para mejorar la aireación (que tiene un efecto directo en el desarrollo más profundo de la raíz en el subsuelo), sino también para mejorar las condiciones de humedad en la superficie, que a la vez pueden beneficiar las condiciones de labranza.

Las características del suelo que influyen en la permeabilidad pueden resumirse así:

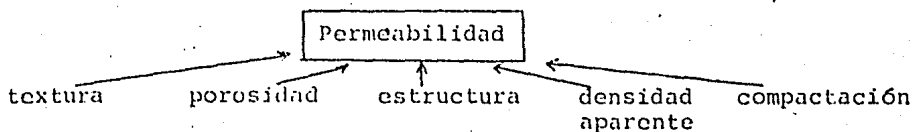


TABLA 4.3 RELACION DE LA TEXTURA, DENSIDAD APARENTE Y POROSIDAD CON RESPECTO A LA PERMEABILIDAD EN ALGUNOS DE LOS PERFILES MUESTREADOS.

Perfil	Prof. (cm)	Textura (%)		Drenaje	Porosidad (%)	Permeabilidad (cm/h)
		arena	arcilla			
429	0-50	66	14	drenado	58	8.03
(SJE)	50-60	27	6	drenado	62	1.29
	60-70	22	11	drenado	56	1.39
	70-120	20	14	drenado	54	0.53
333	0-35	48	23	imp.drenado	62	10.88
(PV)	35-95	63	17	drenado	64	17.20
100	0-15	52	8	drenado	59	1.36
(PV)	15-150	48	13	imp.drenado	56	0.73

#### 4.2.4.2.3 Porosidad

El espacio aéreo influye en la difusividad del aire en el suelo y, por lo tanto, en la aireación de las raíces; se calcula mediante la siguiente fórmula:

espacio aéreo = porosidad total - humedad volumétrica:

$$Ea = \left( 1 - \frac{Pa}{ps} - \frac{Hg Pa}{100 Pag} \right)$$

Hg = humedad gravimétrica en porcentaje

Ea = razón del espacio aéreo

Pag = densidad del agua

La aireación del suelo afecta no solamente el desarrollo de las raíces de la caña de azúcar, sino también a la asimilación de nutrimentos. El mayor efecto de una buena aireación se deja sentir en el aumento de la absorción del potasio, seguido en orden decreciente del nitrógeno, fósforo, calcio y

magnesio (Humbert, 1968).

Suelos que originalmente fueron altos en contenidos en materia orgánica, producen con frecuencia una reducción de los espacios grandes o macroporos. La cantidad de macroporos tan necesarios para un movimiento adecuado de agua y aire, queda reducido al ser cultivado. Asimismo, la disminución en el tamaño de los poros está relacionada con una reducción en el contenido de materia orgánica.

EFFECTO DE DOS DIFERENTES USOS DEL SUELO SOBRE EL ESPACIO TOTAL DE LOS POROS EN ALGUNOS PERFILES (1)

PERFIL	PROFUNDIDAD cm	USO DEL SUELO	MATERIA ORGA- NICA %	POROSIDAD %
307 (PV)	0-25	pastizal	1.07	56
	25-45		1.08	63
	45-65		1.08	58
	65-130		1.12	54
322 (PV)	0-25/30	pastizal	4.42	53
	25/30-70		1.60	44
	70-100		0.54	38
	100-130		0.27	46
10 (SJE)	0-50	vegetación secundaria	2.01	49
	50-80		0.67	51
	80-120		0.80	55
	120-160		0.54	61

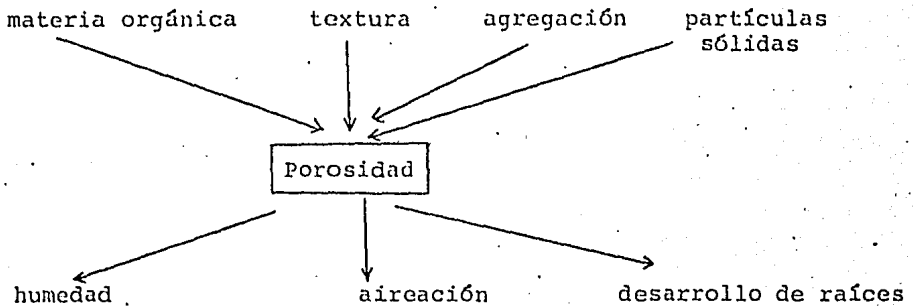
Tabla 4.4

(1) Perfiles correspondientes a la misma clase pero bajo diferentes uso del suelo.

La cantidad de espacios porosos está determinada en su mayor parte por la colocación de las partículas sólidas; cuando éstas tienden a ligarse entre sí, como sucede en los suelos compactos, la porosidad total resultante es baja; en cambio, si

se constituyen en agregados porosos, como sucede en el caso frecuente de una textura media, con altos contenidos de materia orgánica, el espacio de los poros será más elevado por unidad de volumen.

La correlación de la porosidad con otras propiedades del suelo puede generalizarse así:



#### 4.2.4.2.4 Densidad aparente

El suelo es un cuerpo polifásico que constituye un reservorio de agua y aire.

La densidad aparente del suelo es la relación entre la masa de las partículas del suelo y el volumen total, incluyendo el espacio poroso que ocupan; éste está ocupado por cantidades variables de agua y aire; por lo tanto, el espacio poroso está constituido por todo el volumen aparente no ocupado por la fase sólida (Baver et al, 1972).

$$\text{Densidad aparente} = \frac{\text{Masa del suelo}}{\text{Volumen aparente del suelo}} = \text{g/cm}^3$$

Algunas características del suelo en relación a la densidad aparente:

Texturas más finas	=	Volumen de poros más grande
Estructuras más finas	=	densidad aparente menor
Suelos sueltos y porosos	=	densidad aparente menor
Suelos más compactos	=	densidad aparente alta
Subsuelos compactos	=	densidad aparente alta
Suelos no cultivados	=	densidad aparente baja o media
Marga arcillosa o limosa	=	densidad aparente baja o media

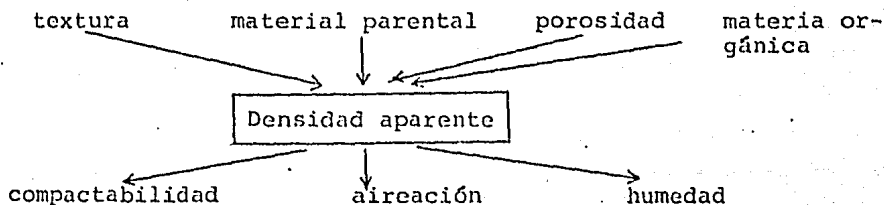
La densidad aparente se correlaciona estrechamente con las siguientes características (Forsythe, 1975).

- a) Transforma los porcentajes de humedad gravimétrica del suelo en términos de humedad volumétrica, pudiéndose calcular la lámina de agua del suelo.
- b) Calcula la porosidad total de un suelo cuando se conoce la densidad de las partículas.
- c) Estima el grado de compactación del suelo por medio del cálculo de la porosidad.

Los suelos sueltos y porosos tienen pesos por unidad de volumen bajos, mientras que los suelos con partículas de arena, tienen altos valores; la relativa poca materia orgánica de los suelos arenosos favorece las altas densidades aparentes, como puede apreciarse en muchos de los suelos de San Juan Evangelista, en donde los suelos arenosos, o areno-migajosos de origen aluvial, tienen densidades que varían de 1.30 a 1.58.

En cambio, las partículas de superficie fina, como los suelos de textura migajón arcillosa derivadas de lutitas o de algunos suelos con propiedades vérticas (1.01-1.04) o suelos de textura migajón arenosa (1.07-1.37), como sucede en algunos lugares en el área de Playa Vicente, están relativamente bien granulados, debido a sus adecuados contenidos de materia orgánica, como sucede en el perfil 270, que tiene una densidad aparente en la capa superficial de 1.01 y con un contenido de materia orgánica de 5.46%. La granulación tiende hacia una forma mullida, condición porosa que se traduce en valores bajos de densidad, en relación a los mencionados en San Juan Evangelista.

La densidad aparente puede esquematizarse de la siguiente manera:



#### 4.2.4.2.5 Materia orgánica

La materia orgánica ejerce gran influencia sobre las propiedades físicas del suelo tales como: estructura, penetración, retención de agua, etc. En los procesos de descomposición de la materia orgánica, sustancias como los compuestos urónicos, junto con las gomas y resinas, son los agentes que unen las partículas del suelo para formar agregados, (Millar et al, 1971).

La materia orgánica, junto con la arcilla, tienen muchas propiedades coloidales, valiosas para el suelo. Tiene alta capacidad de intercambio y participa en las reacciones de intercambio tanto de aniones como de cationes; es un regulador coloidal que aglutina los suelos arenosos para formar agregados y ablanda los suelos arcillosos macizos para formar agregados convenientes. Por regla general, mejora las características de retención del agua, beneficiando además, la capacidad de infiltración y el drenaje. Las condiciones de aireación de los suelos con contenidos altos de materia orgánica, son mayores que las de los suelos pobres; tampoco se vuelven compactos tan fácilmente con la labranza y otras labores.

El contenido de la materia orgánica en los horizontes superficiales causa efectos directos en las características de plasticidad debido, aparentemente, a la oxidación de la materia orgánica con el peróxido de hidrógeno (Baver, 1930).

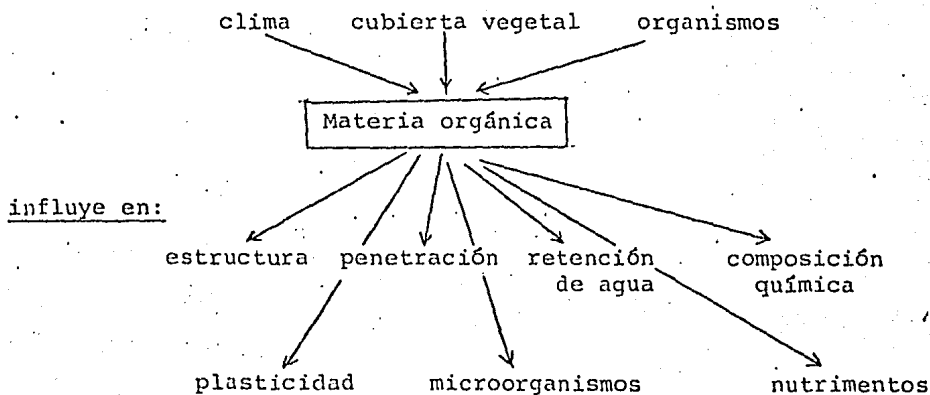
La incorporación de materia orgánica al suelo trae como consecuencia una intensa actividad microbiana; los microorganismos son materia orgánica, como fuente de energía, carecen de efectividad para producir la agregación del suelo. Los organismos fúngicos así como los actinomicetos, producen micelios; los procesos metabólicos de los microorganismos sintetizan a las moléculas orgánicas complejas; los productos de descomposición de la ruptura de las materias orgánicas son incorporados al suelo; el resultado es la producción de agregados estables en el suelo (Richarda, 1974).

Por otro lado, la textura también puede influir en el contenido de humas y de nitrógeno, por ejemplo, un suelo arc-

no contiene menos materia orgánica y nitrógeno que otro de textura fina, debido probablemente al menor contenido de humedad y a la más rápida oxidación que existe en los suelos ligeros. Los suelos pobremente drenados, a causa de su alto contenido de humedad y baja aireación, generalmente son más ricos en materia orgánica y nitrógeno que sus equivalentes mejor drenados.

Todas las influencias están unidas entre sí y son interdependientes, son difíciles de valorar individualmente; sin embargo, colectivamente determinan el nivel de estabilidad de los suelos, (Buckman y Brady, 1970)...

influida por:



#### 4.2.4.2.6 Intercambio catiónico y saturación de bases

El intercambio catiónico total es la suma de los iones  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$  intercambiables absorbidos sobre las superficies de los complejos arcilla-humus. En suelos fuertemente ácidos, algunos de los sitios de intercambio pueden ser ocupados por iones de  $\text{Fe}^{3+}$ , que generalmente quedan excluidos



del total de iones intercambiables (Cajuste, 1977).

La saturación de bases es el total de bases intercambiables, dividido por la capacidad de intercambio catiónico, expresado en por ciento.

Se ha demostrado que la capacidad de intercambio catiónico en suelos ricos en caolinita, haloisita y óxidos de hierro y aluminio tienen una interdependencia con el pH. Los valores dados para capacidades de intercambio catiónico de muchos suelos tropicales están por encima de la fuerza de retención catiónica del suelo bajo condiciones naturales. Los suelos con bajos valores aparentes de saturación de bases en suelos fuertemente ácidos son en parte, consecuencia de valores artificiales altos en la capacidad de intercambio catiónico determinados de manera convencional. (Young, 1976).

Los términos de capacidad de intercambio catiónico y saturación de bases se usan para referir más correctamente la capacidad de intercambio catiónico aparente y saturación aparente.

La capacidad de intercambio y el porcentaje de saturación de bases, son útiles como indicadores de los procesos de formación del suelo, así como en las características de diferenciación entre los tipos de suelos.

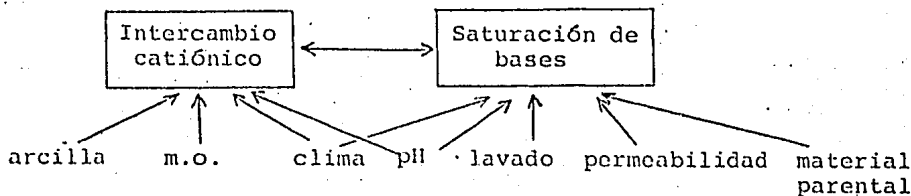
Los porcentajes de saturación de bases indican la intensidad del lavado que sufre un suelo, dato que es muy útil en la diferenciación de parámetros entre los tipos de suelos de los trópicos húmedos. En regiones templadas, la saturación aparente de bases frecuentemente es menor del 15%. A pH de 5.0-6.0 corresponde aproximadamente a un rango del 25 al 75%;

a pH de 7 indica un 100% de saturación, mientras que con una reacción alcalina aparece el carbonato de calcio libre (Young, 1976).

Los valores de saturación son dependientes primeramente de la intensidad del lavado, y por lo tanto, del drenaje y de la permeabilidad; también hay un efecto pequeño del material parental; la saturación se hace más alta en suelos derivados de rocas básicas y en aquéllos que cuentan con una reserva de minerales intemperizados dentro de la zona radicular (Millar et al, 1971).

La capacidad de intercambio catiónico y la saturación son indicativos del tipo de mineral arcilloso y de la intensidad del lavado respectivamente; sin embargo, los valores totales de bases intercambiables son de menor valor edáfico; en contraste, las cantidades de bases individuales son de importancia agrícola (Young, 1976).

Las interacciones con otras propiedades del suelo pueden esquematizarse así:



#### 4.2.4.2.7 Salinidad y/o sodicidad

El origen de los elementos principales que pueden formar las sales solubles en los suelos, provienen frecuentemente de los minerales primarios de la corteza terrestre.

Los suelos salinos y sódicos se definen como aquéllos que contienen suficientes sales solubles o sodio intercambiable

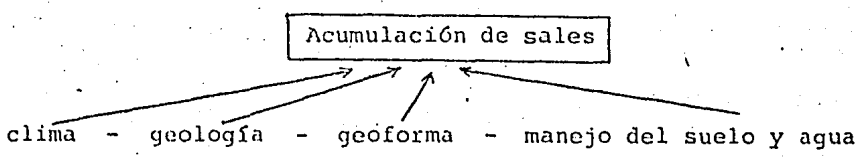
o con un pH suficientemente alto para afectar su productividad (Millar et al, 1971).

En zonas tropicales, en ocasiones existe una acumulación natural de sales por la evaporación de aguas salinas en aluviones marinos, aunque no ocupan áreas muy extensas (Young, 1976).

La calidad del agua, las prácticas de riego y las condiciones de drenaje, así como la evapotranspiración y el relieve, son aspectos importantes en la concentración de sales en el suelo.

El desarrollo de la planta es una función del esfuerzo total de la humedad del suelo, que a la vez está representado por la suma de la tensión de humedad y de la presión osmótica de la solución del suelo (Richards, 1954).

En la zona de estudio no se detectaron limitantes por salinidad y/o sodicidad, debido más que nada a la alta precipitación que prevalece (2,020.2 mm en Playa Vicente y 1,309 mm en San Juan Evangelista).



#### 4.2.4.3 Variables de categoría 4

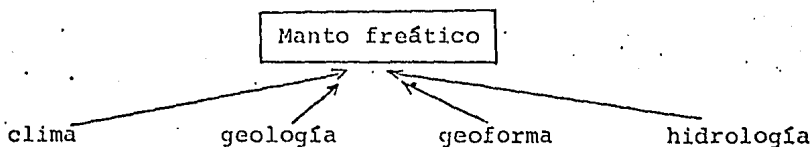
##### 4.2.4.3.1 Manto freático

La profundidad, el movimiento y las tendencias cíclicas de la capa freática, determinan o afectan la selección de las dimensiones del drenaje; por ejemplo, las investigaciones

del movimiento subterráneo y las líneas de flujo indican los puntos en donde la infiltración puede interceptarse de manera ventajosa.

La profundidad de la capa freática determina el espesor del suelo en que se puede desarrollar el sistema radicular de la caña: el mínimo tolerable para los campos cañeros es de 45 cm, según la experiencia del Hawaii; pero, para lograr rendimientos razonablemente buenos se requiere que el nivel del espejo del agua subterránea nunca sobrepase de 60 cm abajo del nivel del suelo en cualquier estación del año (Humbert, 1968).

La presencia de esta característica en el subsuelo puede llegar a ser una seria limitante cuya severidad está regida por la siguiente relación:



#### 4.2.4.3.2 Traficabilidad

El efecto del tráfico en el suelo se traduce en un incremento en su densidad.

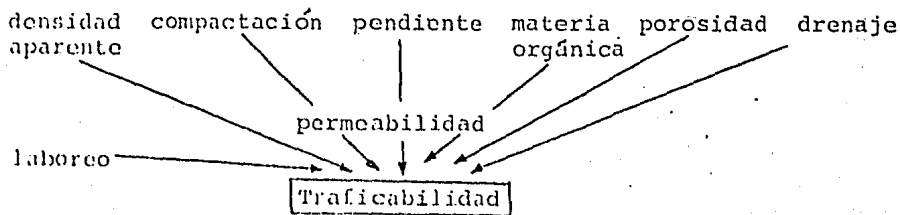
Debido a que el efecto del tráfico está muy relacionado con los espacios de aire más grandes por llenar, la medición de la densidad puede dar una indicación de compactación. Esta última característica destruye los poros más grandes, llenándolos parcialmente con partículas sólidas. El laboreo del suelo origina alteraciones físicas en los mismos. Este tipo de compactación origina una restricción en la infiltración

y en el desarrollo de la raíz. La profundidad de los efectos de la compactación se incrementa en función al suelo suelto inicial y al contenido de humedad. La máxima compactación ocurre en contenidos de humedad cercanos al límite plástico, que es cercano a la condición óptima para la labranza (Mackney, 1974).

Cuando se trabajan las tierras bajo condiciones desfavorables de humedad, la compactación del suelo no se hace esperar; este efecto, debido al paso de vehículos o animales, produce horizontes de alta densidad, limitando un desarrollo adecuado de las raíces. La compactación afecta el drenaje a través de una alteración en la infiltración de manera que incrementan la cantidad de escurrimiento y por lo tanto, el riesgo de erosión (Davies, 1977).

El subsuelo, en cualquier caso, necesita ser lo suficientemente fuerte para prevenir daños por la maquinaria; por esto, los suelos con horizontes con baja permeabilidad debajo de la capa arable (generalmente arcillas), no están en condiciones de laboreo, necesitando para ello, trabajos de subsoleo (Davies et al, 1977).

Causada por:



afecta a:

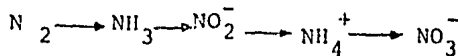
porosidad estructura resistencia infiltración

#### 4.2.4.3.3 Nitrógeno

El nitrógeno es el nutrimento que más frecuentemente presenta deficiencias en los trópicos; en climas húmedos, la falta de nitrógeno es la causa más importante en los rendimientos bajos. En la práctica, la pérdida de nitratos está considerablemente influida no solo por el régimen pluviométrico, sino también por las prácticas agrícolas. En las regiones húmedas la pérdida es máxima con el barbecho que en ocasiones llega a causar el agotamiento de los suelos. (Demolón, 1965). Los componentes orgánicos del nitrógeno son usados como fuentes de nitrógeno por aquellos organismos que los descomponen para producir amonio (Richards, 1974).

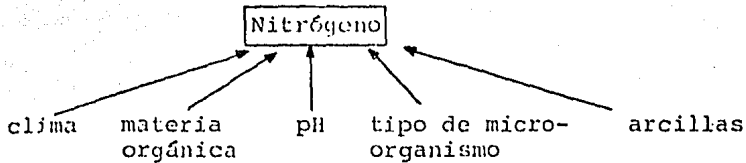
Una práctica muy extendida en las zonas de estudio, es la quema de la vegetación antes del inicio de un cultivo; el nitrógeno, en estas circunstancias se pierde hacia la atmósfera, mientras que otros nutrimentos son retenidos en las cenizas.

El nitrógeno en forma orgánica, como constituyente del humus, no está disponible para las plantas y debe ser convertido primero en forma mineral disponible (mineralización) por hongos y bacterias.



El nitrato es la forma en que el nitrógeno es aprovechado principalmente por las plantas; aunque en esta forma es muy soluble y rápidamente se pierde por lixiviación. (Young, 1976).

La acumulación del nitrógeno en el suelo se debe principalmente a los siguientes factores:



#### 4.2.4.3.4 Fósforo

El fósforo es también un elemento esencial para el desarrollo normal de una planta, está presente en el suelo en más pequeñas cantidades que el nitrógeno. Se encuentra en el suelo tanto en forma orgánica como inorgánica. La deficiencia del fósforo restringe el crecimiento de la raíz con su consiguiente efecto negativo en el desarrollo de la planta. (Buckman y Brady, 1970).

Los dos problemas principales en proveer a las plantas con fósforo son, el mantener el abastecimiento en la solución del suelo y prevenir la fijación en formas no asimilables. Para poder ser absorbido por la raíz, el fósforo debe estar presente en la forma de anión fosfato.

Algunos datos de fósforo disponible sólo dan aproximaciones muy generales en cuanto a la verdadera disponibilidad del fósforo para las plantas. Este elemento constituye una de las características del suelo más cambiante, con un coeficiente de variación dentro de una pequeña región hasta del 50%. (Young, 1976).

En las regiones tropicales, el fósforo disponible está

concentrado por debajo de los horizontes superficiales.

La fijación de fosfatos se refiere al proceso en el que el fósforo se combina con otros elementos, principalmente hierro, formando componentes de muy baja solubilidad. La fijación es mayor bajo condiciones muy ácidas y en suelos ricos en hierro y aluminio, como sucede en algunas áreas de estudio (Cajuste, 1977).

Tabla 4.5 RELACIONES DE LOS PRINCIPALES CARACTERISTICAS QUIMICAS DE PERFILES REPRESENTATIVOS DE LA ZONA DE ESTUDIO

Perfil	Prof (cm)	P. O.	C.I.C.T. meq./100 g.	Nitrógeno total	Fósforo asimilable
33 A (SJE)	0-4	0.95	8.23	0.22	5.4
	40-9	0.25	9.85	0.11	1.0
	95-1	0.67	14.94	0.12	1.3
223 (PV)	0-1	0.39	12.25	0.21	3.1
	28-0	0.43	6.63	0.16	1.9
	65-1	0.56	6.53	0.23	5.4

La Comisión Nacional de Fertilizantes (CONAFERT) y la Industria Azucarera a través del IMPA (1980) han recomendado dosis de fertilizantes para los ingenios del país basándose en resultados experimentales. En los ingenios cercanos a la zona de estudio, que son los de Cuatolapam y Adolfo Mateos, se recomiendan las fórmulas 120-60-60 y 120-60-60 (kg x ha) respectivamente, siendo en ambos casos temporales en un 100%.

4.2.4.4 Variables de la categoría 5

4.2.4.4.1 Potasio

El potasio está presente en los suelos en mayores cantidades que el fósforo y el nitrógeno, y es menos frecuente su deficiencia que en la zona de estudio sufre un fuerte



lavado de sus suelos por las altas precipitaciones, la concentración del  $K^+$  en la solución del suelo es relativamente baja.

La fuente primaria de potasio en los suelos proviene de la intemperización de los feldspatos y micas que a la vez pueden contribuir marcadamente en el ciclo del potasio. Cuando los minerales intemperizados están ausentes, el abastecimiento proviene de la descomposición de la materia orgánica o de las cenizas de la quema de la vegetación.

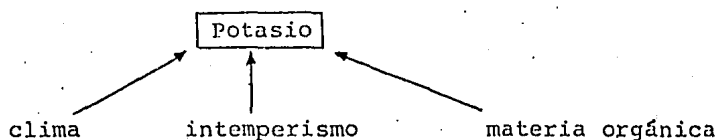


Tabla 4.6 NIVELES GENERALES DE MACRONUTRIMENTOS EN SUELOS TROPICALES (Young, 1976).

Nutrimiento	Unidad	Bajo	Medio	Alto
Nitrógeno	%	0.1	0.1 - 0.2	>0.2
Fósforo disponible	p.p.m.	10	10 - 40	> 40
Potasio intercambiable	me/100 g	0.2	0.2 - 0.4	>0.4

Esta variable fue eliminada del análisis estadístico debido al escaso peso en la correlación del sistema de flujo.

#### 4.2.4.4.2 Micronutrientes

Los macronutrientes son necesarios para las plantas en cantidades relativamente grandes. Los micronutrientes son también necesarios para las plantas pero en pequeñas cantidades, y su deficiencia no es constante. Los elementos trazas

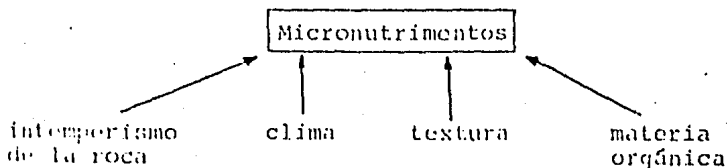
son requeridos por las plantas en pequeñísimas partes.

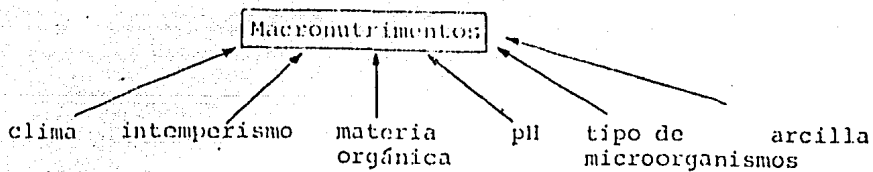
Los niveles de nutrimentos que son adecuados para los cultivos, dependen de muchos factores, especialmente tipo de cultivo, variedad de semilla, clima y textura. No obstante, puede mencionarse una base que permita tener una idea de los niveles generales de los macronutrimentos en suelos tropicales. Los valores bajos indican que es probable la respuesta del fertilizante; el nivel medio significa que puede esperarse una respuesta, y el alto, que la respuesta puede ser improbable. Estos valores sólo son generales y tienen que ajustarse a los cultivos y regiones; Tabla 4.6 (Young, 1976).

La roca intemperizada provee del abastecimiento de nutrimentos de manera lenta pero continua, siendo el principal abastecedor en el ciclo suelo-planta. En suelos tropicales, la presencia de un abastecimiento a partir de minerales intemperizados hacia el sistema radicular tiene un efecto altamente benéfico en la fertilidad del suelo.

Un contenido excesivo de algún elemento puede alterar el balance de nutrimentos y puede inhibirse la absorción de la planta de otro elemento (Cajuste, 1977).

Los factores principales que influyen en la fertilidad potencial de un suelo puede resumirse de la siguiente manera:





Esta variable fue eliminada en las etapas posteriores.

SEGUNDA PARTE

CAPITULO 5

EL MEDIO AMBIENTE

PLAYA VICENTE, VER.

## 5. EL MEDIO AMBIENTE

### 5.1. Antecedentes

Hasta aquí se han expuesto los fundamentos de lo que es el método paramétrico, el modelo de flujo y las variables involucradas en el estudio.

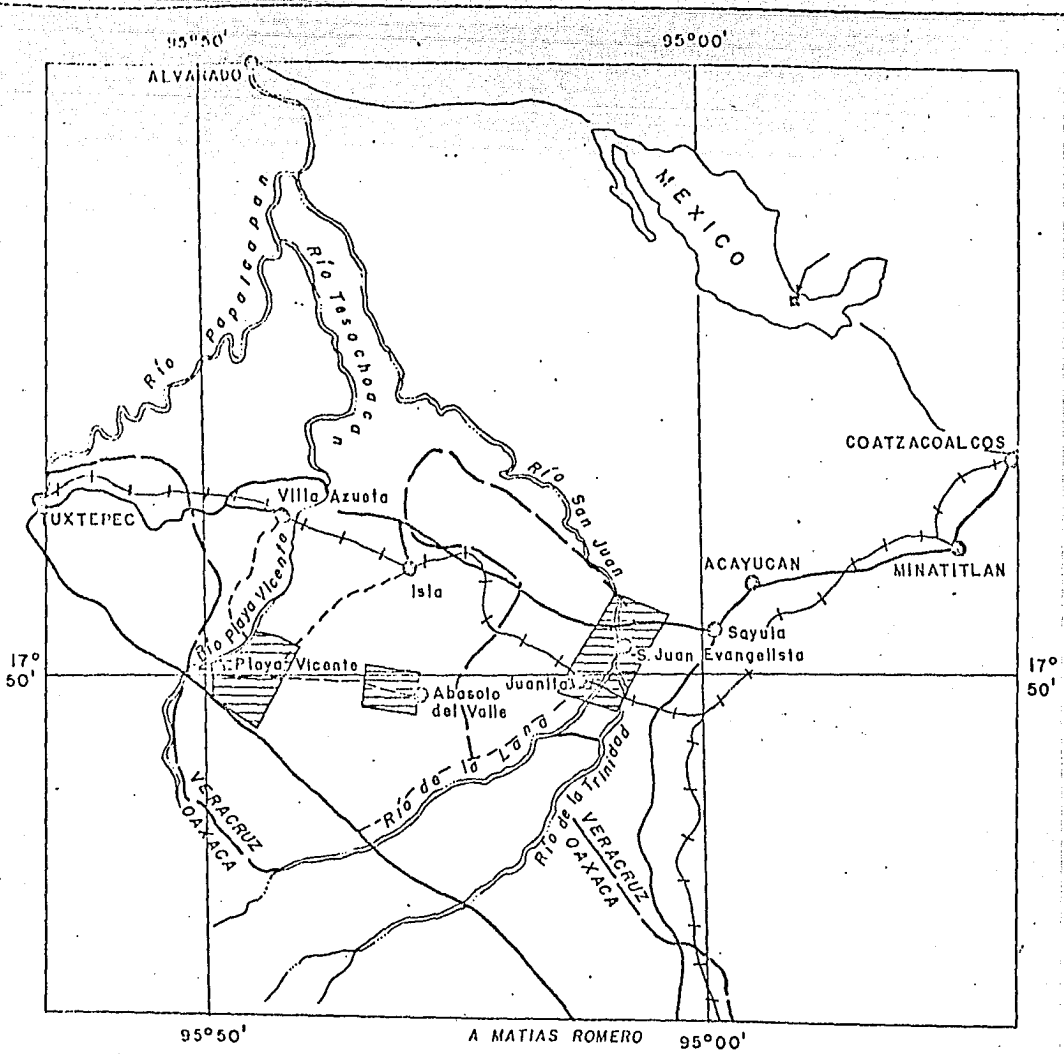
Para probar las bondades del método paramétrico es necesario la aplicación de un ejemplo práctico que permita evaluar su funcionamiento. Para ello, se escogieron dos diferentes regiones que sirvieran como testigos del método. La siguiente etapa consistió en hacer un análisis general del medio ambiente para entender cómo y de qué manera va a funcionar la metodología paramétrica. La descripción que se hace del medio ambiente no es completa, sino que se han tomado en cuenta a aquellos factores físicos ambientales conectados directamente con la aptitud de las tierras.

En capítulos separados se hacen las descripciones generales del medio ambiente de Playa Vicente y San Juan Eyangelista, Ver.

### 5.2 Descripción general de la zona de Playa Vicente, Ver.

La zona de estudio se localiza entre las latitudes 17°43' y 18°00'norte y las longitudes 95°33'y 95°55'oeste. Se encuentra ubicada dentro del Municipio de Playa Vicente, perteneciente a la región sur del Estado de Veracruz que colinda a la vez, con el Estado de Oaxaca. (Fig. 5.1).

Está ubicada dentro de la cuenca del río Papaloapan que pertenece, en su parte baja, a la provincia fisiográfica de la llanura costera del Golfo de México. La altitud varía entre los

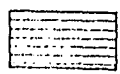


A MATIAS ROMERO

### MAPA DE LOCALIZACION DE LAS ZONAS DE ESTUDIO

#### LEYENDA

- Carretera pavimentada
- Camino de terracerío
- + -+ -+ Ferrocarril
- Límite estatal
- Población
- ~ Ríos



ZONA DE ESTUDIO

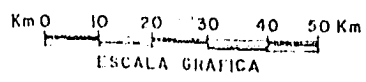


Fig. 5.1

150 y 300 m. La principal corriente que atraviesa la zona, es el río Playa Vicente formado por las confluencias de los ríos Manso y Cajones; aguas abajo, toma el nombre del río Tesechoacán, para unirse posteriormente al río Papaloapan. La zona de trabajo se encuentra ubicada en su totalidad en la margen derecha del río Playa Vicente.

La porción centro y norte está dominada por terrenos ondulados del Mioceno; en algunas porciones existen también depósitos aluviales del Reciente, especialmente a lo largo del río Playa Vicente.

Las mesetas localizadas en las regiones de Lealtad de Muñoz y de Abasolo del Valle, datan del Pleistoceno. La parte sur constituye una zona de transición entre los depósitos del Mioceno y Reciente, con los depósitos del Cretácico Inferior y Superior.

El clima de la zona es el Aw, tropical con lluvias predominantes en verano, con una precipitación media anual de 2,010.2 mm y una temperatura media anual de 25.8°C (García, 1964).

La vegetación natural está fuertemente perturbada, ya que la región estuvo cubierta inicialmente por selva alta perennifolia y selva baja subperennifolia. Actualmente se caracteriza por ser en su mayor parte una zona de pastos inducidos y de actividades agrícolas, especialmente maíz y frijol; en la meseta de Abasolo, el cultivo de la piña es de especial relevancia.

Las mesetas de Lealtad de Muñoz y Abasolo, se encuentran en su parte más alejada del poblado Playa Vicente, a 25 km en línea recta. La región está bien comunicada; la porción sur es atravesada por la carretera pavimentada que une a Tuxtepec con

Matías Romero y que, a través de un ramal, se comunica con la población de Playa Vicente; de aquí parte un camino de terracería, transitable todo el año y que se comunica con Lealtad de Muñoz y Abasolo del Valle.

### 5.3 Unidades geomórficas

Como ya se indicó, la zona de estudio se encuentra dentro de la unidad geomórfica conocida como Planicie Costera del Golfo de México. Los límites sur del área estudiada los forman las estratificaciones de la Sierra Madre Oriental mientras que el límite noreste está dado por los depósitos volcánicos de la sierra de los Tuxtlas; al poniente, el límite lo constituye el río Playa Vicente. Esta planicie es ondulada y se encuentra bajo un proceso erosivo de tipo hídrico. Toda el área se encuentra atravesada por numerosos arroyos que fluyen hacia el río Playa Vicente, que a su vez, constituyen afluentes del Papaloapan. Estas corrientes tienen un fuerte estiaje, siendo sus caudales mayores en verano y otoño. El río Playa Vicente tiene un recorrido sinuoso de SO a NE; en general se encuentra encajado 3 a 5 m abajo del nivel general de la planicie; la anchura del río varía de 500 m a 1 km y medio; está sujeto a frecuentes desbordamientos en épocas de lluvia, lo que afecta a las tierras agrícolas y ganaderas adyacentes.

Dentro del área de estudio se observan las siguientes unidades geomórficas.

#### 5.3.1 Zona aluvial reciente

La zona aluvial reciente es la parte más plana; constituye lo que es principalmente la zona de inundación a lo largo del



río; predominan los Fluvisoles de texturas medias a gruesas. La planicie de inundación tiene frecuentes meandros separados del cauce principal del río, por depósitos de material acarreado por las aguas durante las avenidas; estos meandros antiguos forman lagos de media luna que favorecen la formación de pantanos; en algunas ocasiones desaparecen dejando atrás suelos orgánicos.

La gran cantidad de meandros aislados en la planicie de inundación son testigos del cambio en el curso del río; estas áreas tienen suelos con problemas de hidromorfismo, sus texturas variadas de medias a gruesas, Figura 5.2.

### 5.3.2 Zona aluvial antigua

La zona aluvial antigua consiste en una área ondulada de material del Pleistoceno y Mioceno localizada al sur del poblado Playa Vicente, cercana al río del mismo nombre; cubre tierras desde la margen del río hasta varios kilómetros de la ribera. Los aluviones antiguos tienen variados suelos; algunos se caracterizan por tener horizontes plúnticos bien desarrollados o en proceso de desarrollo; además, tienen mayor contenido de arcilla en comparación con los aluviones recientes. Los suelos que se observan sobre estos depósitos antiguos, son Vertisoles en las partes bajas, y Cambisoles en las partes elevadas, donde el nivel freático es más bajo. En la zona de contacto entre los aluviones antiguos y recientes aparecen asociaciones de suelos que incluyen Fluvisoles, Vertisoles y Cambisoles. (Fig. 5.2).

### 5.3.3 Meseta de Abasolo

La zona de mesetas representa las áreas planas más antiguas del Cuaternario. Esta geoforma se localiza entre Lealtad de Muñoz y Abasco del Valle, consiste en pequeñas mesetas formadas de aluviones antiguos

# UNIDADES GEOMORFOLOGICAS EN EL AREA DE PLAYA VICENTE

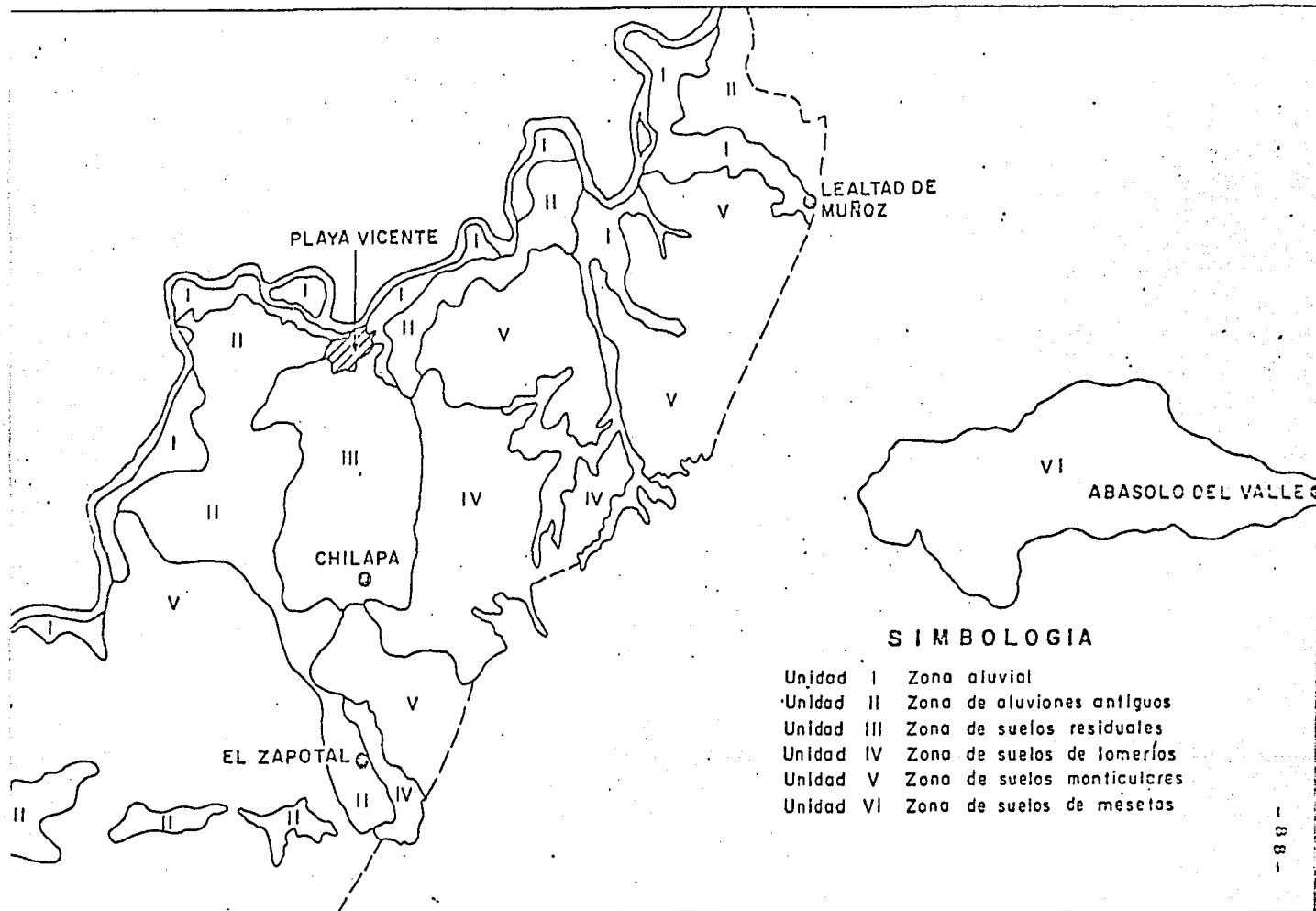
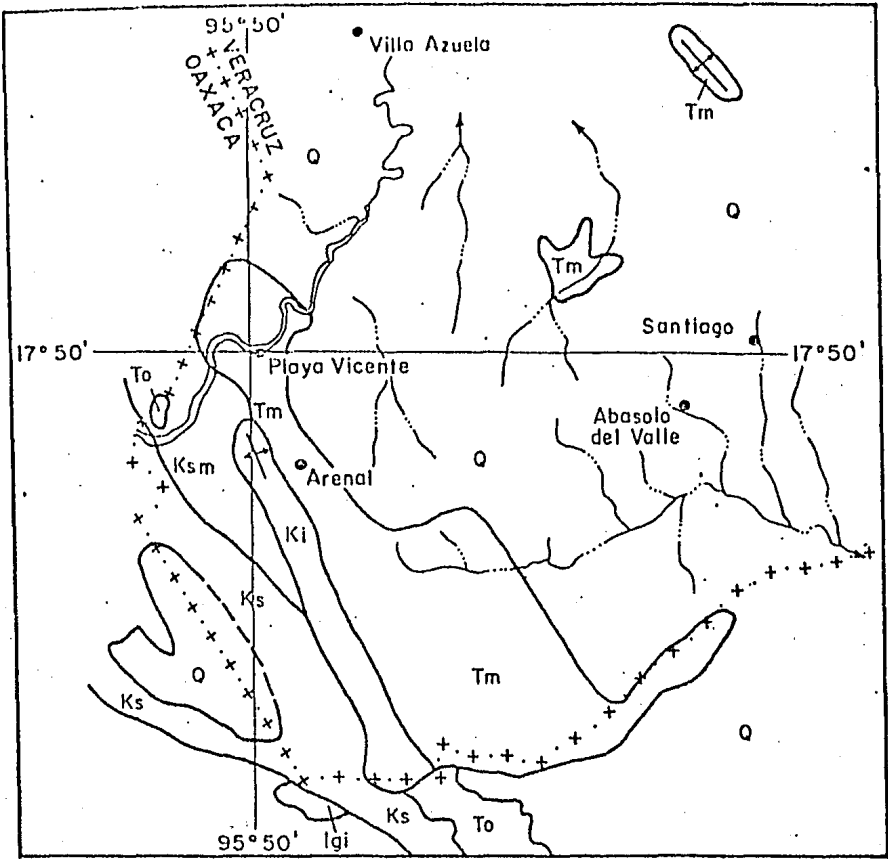


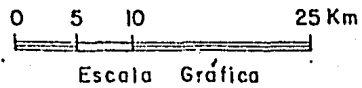
Fig. 5.2

# GEOLOGIA DE LA ZONA DE ESTUDIO



## LEYENDA

- Q Cuaternario
- Tm Mioceno
- To Oligoceno
- Ksm Cretácico Superior (For. Méndez)
- Ks Cretácico Superior
- Km Cretácico Medio
- Igi Igneas Intrusivas



Según la corta geológica del Edo. de Veracruz del Instituto de Geología de la U.N.A.M.

Fig.5.3

de color rojizo. La pendiente en las partes planas de las mesetas es entre 0 y 2%, mientras que la pendiente entre las mesetas y las cañadas es de 10-25%. La altura sobre el nivel del mar de estas mesetas oscila entre 100 y 150 m, mientras que el relieve relativo de las cañadas, es sólo entre 10 y 50 m. Estas geofor-  
mas de mesetas separadas por arroyos, sugieren un rejuvenecimiento del área en algún período geológico reciente. (Fig. 5.2).

#### 5.3.4 Zona de lomeríos

La zona ondulada de ligeros lomeríos se encuentra contigua a la zona de aluviones recientes y antiguos. Tiene algunas características similares a los aluviones antiguos, sólo que en esta área raramente se observa plintita. Los suelos son: Vertisoles en las partes bajas ocasionalmente inundables, y Cambisoles en las partes altas. La mayor parte de los suelos se encuentra sobre un material coluvial y en algunos casos aluvial. (Fig. 5.2).

#### 5.3.5 Zona de transición

La zona de lomeríos de transición, incluye la mayor parte del área sur de la zona de estudio. Consiste en una zona de lomeríos más pronunciados que los anteriores, lo que implica mayores pendientes y mayor erosión. Esta zona de lomeríos sirve de transición entre la llanura costera del Golfo de México en el norte, y la Sierra Madre Oriental en el sur, que está afuera de la zona de estudio. Los suelos que se observan son Vertisoles y Cambisoles, pero principalmente Luvisoles y, en algunos casos, Litosoles donde afloran las calizas del Cretácico. (Fig. 5.2).

#### 5.4 Suelos:

El río Playa Vicente juega un papel preponderante en la

génesis de los suelos, especialmente en la zona de aluviones, depósitos que se encuentran a lo largo del río. La porción centro y norte comprendida entre las poblaciones de Playa Vicente, Tomate Río Manso y las Cruces, se distingue por sus suelos de complejidad variada en los que se advierten principalmente, los derivados de areniscas y los de naturaleza vértica. Cerca de la población de El Zapotal, se encuentra una zona de transición en la que predomina material calcáreo. En las mesetas de Lealtad de Muñoz y de Abasolo del Valle en ocasiones existen acumulaciones de materiales ricos en hierro en forma de horizontes plínticos endurecidos.

Existe, por lo tanto, una variación considerable de las características de los suelos de la región, ya que van desde arcillas pesadas hasta arenas gruesas, teniendo presente además problemas inherentes con que van asociados, especialmente en lo referente a la retención de humedad. Los Grandes Grupos de suelos que se detectaron en esta etapa, fueron los siguientes:

i. Cambisoles: se localiza especialmente en la zona de lomeríos, entre las poblaciones de Playa Vicente y Chilapa, así como en algunas áreas de la región de Abasolo; estos suelos han desarrollado un horizonte B cámbico; generalmente son de textura mediana a gruesa y son de reducida fertilidad natural; los Cambisoles se encuentran asociados en los pequeños valles, a suelos con propiedades vérticas; la ganadería es el principal uso que se da a estos suelos.

ii. Luvisoles: se encuentran dispersos en la región de Playa Vicente, Abasolo del Valle y Lealtad de Muñoz; se caracterizan, entre otras cosas, por el desarrollo de un horizonte B

argílico; además, poseen un 35% o más de saturación de bases; son de baja a mediana fertilidad natural, se les utiliza para actividades ganaderas y agrícolas.

iii. Fluvisoles: corresponden a aquellos suelos formados a partir de aluviones recientes; se les localiza en terrazas aluviales del río Playa Vicente; en ocasiones, se presenta una microtopografía irregular que ocasiona problemas de drenaje peculiares que dan margen a la existencia de una mayor variedad de tipos de suelos, entre los que puede mencionarse, desde texturas limosas y franco-limosas, hasta las arcillosas, aspectos que van aunados a problemas de retención de humedad; estas áreas son las que sufren más los peligros de inundación; se destinan a actividades ganaderas, aunque en ocasiones también a la agricultura.

iv. Acrisoles: se localizan principalmente en la parte cercana a El Zapotal; generalmente son de textura media, debido al alto índice de lixiviación de las bases a través del perfil; se caracterizan por ser suelos de baja fertilidad natural; la ganadería es la principal actividad a la que destinan estos suelos.

v. Vertisoles: se caracterizan por ser de textura muy pesada desarrollando grietas cuando están secos; se localizan principalmente al oeste de la población de Playa Vicente y en áreas restringidas al sur del mismo poblado; la presencia de estos suelos implica problemas de drenaje; al humedecerse el suelo, sus partículas se expanden, impidiendo de esta manera el libre paso del agua a través del perfil; se les utiliza principalmente para la ganadería.

## 5.5 Clima

Playa Vicente tiene una estación meteorológica que proporciona datos desde hace cuatro décadas y es conocida como Venustiano Carranza, antiguo nombre de la población de Playa Vicente.

Esta localidad tiene un promedio de precipitación anual de 2,010.2 mm. Los meses más lluviosos son en verano y principios de otoño; incluyen junio, 279.1 mm, julio 383.9 mm, agosto 342.7 mm, septiembre 388.0 y octubre 224.2 mm.

Durante los cinco meses de mayor precipitación se alcanza a tener un promedio de 1,617.9 mm, lo que corresponde a un 80% de la precipitación anual. Los inviernos y primaveras son sensiblemente más secos que el resto del año, pero con algo de lluvia invernal que alcanza sólo el 5.6% del total.

La temperatura media anual de Playa Vicente es de 25.8°C; las temperaturas más altas son en mayo, con 28.4°C y las más bajas en enero, con 22.1°C.

La clasificación del clima, según el método de Köppen, modificado por García (1964), es un clima Am(i')g, es decir un clima cálido húmedo con lluvias en verano, con poca oscilación térmica (menor de 5°C) y régimen térmico de tipo "Ganges" debido a que la temperatura más alta aparece antes de junio.

## 5.6 La vegetación natural y uso actual del suelo

Los tipos de vegetación que originalmente dominaron la zona de Playa Vicente fueron las selvas altas perennifolia y subperennifolia; de estas selvas quedan sólo vestigios al sur de la zona de estudio, particularmente cerca de Chilapa, en El Zapotal y a lo largo de la carretera Tuxtepec-Matías Romero.

Estas selvas fueron quemadas por el hombre para introducir pastos, principalmente.

La selva alta perennifolia y la subperennifolia, corresponden al "tropical evergreen forest" de Leopold, (1950). La selva alta perennifolia está constituida por Terminalia amazonia Gmel. (suchi amarillo), Dialium guianense Sandwith. (paque), Vochysia hondurensis Sprague., Andira galeottiana Standley., y Sweetia panamensis Yakovlev. Este tipo de vegetación se caracteriza por gran variedad de árboles altos; el 80% de sus componentes son perennifolios, lo que da un aspecto siempre verde; además poseen una gran variedad de especies trepadoras. Las zonas con selva alta subperennifolia son áreas con menos humedad disponible que la vegetación anteriormente descrita. Las especies que predominan en la selva alta subperennifolia son Brosimum alicastrum (ajoche o ramón) Swartz., Achras zapota L. Hernández., y Bursera simaruba Lundell. (mulato).

Existen varias plantas silvestres de importancia económica en la zona; la principal es el coyol (Scheelea liebmanii) Karst. Esta planta a veces se presenta en asociación con otras especies, pero también se puede encontrar como especie dominante, formando palmares. Se considera que es un tipo de vegetación antropogénica, ya que es protegida por el hombre que le da usos múltiples como son: extracción de aceites, material de construcción y leña. Las asociaciones de coyol y pastos inducidos son las más comunes, pero se considera que esta especie se encontraba originalmente en asociación con las plantas típicas de las selvas altas perennifolias y subperennifolias, así como también en las medianas subperennifolias de las que sólo quedan relictos. A



penar de la destrucción de las selvas, el hombre ha favorecido la dispersión de esta planta de manera que, en la actualidad, su presencia ya no es indicio de la localización de antiguas selvas. Cuando el coyol aparece como un palmar primario no relacionado con las actividades humanas es cuando se le localiza sobre "suelos que se inundan durante una gran parte de la época de lluvias" (Gómez-Pompa, 1980); en otras circunstancias, no es un buen indicador de suelos que se inunden o que cuenten con nivel freático alto, ya que puede encontrarse en condiciones muy diversas.

El zapote o chicozapote y el barbasco, Dioscorea composita Hemsl. son también plantas silvestres de gran importancia económica, cuyos productos se venden fuera de la zona de estudio. El barbasco, que sirve para la fabricación de hormonos, se encuentra en forma semi-cultivada al igual que el coyol y el zapote, aunque su comercialización ha decrecido bastante.

También la vegetación varía según las condiciones de drenaje que tenga el perfil; en Playa Vicente gran parte de los suelos presentan moteado, lo que indica una fluctuación de la capa freática permaneciendo algunos suelos anegados todo el año. Algunas especies vegetales no resisten este exceso de humedad mientras que otras prosperan bien. En los suelos que se encuentran anegados la mayor parte del año y que además poseen cierto grado de aireación, domina el camalote o popal (Tigalia geniculata) Aublet. y cuando no hay aireación aparece el apompo (Pachira aguática) Robyns. como se ve en las zonas pantanosas cerca del río.

El principal uso del suelo es el de praderas para la cría de ganado vacuno; estas praderas consisten en pastos grama Axonopus compressus Henderson., estrella y pangola; la actividad ganadera

representa la fuente principal de ingresos en la zona. Asociada a la ganadería se encuentra la palma coyol (Scheelea liebmanni).

El palo mulato (Bursera simaruba) y el cocuite (Gliricidia sepium) Micheli., sirven para dar sombra al ganado, además de utilizarse como cercas vivientes que separan los potreros; también para sombra existen otros árboles como cedros (Cedrela mexicana), encinos (Quercus sp.), ceibas (Ceiba sp.).

Se observaron algunos cultivos de subsistencia, como son, el maíz, frijol y calabaza; algunos cultivos comerciales como son: plátano, piña, caña de azúcar, cacao y café. Junto a las riberas del río, al norte de la población de Playa Vicente en el ejido el Ramie, existen áreas reducidas de cañaverales. El cultivo de la piña se localiza en la meseta de Abasoló, mientras que los cultivos de café y cacao se observan cerca de Chilapa. El zapote al igual que el barbasco (Dioscorea composita), son productos comerciales semi-silvestres y se cosechan en zonas boscosas que están poco perturbadas por el hombre, como ocurre en la parte sur de la zona de estudio, en las inmediaciones de El Zapotal.

Existen también lugares con frutales, principalmente cítricos y mangos, pero estos son para uso local; es frecuente encontrarlos junto a las habitaciones rurales, así como esparcidos en asociaciones con praderas. Sólo en reducidas áreas es posible observar la introducción de plantaciones de árboles de caucho (Hevea brasiliensis) Ducke.

CAPITULO 6

EL MEDIO AMBIENTE

SAN JUAN EVANGELISTA, VER.

## 6. EL MEDIO AMBIENTE

### 6.1 Descripción general de la zona de San Juan Evangelista, Ver.

El estudio del área de San Juan Evangelista cubre una superficie aproximada de 36,000 has, que se localizan entre los 17°30' y 18°15' de latitud norte y los 95°00' y 95°40' de longitud oeste, tal como se muestra en la Fig. 5.3. El área de estudio está dividida por el río San Juan Evangelista que fluye con una dirección aproximada norte-noreste hacia la población del mismo nombre, donde poco después toma una dirección norte-noroeste, dejando el área de estudio antes de llegar a Cuatotolapam. La mayor parte del terreno se encuentra a una altitud que varía de 50 y 100 m.

Se ubica dentro del municipio de San Juan Evangelista que pertenece a la región sur del estado de Veracruz y que a la vez colinda con el estado de Oaxaca.

Los principales centros de población son San Juan Evangelista y Juanita, existiendo además numerosas villas y rancherías. En cuanto a vías de comunicación, sólo existe una carretera federal que atraviesa el área en dirección aproximada este-oeste, proviene de Minatitlán y conecta con Ciudad Alemán, pasando a 4 km al norte de la población de San Juan Evangelista. Esta carretera tiene un camino de terracería que comunica a la población antes mencionada con Juanita; al sur de ésta existe otra carretera pavimentada. También se encuentran diversos caminos o brechas transitables para vehículos motores que dan servicio a pequeñas poblaciones y rancherías aisladas; numerosos son también los caminos de herradura que dan acceso a las zonas de cultivo

y/o constan a los pequeños centros de población.

La principal ocupación de la población local es la agricultura, aunque también se cuenta con algunas pequeñas industrias, especialmente en San Juan Evangelista y Juanita. Los centros urbanos más cercanos que proveen una alternativa de fuentes de trabajo son Minatitlán y Coatzacoalcos.

## 6.2 Geología

La geología de la cuenca del río Papaloapan se encuentra resumida por López-Ramos (1980), así como en la Carta Geológica del Estado de Veracruz, editada por la UNAM (1967). La mayor parte del área se encuentra cubierta por depósitos del Pleistoceno, dentro de los cuales predomina la arena, aunque junto al río San Juan Evangelista, existan áreas con material constituido principalmente por limo y arcillas.

### 6.2.1 Pleistoceno

Consiste en materiales de aluviones; parece que se han derivado tanto de rocas del Paleozoico como del Mioceno (López Ramos, 1980). En algunos casos el origen es de desintegración de material rocoso localizado a más de 150 km al oeste de San Juan Evangelista en la Sierra Madre Oriental y la Sierra Madre del Sur, donde existen rocas metamórficas del Paleozoico. Las rocas de estas sierras consisten en esquistos y gneiss, además de granito, los que se desintegran en material clástico y arenas que son transportadas por distintos afluentes del Papaloapan hacia la Llanura Costera del Golfo. También las corrientes aportan material erosionado procedente de los anticlinales del Mioceno que se localizan cerca del área de estudio, tanto al sur como al norte de San Juan Evangelista, aunque por la hidro-

logía influyan más los del sur (Fig. 2.3).

### 6.2.2 Mioceno

Los depósitos del Mioceno son los que dan origen a una gran parte de los aluviones existentes en el área de estudio. Existe una zona del Mioceno con orientación este-oeste, a unos 4 km al norte de la población de San Juan Evangelista y están constituidos por una serie de lomeríos; también al sur de la población antes mencionada, hay otra formación con una alineación este-oeste cuyo eje se encuentra cerca de la población de El Achotal. Cabe mencionar que el Mioceno fue una época en que hubo transgresiones marinas y actividad volcánica que se observan en la zona (López-Ramos, 1980).

## 6.3 Unidades geomórficas

### 6.3.1 La Planicie Costera del Golfo

La zona de San Juan Evangelista se encuentra ubicada dentro de la cuenca del río Papaloapan, que forma parte de la Planicie Costera del Golfo. Esta unidad se caracteriza por ser una planicie costera de emergencia, de estructura geológica horizontal, que se levanta gradualmente desde el nivel del mar hasta una altitud de aproximadamente 200 m que constituye a la vez los límites de la Sierra Madre Oriental.

Se encuentra a 80 km de la costa, entre los 50 y 100 m de altitud y se caracteriza por grandes áreas de topografía abrupta con numerosas pendientes arriba del 20%. Este relieve es una consecuencia de diversos estados del ciclo geomorfológico erosivo; la condición dominante corresponde a los estados de madurez y semimadurez caracterizados por la multitud de formas residuales

similares existentes y una red de drenaje natural de alta densidad; esta red está dominada por dos principales ríos: La Lana y Trinidad, los que, al unirse, forman el río San Juan, con rumbo general sur-norte constituyéndose en un afluente del Papaloapan, aproximadamente 75 km al noroeste de la población de San Juan Evangelista.

Dentro del área de estudio, la Planicie Costera puede dividirse en dos principales unidades geomórficas.

#### 6.3.1.1 Unidad A: Zona monticular baja

Esta unidad constituye cerca del 75% del área de estudio, comprende los terrenos de lomeríos del Mioceno y Pleistoceno, formado por innumerables lomas de poca altura, de formas redondeadas y pendientes inclinadas, aisladas o encadenadas y separadas por pequeños y angostos valles, llegando a tener en ocasiones hasta 25% con un relieve relativo de 20 a 25 m. El sistema de drenaje forma un modelo dendrítico; los pequeños ríos y arroyos corren generalmente hacia los sistemas de los ríos La Lana y San Juan.

Dentro de esta unidad, existen dos áreas constituidas por planicies antiguas relativamente planas (planicies de Abasolo), que ocupan menos del 10% de la zona estudiada. Parece que se trata de relictos que se sitúan a altitudes cercanas a los 100 m y que no han sido completamente erosionados como sucede con la zona monticular baja. Consisten en terrenos con pendientes generalmente del orden del 1 al 2%, aunque también hay pendientes más pronunciadas a lo largo de las orillas de las terrazas y dentro de las cárcavas que existen en asociación con las planicies.

Estas se caracterizan por la presencia de pequeñas y poco

pronunciadas depresiones, de pocos metros de largo por un metro de profundidad en cuyas superficies se concentra el escurrimiento durante la época de lluvia. Debido a la topografía plana y al drenaje restringido, el agua es retenida la mayor parte del año, traduciendo en el perfil, las características de gleyzación en el subsuelo.

#### 6.3.1.2 Unidad B: Planicie de inundación y terrazas aluviales.

Comprende los terrenos de inundación actuales de los principales ríos del área, así como un mínimo de terrazas bajas de varias edades geológicas, asociadas con el trabajo de los ríos en el pasado. Esta unidad ocupa cerca del 25% de la zona de estudio.

Tanto las terrazas recientes como las antiguas están formadas por aluvión del Pleistoceno y del Reciente, derivadas de material procedente de las zonas cercanas a los lomeríos del Mioceno y de las formaciones paleozoicas de la Sierra Madre Oriental que se encuentran más retiradas de la zona de estudio.

Esta unidad se encuentra normalmente a altitudes de 50 m o menos, en la época de estiaje, el nivel del río puede encontrarse de 3 a 5 m por debajo del plano de inundación actual, y de 5 a 10 m debajo del nivel de las terrazas. Los planos de inundación actuales están sujetos a inundaciones regulares que pueden tener una profundidad de 0.5 a 2.0 m y en ocasiones más, dependiendo de la situación topográfica. Aunque los planos y las terrazas son generalmente planos con pendientes menores del 1%, se encuentran sujetos a fenómenos de erosión que han producido una microtopografía irregular, con bancos extensos e irregulares.



los así como depresiones que dan un relieve relativo de unos cuantos metros en relación a su amplitud.

Además de los fenómenos expuestos, existen también riesgos de inundaciones ocasionales muy severas, que originan cambios completos en el curso de los ríos. Dentro de estos planos de inundación existen, por lo tanto, un número de meandros abandonados por los ríos que aparecen como lagos en semilunas y que en algunos casos están rellenos por depósitos aluviales de texturas variables.

La mayoría de los suelos del área de estudio, se originaron principalmente como resultado de la erosión y depósitos de materiales geológicos de diferente naturaleza y edad, provenientes de la Sierra Madre Oriental y que constituyeron generalmente suelos aluviales y algunos coluviales.

Existen también algunos suelos desarrollados in situ sobre materiales y rocas del Pleistoceno y Mioceno.

Los depósitos aluviales se caracterizan por presentar texturas predominantemente y medianas.

#### 6.4 Suelos

En su mayor parte, los suelos corresponden a los siguientes Grandes Grupos, según la clasificación de la FAO-UNESCO (1970) por orden y frecuencia: 1. Cambisoles, 2. Faozem, 3. Luvisoles y Regosoles, 4. Suelos con horizonte de gley, 6. Algunos Ferralsoles.

#### 6.5 Clima

San Juan Evangelista tiene un promedio de precipitación anual de 1,309.1 mm. Los meses más lluviosos (utilizando prome-

dios de 18 años) son junio, con 196.0, julio, con 289.6 mm, agosto, con 213.0, septiembre, con 218.8 mm y octubre, con 125.4 mm. Esto significa que la lluvia es de verano y parte de otoño, recibiendo la zona, durante este período de 5 meses, 1,042.8 mm. Los inviernos y primaveras son sensiblemente más secos, pero siempre con algo de lluvia, puesto que durante los 7 meses de noviembre a mayo la zona recibe 266.3 mm.

No existen datos confiables de temperatura y, por lo tanto, es necesario recurrir a otra estación cercana como es Sayula, que tiene una temperatura media anual de 24.9°C. El mes más caluroso es mayo con 27.7°C, mientras que la temperatura más baja es de 21.1 y se registra en enero.

La clasificación del clima empleando el método de Köppen modificado por García (1964), nos da  $Aw_2''(w)(i')g$  es decir, el clima es el más húmedo de los calientes subhúmedos con un cociente P/T mayor de 55.2 y con un porcentaje de lluvia invernal menor del 5% de la anual.

Como se puede observar, hay poca oscilación térmica, ésta es de 6.6°C y se clasifica como (i). Se considera que la zona tiene temperaturas de tipo "Ganges" por ser el mes más cálido antes de junio(g).

#### 6.6 Vegetación natural y uso actual del suelo.

La vegetación natural del área, como la describieran Barreto y Hernández (1970) y Rzedowski (1973), consistían originalmente en una selva alta perennifolia y subperennifolia; sin embargo, ésta ha sido fuertemente perturbada, principalmente por actividades ganaderas, encontrándose actualmente sólo algunos relictos diseminados de selva.

De estos remanentes, Scheelea leibmannii es de primordial importancia en la zona; generalmente aparece en asociación con pastos en cuyo caso sirve para dar sombra al ganado; además, tiene otros usos como leña, material de construcción y obtención de aceite. Otros árboles que se emplean para dar sombra, son el encino (Quercus sp), la ceiba (Ceiba pentandra) Bakh, el uvero (Coccoloba barbadensis) Browne, palo mulato (Bursera simaruba).

Actualmente más del 70% del área está cubierta por pastos inducidos existiendo pocas áreas boscosas, no encontrándose ya la vegetación clímax de selva. En los últimos años se ha intensificado la ganadería, actividad que se ha caracterizado por la continua quema de bosques que facilita la introducción de pastos.

El cultivo de frutales, poco extendido, está representado principalmente por mango, plátano y cítricos. Los cultivos de subsistencia son de mayor importancia, como el maíz, el frijol, la calabaza y el chile.

Se hicieron algunas correlaciones generales suelo-planta entre las que destacan:

a) Regiones que se caracterizan por un pobre drenaje y/o ligera inundación en la época de lluvias; se caracterizan por la presencia de Cyperus sp., asociado con otras especies.

b) Con frecuencia, algunas áreas que son imperfectamente drenadas, se caracterizan por la existencia del camalote.

## CAPITULO 7

### METODOS DE INVESTIGACION

## 7. METODOS DE INVESTIGACION

### 7.1 Generalidades

La metodología empleada consistió básicamente en las siguientes etapas (Fig. 7.1).

a) Una fase inicial de revisión de literatura, así como una fotointerpretación de la zona de estudio.

b) Trabajo de campo, en el que se incluyen barrenaciones y perfiles que se muestrearon con base en sus horizontes, analizándose posteriormente en el laboratorio.

c) Mapeo: toda la información recabada, analizada e interpretada fue basada en mapas temáticos durante la última etapa.

#### Trabajos previos:

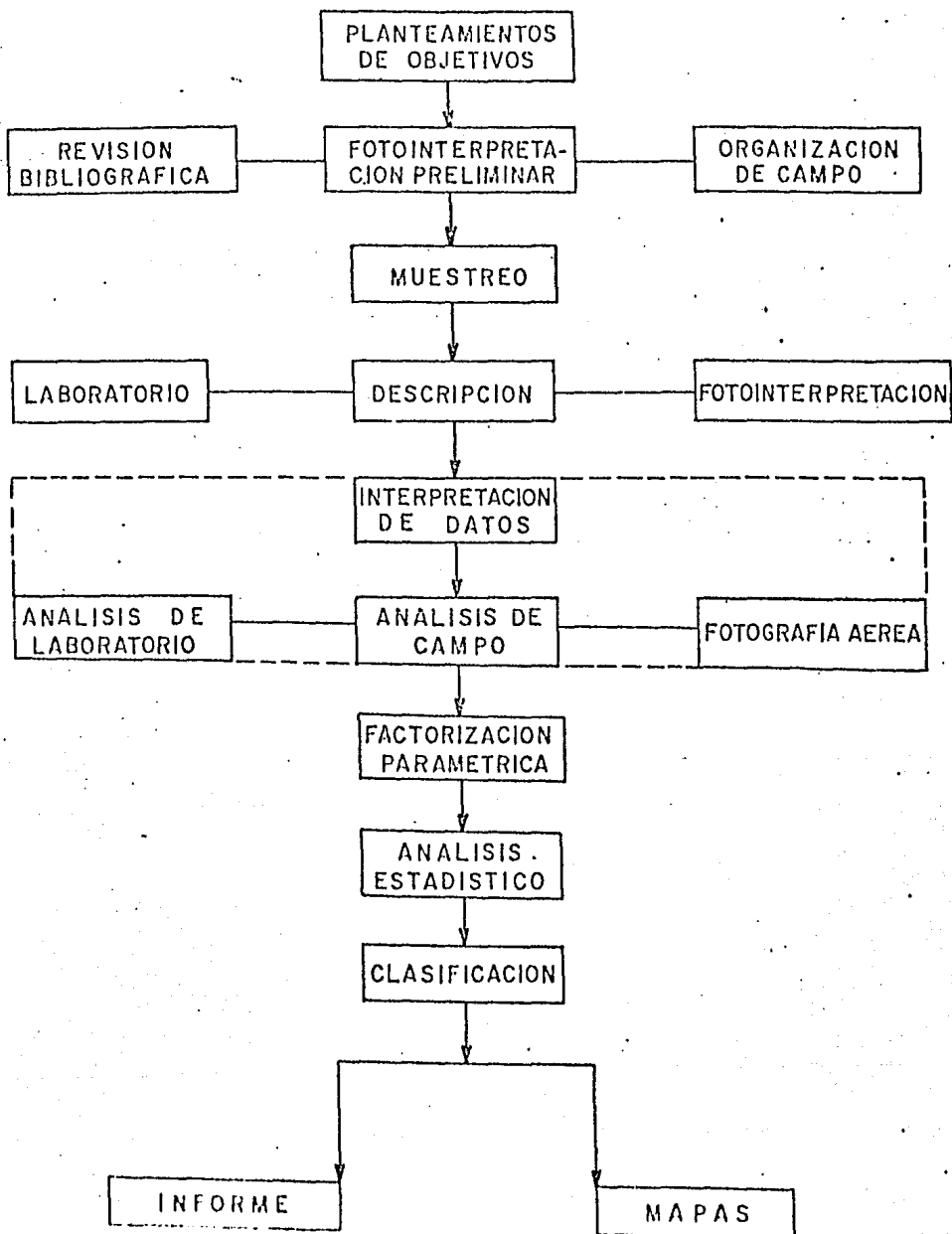
Se han hecho con anterioridad y bajo diferentes objetivos, algunos estudios ecológicos o agrícolas del área de trabajo. Las principales referencias disponibles fueron las siguientes:

a) Fotografías aéreas pancromáticas en blanco y negro a escala 1:50,000, tomadas en 1968 y 1976; un fotomosaico a escala 1:20,000 y un vuelo realizado a principios de 1982, escala 1:20,000.

b) Carta geológica, escala 1:500,000; hecha en 1976 por PEMEX, representa la geología superficial de la zona, su litología, estructura y edad geológica; se ubican algunas poblaciones, arroyos, minas y bancos de materiales.

c) Carta topográfica, escala 1:100,000; construida por el Departamento Cartográfico Militar (SDN) en 1968, con curvas de nivel a cada 50 m; se presentan las principales zonas urbanas, vías de comunicación, límites estatales, hidrografía y fisiografía.

Fig.7.1 DIAGRAMA DE LA EVALUACION DE LA APTITUD DE LAS TIERRAS PARA LA PRODUCCION DE LA CAÑA DE AZUCAR.



lfa relevantes, uso general del suelo y toponimia general.

d) Carta de climas, escala 1:500,000 (CETENAL, 1970), donde se muestra la distribución general de la precipitación y temperatura características de esta zona, indicando también las estimaciones meteorológicas y gráficas con los promedios mensuales de lluvia y temperatura.

e) Carta edafológica, escala 1:100,000 (DETENAL, 1978); representa las unidades de suelos de acuerdo a la clasificación de la FAO/UNESCO (1974); se incluye topografía, planimetría, toponimia y aspectos fisiográficos.

Todo este material fue utilizado junto con los resultados de los trabajos de campo, así como otras referencias específicas del suelo para delimitar el área de investigación y planear el acceso a las principales regiones con suelos aptos e indicar correlaciones generales del suelo dentro del área.

Debido a problemas climáticos y logísticos, no fue posible obtener las fotografías aéreas, a escala 1:20,000 al comienzo del trabajo, por lo que la localización de los puntos de control y la fotointerpretación inicial, fue hecha sobre el material mencionado en el párrafo anterior.

La ubicación de los puntos representativos del muestreo y el mapeo de los suelos a escala 1:20,000 se basa en los métodos fotointerpretativos tradicionales.

El mapeo de suelos se realizó básicamente, a través de la interpretación de fotografías aéreas, con información basada en apoyo de campo, descripciones de barrenaciones y perfiles, observaciones de campo y análisis de laboratorio.

El uso del método fotointerpretativo con fotografías aé-

reas, escala de 1:50,000 y 1:20,000, resultó un buen método para identificar geoforma, topografía, uso del suelo, vegetación y drenaje, factores todos que permitieron estimar los límites de los suelos.

A esta escala fue posible establecer un margen de exactitud de aproximadamente 50 m para la localización de los puntos de muestreo de campo. Tomando en consideración lo anterior, el área mínima mapeada para este levantamiento fue nominalmente de 50 has.

#### 7.2 Segunda etapa: el levantamiento principal

La etapa principal del levantamiento tanto de barrenaciones (normalmente hasta 1.2 m de profundidad) como de los perfiles (a profundidades que varían entre 1.0 y 1.5 m) dependieron de las condiciones del suelo.

Se observaron y anotaron las características tanto de las barrenaciones como de los perfiles; en las primeras se incluyen: material parental, topografía, geoforma, profundidad del manto freático, vegetación y uso del suelo; además, para cada horizonte de diagnóstico, se describieron las siguientes características: profundidad, color, moteado, textura, consistencia, humedad, reacción al HCl y contenido de raíces.

La localización de los sitios de muestreo se basaron en un sistema de flexible de rejilla o cuadrícula, por lo que la intensidad de los puntos de control fue variable de acuerdo con la complejidad de los diferentes suelos y/o con la aptitud de la tierra para los objetivos del proyecto. Para estos fines se utilizaron tres criterios:

- a) Las áreas cuyas propiedades edáficas y uso potencial se



estimaron como aptas para el desarrollo adecuado de la caña de azúcar, se verificaron a través de barrenaciones, aproximadamente cada 500 m hasta constituir una cuadrícula que cubrió toda la zona de interés, lo mismo cuando se detectaron cambios importantes en los suelos. El muestreo de los perfiles se hizo en función de los horizontes que estos presentaron, teniendo, al menos, un perfil muestreado por unidad de suelo.

b) Las áreas cuyas propiedades edáficas presentaron una o más limitantes de naturaleza física o química, aunque sin llegar a impedir el cultivo de la caña de azúcar, fueron verificadas a través de barrenaciones aproximadamente cada 1,000 m.

c) En las áreas cuyas propiedades edáficas presentaron serias limitantes para el desarrollo de la caña de azúcar, o que en principio resultan incosteables, se seleccionaron transectos que atravesaban las unidades de suelos típicas realizando al menos, una barrenación por cada unidad, quedando a criterio propio si se obtenían muestras o no; en este caso la intensidad de muestreo estuvo en función de la variabilidad de los suelos.

Mapa de aptitud de la tierra; este mapa indica objetivamente los terrenos potencialmente aptos para el cultivo de la caña de azúcar; se incluyen además, los sitios de muestreo, barrenaciones y, perfiles hechos durante el trabajo de campo; estos datos están representados a través de símbolos convencionales utilizados internacionalmente.

### 7.3 Métodos de análisis de laboratorio.

En la zona de estudio se tomaron muestras de perfiles representativos; a estas muestras se les efectuaron análisis físicos y químicos de rutina, incluyendo las siguientes determina-

ciones:

Análisis físicos:

1.- Color. Se determinó en seco y en húmedo por comparación con las tablas de color Munsell (1975).

2.- Coeficiente higroscópico. Se determinó calculando la cantidad de agua que contienen 100 g de suelo secado a 110°C, 24 hrs., cuando se ponen en equilibrio con una atmósfera que tiene 98% de humedad relativa a la temperatura ambiente (Gavande, 1973).

3.- Capacidad de campo. Utilizando una olla de presión se calculó la cantidad de agua que contienen 100 g de suelo secado a 110°C cuando se le aplica una presión de 1 bar. (Richards, 1956).

4.- Agua aprovechable en peso. Por diferencia entre capacidad de campo y humedad higroscópica. (Richards, 1954).

5.- Agua aprovechable en volumen. Se obtuvo determinando la cantidad de agua que contienen 100 cc. de volumen total de suelo, usando los valores de densidad aparente (Richards, 1954).

6.- Densidad aparente. Se calculó la relación entre la masa del suelo y el volumen del mismo, mediante el método de la probeta. (Am. Soc. for Test. and Mat., 1958).

7.- Densidad real. La masa total de partículas sólidas en relación a su volumen, se determinó por el método del picnómetro. (Am. Soc. for Test. and Mat., 1958).

8.- Porosidad. Se obtuvo relacionando la densidad real y la densidad aparente del suelo. (Vomosisl, 1965).

9.- Tirante. Se calculó relacionando la densidad aparente, el agua aprovechable en volumen y el espesor del suelo (U.S.D.A., 1965).

10.- Permeabilidad. Esta medida del movimiento de agua se determinó según la fórmula de Warcy (Klute, 1965).

11.- Textura. La proporción de partículas de diferente tamaño se determinó mediante el hidrómetro modificado (Bouyoucos) por Villegas et al (1977).

#### Análisis químicos

1.- pH. Se determinó potenciométricamente usando electrodos de vidrio y calomel, en una suspensión de suelo-agua de relación 1:2.5 (Peech, 1965).

2.- Materia orgánica. Se determinó por combustión húmeda mediante el método de Walkley (1935).

3.- Capacidad de Intercambio catiónico total. Se determinó por percolación usando acetato de amonio 1 N pH 7 para saturar, y destilando el amonio por Kjeldahl, recibiendo en ácido bórico (Peech, 1947).

4.- Cationes intercambiables. Fueron extraídos con acetato de amonio neutro y normal, del extracto percolado para capacidad de intercambio catiónico total (Peech, 1947).

5.- Carbonatos.- El porcentaje de carbonato de calcio se determinó mediante neutralización con ácido, cuantificando el exceso de ácido con una base valorada (Richards, 1954).

6.- Nitrógeno total. Se utilizó el método Kjeldahl (Bremner, 1960).

7.- Fósforo asimilable. Se usó el método propuesto por Bray (1945), que emplea fluoruro de amonio 0.03 N y ácido clorhídrico 0.025 N, como solución extractora y se cuantificó por el método del azul de molibdeno.

8.- Conductividad eléctrica. Se determinó en una suspensión de suelo-agua de relación 1:2.5, considerando que los suelos presentan problemas de salinidad (Richards, 1954).

CAPITULO 8

LA EVALUACION DE LAS TIERRAS

## 8. LA EVALUACION DE LAS TIERRAS

### 8.1 Generalidades

La evaluación de las tierras es un procedimiento asociado con la posibilidad de encontrar un uso más adecuado del suelo, incluyendo alternativas en su empleo; particularmente cuando en una zona de estudio existe una baja productividad.

Este planteamiento se basa en un cuidadoso entendimiento de aspectos naturales y humanos del medio ambiente. Cada uno de ellos es muy complejo y no pueden considerarse aisladamente.

El valor de la evaluación está íntimamente relacionado con la aplicación de los resultados obtenidos en la localización y caracterización del recurso suelo. Pero a la vez, un levantamiento de recursos debe comprender aspectos relativamente estables y estáticos de las tierras, relacionándolos con los procesos de interacción dentro del medio ambiente, así como entre éste y el uso del suelo.

Desde el punto de vista estructural, la evaluación del suelo involucra aspectos tan diversos como agricultura, ganadería, urbanización, industrialización, transporte, recreación, forestales y otros.

La evaluación de las tierras define una serie de procesos para estimar su potencial para un solo uso o para varias alternativas de uso.

La información empleada para tales fines proviene de tres principales fuentes: levantamiento del recurso natural, la tecnología del uso del recurso y el aspecto económico. La conjunción de estos elementos se expresa a través de los mapas de evaluación de las tierras apoyados con información regional y

estadística, mostrando la aptitud o capacidad para uno o diferentes tipos de uso de las tierras, del área estudiada.

## 8.2 El levantamiento de suelos

El levantamiento de suelos, en sus diferentes aspectos, es uno de los grupos de actividades que en conjunto se conocen como "Levantamiento de Recursos Naturales". Se trata de estudios del medio ambiente natural con especial énfasis en sus recursos potenciales. Estos levantamientos pueden cubrir cada uno de los ocho factores del medio ambiente físico: formas del relieve, geología, clima, hidrología, (agua superficial y subterránea), suelos, vegetación, fauna y plagas.

La producción de mapas es un elemento importante en los levantamientos geológicos, de suelos, de geoformas y de vegetación; en cambio juegan un papel menos preponderante en otros tipos de levantamientos de tipo estadístico o descriptivo.

De estos levantamientos de recursos naturales, el de suelos, es el más ampliamente utilizado en el desarrollo de la planeación. Un mapa de suelos es uno de los documentos fundamentales y primarios en el que se basa un proyecto de planeación de las tierras.

Los levantamientos de suelos varían en cuanto a la existencia de diferencias de condiciones y de medios ambientes físicos. Asimismo, es de suma importancia los objetivos y escalas de los levantamientos.

Uno de los objetivos más importantes es proveer de información acerca de las condiciones del suelo en cualquier sitio de interés; también ofrece información básica para la toma de decisiones sobre el uso del suelo o sobre el desarrollo de la

planeación de la tierra. El rango de decisiones a tomar es amplio; desde la localización de un terreno o área, hasta un uso particular del suelo, o desde el uso agrícola o forestal en una región, hasta los detalles de las prácticas de manejo de un cultivo. Este aspecto es importante, porque se traduce en una minuciosidad en el levantamiento, además de que es determinante en la ayuda a instituciones especializadas en planeación de las tierras.

### 8.3 La evaluación de las tierras y la planeación

El presente estudio se relaciona con problemas agrícolas; la necesidad de llevar a cabo un programa de esta naturaleza, es sólo el reflejo de los requerimientos de la producción que en el terreno agrícola afronta el país.

Una de las principales finalidades de la evaluación de las tierras agrícolas está basada en la suposición de que la producción agrícola debería incrementarse, considerando las características del suelo y factores económicos que controlan los rendimientos por unidad de área. El significado de cada factor y de sus características, depende de la naturaleza del uso del suelo considerado, que en este caso se relaciona con el cultivo de la caña de azúcar.

La evaluación de las tierras y los análisis socio-económicos se sobreponen, dando origen a la interrelación de ciertos procesos que proveen los fundamentos para la planeación del uso del suelo. La evaluación de la tierra es únicamente una parte del proceso de planeación de su uso; su función varía de acuerdo con las circunstancias. Además, la evaluación, en el más amplio sentido de la palabra, está íntimamente relacionada con la pla-

neación de la tierra, pero sin llegar a ser idénticas.

También deben considerarse los posibles efectos del medio ambiente en los cambios propuestos en el uso del suelo. Además, la evaluación también debe llevarse a cabo con respecto a las formas de producción que sean económicamente realistas, expresándose en forma cuantitativa y cualitativa. Generalmente se asume que, las investigaciones socio-económicas están integradas dentro del contexto de estudios de los recursos naturales y que por lo consiguiente, correrán paralelas a las investigaciones de la evaluación del suelo. La evaluación de las tierras une aspectos físicos, biológicos y técnicos, con el uso de las tierras y sus propósitos sociales y económicos.

Finalmente, es necesario hacer hincapié en que el propósito de este trabajo es sólo abarcar el medio físico.

#### 8.4 Clasificaciones de las tierras

##### 8.4.1 Estructura de la clasificación de aptitud de las tierras de la FAO.

El sistema de clasificación consiste en una ordenación basada principalmente en el detrimento de la tierra, partiendo de aquélla considerada como ideal, hasta aquéllas que reflejan un cierto número de deficiencias físicas, que pueden ser corregidas o no, o que actúan solas o en combinación.

El demeritamiento se presenta en tres niveles:

Orden: Tipos de aptitud.

Clase: Grados de aptitud dentro de los órdenes.

Subclase: Limitaciones en uso o diferencias en medidas de mejoramiento necesario dentro de la clase.



Dentro de cada nivel, las diferencias se cuantifican mediante el uso de varios criterios físicos escogidos, que reflejan mejor las influencias en el desarrollo del cultivo.

Existen dos órdenes en el sistema que reflejan las propiedades conjuntas de la tierra:

- a) Apto (para una producción apreciable de caña de azúcar)
- b) No apto.

Las clases de aptitud de las tierras reflejan diferentes grados de adaptabilidad; en este caso, deben plantearse las cualidades de las tierras para el crecimiento adecuado de la caña. La mayoría de las cualidades de las tierras son dependientes de la interacción de un número determinado de propiedades que comparan medidas estimadas, que son las que sirven de base en las evaluaciones de aptitud de las tierras.

Otras características importantes, como contenido de materia orgánica, pH, porosidad, estructura y niveles de nutrimentos, no se han considerado como factores definidos, dado que son fácilmente alterables durante los trabajos de implementación, y son por lo menos en algún grado, reflejadas en las principales características del suelo (Fig. 3.1).

#### 8.4.2 Estructura de la capacidad de la tierra (USDA).

La clasificación de la capacidad del suelo tomó su principal impulso cuando fue aplicada por el Servicio de Conservación del Suelo de los Estados Unidos para el problema del control de erosión. Este es el punto fundamental de la filosofía de la clasificación de la capacidad. El sistema consiste en una serie de factores que limitan el uso que puede hacerse de una tierra, definiendo el hecho como un "riesgo de uso". La descripción de la

clase de capacidad se relaciona más bien con el riesgo de erosión; sin embargo, se le ha tomado como base para estudios agrológicos.

La estructura de este sistema está dada por 8 clases, subclases y unidades. A nivel de clase, el punto crítico está dado por la división entre la tierra cultivable y la no cultivable (límites de las clases 4 y 5). Asume una ordenación decreciente de su valor que va desde, un uso agrícola de la tierra, pastizales, forestal, recreación, conservación silvestre, hasta cuencas hidrológicas.

Este sistema es flexible y versátil; toma en cuenta posibles efectos negativos hacia el medio ambiente y permite una interpretación por etapas teniendo el mérito de su simplicidad; este último aspecto ha constituido un atractivo para su uso en regiones poco desarrolladas. La versatilidad del sistema está dada por el hecho de que las limitantes de las subclases pueden especificarse de manera diferente para cada región de estudio.

Sin embargo, el empleo de esta clasificación presenta algunos problemas en la práctica.

Siendo un sistema de propósito general, sólo toma en cuenta los requerimientos de las tierras arables. El empleo de características limitantes individuales de las tierras, en donde sabemos que los efectos de un factor individual varían de acuerdo con su interacción con otras características del suelo. Otra desventaja de este sistema es su naturaleza negativa, dada por las limitaciones y no por el potencial positivo, además de que no toma en cuenta los diferentes tipos de uso del suelo. El sistema no es explícito en consideraciones económicas.

#### 8.4.3 Diferencias entre ambas clasificaciones

Los procedimientos de la clasificación de aptitud de las Tierras (FAO) no funcionan a partir de una base de "riesgo de uso", sino más bien analizando los componentes del clima, suelo, etc. cuyas características se denominan características de la tierra y pueden ser objetiva o cuantitativamente predecibles. Son entonces consideradas en términos de interacciones que ocurren entre diferentes características. A estas interacciones se les llama "cualidades de las tierras" que se relacionan con varios cultivos cuyos parámetros de crecimiento se han definido separadamente. En los casos donde los parámetros se relacionen, entonces esas tierras son las más aptas para un cultivo determinado; donde hay una pobre relación, entonces el conteo se reduce a un punto donde la tierra se considera como no apta.

El sistema de la FAO difiere del USDA en tres aspectos principales:

- a) La aptitud es evaluada por separado para cada uso.
- b) Hace uso de las cualidades de las tierras en lugar de las características limitantes individuales de las mismas.
- c) Hace énfasis en aspectos económicos.

La mayor contribución en este esquema, es el énfasis que otorga a las distintas formas de uso del suelo; tiene diferentes requerimientos y, por lo tanto, estos usos deben de ser definidos y evaluados desde el punto de vista de la aptitud de las tierras de manera separada.

La clasificación para determinar la capacidad de la tierra empleada por la SARI (1977) es la empleada en los Estados Unidos.

La clasificación de la aptitud de las tierras de la FAO (1976) en algunas ocasiones se le considera de significado semejante a la clasificación de la capacidad de la tierra, pero en sí, esta última es un sistema de evaluación adoptada por el servicio de conservación del suelo de los Estados Unidos. (Fig. 8.1).

El resultado final de la clasificación de la aptitud es una etapa más avanzada que la clasificación de la capacidad dado que en el primer caso, cada cultivo importante tiene las áreas de aptitud bien definidas; en cambio, cada clase de capacidad debe examinar de nuevo sus componentes para llegar a un rango de aptitud adecuado.

#### 8.4.4 Clasificación de la aptitud de las tierras por el método paramétrico

Actualmente existen en México algunas clasificaciones en uso, y difícilmente puede encontrarse alguna especialmente diseñada para los requerimientos específicos del cultivo de la caña de azúcar. Por lo tanto, es necesario diseñar una clasificación bien definida, en conexión con la obtención de una producción económica de la caña de azúcar.

El sistema de clasificación que se propone está relacionado con métodos paramétricos; se basa parcialmente en el esquema para la evaluación de las tierras de la FAO (1976), con modificaciones y atribuciones que fue necesario introducir para reflejar el medio ambiente físico en relación a la producción potencial del cultivo seleccionado con base en las evaluaciones de las tierras.

Para los fines de este trabajo se considera que los fundamentos de la clasificación de la FAO están más acordes con los

CUADRO COMPARATIVO DE ALGUNAS CLASIFICACIONES  
PARA EVALUACION DE LAS TIERRAS

CLASIFICACION:	ORDEN	CLASES	SUBCLASES	UNIDAD
Capacidad de la tierra (USDA) 2)	-----	1-4 (cultivables) 5-8 (no cultivables)	Varían de acuerdo a las limitantes del lugar.	Unidad de capacidad. Agrupación de unidades de mapeo de suelos que tienen el mismo potencial, limitaciones y respuestas al manejo.
Aptitud de la tierra (FAO) 1)	Apta No apta	2-5 clases 2 clases	Varían de acuerdo a las finalidades que se persiguen.	Unidad de aptitud. División de subclase que se distinguen por la naturaleza de las limitantes que han determinado su clasificación.
SARH (México) (de temporal)	-----	1-4 (cultivables) 5-8 (no cultivables)	Varían de acuerdo a las limitantes del lugar.	Unidad de capacidad. Agrupación de unidades de mapeo de suelos que tienen el mismo potencial, limitaciones y respuestas al manejo.
Aptitud de las tierras para la caña de azúcar	Apta No apta	3 clases 1 clase (20 variables específicas para determinar la clase)	9 limitantes (detectadas en la zona de estudio)	Unidad de aptitud. Agrupa unidades bajo un mismo tipo de características y manejo de las tierras.

- 1) Aptitud de las tierras: Adaptabilidad de un tipo dado de tierra para una clase especificada de uso de la misma (FAO).  
2) Capacidad de la tierra: Posibilidad inherente de las tierras para rendir a un nivel dado y para un uso general del suelo (USDA-SARH).

Fig. 8.1.

objetivos prácticos que se persiguen. Sin embargo, a un nivel específico de aptitud de las tierras, los requerimientos necesariamente tienen que ser concretos y detallados, puesto que el planteamiento está relacionado exclusivamente con la caña de azúcar, como ya se ha planteado en repetidas ocasiones.

La aportación de este estudio está enfocada hacia las necesidades específicas de una clasificación a nivel de clase, sub-clase y unidad de aptitud, mediante métodos paramétricos. El planteamiento de estos requerimientos se basa en trabajos y experiencias reportadas, así como en observaciones de campo. Del análisis estadístico efectuado en este estudio a partir de los datos de campo, fotointerpretación y laboratorio (Cap. 9), resultaron dos órdenes (aptos y no aptos), que ya ha establecido la FAO (1976): 4 clases (3 aptas y 1 no apta); estas clases están evaluadas por 20 características (variables) del medio ambiente: clima, geología, relieve, geoforma y suelos que conforman a la vez, 5 categorías en cuanto a la importancia o peso de sus correlaciones (Fig. 3,1). Estas 20 propiedades son las que están más íntimamente relacionadas con el sistema suelo/planta. En los trabajos de fotointerpretación y de campo, se detectaron 9 propiedades del suelo consideradas como limitantes (subclases). (En el Cap. 9 se discute más detalladamente el proceso de correlación y agrupación de las variables involucradas).

CAPITULO 9

LOS METODOS ESTADISTICOS

## 9. LOS METODOS ESTADISTICOS

### 9.1 Generalidades

En este estudio se emplearon 3 técnicas de análisis multivariado, que son las siguientes:

1. Componentes principales
2. Correlación canónica
3. Análisis de conglomerados

Como se explica adelante, el objetivo buscado al usar las dos primeras técnicas, es el de reducir la dimensionalidad del problema, en tanto que, con la tercera técnica, lo que se busca es lograr una clasificación o agrupamiento de los sitios de muestreo. A continuación se hace una breve descripción de la aplicación de estas técnicas en este trabajo.

Cuando se trabaja simultáneamente con diversas variables, es común que éstas estén correlacionadas. En una estructura de correlación puede suceder que un número más reducido de variables aporten casi la misma información que el total de las variables. Uno de los objetivos de la técnica de componentes principales es el de crear nuevas variables, no correlacionadas entre sí, a partir de las variables originales.

Frecuentemente, un número reducido de estas nuevas variables contiene casi la misma información que las variables originales. Así, por ejemplo, puede suceder que de un total de 20 variables originales, se reduzca la dimensionalidad del problema, trabajando al final con 3 ó 4 nuevas variables.

Esta reducción de dimensionalidad puede ser muy importante y quizás necesaria al aplicar la técnica de clasificación, pues ésta requiere de la estimación de un cierto número de paráme-



tros que depende, entre otras cosas, del número de variables que se esté considerando.

Si bien la técnica de componentes principales es la más usada cuando el objetivo es reducir el número de variables en estudio, existen otras técnicas que en ciertos casos, pueden rendir mejores frutos que aquélla. Tal es el caso de la correlación canónica que en este estudio, por sus características, ha dado mejores resultados.

A partir de un agrupamiento de los sitios de muestreo, se han derivado dos tipos de variables que difieren en jerarquías: variables importantes o primarias y "no tan" importantes o secundarias.

Se pueden analizar varias opciones si se emplean componentes principales, y después se clasifica, en cuyo caso puede suceder que una o varias de las variables secundarias sean determinantes en el agrupamiento de los sitios de muestreo. El agrupamiento resultante puede tener mucho sentido pero no ser importante desde el punto de vista práctico. Entonces, se puede optar por eliminar a las variables secundarias, aplicar componentes principales y luego clasificar. Este procedimiento elimina totalmente a las variables secundarias, lo que no es deseable, pues si bien se busca que las secundarias pesen menos en la clasificación, no se busca que no pesen en lo absoluto.

Un procedimiento intermedio entre componentes principales y la eliminación de las variables secundarias, es el de correlación canónica.

El análisis de correlación canónica es una generalización del análisis de correlación lineal simple y del de corre-

lación lineal múltiple. Si en correlación lineal simple se analiza la correlación entre dos variables y en correlación lineal múltiple la correlación entre una variable y un grupo de variables, en correlación canónica, se analizan las correlaciones entre dos grupos de variables.

Se asume que existe correlación entre las variables de un mismo grupo y entre variables de los dos grupos.

El primer paso en esta técnica consiste en crear dos nuevas variables, llamadas variables canónicas, una por cada grupo y que entre sí tengan una máxima correlación. En pasos subsiguientes, se crean nuevas parejas de variables canónicas que estén no-correlacionadas con las primeras variables canónicas pero que entre sí, tengan máxima correlación. Normalmente resulta que, con pocas parejas de variables canónicas, se puede explicar la correlación existente entre los dos grupos.

Si esta idea es extrapolada al estudio que nos atañe y se piensa en las variables canónicas de las variables primarias, y si en la clasificación se utilizan estas variables canónicas, indirectamente se ha incorporado la información de las variables secundarias. De esta manera se suaviza el efecto de las variables secundarias, pero no se las descarta del todo.

Una vez hecha la reducción de dimensionalidad mediante componentes principales o correlación canónica, se utiliza alguna técnica de clasificación. La técnica particular de clasificación empleada, parte del supuesto de que los grupos o poblaciones provienen de una mezcla de poblaciones normales multivariada con matriz de covarianza común.

Comienza por probar la hipótesis nula de que las obser-

vaciones provienen de una sola población, contra la alternativa de que las observaciones provienen de dos poblaciones. Secuencialmente continúa probando las hipótesis de dos contra tres poblaciones, tres contra cuatro, etc., hasta un número predeterminado de poblaciones que se considere. En cada paso se estiman los parámetros de la mezcla de poblaciones.

## 9.2 Procedimiento

El propósito de la clasificación de la aptitud es agrupar las tierras en unidades lo más homogéneamente posible, no sólo con respecto a una sola característica, sino a toda una serie de factores. Las características son indicativas de los requerimientos generales de la caña de azúcar, especialmente en lo que se refiere al concepto de tierras.

De las 20 variables consideradas, sólo 4 de ellas fueron evaluadas cualitativamente (estructura, riesgo de inundación, drenaje y relieve), ya que su cuantificación es difícil.

El tamaño de muestreo de los individuos (perfiles) fue de 70; el total de variables analizadas estadísticamente fue 18, divididas en variables de más peso y las de menor peso. Asimismo, se analizaron 5 posibilidades de tipos de agrupamientos; la que dividió la población en 4 grupos (clases) resultó ser la que mostró una asociación más eficiente.

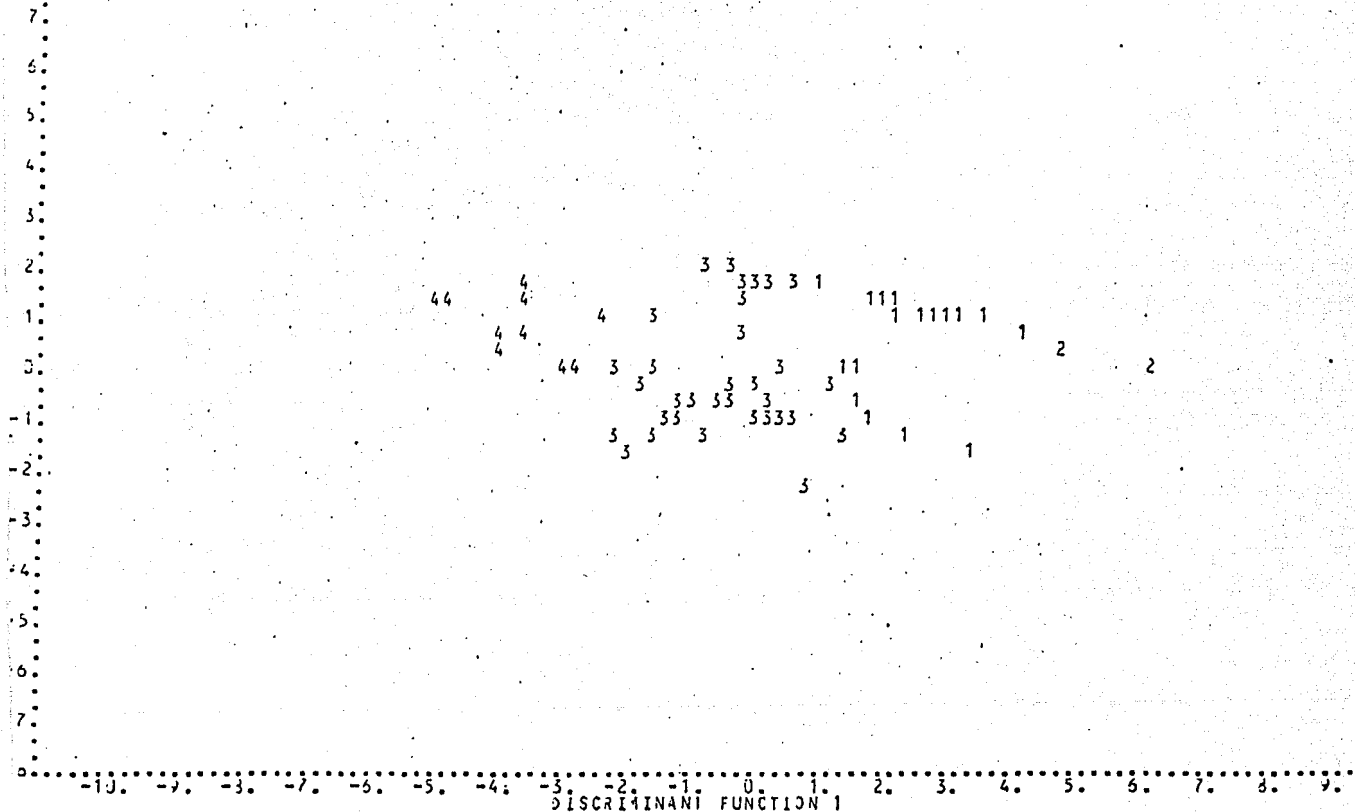
La forma de muestreo y de observaciones de campo varió ya que las barrenaciones y perfiles se realizaron con base en los métodos tradicionales de la fotointerpretación y muestreos a distancias equidistantes. En cada uno de los perfiles se tomó información de 27 propiedades; no toda fue utilizada en los estudios posteriores. De las 20 variables tomadas en cuenta, 9 de

ellas fueron analizadas en el laboratorio.

La gráfica de dispersión (Fig. 9.1) muestra la más clara agrupación de toda la población. Este agrupamiento fue más lógico, de acuerdo con las características de las tierras que se detectaron en el campo con fines de clasificación de aptitud de las tierras. No obstante, el grupo 2 sólo muestra 2 casos de individuos; esto es debido a que el límite de los rangos en algunas de las variables (categorías) no fue lo suficientemente subdividido Tabla 9.1.

DISCRIMINANT FUNCTION 2

NUMBER OF TYPES= 4



\*\*\*\*\*

FIGURA 9.1

9.3 TABLA DE CONVERSION DE LAS CARACTERISTICAS DE LA APTITUD DE LASTIERRAS Y LOS RANGOS

DE CADA CLASE PARA LA CAÑA DE AZUCAR

VARIABLE	CLASE 1	Cat.	CLASE 2	Cat.	CLASE 3	Cat.	CLASE 4	Cat.
Profundidad efect. (cm)	>120	0	120 - 90 90 - 60	1-2	60 - 40 40 - 20	3-4	<20	5
Textura (%)	35-60 arena 10-30 arcí.	0	30 - 65 are. 15 - 35 arc.	1-2	30 - 70 are. 25 - 45 arc.	3-4	40 - 95 are. 50 - 70 arc.	5
Estructura (*)	migajosa o prismática	0	angular o subangular	1-2	columnar o laminar	3-4	sin estruc- tura	5
Agua aprovecha. (mm/m)	200	0	200 - 140 140 - 100	1-2	100 - 80 80 - 50	3-4	<50	5
Riesgo erosión (I = K)	<0.20	1	0.20-0.30	2	0.30-0.40	3	>0.50	4
Riesgo inundación (*)	ninguno	0	insignifican.	2	corta durac. 3 veces en 10 años	3-4	más de 4 ve- ces en 10 años	5
Drenaje (*)	bien dren.	0	moderadamen- te drenado	2-3	imperfecta. drenado	4	muy lento o muy rápido	5
Permeabilidad (cm/h)	6.0 - 4.5	0	4.5 - 1.8	2-3	1.8 - 1.0	4	<1.0	5
Porosidad (%)	10.0-15.0	1	5.0-10.0 1.5-20.0	2	5.0-10.0 1.5-20.0	3-4	>20.0 <5.0	5
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1.4 - 1.2	0	1.6-1.4 1.2-1.0	1-2	1.8-1.6 1.0-0.8 <0.8	3-4	>1.8	5
Materia orgánica (%)	>5	1	5-3 3-2	2-3	2-1	4	<1	5

Tabla 9.1 (continúa...)

VARIABLE	CLASE 1	Cat.	CLASE 2	Cat.	CLASE 3	Cat.	CLASE 4	Cat.
CIOT (mg/100 g)	> 60	0	60 - 30	1-2	30 - 10	3-4	< 10	5
Salinidad y/o sodicidad (mmhos-NaI %)	< 1 0 - 5	0	2 - 1 5 - 15	1-2	4 - 2 5 - 15	3-4	> 4 < 15	5
Manto freático (cm)	> 200	0	200 - 150 150 - 100	1-2	100 - 75 77 - 50	3-4	< 50	5
Traficabilidad	> 1.0	0	1.0 - 1.4 1.4 - 1.8	1-2	1.8 - 2.4 2.4 - 2.8	3-4	< 2.8	5
Nitrógeno total (%)	> 0.2	1	0.2 - 0.1 0.1 - 0.05	2-3	0.05-0.01	4	< 0.01	5
Fósforo dispon. (ppm)	> 40	1	40 - 30 30 - 20	2-3	20 - 10	3	< 10	4
Pedregosidad (%)	< 1	0	1 - 5 5 - 15	1-2	15 - 35 35 - 50	3-4	> 50	5
Relieve (*)	plano	0	lig. plano lig. ondulado	1-2-3	muy ondulado	4	abrupto	5
Pendiente (%)	0 - 4	0	4 - 7 7 - 10	1 - 2	10 - 20	3-4	> 20	5

**CAPITULO 10**

**LA APLICACION**



## 10. LA APLICACION

### 10.1 Otras consideraciones

Dos variables a considerar: Erodibilidad y Traficabilidad.

La ciencia siempre está en evolución; por lo tanto, las técnicas para determinar las características de un suelo han sido modificadas substancialmente, por lo que es imprescindible adecuar los conocimientos existentes y actualizados en función con las necesidades presentes.

La figura 3.1 muestra globalmente todas las variables que se han considerado para este trabajo; la Tabla 9.5 muestra las especificaciones de la aptitud de las tierras, y sus propiedades asociadas, y la variación de los rangos estimados de cada una de las variables. En la misma tabla se especifican las clasificaciones de rangos de las variables y sus respectivas categorías. Estas se adecuaron de acuerdo a experiencias reportadas en otros trabajos y, sobre todo, teniendo en mente la idea de que deberían de estar bien ajustadas para su análisis estadístico. (Cap. 9).

De las 20 variables empleadas en este trabajo, sólo 4 conservan su carácter cualitativo: drenaje, inundación, estructura y relieve. Estas variables constituyen características del suelo y del paisaje que en el modelo de flujo ocupan una categoría de 3, 2, 2, 2 respectivamente (Fig. 3.1). Si evaluamos su peso y su correlación en el modelo general, el efecto no repercute significativamente en el resultado final.

La estructura del suelo es otra cosa; aunque ocupa una categoría de 2 y si observamos el peso que tiene en la

interfase del suelo (4.2.4.1.3), vemos que es una de las propiedades inherentes del suelo que es fundamental. Sin embargo, en la actualidad, es sumamente difícil modificar su subjetividad y otorgarle un carácter cuantitativo.

En consecuencia, la relieve, inundación, la estructura y drenaje conservan su carácter cualitativo y han sido integradas a las demás variables mediante la asignación de rangos de naturaleza subjetiva.

Dos han sido las variables que se han introducido al modelo y que se les ha dado un sello cuantitativo: riesgo de erosión (planteado como erodibilidad) y traficabilidad a las que se les asignó la categoría de 2 y 4 respectivamente. En el caso del riesgo de erosión, se cuenta en la actualidad, con las bases necesarias para darle un atributo específico, a través del Índice K de erodibilidad (Fig. 10.1 y 2). Este índice representa la pérdida de suelo dentro de la Ecuación Universal de Pérdida del suelo, tomando como referencia la estimación del valor K a través de la textura, contenido de materia orgánica, estructura y permeabilidad del suelo Tablas 10.1 y 10.2.

Traficabilidad es un término poco usado en el contexto de la aptitud de las tierras; esta característica puede considerarse como una propiedad resultante del manejo del suelo y agua cuando se le introduce maquinaria para su laboreo. De este modo se establece que, cuando se introduce un nuevo cultivo en una zona, se modificarán sustancialmente algunas características físicas del suelo, lo que traerá como consecuencia diferentes comportamientos con el uso de la maquinaria, lo que se reflejará a la vez en diferentes respuestas de la planta al cre-

cimiento (Tablas 10.3, 10.4 y 10.5).

Tabla 10.1 CALCULO DE LA ERODIBILIDAD DE LOS PERFILES MUESTREADOS  
(Playa Vicente, Ver.)

PERFIL	LIMO %	ARENA %	M.O. %	ESTRUCTURA	PERMEABILIDAD	ERODIBILIDAD (Indice K).
30 X	48	37	1.55	2	2	0.30
30X'	53	27	0.87	3	2	0.38
73	22	51	0.67	1	1	0.42
75	27	46	3.35	3	1	0.42
100	40	52	2.60	4	1	0.34
-	32	52	3.17	3	1	0.36
103	37	57	3.31	3	1	0.31
104	34	52	2.25	3	1	0.34
105	29	52	4.42	2	1	0.37
112	29	64	2.94	2	1	0.38
117	19	66	2.28	3	1	0.48
125	18	76	2.14	4	1	0.54
223	30	56	2.39	3	1	0.41
226	50	38	1.19	3	2	0.32
270	37	47	3.42	3	1	0.33
300	40	47	3.76	3	1	0.28
301	35	34	1.42	2	2	0.32
302	28	61	1.10	0	0	0.31
304	50	33	2.53	2	1	0.26
304A	36	54	3.35	3	2	0.42
307	29	54	1.83	2	1	0.37
316	32	57	0.56	3	1	0.39
322	21	77	0.29	0	3	0.45
330	61	22	1.07	0	1	0.31
333	29	48	2.28	2	2	0.42
334	16	53	2.68	3	1	0.43
339	33	59	6.70	3	2	0.32
431	18	76	3.35	1	2	0.48

TABLA 10.2 CALCULO DE LA ERODIBILIDAD DE LOS PERFILES MUESTREADOS  
(San Juan Evangelista, Veracruz).

PERFIL	LILO %	ARENA %	M.O. %	ESTRUCTURA	PERMEABILIDAD	ERODIBILIDAD (Indice K).
10	25	61	2.01	3	1	0.43
33A	15	82	1.97	4	1	0.56
40A	31	57	2.95	4 (6) *	0	0.41
43A	19	63	0.67	3	1	0.51
61A	22	72	1.49	3	1	0.48
136 X	13	83	3.88	3 (4)	1	0.52
278	11	81	2.81	3 (5)	0	0.55
287	6	92	0.94	4 (6)	0	0.63
297	58	9	1.74	3	2	0.33
299	22	66	3.08	3	1	0.47
335	37	52	2.01	3	0	0.42
337	19	79	2.01	2	1	0.47
344	47	41	0.94	4 (6)	0	0.34
346	8	88	1.80	4 (6)	1	0.65
417	9	89	1.47	4	0	0.61
419	11	87	1.61	3 (4)	1	0.58
429	20	66	2.41	3	1	0.47
704	22	70	1.88	4	1	0.56
1e6	59	5	2.28	3	1	0.22

\* Factores iniciales asignados a algunas características de la estructura que se modificaron para ajustarlos al monograma de Wischmeier, 1971 (Fig. 10.1).

TABLA 10.3 CARACTERISTICAS Y RANGOS CONSIDERADOS PARA DETERMINAR LA TRAFICABILIDAD DEL SUELO

PENDIENTE %	DRENAJE	M. O. %	DENSIDAD g/cm <sup>3</sup>	POROSIDAD %	GRADO
0 - 4	0	>10	<1.0	30-40	0
4 - 7	1	5-10	1.0 - 1.2	40-50	1
7 - 10	2	3-5	1.2 - 1.4	50-60	2
10 - 20	3	1-3	1.4 - 1.6	60-70	3
>20	4	<1.0	>1.6	>70	4

TABLA 10.4 DETERMINACION DE LA TRAFICABILIDAD PARA LOS PERFILES MUESTREADOS. (Playa Vicente, Ver.)

PERFIL	PENDIENTE %	DRENAJE	M.O. %	DENSIDAD g/cm <sup>3</sup>	POROSIDAD %	TRAFICA- BILIDAD
30X	1	3	1.26	1.06	56	2.0
30X'	1	2	0.87	1.05	54	1.8
73	2	1	0.67	1.10	56	2.0
75	1	1	3.35	1.08	57	1.4
100	0	2	2.60	1.08	58	1.6
101	2	1	3.17	1.06	55	1.4
103	1	2	3.31	1.01	61	1.8
104	1	1	2.25	1.13	55	1.6
105	1	2	4.45	1.02	58	1.6
112	2	0	2.94	1.15	54	1.6
117	2	2	2.28	1.10	58	1.6
125	1	2	2.14	1.22	54	2.0
223	1	0	2.39	1.10	55	1.4
226	2	3	1.19	1.05	63	2.2
270	1	0	3.42	1.01	58	1.2
300	1	1	3.76	1.12	61	1.6
301	1	2	1.42	1.14	55	1.8
302	1	1	2.11	1.10	63	1.8
304	1	2	2.53	1.10	59	1.8
304A	2	2	3.35	1.05	58	1.8
307	1	2	1.83	1.07	56	1.8
316	2	2	0.56	1.13	55	1.4
322	1	3	4.42	1.19	53	1.8
330	1	1	3.76	1.12	62	1.6
333	2	3	2.28	0.97	62	2.2
334	2	1	2.68	1.04	53	1.8
339	0	3	6.70	1.01	62	2.2
431	2	3	3.35	1.14	55	2.0

TABLA 10.5 DETERMINACION DE LA TRAFICABILIDAD PARA LOS PERFILES MUESTREADOS (San Juan Evangelista, Ver.).

PERFIL	PENDIENTE %	DRENAJE	M.O. %	DENSIDAD g/cm <sup>3</sup>	POROSIDAD %	TRAFICABILIDAD
10	1	2	2.01	1.28	49	1.8
33A	1	4	2.95	1.12	57	2.2
40A	0	3	2.41	1.43	46	2.0
43A	1	2	0.67	1.13	57	2.0
61A	3	2	1.49	1.37	46	2.2
136X	1	2	3.88	1.32	50	1.8
278	0	4	2.81	1.22	50	2.2
287	0	4	0.94	1.48	45	1.8
297	0	3	1.74	1.04	50	1.8
299	0	2	3.08	1.08	57	1.4
335	1	4	2.01	1.23	50	2.4
337	1	3	2.01	1.35	49	2.4
344	0	4	0.94	1.21	53	2.4
346	0	4	1.80	1.40	48	2.0
417	0	4	1.47	1.41	49	2.6
419	0	4	1.61	1.37	48	2.0
429	1	2	2.41	1.05	58	1.8
704	0	3	1.88	1.32	48	2.2
1e6	1	3	2.28	0.91	59	2.2





## 10.2 Los antecedentes

Para el estudio de la tierra, es necesario contar con una clasificación (agrupamiento) por dos propósitos básicos: a) delimitación de aquellas áreas potencialmente susceptibles al crecimiento adecuado de la caña de azúcar (para los fines de este estudio); b) para indicar las principales deficiencias en las características de la tierra.

Actualmente en el mundo existen diversas clasificaciones de aptitud de la tierra, pero todas ellas tienen un carácter de generalidad que, cuando entran en el terreno de la aplicabilidad específica, pierden resultados y aplicaciones prácticas.

El sistema paramétrico empleado para el mapeo de aptitud, se basa en los principios de jerarquización de las variables del medio ambiente (Fig. 3.1); asignación numérica de los diversos rangos considerados para cada una de las variables; análisis estadístico empleando las técnicas de componentes principales, correlación canónica y análisis de conglomerados, que agrupó a todos los perfiles en 4 clases (Capítulo 9). Como resultado de todo este análisis se formó la Tabla de Conversión (Tabla 9.5), que fue el punto de partida para la obtención de datos que alimentaron la información cartográfica.

Mediante los métodos tradicionales que nos brinda la fotointerpretación, fueron ubicadas espacialmente las diferentes clases y subclases, tanto por el método que se emplea en la SARH como por el método paramétrico. Mapas 1, 2 y 3.

Los resultados de la aplicación del método paramétrico fueron bastante satisfactorios; antes del mapeo se tenía ya la información básica completa, es decir, los agrupamientos de cla-

ses y subclases, así como la tabla de conversión. Por otro lado, la delimitación de áreas de aptitud, fue mucho más clara, específica, contando bases técnicas concretas para el logro de las diferentes delimitaciones.

### 10.3 Estructura de la clasificación resultante

Siguiendo la estructura general de la clasificación de la FAO (1976), el sistema de este estudio consiste esencialmente en un demeritamiento de la tierra, partiendo de aquélla considerada como ideal y que refleja los efectos de un número de deficiencias físicas que pueden ser corregidas o no y que actúan solas o en combinación. El demeritamiento se presenta en tres niveles, en orden de incremento de detalle.

Orden: Tipo de aptitud.

Clase: Grado de aptitud dentro de los órdenes.

Subclase: Limitaciones en uso o diferencias en medidas de mejoramiento necesarias dentro de la clase.

Dentro de cada nivel, las deficiencias se cuantifican mediante el uso de varios criterios físicos escogidos que reflejan las principales influencias en el desarrollo de la agricultura. Estos criterios y las subdivisiones a cada nivel de la clasificación se pueden apreciar en la tabla de conversión (Tabla 9.5).

Existen 2 órdenes en el sistema que reflejan las propiedades conjuntas de la tierra:

- a. Apto (para una producción apreciable de caña de azúcar).
- b. No apto

Estos órdenes se subdividen en 4 clases asignadas con base en los criterios que ya se han discutido en el Capítulo 9.

ESTRUCTURA GENERAL DE LA CLASIFICACION DE LA APTITUD DE LAS TIERRAS

ORDEN	CLASE	DESCRIPCION
A Apta	C <sub>1</sub>	Altamente apta
	C <sub>2</sub>	Moderadamente apta
	C <sub>3</sub>	Marginalmente apta
N No apta	C <sub>4</sub>	No apta temporalmente o definitivamente

Figura 10.2

10.4 Las clases

Las tres clases aptas, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> muestran grados crecientes de severidad en las deficiencias de la tierra, pudiendo ser superables a un costo razonable, mediante la aplicación de técnicas de cultivo adecuadas para estas tierras o también, por medio de implementación de obras de ingeniería civil adecuadas, por ejemplo, surcados en contorno, drenes, etc.

La tierra catalogada como C<sub>4</sub>, es aquella que no puede ser dedicada actualmente a la producción de manera económica, debido a la carencia de una tecnología adecuada. Algunas de estas tierras pudieran ser utilizadas posteriormente bajo ciertas consideraciones socioeconómicas. En esta clase se incluye también a aquellas tierras que sufren deficiencias tan severas que básicamente no pueden ser corregidas.

10.5 Las subclases

Los criterios para las definiciones de la clasificación

de las subclases se basaron en los resultados del levantamiento de suelos que se realizó en la zona de estudio. Se identificó un cierto número de características de la tierra que de alguna manera afectan la aptitud de la tierra para la producción agrícola. A partir de estos conceptos, las siguientes características fueron consideradas como cruciales en la determinación de las subclases:

#### CARACTERISTICAS DE LAS SUBCLASES

SIMBOLO	CARACTERISTICA o LIMITANTE
T <sub>1</sub>	Pendiente
T <sub>2</sub>	Relieve
S <sub>1</sub>	Textura del suelo
S <sub>2</sub>	Profundidad efectiva
D <sub>1</sub>	Drenaje del perfil
D <sub>2</sub>	Presencia del manto freático
P <sub>1</sub>	Pedregosidad en el perfil
I	Riesgo de inundación
E	Riesgo de erosión

Figura 10.3

#### 10.6 El método paramétrico y el método tradicional

Los estudios de suelos se han venido desarrollando en México desde 1926, al crearse la Comisión Nacional de Irrigación. En 1962 la Secretaría de Agricultura, a través de la Dirección de Agrología, aumentó las clasificaciones interpretativas, incluyendo la Capacidad de Uso de las Tierras en 8 clases (SARRH, 1977), en donde se asienta que dicha clasificación se realiza con fines agrícolas, ganaderas, forestales, de vida silvestre, recarga de acuíferos, etc., basándose en los efectos combinados de las características intrínsecas de los suelos y del clima y sirve para determinar el uso adecuado del suelo, sus riesgos a la degradación, las limitaciones de uso, capacidad productiva y manejo. Desde entonces, la dependencia gubernamental ha venido aplicando para sus estudios agrológicos este sistema, derivado del empleado por el Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos que contempla un amplio rango de posibilidades en la clasificación de tierras agrícolas.

El trabajo que aquí se presenta, sugiere una alternativa de complementación, ya que plantea un sistema más específico para objetivos concretos. Es decir, establece un paralelismo de trayectorias; por un lado, considera el sistema de 8 clases para determinar la capacidad de uso de la tierra (con su significado inherente) con una aplicación de mediana y gran visión. Por otro lado, puede considerarse la inclusión de un esquema para la determinación de la aptitud de las tierras, tomando en cuenta sus implicaciones y utilizando además el método paramétrico, pero a un nivel específico; tal es el caso de la adaptabilidad de la cana de azúcar a la zona de estudio.

por lo que se podría comparar el porcentaje de 7.7% con el 4.7% del sistema 4 C. Este porcentaje menor podría explicarse por la mayor exigencia que se requiere para reunir los requisitos del propio sistema y su definición de límites.

d) El porcentaje de las clases no aptas para el sistema 8 C, es de 35.5% contra el 27.8% del 4 C. Esto indica que, aunque no es mucha la diferencia, el menor porcentaje (27.8%) desechó menos superficie de lo que se esperaba, lo que demostró que una sola clase no apta (sistema 4 C, clase 4) fue suficiente para englobar todas aquellas tierras consideradas como inadecuadas para el cultivo de la caña de azúcar, en comparación con las clases 5, 6, 7 y 8 del sistema 8 C, división que probó ser impráctica para efectos de la simplificación de datos que toda clasificación debe tener.

Gráfica de comparación de las superficies de clases entre los sistemas 8 C y 4 C.

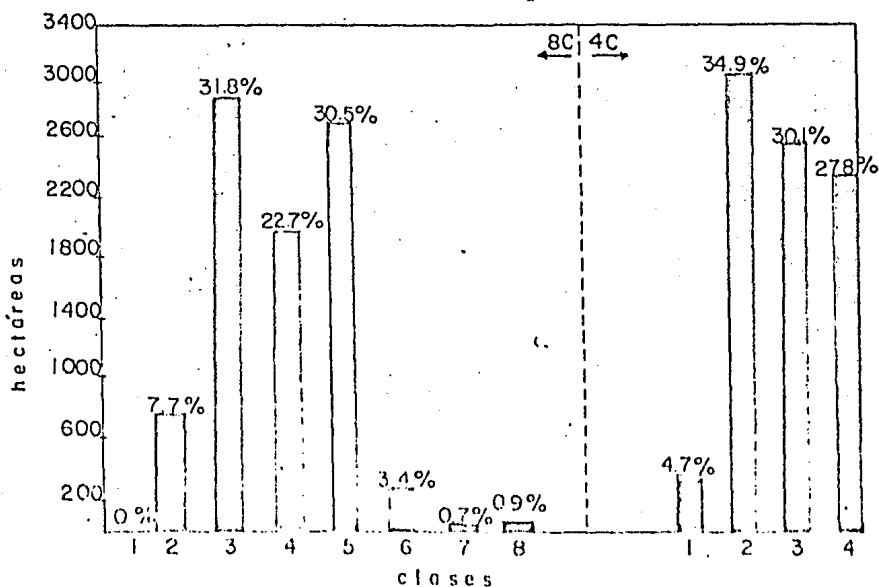


Fig.10.4

De esta manera, se complementan dos puntos de vista que aunque con planteamientos algo diferentes, es posible considerarlos como pasos subsecuentes, que al final de cuentas dotarán al técnico de mejores herramientas para una clasificación más efectiva.

#### 10.7 Relación entre el mapa de aptitud de las tierras realizado por el método paramétrico (4 clases) y el mapa de 8 clases.

Del análisis del sistema de clasificación de 8 clases (para abreviar se denominará como 8 C) y del método paramétrico de 4 clases (4 C), se desprende lo siguiente (Figura 10.4):

a) En la región de Playa Vicente, independientemente del sistema que se considera, se vio que las clases que predominaban eran la 2, 3 y 4, por lo que no fue de extrañarse que predominaran en ambos sistemas. Precisamente aquí es donde existe el mayor punto de concordancia entre las dos clasificaciones si los comparamos de la siguiente manera:

Sistema 8 C	Sistema 4 C
Clases 1 y 2 = 7.7% equivalente a	Clase 1 = 4.7%
" 3 = 31.8% equivalente a	" 2 = 34.9%
" 4 = 22.7% equivalente a	" 3 = 30.1%

b) A nivel de subclase, la división del sistema 4 C resultó con un mayor número de subclases, debido a que la Tabla de Conversión (Tabla 9.1) está diseñada y definida concretamente en cuanto a los rangos de cada clase y subclase, en contraste a la indefinición del sistema 8 C.

c) En el sistema 8 C no se determinaron terrenos de clase 1; en todo caso, la clase 2 se asemeja más a la clase 1 del sistema 4 C,

TABLA 10.7

AREAS DE CLASES Y SUBCLASES DE APTITUD DE LASTIERRAS  
 PARA LA ZONA DE PLAYA VICENTE, UTILIZANDO EL METODO  
 PARAMETRICO

CLASE	SUBCLASE	Has	%	CLASE	SUBCLASE	Has	%
1	S <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	365.4	4.09	4	S <sub>1</sub> D <sub>1</sub> D <sub>2</sub> I	403.6	4.51
	S <sub>1</sub> T <sub>1</sub>	18.5	0.19		S <sub>1</sub> P <sub>1</sub> P <sub>2</sub> I	203.1	2.28
	S <sub>1</sub> I	46.0	0.51		T <sub>1</sub> S <sub>2</sub> P <sub>1</sub>	216.0	2.42
Total Clase 1		429.9	4.79		T <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	1218.8	13.66
					T <sub>2</sub> S <sub>2</sub> P <sub>1</sub>	446.1	5.00
2	S <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	2140.4	24.00	Total Clase 4		2487.6	27.87
	S <sub>1</sub> D <sub>1</sub> D <sub>2</sub> P <sub>1</sub>	244.9	2.73	Zona urbana		164.9	1.85
	S <sub>1</sub> T <sub>1</sub> P <sub>1</sub>	150.0	1.66	Lágunas		19.6	0.22
	T <sub>1</sub> S <sub>2</sub> E	91.6	1.02	T O T A L : 8,917.3 99.86			
	T <sub>1</sub> P <sub>1</sub>	158.1	1.77				
	T <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	257.6	2.88				
	D <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	83.0	0.93	Total Clase 2		3125.6	34.99
Total Clase 2		3125.6	34.99				
3	S <sub>1</sub> T <sub>1</sub> E	144.9	1.63				
	S <sub>1</sub> D <sub>1</sub> P <sub>1</sub> I	250.3	2.80				
	S <sub>1</sub> T <sub>1</sub> P <sub>1</sub>	201.4	2.26				
	S <sub>1</sub> D <sub>1</sub> I	768.1	8.61				
	D <sub>1</sub> D <sub>2</sub> S <sub>1</sub> I	176.6	1.97				
	T <sub>1</sub> S <sub>2</sub>	753.1	8.44				
	T <sub>1</sub> S <sub>2</sub> P <sub>1</sub>	395.3	4.43				
Total Clase 3		2689.7	30.14				



TABLA 10.6

AREAS DE CLASES Y SUBCLASES DE APTITUD DE LAS TIERRAS PARA  
LA ZONA DE PLAYA VICENTE (8 CLASES)

CLASE	SUBCLASE	Has	%
2	S <sub>1</sub> D <sub>1</sub> I	591.56	6.5
	T <sub>1</sub> S <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	110.10	1.2
		701.67	7.7
3	D <sub>1</sub> D <sub>2</sub> I	406.11	4.4
	S <sub>1</sub> D <sub>1</sub> P <sub>1</sub>	410.43	4.5
	T <sub>1</sub> S <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	1746.14	19.5
	T <sub>1</sub> S <sub>2</sub> P <sub>1</sub>	313.26	3.4
		2875.94	31.8
4	S <sub>1</sub> D <sub>1</sub> D <sub>2</sub> I	794.37	8.7
	S <sub>2</sub> D <sub>1</sub> P <sub>1</sub>	107.24	1.1
	T <sub>1</sub> S <sub>1</sub> P <sub>1</sub>	277.20	3.0
	T <sub>1</sub> S <sub>1</sub> P <sub>1</sub> I	504.57	5.5
	S <sub>1</sub> D <sub>1</sub> P <sub>1</sub>	372.00	4.1
		2055.38	22.7
5	T <sub>1</sub> S <sub>2</sub> P <sub>1</sub>	974.10	10.7
	T <sub>2</sub> S <sub>2</sub> P <sub>1</sub>	1483.18	16.3
	S <sub>1</sub> D <sub>1</sub> I	305.39	3.3
	2762.67	30.54	
6	T <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	292.35	3.2
	S <sub>1</sub> D <sub>2</sub> I E	20.06	0.2
	312.40	3.4	
7	S <sub>1</sub> D <sub>2</sub> I	63.70	0.7
8	S <sub>1</sub> P <sub>2</sub> I	86.38	0.9
Zona urbana y lagunas		184.52	2.0
T O T A L		8931.99has	100.00 %

CONCLUSIONES

## CONCLUSIONES

Haciendo una recapitulación del esquema del trabajo, se tiene:

- La expresión del concepto de aptitud de las tierras para este caso en particular, sólo tiene sentido en términos concretos de aptitud de uso posible de la tierra para el cultivo de la caña de azúcar, que necesariamente cuenta con sus propias exigencias ambientales.

- Partiendo de la premisa anterior, se plantea la necesidad de evaluar ciertas características del medio ambiente y la derivación de sus correlaciones, que intervienen de alguna manera en el desarrollo normal del cultivo.

- Para reordenar toda la información de campo, laboratorio, fotointerpretación con fines de aptitud de las tierras, se emplearon técnicas estadísticas; todo esto permitió determinar que:

- Se formaron diferentes niveles de categorías de las variables involucradas con el fin de establecer las distintas clases de aptitud. Este paso se tradujo en algo fundamental: la Tabla de Conversión, que permite transformar los datos numéricos en áreas espaciales en el mapeo de la aptitud de las tierras.

- La división en 4 clases evita una dilución de la objetividad en cuanto a la clasificación, ya que sólo se concreta al objetivo específico que se persigue.

- La clase 4 (no apta) involucra lo que en el método USDA-SARH equivale a las clases de la 5 a la 8. Desde un punto de vista práctico no tiene ningún sentido subdividir en gra-

dientes lo que no es apto.

- Como resultado de toda la información elaborada, se llegó a la conclusión de que la región de Playa Vicente es, en general, apta para la introducción del cultivo de la caña de azúcar, ya que, generalmente, las tierras poseen los requisitos necesarios para el cultivo, aunque en diferentes grados. En cambio, en la zona de San Juan Evangelista, no es redituable la introducción de la caña de azúcar, debido a que los suelos presentan serias limitaciones (suelos arenosos, drenaje excesivo), que elevaría considerablemente los costos de producción y se obtendrían rendimientos bajos.

- El método permite establecer un sistema objetivo-numérico al dejar de ser un sistema de clasificación subjetiva. Aunque este aspecto no se logra totalmente en este trabajo, por lo menos sí constituye un avance importante.

- El método en la etapa presente, no representa un sistema estable y definitivo; por el contrario, debe ser alimentando constantemente conforme se avance en cada uno de sus puntos.

Aunque el sistema puede involucrar un mayor rango de factores del medio ambiente relacionados con el concepto de las tierras y de la planta, en este estudio se optó por darle más peso al aspecto de las tierras.

De cualquier manera se genera una gran cantidad de información que podrá ser manejada correctamente siempre y cuando se guarde constantemente la relación jerárquica de las variables implicadas.

- Existen todavía aspectos del método que requieren de

una investigación ad hoc; por ejemplo, la textura del suelo, desde el punto de vista de la aptitud, sería de mayor interés el manejo directo de la información porcentual de la fracción mineral, que en sí, el manejo de la clase textural.

- De las variables catalogadas como categoría 1 (las de mayor peso), deben recibir un estudio más a fondo en relación a la aptitud. La idea es tratar de clasificar estas características del suelo en clases de aptitud de las tierras.

- La eficacia del método sólo podrá ser evaluada totalmente en el momento en que el trabajo sea aplicado directamente en programas de planeación.

- Como es de suponerse, el sistema implica inicialmente dificultades de planteamientos, lo que se traduce en una disminución práctica en la maniobrabilidad de la información.

- Por ahora no puede hacerse una estimación de tiempo/costo del método, ya que algunas de las etapas se desarrollaron lentamente, debido a la falta de antecedentes. Es probable que en el momento en que se tenga perfectamente establecido el sistema numérico de la clasificación de aptitud, entonces el modelo de flujo funcionará más eficientemente, pudiéndose hacer una evaluación más correcta de tiempo/costo.

- La división de la aptitud de las tierras en 4 clases, implica un ahorro de tiempo, ya que el estudio se concreta más en las clases que son aptas; las que se consideran como no aptas, simplemente se desechan. Dentro de la clase 4 existen algunas áreas que pueden ser incorporadas al cultivo, lo que generalmente implica una mayor inversión de tiempo y dinero para incorporarlas adecuadamente.

- El modelo de flujo crea las bases para el diseño de modelos aplicables a otras especificaciones de aptitud de las tierras.

- El método paramétrico aquí propuesto constituye un avance en el terreno de las clasificaciones de la aptitud de las tierras.

## GLOSARIO

**Aptitud de las tierras:** adaptabilidad de un tipo dado de tierra para una clase específica de uso de la misma.

**Capacidad de la tierra:** características de la tierra (limitantes que afectan adversamente el uso de la tierra. Fue diseñada originalmente para evaluar la erosión por el Servicio de Conservación de Suelos del Depto. de Agricultura de Estados Unidos.

**Característica de la tierra:** atributo de la tierra que puede medirse o estimarse.

**Clase de aptitud de las tierras:** subdivisión de un orden de aptitud de las tierras que sirve para distinguir tipos de éstas que difieren en su grado de aptitud.

**Clasificación de aptitud de las tierras:** Proceso de evaluación y agrupación de tipos específicos de tierras en términos de su aptitud absoluta o relativa para una clase específica de uso (sistema empleado por FAO).

**Clasificación de tierras:** clasificación de diversas variedades de terrenos de acuerdo a sus características particulares.

**Cualidad de la tierra:** atributo complejo de la tierra que actúa de manera distinta en relación a las acciones de otras cualidades de la tierra en su influencia sobre la aptitud de las tierras sobre una clase específica de uso.

**Evaluación de tierras:** proceso de evaluación del rendimiento de las tierras cuando se utiliza para fines concretos que supone la ejecución e interpretación de reconocimientos y estudios de relieves, suelos, vegetación,

clima y otros aspectos de la tierra.

Levantamiento; inventario de un recurso.

Método paramétrico: método que considera los efectos de las características individuales de las tierras y las combinaciones de esos efectos para obtener el grado de aptitud. De acuerdo con el nivel de intensidad de cada característica individual, se le asigna a cada una de ellas un valor numérico.

Modelo: estructura secuencial de ideas para determinar como trabaja un sistema.

Modelo de flujo: representación de la interacción de los componentes del sistema (y subcomponentes), su interacción y sus relaciones con variables externas.

Orden de aptitud de las tierras: agrupación de tierras según sean aptas o no para un uso específico.

Paramétrico: ver método paramétrico.

Sistema: conjunto de ideas que se relacionan con el estado de un tema y los factores que influyen en ese estado.

Subclase de aptitud de las tierras: subdivisión de las clases que sirven para distinguir los tipos de éstas que poseen el mismo grado de aptitud pero que difieren en la naturaleza de las limitaciones que determinaron la clase de aptitud.

Suelo: recurso natural que forma parte del medio ambiente que nos rodea; se localiza en la superficie de la corteza terrestre, formado por capas u horizontes y es producto de la acción de fenómenos físicos, químicos y biológicos.



**Tierras:** Una zona de la superficie del planeta cuyas características abarcan todos los atributos estables de la biosfera en donde se incluyen la atmósfera, el suelo y la geología subyacente, hidrología, población vegetal y animal y los resultados de la actividad humana. No debe utilizarse como sinónimo de suelo.

B I B L I O G R A F I A

- A. Soc. for Test and Mat. 1958. Procedures for Testing Soils.  
Am. Soc. Testing Mater., Philadelphia.
- Barnes, A.C., 1974. The sugar cane. Ed. Leonard Hill Books.
- Barreto, V. F. y Hernández, X. E. 1970. Vegetación en la región de Tuxtepec, Oaxaca. Inst. Nal. Invest. Forest.
- Baver, L.D. 1930. The atterberg consistancy constants: Factors affecting their values and a new concept of their significance. J. Am. Soc. Agron., 22.
- Baver, L. D., et al., 1972. Soil physics. John Wiley and sons.
- Birkeland, W. P., 1974. Pedology weathering and geomorphological research. Ed. Oxford University Press.
- Borden, R. W. and Warkentin, B.P. 1974. An irrigation rating for some soils in Antigua W. I. Trop. Agric., Trin.
- Bray, R. H. and Kurts, L. T. 1945. Determination of total organic, and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci. Rev.
- Bremner, J. M. 1960. Determination of nitrogen in soil by the Kjeldahl method. J. Agr. Sci.
- Brinkman, R. y Smyth, A. J. (ed.) 1973. Land evaluation for rural purposes. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen.
- Buckman, O.H., Brady, C.N., 1970. Naturaleza y propiedades de los suelos. Ed. Montaner y Simón, S.A. Barcelona.
- Cajuste, J. L., 1977. Química de los suelos con un enfoque agrícola. Col. de Postgraduados, Chapingo, México.
- Cárdenas, E. M. (Directora) 1983. Manual Azucarero. Cía. Ed. del Manual Azucarero, S.A. México, D.F.

- CETENAL, 1970. Carta de climas, escala 1:500,000. Secretaría de la Presidencia, México, D.F.
- Clarke, G. R. 1951. The Study of Soil in the Field. Clarendon Press, Oxford.
- Comisión Nacional de la Industria Azucarera (1982). Datos estadísticos.
- Davies, B. D. et al., 1977. Soil management. Farming Press Lmtd.
- Demolón, A. 1965. Dinámica del suelo. Ediciones Omega, Barcelona.
- Departamento Cartográfico Militar. 1968. Carta Topográfica, escala 1:100,000. Secretaría de la Defensa Nacional, México, D.F.
- DETENAL, 1978. Carta edafológica escala 1:100,000. Secretaría de Programación y Presupuesto. México, D.F.
- Evans, R. y Morgan, R.P. 1974. Water erosion of arable land Area 6.
- F.A.O. 1970. Clasificación de suelos. FAO/UNESCO. Editado por CETENAL. México.
- F.A.O. 1976. Esquema para la evaluación de tierras. Boletín No. 32 de suelos de la FAO, Roma.
- Forsythe, W., 1975. Física de suelos. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, San José, Costa Rica.
- Frankart, R. et al., 1972. Contribution to the use for the parameter method for the evaluation of the classes in the different categories of the land evaluation proposed by the working group. Wageningen: Mimeogr. rept., FAO. Consultation on Land Evaluation. 1972.

- García, E. 1964. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: Univ. Nal. Autón. México. Inst. Geografía, México, D.F.
- Gavande, S.A. 1973. Física de suelos principios y aplicaciones. Editorial Limusa-Wiley, S.A., México.
- Gómez, P.A. 1978. Ecología de la vegetación del Estado de Veracruz: Ed. Continental. México.
- Hillel, D. 1971. Soil and water. Academic Press.
- Humbert, P.R., 1968. The growing of sugar cane. Elsevier Publishing Co.
- Instituto de Geología, U.N.A.M., 1967. Carta geológica del Estado de Veracruz.
- Klute, A. 1965. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soil. In Black, C. A. editor. Methods of Soil Analysis. Madison Wisc., American society of Agronomy.
- Leopold, A.S. 1950. Vegetation zones of México. Ecology 31: 507 - 518.
- López Ramos E., 1980. Geología General. Tomo II. Tesis Resendiz, México, D.F.
- Mackney, D. (ed.) 1974. Soil survey technical monograph 4. Harpenden.
- Millar, G. E. et al., 1971. Fundamentos de la ciencia del suelo. Ed. Continental. México, D.F.
- Morgan, R.P. C., 1979. Soil erosion. Longman, London.
- Munsell Soil Color Charts. 1975. Munsell color, Baltimore.
- Nelson, L. A., 1963. Detailed land classification-Island of Oahu. Univ. Hawaii. Land Study Bur., Bull. 3.

- Ochse, J. J., et al., 1972. Cultiyo y mejoramiento de plantas tropicales y subtropicales. Ed. Limusa. México.
- Ortiz, V. B. (en prensa). Los suelos de las zonas cañeras de México. Clasificación FAO/UNESCO y su Correlación con el Sistema Taxonómico de los Estados Unidos. Comisión Nacional de la Industria Azucarera. Instituto para el mejoramiento de la Producción de Azúcar. México, D.F.
- Peech, M. 1935. Hydrogen - Ion Activity. In Methods of Soil Analysis. Part 2. American Society of Agronomy. Madison, Wisc.
- Peech, M., et al., 1947. Methods of soil analysis for soil fertility investigation. U.S. Dept. Agr. Cir. 757.
- Pemex, 1967. Mapa de Recopilación Geológica, Zona Sur. Hoja Coatzacoalcos. Petróleos Mexicanos. Super intendencia General de Explotación.
- Richards, L.A. (editor). 1954. Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos. Manual de Agricultura No. 60 Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. (Edición en Español: Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, México, D.F. 1965).
- Richards, L.A. 1956. Sample retainers for measuring water retention by soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc.
- Richards, B.N. 1974. Introduction to the soil ecosystem. Longman. London.
- Riquier, J. et al., 1970. A new system of soil appraisal in terms of actual and potential productivity. FAO Paper AGL: TESR/70/6.
- Kozłowski, Jerzy. 1978. Vegetación de México. Edit. Limusa, México.

- Sánchez, S.T. (en prensa). Algunas consideraciones sobre el cultivo de la caña de azúcar en México y sus principales problemas. Memorias de la reunión sobre "Desarrollo Rural de la Unión Geográfica Internacional, 1982". Servicio de Agricultura Extranjera (1982). Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.
- Slatyer, R. O., 1967. Plant-water relationships. Academic Press.
- Storie, Earl. 1950. Rating soils for agricultural forest and grazing use. Trans. IV. Amsterdam: Int. Congr. Soil Sci. I.
- Sys, C. y Frankart, R. 1971. Clasificación de la capacidad de la tierra en trópicos húmedos. Soils Afr. 16.
- Trudgill, Stephn T. 1977. Soil and Vegetation Systems. Clarendon Press, Oxford.
- Villegas, M., Aguilera, N. y Flores D. L. 1978. Método simplificado de análisis para la clasificación granulométrica de los minerales del suelo. Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista, Vol. 1, núm. 2.
- Vink, A.P.A. 1975. Land Use in Advancing Agriculture. Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg.
- USDA, 1961. Land-Capability Classification. Handbook - 210. Soil Conservation Service. Washington, D.C.
- U.S. Department of Agriculture. 1962. Field Manual for Research in Agricultural Hydrology. Agriculture Handbook 224.
- Vasceil, J.L. 1946. Porosity Methods of Soil Analysis, Agronomy Monograph, No. 9 Part I. Academic Press, New York.
- Webb, A. 1945. An examination of methods for determining organic carbon and nitrogen in soils. Jour. Agr. Sci.

(England) 25.

Wesseling, J. y Van Wijk, W. R. 1957. Soil physical conditions in relation to drain depth. In luthin, J.N. (editor). Drainage of agricultural lands. Madison, Wisc., American Society of Agronomy, 1957.

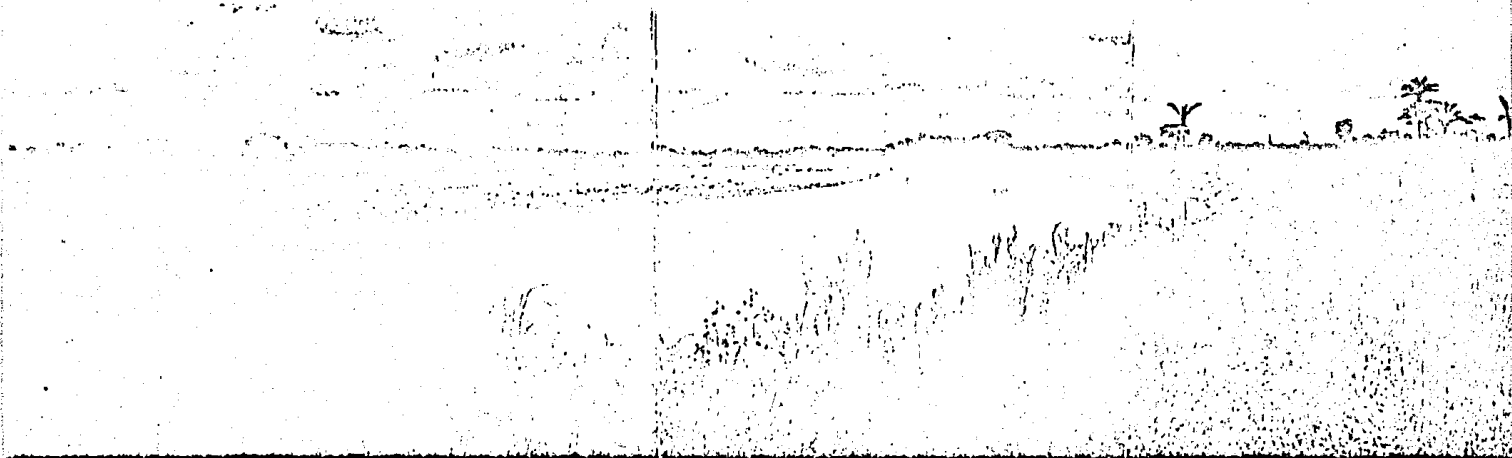
Winter, J. E., 1978. Water, soil and the plant. The Macmillan Press.

Wischmeier, W. H., Johnson, C. B. and Cross, B. V. 1971. A soil erodibility monograph for farmland and construction sites. Journal Soil and Water Conservation 26. 189-93.

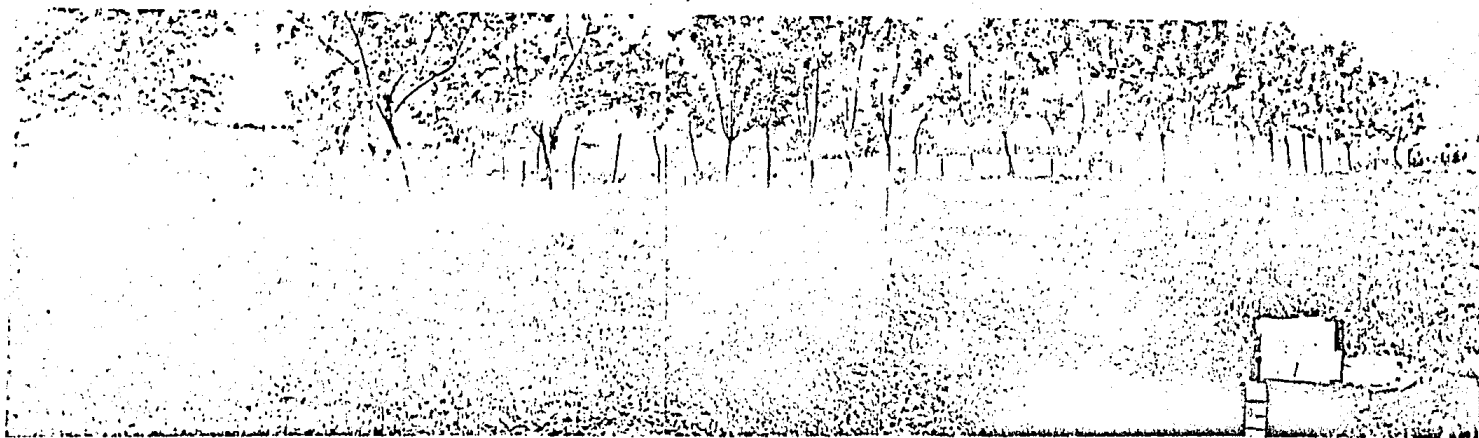
Young, A. 1976. Tropical soils and soil survey. Cambridge University Press. Cambridge.

A P E N D I C E

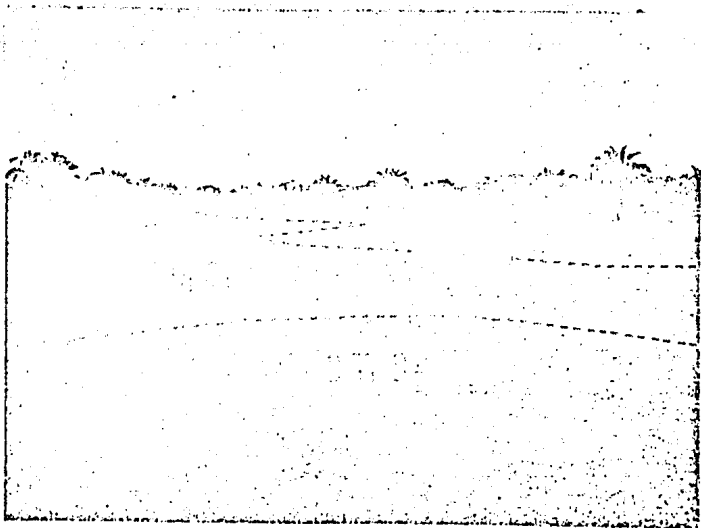




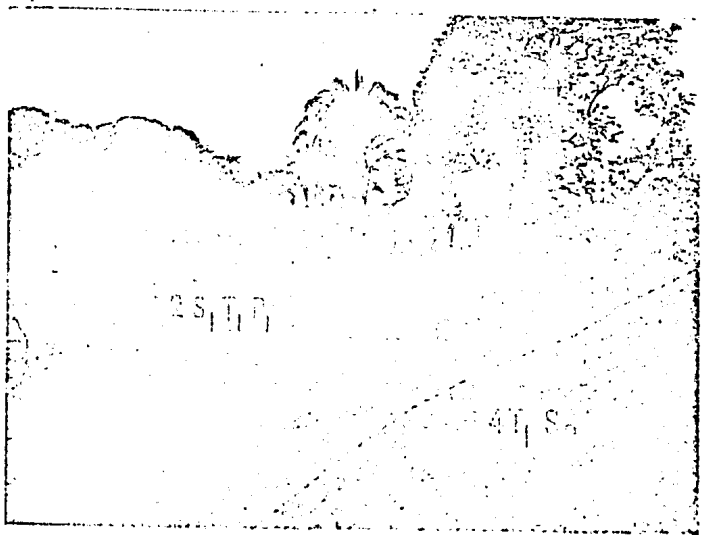
Orillas del Río San Juan Evangelista; nótese en la margen izquierda suelos con clase 3 con limitantes dadas por textura arenosa (92 %), drenaje excesivo, inundaciones frecuentes. En la margen derecha, los terrenos también son arenosos (70 %), muy permeables, con riesgos de erosión e inundación.



Paisaje ligeramente ondulado localizado en  
terrenos con características vérticas, cla-  
se 1



Ejemplo de Clase 3 en primer plano; límites: topografía y profundidad efectiva. Al fondo, Clase 2 con algunos problemas de drenaje.



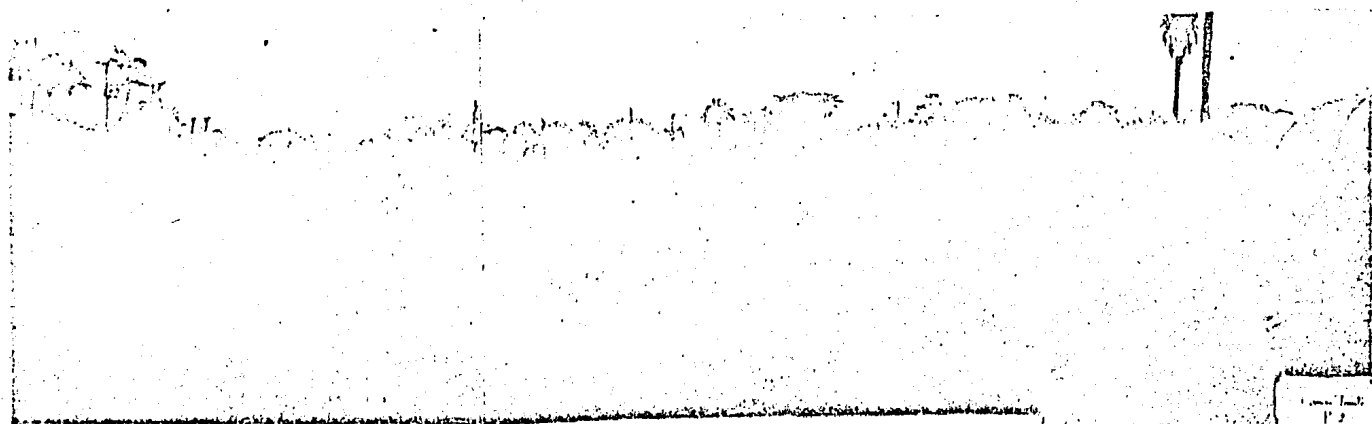
Límite entre Clase 4 (topografía y profundidad efectiva) y Clase 2 con terrenos ligeramente ondulados.



0 cm	Migajosa /migajón-arenoso /porosi. 55 % / permeab. 3.88 cm/h /agua approve. 17.97% / firante 6.09 cm/cm <sup>3</sup> /pH 6.0 /M.O. 2.3 %
28	Subangular/migajón-arenoso /porosi. 51 % / permeab. 1.18 cm/h /agua approve. 16.12% / firante 9.77 cm/cm <sup>3</sup> /pH 6.8 /M.O. 1.43 %
65	Subangular/migajón-arenoso/porosi. 53 % / permeab. 1.46 cm/h /agua approve. 14.89% / firante 17.92 cm/cm <sup>3</sup> /pH 6.0 /M.O. 0.56

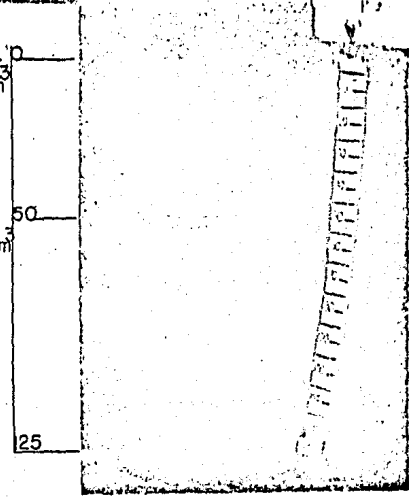
150

Suelos bien drenados, terrenos ligeramente ondulados, corresponden a la Clase 2. Este sitio se localiza cerca de El Zapotal.



Prismática / 31% arcil.-34% are. / poro. 55% / permea. 0.20 cm/h / agua op. 21.53 g/cm<sup>3</sup> / tirante 12.27 cm/cm  
pH 7.2 / M.O. 1.42% / CICT 14.26 meq/100g.

Angular / 35% arcil.-35% are. / poro. 58% / permea. 1.39 cm/h / agua op. 21.50 g/cm<sup>3</sup> / tirante 18.38 cm/cm  
pH 6.4 / M.O. 0.49% / CICT 18.51 meq/100g.



Terreno ligeramente ondulado, cerca de Tomate Río Manso.

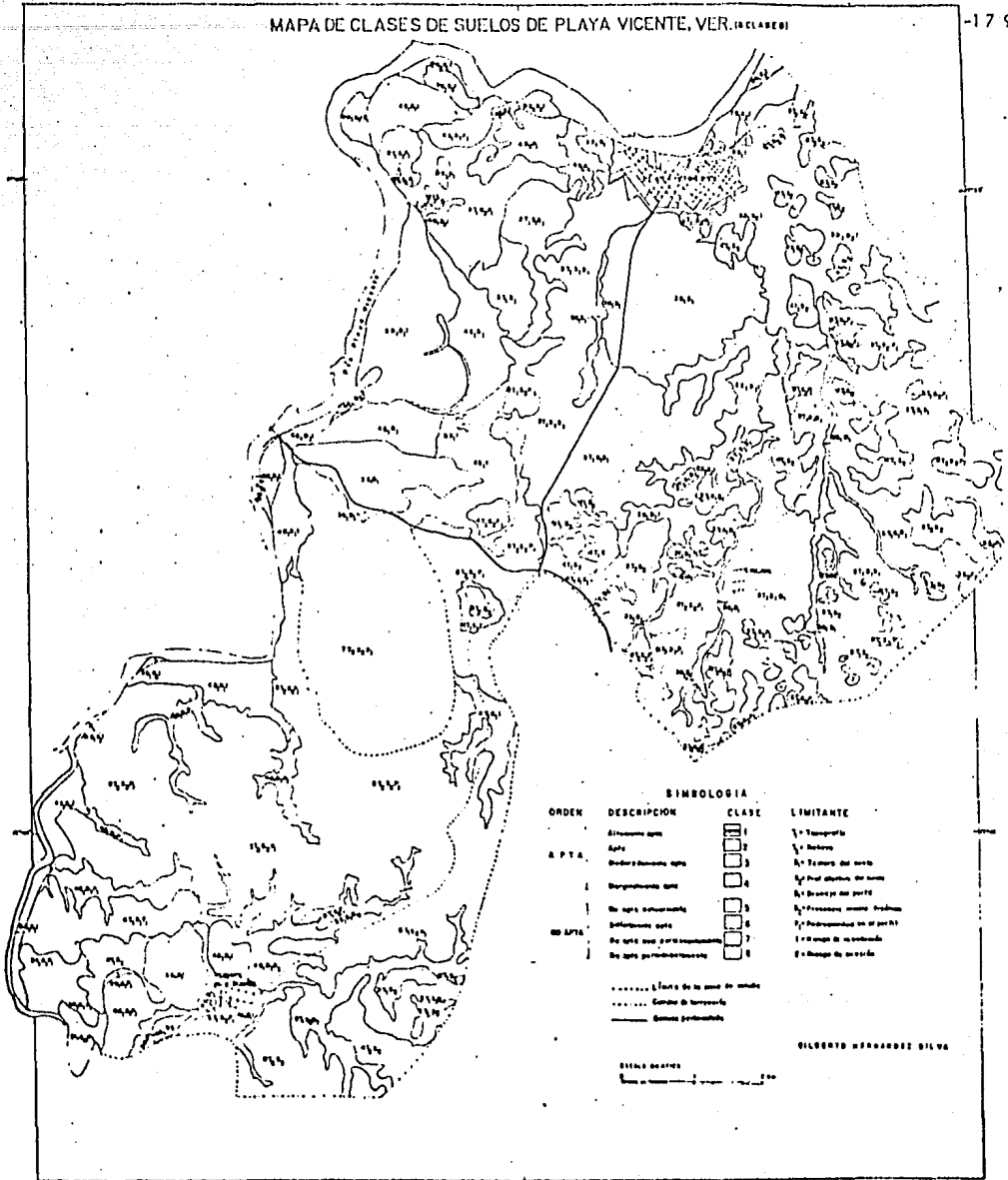
G. Hernández Silva/83.

Year	Month	Day	Temp	Wind	Dir	Humid	Pres	Cloud	Visib	Time	Lat	Long	Alt	Loc	Notes				
1910	01	01	33.1	10.5	10.50	1.10	102.53	0.13	01.0	0	1	1	1	2	3	0	1	0.27	01.0
1910	01	02	33.1	10.5	10.50	1.10	102.53	0.13	01.0	0	1	1	1	2	3	0	1	0.27	01.0
1910	01	03	33.1	10.5	10.50	1.10	102.53	0.13	01.0	0	1	1	1	2	3	0	1	0.27	01.0
1910	01	04	34.0	11.0	10.43	1.14	102.41	0.18	01.0	0	1	1	0	2	3	0	1	0.27	01.0
1910	01	05	35.0	11.0	10.35	1.14	102.45	0.08	00.5	1	1	1	0	2	3	0	1	0.27	01.0
1910	01	06	34.0	11.0	10.28	1.07	101.81	0.14	01.0	0	1	1	2	3	3	0	1	0.27	01.0
1910	01	07	34.0	11.0	10.21	1.09	101.83	0.21	01.0	0	1	1	2	3	3	0	1	0.27	01.0
1910	01	08	34.0	11.0	10.14	1.12	102.40	0.17	00.5	0	1	1	2	3	3	0	1	0.27	01.0
1910	01	09	34.0	11.0	10.07	1.12	102.40	0.17	00.5	0	1	1	2	3	3	0	1	0.27	01.0
1910	01	10	34.0	11.0	10.00	1.14	102.41	0.15	01.0	0	1	1	0	1	0	0	1	0.27	01.0
1910	01	11	34.0	11.0	10.00	1.14	102.41	0.15	01.0	0	1	1	0	1	0	0	1	0.27	01.0
1910	01	12	34.0	11.0	10.00	1.14	102.41	0.15	01.0	0	1	1	0	1	0	0	1	0.27	01.0
1910	01	13	34.0	11.0	10.00	1.14	102.41	0.15	01.0	0	1	1	0	1	0	0	1	0.27	01.0
1910	01	14	34.0	11.0	10.00	1.14	102.41	0.15	01.0	0	1	1	0	1	0	0	1	0.27	01.0
1910	01	15	34.0	11.0	10.00	1.14	102.41	0.15	01.0	0	1	1	0	1	0	0	1	0.27	01.0
1910	01	16	34.0	11.0	10.00	1.14	102.41	0.15	01.0	0	1	1	0	1	0	0	1	0.27	01.0
1910	01	17	34.0	11.0	10.00	1.14	102.41	0.15	01.0	0	1	1	0	1	0	0	1	0.27	01.0
1910	01	18	34.0	11.0	10.00	1.14	102.41	0.15	01.0	0	1	1	0	1	0	0	1	0.27	01.0
1910	01	19	34.0	11.0	10.00	1.14	102.41	0.15	01.0	0	1	1	0	1	0	0	1	0.27	01.0
1910	01	20	34.0	11.0	10.00	1.14	102.41	0.15	01.0	0	1	1	0	1	0	0	1	0.27	01.0
1910	01	21	34.0	11.0	10.00	1.14	102.41	0.15	01.0	0	1	1	0	1	0	0	1	0.27	01.0
1910	01	22	34.0	11.0	10.00	1.14	102.41	0.15	01.0	0	1	1	0	1	0	0	1	0.27	01.0
1910	01	23	34.0	11.0	10.00	1.14	102.41	0.15	01.0	0	1	1	0	1	0	0	1	0.27	01.0
1910	01	24	34.0	11.0	10.00	1.14	102.41	0.15	01.0	0	1	1	0	1	0	0	1	0.27	01.0
1910	01	25	34.0	11.0	10.00	1.14	102.41	0.15	01.0	0	1	1	0	1	0	0	1	0.27	01.0
1910	01	26	34.0	11.0	10.00	1.14	102.41	0.15	01.0	0	1	1	0	1	0	0	1	0.27	01.0
1910	01	27	34.0	11.0	10.00	1.14	102.41	0.15	01.0	0	1	1	0	1	0	0	1	0.27	01.0
1910	01	28	34.0	11.0	10.00	1.14	102.41	0.15	01.0	0	1	1	0	1	0	0	1	0.27	01.0
1910	01	29	34.0	11.0	10.00	1.14	102.41	0.15	01.0	0	1	1	0	1	0	0	1	0.27	01.0
1910	01	30	34.0	11.0	10.00	1.14	102.41	0.15	01.0	0	1	1	0	1	0	0	1	0.27	01.0
1910	01	31	34.0	11.0	10.00	1.14	102.41	0.15	01.0	0	1	1	0	1	0	0	1	0.27	01.0

TABLE C. RESULTS OF THE ANALYSIS OF LABORATORY IN THE INDUSTRIES OF POLICE DE SAN JUAN STRATEGISTA, ESTADO DE VERACRUZ

Mm.	Perfil	Prof. mm	Arena %	Acililo %	Anua Nieve %	D.A. G.M.3	N.O. %	H <sub>2</sub> O %	P ppm	Poros.	Belleve	Prof. dia.	Prof. efectiva	Densidad	Porosidad	Entren. %	Radio mm.	Alison mm.	Exalt. bilidad	Gráfico bilidad
411	31	010	89.0	01.0	11.45	1.41	01.47	0.04	01.4	1	1	0	0	4	0	4	0	3	0.41	01.4
	31	050	81.0	01.1	05.17	1.10	00.54	0.03	01.0	1				4	0	4				
	31	090	81.0	01.5	05.43	1.18	00.54	0.03	01.0	1				4	0	4				
	31	130	81.0	01.5	05.43	1.18	00.40	0.03	01.7	1				4	0	4				
311	18	005	54.0	10.5	14.10	1.31	01.74	0.17	01.4	1	1	3	0	4	0	3	0	2	0.43	01.4
	18	030	50.0	12.0	12.42	1.11	02.28	0.07	00.8	1				4	0	4				
	18	065	44.5	11.0	16.74	1.14	01.21	0.04	00.5	1				4	0	4				
299	39	030	64.0	12.0	14.44	1.04	02.06	0.17	01.1	1	1	0	0	3	1	3	1	3	0.47	01.4
	39	065	45.5	20.5	17.45	1.20	02.55	0.08	00.5	1				3	3	3				
	39	100	48.0	19.5	15.33	1.20	00.47	0.04	00.4	1				3	3	3				
281	40	015	93.0	01.0	04.44	1.48	00.94	0.04	01.7	1	1	0	0	4	0	4	0	3	0.43	01.8
	40	050	94.5	01.0	02.95	1.54	00.47	0.04	02.5	1				4	0	4				
	40	100	90.5	01.0	02.95	1.54	00.40	0.03	01.4	1				4	0	4				
293	41	040	09.0	11.0	14.22	1.04	01.74	0.17	01.4	1	0	0	0	3	2	3	0	4	0.31	01.8
	41	100	03.0	11.0	14.70	1.04	01.47	0.10	01.0	1				3	2	2				
278	42	010	81.0	04.0	05.93	1.22	02.81	0.04	04.1	2	0	0	0	4	0	4	0	3	0.55	01.3
	42	020	85.0	04.0	07.48	1.40	00.94	0.08	01.5	1				4	0	4				
	42	080	81.5	04.0	09.25	1.14	00.94	0.07	01.7	2				4	0	4				
	42	110	78.0	04.0	07.38	1.42	00.94	0.10	01.4	2				4	0	4				
704	43	010	70.0	08.0	06.52	1.22	01.88	0.08	02.5	1	0	0	0	3	1	4	0	2	0.54	01.2
	43	050	67.5	04.5	01.90	1.19	00.80	0.08	01.3	1				3	1	4				
	43	120	69.5	08.0	04.19	1.52	00.47	0.03	01.2	1				3	1	4				
241	44	040	88.5	01.5	01.50	1.40	01.80	0.04	03.0	1	0	0	0	4	1	4	0	1	0.45	01.0
	44	110	79.0	08.0	01.31	1.19	00.80	0.04	01.4	1				4	1	4				
244	45	050	41.5	11.5	11.58	1.21	00.94	0.10	02.7	1	0	0	0	4	0	4	0	1	0.34	01.4
	45	090	41.5	01.0	11.18	1.14	00.81	0.02	02.9	1				4	0	4				
337	46	030	79.5	02.0	01.01	1.31	01.01	0.11	01.0	1	2	1	0	3	1	2	0	0	0.47	01.4
	46	050	74.0	04.0	01.48	1.15	00.80	0.04	02.0	1				3	1	2				
	46	090	74.0	04.0	01.11	1.11	00.54	0.04	00.9	1				3	1	2				
	46	120	74.0	04.0	01.14	1.29	00.47	0.03	00.7	1				3	1	2				
410	47	020	87.0	07.5	05.08	1.37	01.41	0.19	01.5	1	1	0	0	4	1	4	0	1	0.50	01.0
	47	040	80.0	02.0	04.18	1.41	00.40	0.17	00.7	1				4	1	4				
	47	080	84.0	03.0	04.20	1.14	00.54	0.07	00.5	1				4	1	4				
	47	120	85.5	01.0	04.54	1.49	00.40	0.04	01.3	1				4	1	4				
404	48	010	80.0	01.5	10.28	1.41	02.41	0.13	01.7	1	0	0	2	3	1	3	0	2	0.41	01.0
	48	030	81.5	01.5	06.38	1.49	00.54	0.07	00.7	1				4	1	3				
	48	070	78.0	04.0	06.54	1.41	00.47	0.05	01.1	1				4	1	3				
429	49	030	44.0	14.0	11.51	1.03	02.41	0.19	13.5	1	1	1	1	2	1	3	0	1	0.47	01.0
	49	040	27.5	06.0	16.04	0.89	00.54	0.17	00.6	1				3	2	2				
	49	070	22.0	11.5	19.57	1.10	00.47	0.01	00.1	1				3	2	2				
	49	120	20.0	14.0	19.41	1.11	00.54	0.09	00.1	1				3	2	2				
2341	50	020	81.5	04.0	09.09	1.12	01.88	0.25	04.8	1	2	1	1	3	1	4	0	0	0.52	01.0
	50	100	77.0	12.0	04.41	1.20	00.47	0.04	01.3	1				3	1	4				
414	51	020	43.5	18.0	04.38	1.11	00.47	0.09	00.8	1	1	1	1	3	1	3	0	0	0.51	01.0
	51	040	42.5	24.0	07.95	1.04	00.47	0.09	00.7	1				3	1	3				
	51	080	37.5	04.0	10.15	1.21	02.14	0.30	01.0	1				3	1	3				
314	52	040	37.5	12.5	11.92	1.12	02.95	0.32	05.4	1	1	1	0	4	0	4	0	0	0.54	01.2
	52	065	49.0	18.0	12.90	1.15	01.21	0.11	01.0	1				4	0	4				
	52	150	41.0	26.5	13.72	1.12	00.47	0.17	01.3	0				4	0	4				
414	53	071	72.5	04.5	07.92	1.17	01.49	0.11	00.5	1	1	1	0	3	1	3	0	0	0.48	01.2
	53	015	51.0	10.0	09.45	1.14	00.47	0.04	01.8	1				3	1	3				
	53	070	60.0	11.0	11.09	1.11	00.47	0.08	00.2	1				3	1	3				
	53	120	55.5	26.0	11.06	1.17	00.47	0.09	00.3	1				3	1	3				
10	54	050	61.5	14.0	11.89	1.18	02.01	0.10	00.5	0	1	1	0	3	1	3	0	1	0.43	01.0
	54	080	67.0	20.5	09.99	1.11	00.47	0.11	00.4	0				3	1	3				
	54	120	47.5	31.5	03.89	1.14	00.80	0.08	00.9	1				3	1	3				
	54	160	33.5	24.5	03.11	1.03	00.54	0.04	01.4	1				3	1	3				
140	55	040	61.0	24.0	19.44	0.91	02.28	0.18	04.8	1	1	1	1	3	1	3	0	1	0.37	01.2
	55	080	69.8	19.0	27.50	0.94	01.41	0.13	01.1	1				3	1	3				

MAPA DE CLASES DE SUELOS DE PLAYA VICENTE, VER. (A CLASES)





MAPA DE CLASES DE SUELOS DE S.J. EVANGELISTA, EDO. DE VER.  
(8 CLASES)

