

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

**CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y
AGROPECUARIAS
DIVISIÓN DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
COORDINACIÓN DEL PROGRAMA DE POSGRADO
EN CIENCIAS AGRÍCOLAS Y FORESTALES**



IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES EDÁFICAS LIMITANTES PARA LA AGRICULTURA DE ZAPOPAN MEDIANTE LA APLICACIÓN DE SIG

DANIEL IBARRA CASTILLO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS AGRÍCOLAS Y FORESTALES

Las Agujas, Municipio de Zapopan, Jalisco, Julio de 2005.

ESTA TESIS TITULADA "IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES EDÁFICAS LIMITANTES PARA LA AGRICULTURA DE ZAPOPAN, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE SIG", FUE REALIZADA BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO TUTORIAL INDICADO, HA SIDO APROBADA POR EL MISMO Y ACEPTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO DE:

MAESTRIA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS Y FORESTALES

ÁREA: AGRICULTURA SUSTENTABLE

CONSEJO TUTORIAL

TUTOR:



DR. JOSÉ ARIEL RUÍZ CORRAL

ASESOR:



DR. DIEGO RAYMUNDO GONZALEZ EGUIARTE

ASESOR:



DR. JOSÉ GERMAN FLORES GARNICA

Las Agujas, Municipio de Zapopan, Jalisco, Julio de 2005.

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS
BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS
DIVISIÓN DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
COORDINACIÓN DEL PROGRAMA DE POSGRADO
EN CIENCIAS AGRÍCOLAS Y FORESTALES

Fue realizado el trabajo de tesis titulado:

**“IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES EDÁFICAS LIMITANTES PARA LA
AGRICULTURA DE ZAPOPAN MEDIANTE LA APLICACIÓN DE SIG”.**

Del C. Daniel Ibarra Castillo. Aprobada por el Cuerpo Tutorial y aceptada como
requisito parcial para la obtención de grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS AGRÍCOLAS Y FORESTALES
ÁREA: AGRICULTURA SUSTENTABLE

Bajo la dirección del Consejo indicado:

TUTOR: _____


DR. JOSÉ ARIEL RUÍZ CORRAL

ASESOR: _____


DR. DIEGO RAYMUNDO GONZALEZ EGUIARTE

ASESOR: _____


DR. JOSÉ GERMAN FLORES GARNICA

ASESOR: _____


DR. ROGELIO LÉPIZ ILDEFONSO

ASESOR: _____


M.C. RICARDO NUÑO ROMERO

Las Agujas, Municipio de Zapopan, Jalisco, Julio de 2005.

AGRADECIMIENTO

A mi esposa Ma. Consuelo Cabrera Toscano y a mis hijos: Daniel, Consuelo, Diego, Fátima, Sara, y Luis Rafael Ibarra Cabrera, por el apoyo incondicional dado en el estudio de la Maestría, para mi formación profesional, el tiempo, paciencia, y sacrificios brindado desde el inicio hasta el termino de mis estudios, como en el desarrollo de mi trabajo de tesis.

Al Dr. José Ariel Ruiz Corral por la aportación en mi formación profesional, el apoyo incondicional brindado, por las ideas sugeridas y experiencias durante el desarrollo del trabajo, y dirección excelente y finalización del presente estudio.

Al Dr. Diego Raymundo González Eguiarte por el apoyo ilimitado, experiencias, consejos y aportaciones en mi formación profesional, las sugerencias, revisión excelente del trabajo de tesis.

Al Dr. José Germán Flores Garnica por sus aportaciones y sugerencias en mi formación profesional y revisión del escrito de la tesis.

Dr. Juan Francisco Casas Salas, por sus consejos y el apoyo brindado en el proceso del posgrado, como en el trabajo realizado.

A los Maestros y compañeros que de una u otra manera intervinieron en el quehacer del postgrado y de la tesis.

Al Lic. José Guadalupe Valadez, por el apoyo de campo realizado. Al Lic. José Ricardo Regalado Ruvalcaba por el apoyo y facilidades en procesos del trabajo, Ing. Francisco Plascencia Ruelas y MVZ. Eduardo Salazar Ramos por el apoyo de bibliografía.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) de la Región Centro Pacífico, por las facilidades en el uso de las instalaciones, como en la elaboración y finalización del trabajo de tesis.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), quién a través del proyecto R-29161-B, financió parte de los trabajos de este estudio.

A La Fundación Produce Jalisco (FPJ) y al Laboratorio de física y químico de suelos de la FPJ A. C., por el apoyo brindado y las facilidades en la obtención de información, como en la determinación de los análisis de las muestras.

Al Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA), Al Departamento. Ciencias. Ambientales, a la Unidad del Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica (ULSIG), por el apoyo brindado en la realización de mi formación del posgrado, como el proceso del trabajo de tesis y las facilidades en el uso de las instalaciones. Y al Instituto del Medio Físico (IMF) quien apoyo parte de la impresión de tesis.

A la Coordinación del Posgrado General, como a la Coordinación de Programa en Ciencias Agrícolas y Forestales, del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA) y su personal, por sus atenciones y las facilidades en el uso de las instalaciones.

A la Universidad de Guadalajara, por al apoyo brindado en la realización de mi formación de los estudios de postgrado, como el desarrollo del trabajo realizado.

A todas aquellas personas, e instituciones, de una u otra manera intervinieron en la realización del presente trabajo y que por omisión no fueron mencionadas.

DEDICATORIA

A mi esposa:

Consuelo

Con todo mi Ser y con todo mi Amor.

Por su Apoyo, por el Amor, el Esmero, y dedicación.

A mis hijos:

Daniel, Consuelo, Diego, Fátima, Sara, y Luis Rafael

Que son la simiente de inspiración, motivación e ilusiones

Por su Amor, las alegrías, las satisfacciones y el apoyo requerido.

A la memoria de mi Mamá (+):

Sra. Alicia Castillo E.

Por la vida que medio, por el gran ejemplo, educación, honradez,

Dedicación ofrecida en el crecimiento y superación, dando todo

a cambio, por ver a su hijo formado y realizado en la vida.

A:

Dios

Fuente de Fe y de inspiración y aliento de repuesta ante la vida y creación.

A:

La Vida

Por las oportunidades que me ofrece, para vivir mejor y en armonía.

CONTENIDO

	Página
I. INTRODUCCION	1
II. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Objetivos particulares.....	3
III. HIPÓTESIS.....	4
IV. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
4.1. La sustentabilidad.....	5
4.2. El Suelo	5
4.2.1. Definición del suelo.....	5
4.2.2. Caracterización del recurso del suelo.....	7
4.2.3. Propiedades físico y químicas del suelo.....	8
4.2.3.1. Textura y porosidad del suelo.....	8
4.2.3.2. Conductividad eléctrica (CE) (Salinidad).....	12
4.2.3.3. pH	13
4.2.3.4. Aluminio (Al).....	16
4.2.3.5. Materia orgánica (MO).....	19
4.2.3.6. Capacidad de campo (CC).....	20
4.2.3.7. Punto de marchitamiento permanente (PMP).....	21
4.2.3.8. Agua aprovechable (AA).....	21
4.2.3.9. Densidad aparente (Da).....	22
4.3 Los sistemas de información geográfica (SIG) y sus aplicaciones.....	22
4.4. Geoestadística.....	24
4.4.1. El método Kriging (K).....	25
V. MATERIALES Y METODOS.....	28
5.1. Área de estudio.....	28
5.1.1. Características ambientales.....	29

5.1.1.1. Orografía.....	29
5.1.1.2. Hidrografía.....	29
5.1.1.3. Geología.....	30
5.1.1.4. Clima.....	30
5.1.1.5. Suelos.....	31
5.1.2. Características de los suelos predominantes.....	31
5.1.3. Materiales.....	34
5.1.3.1. Material cartográfico.....	34
5.1.4. Metodología.....	34
5.1.4.1) Recopilación de la información disponible de la zona de estudio.....	35
5.1.4.2) Identificación de necesidades de muestreo y recolección de muestras georreferenciadas en campo.....	35
5.1.4.3) Análisis de laboratorio e integración de una matriz de datos.....	40
5.1.4.4) Interpolación espacial.....	41
5.1.4.5) Análisis de imágenes para identificar limitantes para la agricultura.....	43
5.1.4.6) Generación de cartas temáticas por variable.....	52
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	53
6.1. Recopilación de información disponible del área de estudio.....	53
6.2. Identificación de necesidades de muestreo y toma de muestras georreferenciadas en campo.....	53
6.3. Análisis de laboratorio e integración de una matriz de datos.....	59
6.4. Interpolación espacial.....	59
6.5. Modelaje de la variabilidad espacial de propiedades del suelo...	59
6.6. Análisis de la información para identificar limitantes para la agricultura.....	74
6.6.1. Textura.....	74
6.6.2. Materia orgánica.....	77
6.6.3. pH.....	78
6.6.4. Aluminio intercambiable.....	80

6.6.5. Conductividad eléctrica (salinidad).....	83
6.6.6. Densidad aparente.....	84
6.6.7. Capacidad de almacenamiento de humedad del suelo	85
(CAHS) en los primeros 60 cm del perfil.....	
6.7. Cartografía temática.....	87
VII. CONCLUSIONES.....	96
VIII. BIBLIOGRAFIA.....	98
IX. ANEXO.....	118

INDICE DE CUADROS

		Página
CUADRO 1.	REACCIONES DE LOS DIFERENTES NIVELES DE PH (Chapman y Pratt, 1997; Porta <i>et al.</i> , 1999).....	15
CUADRO 2.	SUPERFICIE Y NIVEL DE REPRESENTATIVIDAD DE DIFERENTES UNIDADES DE SUELO EN EL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO (Fuente: UdeG, 2000).....	33
CUADRO 3.	SUBUNIDADES CORRESPONDIENTES A CADA UNIDAD DE SUELO DE ZAPOPAN, JALISCO (Fuente: INEGI, 1975; UdeG, 2000).....	34
CUADRO 4.	TIPO DE TEXTURA CORRESPONDIENTE A CADA UNIDAD DE SUELO (Fuente: INEGI, 1997; UdeG, 2000).....	34
CUADRO 5.	BASE DE DATOS DE 242 SITIOS DE MUESTREOS GEORREFERENCIADOS PARA EL LEVANTAMIENTO EN CAMPO DEL ÁREA DE ESTUDIO DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO.	39
CUADRO 6.	AGRUPACIÓN DE LAS CLASES TEXTURALES DEL SUELO EN TRES TIPOS BÁSICOS DE TEXTURA (FAO, 1985).....	45
CUADRO 7.	ESTRATIFICACIÓN PARA LA MATERIA ORGÁNICA (M.O.) (Moreno Dahme, 1993)	46
CUADRO 8.	CLASIFICACIÓN DEL PH DEL SUELO (Moreno, 1993).....	47
CUADRO 9.	ESTRATIFICACIÓN DEL CONTENIDO DE ALUMINIO INTERCAMBIABLE EN EL SUELO.....	48
CUADRO 10.	ESTRATIFICACIÓN POR CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (USDA, 1954).....	49
CUADRO 11.	CLASIFICACIÓN DE DENSIDAD APARENTE DEL SUELO.....	50
CUADRO 12.	CONDICIÓN DE HUMEDAD EN LOS PRIMEROS 60 CM DE SUELO, PARA CUATRO INTERVALOS DE CAHS.....	52
CUADRO 13.	VALOR DEL CUADRADO MEDIO DEL ERROR (CME) PARA DOS TÉCNICAS DE INTERPOLACIÓN: KRIGING ORDINARIO (KO) Y DISTANCIA INVERSA PONDERADA (DIP) AL INTERPOLAR NUEVE PROPIEDADES DEL SUELO DE LA ZONA AGRÍCOLA DE ZAPOPAN, JALISCO	60
CUADRO 14.	CLASES TEXTURALES DEL SUELO DE LA ZONA	

	AGRÍCOLA ACTUAL DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO.....	75
CUADRO 15.	COMPARACIÓN DE LA CLASE DE SUELO RESULTANTE DE LA ZONA AGRÍCOLA ACTUAL DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO, CON EL SUELO IDEAL PRODUCTIVO, EN RELACIÓN CON LOS PORCENTAJES DE LAS PARTÍCULAS DEL SUELO.....	76
CUADRO 16.	CONDICIÓN ACTUAL DE CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA Y FERTILIDAD DEL SUELO DE LA ZONA AGRÍCOLA ACTUAL DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO.....	77
CUADRO 17.	VALORES DE PH Y CONDICIONES DE ACIDEZ EN EL SUELO AGRÍCOLA ACTUAL DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO.....	80
CUADRO 18.	CONDICIÓN DE ALUMINIO INTERCAMBIABLE DEL SUELO DE LA ZONA AGRÍCOLA ACTUAL DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO.....	82
CUADRO 19.	CONDICIÓN DE LA SALINIDAD (C.E.) EN LOS SUELOS DE LA ZONA AGRÍCOLA ACTUAL DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO.....	83
CUADRO 20.	CONDICIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE EN LOS SUELOS DE LA ZONA AGRÍCOLA ACTUAL DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO.....	85
CUADRO 21.	CONDICIÓN DE LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE HUMEDAD DEL SUELO EN LOS 60 CM DEL PERFIL, EN LA ZONA AGRÍCOLA ACTUAL DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO...	86
CUADRO 1a.	BASE DE DATOS DE OCHO PROPIEDADES DEL SUELO DE 152 SITIOS DE MUESTREOS GEOREFERENCIADOS, DE LOS 281, DEL ÁREA AGRÍCOLA DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO (años 1975 y 2000)	118
CUADRO 1b	BASE DE DATOS DE NUEVE PROPIEDADES DEL SUELO DE 129 SITIOS DE MUESTREOS GEOREFERENCIADOS, DE LOS 281, UBICADOS EN EL ÁREA AGRÍCOLA DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO (años 2002)	121
CUADRO 2A.	MATRIZ DE DATOS DE LOS SITIOS DE MUESTREOS RESULTANTES DE ONCE VARIABLES DEL SUELO, DETERMINADAS EN LA ZONA AGRÍCOLA DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO (año 2004).....	123
CUADRO 3A.	AGRUPACIÓN EN PORCENTAJE DE LAS CLASES TEXTURALES DEL SUELO, EN LOS TRES TIPOS BÁSICOS DE TEXTURA SEGÚN FAO (FAO, 1980), EN LA ZONA AGRÍCOLA DEL MUNICIPIO DE	

	ZAPOPAN, JALISCO.....	126
CUADRO 4A.	RELACIÓN DE RANGOS DE PH, PARA DIFERENTES CULTIVOS AGRÍCOLAS.....	127
CUADRO 5A.	RELACIÓN EN LA REACCIÓN DEL RANGO DEL PH EN EL SUELO, CON LAS SOLUBILIDAD DE LOS ELEMENTOS DEL SUELO, EN CLIMA TEMPLADO...	128
CUADRO 6A	RELACIÓN DE CULTIVOS QUE SE DESARROLLAN EN LA ZONA AGRÍCOLA DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO.....	129

INDICE DE FIGURAS

		Página
FIGURA 1.	RELACIÓN ENTRE EL PH DEL SUELO Y SATURACIÓN DE ALUMINIO PARA VARIOS OXISOLES Y ULTISOLES DE PUERTO RICO (Abruña y Vicente, 1955).....	16
FIGURA 2.	VARIACIÓN DEL RENDIMIENTO DE MAÍZ CON EL PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE ALUMINIO EN CINCO ULTISOLES DE PUERTO RICO (Abruña et al., 1975).....	18
FIGURA 3.	TRIÁNGULO DE TEXTURAS DEL SUELO (Adaptado de USDA, 1954).....	44
FIGURA 4.	VARIOGRAMA ISOTRÓPICO (A), MODELO DE VARIABILIDAD ESPACIAL (B), E IMAGEN RASTER (C) DEL PORCENTAJE DE ARENA DEL SUELO DE LA ZONA AGRÍCOLA DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO	62
FIGURA 5.	VARIOGRAMA ISOTRÓPICO (A), MODELO DE VARIABILIDAD ESPACIAL (B), E IMAGEN RASTER (C) DEL PORCENTAJE DE LIMO DEL SUELO DE LA ZONA AGRÍCOLA DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO.....	63
FIGURA 6.	VARIOGRAMA ISOTRÓPICO (A), MODELO DE VARIABILIDAD ESPACIAL (B), E IMAGEN RASTER (C) DEL PORCENTAJE DE ARCILLA DEL SUELO DE LA ZONA AGRÍCOLA DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO.....	64
FIGURA 7.	VARIOGRAMA ISOTRÓPICO (A), MODELO DE VARIABILIDAD ESPACIAL (B), E IMAGEN RASTER (C) DEL CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO DE LA ZONA AGRÍCOLA DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO.....	65
FIGURA 8.	VARIOGRAMA ISOTRÓPICO (A), MODELO DE VARIABILIDAD ESPACIAL (B), E IMAGEN RASTER (C) DEL PH DEL SUELO DE LA ZONA AGRÍCOLA DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO.....	66
FIGURA 9.	VARIOGRAMA ISOTRÓPICO (A), MODELO DE VARIABILIDAD ESPACIAL (B), E IMAGEN RASTER (C) DEL PORCENTAJE DE ALUMINIO INTERCAMBIABLE DEL SUELO DE LA ZONA AGRÍCOLA DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO.....	67

FIGURA 10.	VARIOGRAMA ISOTRÓPICO (A), MODELO DE VARIABILIDAD ESPACIAL (B), E IMAGEN RASTER (C) DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL SUELO DE LA ZONA AGRÍCOLA DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO	68
FIGURA 11.	VARIOGRAMA ISOTRÓPICO (A), MODELO DE VARIABILIDAD ESPACIAL (B), E IMAGEN RASTER (C) DE LA DENSIDAD APARENTE DEL SUELO DE LA ZONA AGRÍCOLA DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO.....	69
FIGURA 12.	VARIOGRAMA ISOTRÓPICO (A), MODELO DE VARIABILIDAD ESPACIAL (B), E IMAGEN RASTER (C) DE LA CAPACIDAD DE CAMPO DEL SUELO DE LA ZONA AGRÍCOLA DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO.....	70
FIGURA 13.	VARIOGRAMA ISOTRÓPICO (A), MODELO DE VARIABILIDAD ESPACIAL (B), E IMAGEN RASTER (C) DEL PUNTO DE MARCHITAMIENTO PERMANENTE DEL SUELO DE LA ZONA AGRÍCOLA DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO.....	71
FIGURA 14.	VARIOGRAMA ISOTRÓPICO (A), MODELO DE VARIABILIDAD ESPACIAL (B), E IMAGEN RASTER (C) DE LA HUMEDAD APROVECHABLE DEL SUELO DE LA ZONA AGRÍCOLA DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO.....	72
FIGURA 15.	VARIOGRAMA ISOTRÓPICO (A), MODELO DE VARIABILIDAD ESPACIAL (B), E IMAGEN RASTER (C) DE LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE HUMEDAD DEL SUELO EN LOS PRIMEROS 60 CM DEL PERFIL, DE LA ZONA AGRÍCOLA DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO.....	73
FIGURA 16.	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CLASES TEXTURALES DEL SUELO DE LA ZONA AGRÍCOLA ACTUAL DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO.....	74
FIGURA 17.	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE TRES GRANDES GRUPOS DE TEXTURA EN LA ZONA AGRÍCOLA ACTUAL DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO.	75
FIGURA 18.	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS CONDICIONES DE MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO EN LA ZONA AGRÍCOLA ACTUAL DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO.....	77
FIGURA 19.	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS CONDICIONES DE ACIDEZ PARA LOS SUELOS DE LA ZONA AGRÍCOLA ACTUAL DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO.....	79

FIGURA 20.	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS NIVELES DE ALUMINIO INTERCAMBIABLE PARA EL SUELO DE LA ZONA AGRÍCOLA ACTUAL DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO.....	82
FIGURA 21.	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS CONDICIONES DE SALINIDAD PARA LOS SUELOS DE LA ZONA AGRÍCOLA ACTUAL DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO.....	83
FIGURA 22.	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA DENSIDAD APARENTE PARA LOS SUELOS DE LA ZONA AGRÍCOLA ACTUAL DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO.....	84
FIGURA 23.	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE HUMEDAD DEL SUELO, EN LOS 60 CM DEL PERFIL, PARA LOS SUELOS DE LA ZONA AGRÍCOLA ACTUAL DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO.....	85

INDICE DE MAPAS

		Página
MAPA 1.	LOCALIZACIÓN DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO.....	29
MAPA 2.	UNIDADES DE SUELO FAO-UNESCO EN ZAPOPAN. (Adaptado de UdeG, 2000).....	33
MAPA 3.	UBICACIÓN DE LA ZONA AGRÍCOLA DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO (Adaptado de UdeG, 2000).....	37
MAPA 4.	PLANO DE LOCALIZACIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREOS GEORREFERENCIADOS EN CAMPO DEL ÁREA DE ESTUDIO DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO.....	38
MAPA 5.	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE 4,483 SITIOS DE MUESTREO DE SUELO EN EL ESTADO DE JALISCO.....	54
MAPA 6.	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE SITIOS DE MUESTREOS EN EL MUNICIPIO DE ZAPOPAN Y SU ÁREA AGRÍCOLA.....	55
MAPA 7.	OCUPACIÓN AGRÍCOLA ACTUAL DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO (2004).....	56
MAPA 8.	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS SITIOS DE MUESTREOS REALIZADOS EN LA ZONA AGRÍCOLA ACTUAL DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO.....	57
MAPA 9.	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA MANCHA URBANA EN RELACIÓN CON EL ÁREA AGRÍCOLA, EN LOS PERÍODOS 1981-1990, 1991-2000, 2001-2003 Y AÑO 2004 EN EL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO.....	58
MAPA 10.	MAPA 10. CLASES TEXTURALES DEL SUELO EN LA ZONA AGRÍCOLA ACTUAL DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO.	87
MAPA 11.	MAPA 11. UNIDADES DEL SUELO EN LA ZONA AGRÍCOLA ACTUAL DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO.....	88
MAPA 12.	TIPOS DE TEXTURA DEL SUELO DE LA ZONA AGRÍCOLA ACTUAL DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO.....	89
MAPA 13.	CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO DE LA ZONA AGRÍCOLA ACTUAL DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO.....	90
MAPA 14.	PH DEL SUELO DE LA ZONA AGRÍCOLA ACTUAL	

MAPA 15.	DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO.....	91
	ALUMINIO INTERCAMBIABLE DEL SUELO EN LA	
	ZONA AGRÍCOLA ACTUAL DEL MUNICIPIO DE	
	ZAPOPAN, JALISCO.....	92
MAPA 16.	SALINIDAD DEL SUELO EN LA ZONA AGRÍCOLA	
	ACTUAL DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN, JALISCO...	93
MAPA 17.	DENSIDAD APARENTE DEL SUELO EN LA ZONA	
	AGRÍCOLA ACTUAL DEL MUNICIPIO DE ZAPOPAN,	
	JALISCO.....	94
MAPA 18.	CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE HUMEDAD	
	DEL SUELO (CAHS) EN LOS 60 CM DEL PERFIL,	
	EN LA ZONA AGRÍCOLA ACTUAL DEL MUNICIPIO	
	DE ZAPOPAN, JALISCO.....	95

RESUMEN

El objetivo del presente estudio es identificar las variables edáficas limitantes para la agricultura en el área agrícola del municipio de Zapopan, Jalisco, México. Mediante la determinar y analizar la variabilidad espacial de las propiedades físicas y químicas de los suelos, aplicando los SIG. Se realizaron muestreos de campo georreferenciados, para su posterior análisis en laboratorio y determinaciones de la variables estudiadas. Se desarrollaron seis procesos en la metodología, siendo: 1) Recopilación de la información disponible de la zona de estudio. 2) Identificación de necesidades de muestreo y recolección de muestras georreferenciadas en campo. 3) Análisis de laboratorio e integración de una matriz de datos. 4) Interpolación espacial. 5) Análisis de las imágenes para identificar limitantes para la agricultura. 6) Generación de cartas temáticas por variable. Los resultados se los análisis se capturaron en una hoja de cálculo electrónico (Excel Microsoft) para integrar una matriz de datos georreferenciados, a partir del cual se probaron dos métodos de interpolación espacial: Kriging Ordinario y Distancia Inversa Ponderada. KO sugerido por las ventajas que se tiene para las variables edáficas y DIP de comparación. Comprobando la bondad del ajuste de las técnicas usando la validación cruzada y el CME. Lo resultados mostraron el comportamiento de las técnicas casi similar, considerando que el método KO fue ligeramente superior, para la mayoría de las variables estudiadas. Seleccionando KO para generar las imágenes raster de cada una de las variables, partiendo de los criterios ya establecidos para nueve propiedades del suelo se clasificaron las imágenes, caracterizando el recurso, y determinado las condiciones de la distribución espacial, estableciendo las limitantes de la agricultura mediante el uso de los (SIG) IDRISI32 y generando los mapas temáticos con (SIG) ArcView 3.2. Describieron para textura: la presencia de dos principales clases texturales: arena franca con 46.83% y franco arenoso 45.11%. En MO las condiciones: muy pobre y pobre con el 100%. El pH es valorado con las condiciones fuertemente ácida 61.10% y moderadamente ácida con 38.90%. El Al intercambiable su condición es bajo, moderadamente bajo y mediano con el 22.98, 68.39 y 8.63 %

respectivamente. CE, la condición es no salino con el 97.13% del área. La Da, la condición, es no compacta y la CAHS, en los primeros 60 cm del perfil, es baja, media y alta con 71.37%, 28.49% y 0.13% respectivamente. Se concluye: que los métodos de interpolación espacial se comportaron de manera similar; sin embargo, se aprecia que el método KO fue ligeramente superior, para la mayoría de las variables estudiadas, seleccionando KO para generar las interpolaciones. Se aprecia que DIP fue ligeramente mejor para limo, CE y CASH, según los resultados del CME. El análisis de la distribución espacial de las variables estudiadas identifico como limitantes en la agricultura, las siguientes condiciones: Textura arena franca y franco-arenoso, predispone suelos con alta porosidad, escasa adhesión entre sus partículas, baja capacidad de retención de humedad, baja capacidad de intercambio, rápida lixiviación de elementos nutrimentales, baja estabilidad del suelo y estructura desmoronable. Bajo contenido de MO, arcilla y materiales cementantes pueden propiciar alta vulnerabilidad de los suelos a la erosión tanto eólica como hídrica y disminuyen la capacidad de retención de humedad, así como la capacidad de intercambio catiónico y fertilidad del suelo. El contenido de MO se ubica entre muy pobre y pobre, indicando una condición baja de fertilidad de los suelos del área agrícola, con riesgo alto de pérdida del suelo, y por tanto un nivel de erodabilidad alto. Fuerte acidez del pH, condición que puede debilitar el crecimiento y el volumen del sistema radicular de las plantas, incrementar la presencia de elementos tóxicos. El 8.63% de la superficie agrícola presenta un contenido de Al intercambiable entre 5-15%, condición que puede causar trastornos en el suelo, por toxicidad e incremento del estrés hídrico de la planta en tiempo de secas, y disminución de la capacidad de aprovechamiento y captación de agua y nutrimentos. El contenido de Al está estrechamente asociado con los suelos fuertemente ácidos. En términos generales, el suelo no presenta problemas de salinidad, como de compactación. La CAHS, se ubica en una condición que va de media a baja para el estrato de los primeros 60 cm de suelo. Con base en las conclusiones anteriores se tiene que los suelos de la zona agrícola del municipio de Zapopan, son suelos que actualmente experimentan procesos de degradación tanto física, como química y biológica.

ABSTRACT

The objective of the present study is to identify the variable restrictive soils for the agriculture in the agricultural area of the municipality of Zapopan, Jalisco, Mexico. By means of the to determine and to analyze the space variability of the physical and chemical properties of the soils, applying the SIG. They were carried out samplings of field georreferenciados, for their later analysis in laboratory and determinations of the studied variables. Six processes were developed in the methodology, being: 1) summary of the available information of the study area. 2) Identification of sampling necessities and gathering of samples georreferenciadas in field. 3) Laboratory analysis and integration of a womb of data. 4) Space interpolation. 5) Analysis of the images to identify obstacles for the agriculture. 6) Generation of thematic letters for variable. The results you the analyses were captured in a leaf of electronic calculation (Excel Microsoft) to integrate a womb of data georreferenciados, starting from which two methods of space interpolation were proven: Ordinary Kriging and Pondered Inverse Distance. KO suggested by the advantages that one has for the variable soils and comparison DIP. Checking the kindness of the adjustment of the techniques using the crossed validation and the CME. That been showed the behavior of the almost similar techniques, considering that the method KO was lightly superior, for most of the studied variables. Selecting KO to generate the images raster of each one of the variables, already leaving of the approaches established for nine properties of the soil the images were classified, characterizing the resource, and certain the conditions of the space distribution, establishing the restrictive of the agriculture by means of the use of those (SIG) IDRISI32 and generating the thematic maps with (SIG) ArcView 3.2. They Described for texture: the presence of two main textural classes: frank sand with 46.83% and franc sandy 45.11%. In MO the conditions: very poor and poor with 100%. The pH is valued with the conditions strongly sour 61.10% and moderately sour with 38.90%. The to the interchangeable one its condition is low, moderately under and medium with the 22.98, 68.39 and 8.63% respectively. CE, the condition is not saline with 97.13% of the area. Gives it, the condition, is not

compact and the CAHS, in the first 60 cm of the profile, is low, mediate and high with 71.37%, 28.49% and 0.13% respectively. You concludes: that the methods of space interpolation behaved in a similar way; however, it is appreciated that the method KO was lightly superior, for most of the studied variables, selecting KO to generate the interpolations. It is appreciated that DIP was lightly better for slime, CE and CASH, according to the results of the CME. The analysis of the space distribution of the studied variables identifies as restrictive in the agriculture, the following conditions: Frank and franc sandy texture sand, predisposes soils with high porosity, scarce adhesion among its particles, low capacity of retention of humidity, low exchange capacity, quick lixiviation of elements nutrimentales, low stability of the soil and structure desmoronable. Under content of MO, clay and material cementantes they can propitiate high vulnerability from the soils to the erosion so much eolic as hídrica and they diminish the capacity of retention of humidity, as well as the capacity of exchange catiónico and fertility of the soil. The content of MO is located among very poor and poor, indicating a low condition of fertility of the soils of the agricultural area, with high risk of loss of the soil, and therefore a level of high erodabilidad. Strong acidity of the pH, condition that can weaken the growth and the volume of the system radicular of the plants, to increase the presence of toxic elements. 8.63% of the agricultural surface presents a content of To the interchangeable one among 5-15%, condition that can cause dysfunctions in the soil, for toxicity and increment of the estrés hídrico of the plant in time of dry, and decrease of the use capacity and reception of water and nutrimentos. The content of to the one it is closely associated with the strongly sour soils. In general terms, the soil doesn't present problems of salinity, as of compactación. The CAHS, is located in a condition that goes from stocking to drop for the stratum of the first 60 soil cm. With base in the previous conclusions one has that the soils of the agricultural area of the municipality of Zapopan, are soils that at the moment experience degradation processes so much physics, as chemistry and biological.

I. INTRODUCCION

La cuantificación de los recursos ambientales disponibles para la agricultura, constituye una necesidad básica de información para la práctica de sistemas de producción sostenibles. Esta base de conocimientos permite definir el nivel de explotación de los recursos que es permisible en una región dada, haciendo posible el enfoque de sustentabilidad.

En el estado de Jalisco, como en muchas partes del país, la información disponible con respecto a la descripción de los recursos ambientales es en general escasa, pero más aún para ciertos aspectos como el suelo, para lo cual se dispone comúnmente de cartografía oficial de unidades de suelo y algunas características físico y químicas muy generales, con información que data de principios de la década de los años 70's.

Lo anterior pone de manifiesto la urgente necesidad que se tiene con respecto a la descripción actualizada de los recursos edáficos disponibles en las diferentes regiones del país. Es por ello que el presente estudio aborda el problema de la escasez de información edafológica en el estado de Jalisco y, específicamente en una de las regiones de mayor importancia agrícola en la entidad (al menos hasta hace poco tiempo) como lo es el municipio de Zapopan. La investigación se enfoca hacia la identificación de las principales variables físicas y químicas del suelo que limitan el desarrollo agrícola del área de estudio.

Debido a que el suelo presenta una variabilidad espacial considerable, impone también un considerable requerimiento de información, o al menos un diseño de diagnóstico apropiado para obtener una caracterización razonable de las diferentes variables edafológicas. Esto obviamente implica generar la información necesaria a través de muestreo en campo, pero también su manejo y representación en términos utilizables para la toma de decisiones. En este sentido, los sistemas de información geográfica (SIG) han probado ser durante los últimos años, una herramienta eficaz en el manejo, análisis y cartografiado de datos espaciales del territorio. Por esta razón, el uso de los SIG, así como

de herramientas de interpolación y representación espacial de datos edáficos, constituye también un enfoque importante de este estudio.

II. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

1.- Identificar las características físicas y químicas de los suelos limitantes para la agricultura, mediante la determinación y análisis de su variabilidad espacial en el área agrícola de Zapopan, aplicando los SIG.

2.2. OBJETIVOS PARTICULARES

1. Conformar una matriz de datos georreferenciados para el recurso suelo con base en sitios de muestreo de campo y determinaciones de laboratorio.

2. Describir la distribución espacial de las características físicas y químicas de los suelos del área agrícola del Municipio de Zapopan, Jalisco.

3. Generar y actualizar la cartografía temática edáfica del área de estudio en el Municipio de Zapopan, Jalisco.

4. Evaluar el ajuste de métodos de interpolación espacial de las variables edáficas.

5. Identificar las características físicas y químicas de los suelos que actualmente limitan la práctica y desarrollo de la agricultura municipal.

III. HIPÓTESIS

a) Los SIG permiten dirigir el manejo de la información en forma detallada y confiable, en la identificación de las características físicas y químicas de los suelos agrícolas de Zapopan.

b) La caracterización detallada de las propiedades del recurso suelo, permiten determinar las limitantes para la práctica y desarrollo de la agricultura municipal.

c) No es posible determinar la variabilidad espacial de las características del suelo con base a un muestreo sistemático.

d) El modelaje espacial de las características del suelo a través de kriging, como una estrategia de interpolación estocástica, no permiten una mejor estimación en comparación a alternativas determinísticas, como lo es el método de interpolación de distancia inversa ponderada.

IV. REVISION DE LITERATURA

4.1. La sustentabilidad.

La Organización de las Naciones Unidas (ONU), define un sistema sustentable como aquel destinado a satisfacer las necesidades del presente, sin comprometer la capacidad de satisfacer las necesidades de generaciones futuras (De Boer, 1999). Para alcanzar esta sustentabilidad, el manejo de los recursos naturales, entre ellos el suelo, es una cuestión fundamental. El manejo del suelo trasciende en el tiempo y en el espacio y es de un importante significado en la sostenibilidad de los sistemas productivos o en el impacto irreversible que pueda atentar contra los niveles de vida de la población (Ibarra, 2003).

La Organización Mundial de la Salud (OMS), declaró por consenso en Ginebra que el manejo adecuado de los recursos, garantiza un rendimiento mayor y la óptima sostenibilidad del aprovechamiento de los recursos (McKinney and Schoch, 1996; Bragachini *et al.*, 1999; Ortega *et al.*, 1999). En el camino hacia el desarrollo sustentable, uno de los principales retos es mantener un equilibrio entre el crecimiento poblacional y el manejo de los recursos naturales, que cada vez son más escasos (INE, 2001; PPJA, 2002).

4.2. El Suelo.

4.2.1. Definición del suelo.

El suelo es el medio donde desarrollan las plantas, por el cual se sustenta el desarrollo de la agricultura (Ortiz, 1977; Porta *et al.*, 1999). Se le considera al suelo como una capa de material de soporte de vida, muy delgada y a menudo frágil, y que habitualmente se le da escaso valor (Velasco, 1983; Gallegos, 1997). El suelo es el material suelto que hay en la superficie de los terrenos, y

que se va formando al paso del tiempo, cuando las rocas se hacen polvo por la acción del agua, el aire y los seres vivos (Guzmán, 1982; Vicén y Vicén, 1996; Buckman and Brady, 1997).

En agronomía, el suelo es la capa superficial de la corteza terrestre que contiene minerales y materia orgánica, además de aire, agua y nutrientes necesarios para el sostén y desarrollo a las plantas superiores (Flamand, 1981; Lincoln *et al.*, 1995). En geología, suelo es un término ambiguo que significa material relativamente suelto, así como material que da vida (Cline, 1944; Buol *et al.*, 1983). Desde el punto de vista sustentable, el suelo se define como el cuerpo natural o no, en un espacio y tiempo, resultante de la influencia de factores de formación durante su evolución, en una dinámica cíclica animada e inanimada, proporcionando energía vital y estabilidad ambiental, hacia una sustentabilidad propia e inducida para el desarrollo de las especies (Ibarra, 2002).

La tierra esta compuesta por una parte sólida (núcleo, manto y corteza) y la atmósfera que la rodea (Buol *et al.*, 1980). La mayor parte de la corteza está cubierta por mar, y donde hay continentes es más gruesa. La corteza continental, hecha de roca tiene aproximadamente 80 kilómetros (50 millas) de grosor y la atmósfera unos 273 kilómetros (170 millas) de espesor, y el suelo está formado por una capa muy fina y delgada, (entre la atmósfera y la corteza terrestre) (Edward, 1997). La atmósfera, corteza y suelo interactúan para proporcionar a plantas y animales los recursos que necesitan para su crecimiento y desarrollo en el cual se sustentan, y donde se desarrollan todos los procesos, ciclos, e intercambios que necesitan todos los seres vivos (temperatura, agua, oxígeno, carbono y otros nutrientes indispensables); todos estos factores se intercambian en el suelo, en ciclos que permiten a los elementos reciclarse y estar disponibles en el suelo para un mejor sustento de las plantas y cultivos para la agricultura (Buol *et al.*, 1983; Navarro y Navarro, 2000).

En el suelo existen dos tipos de materiales (inorgánicos y orgánicos); el primero lo constituyen los minerales que vienen de la roca madre, mientras que el

material orgánico se forma al pudrirse en el suelo plantas y animales muertos. Además de minerales y materia orgánica, en todos los suelos hay aire y agua. El suelo es un medio para el crecimiento de la planta y los cultivos, y dentro de una visión general, el suelo tiene una importante función en el reciclaje de recursos necesarios para el crecimiento de la planta, y depende del suelo para el suministro de cuatro necesidades: anclaje, agua, nutrimentos y oxígeno para la raíces (Fitz Patrick, 1984; CP, 1991; Edward, 2000; Honorato, 2000). La mayoría de los expertos del suelo consideran que el suelo ideal está formado por un 50 por ciento de material sólido (45 % de partículas minerales y 5 % de materia orgánica); del volumen total del suelo, un 25 por ciento es agua, y un 25 por ciento aire (Porta *et al.*, 1999). La mayoría de las raíces, e incluso las de los árboles más altos, ocupan un mínimo de 30 cm de espesor de suelo de la parte superior del mismo para un adecuado desarrollo, (Black, 1975; Marín *et al.*, 2002).

4.2.2. Caracterización del recurso suelo.

La caracterización del suelo con fines de uso agrícola, implica la consideración de un grupo de variables físicas y químicas, dentro de las cuales están: textura, pH, materia orgánica, conductividad eléctrica, densidad aparente, capacidad de campo, punto de marchites permanente, entre otras (INIFAP, 1999). Dicha caracterización normalmente se realiza a través de muestreo en campo y posteriores análisis en el laboratorio; el muestreo se diseña de acuerdo al detalle que se requiera y a la extensión del estudio (González *et al.*, 1996). En cuanto a las limitantes edáficas que restringen el desarrollo de las plantas, éstas pueden estar relacionadas con los diversos procesos de degradación de los suelos, enunciados por la FAO (1980), y que pueden clasificarse en físicos, químicos y biológicos. La determinación del uso del suelo para un sitio o área en particular está en función de la disponibilidad de los recursos agua-suelo-atmósfera (FAO, 1980) y para conocer la disponibilidad de dichos recursos se requiere de una caracterización de éstos, generalmente en campo. Sin embargo, esta labor es ardua cuando el área de estudio es territorialmente muy extensa, ya que estos recursos tienden a incrementar significativamente su

variabilidad espacial, haciendo necesario el muestreo y recopilación de una gran cantidad de información para lograr una caracterización representativa del suelo (Ruiz, 1998). Ante esto, es necesario diseñar una estrategia que permita capitalizar los esfuerzos de muestreo y haga posible el manejo y representación de información de una manera ágil y confiable. En México, el INEGI (1981) publicó la cartografía edafológica de la República Mexicana a escalas 1:50,000, 1:250,000 y 1:1'000,000. Este antecedente establece una estratificación primaria que puede ser utilizada como criterio para orientar el muestreo de suelos, sin embargo, la densidad de muestreo por tipo y condición de suelo aún necesita ser especificada (Ruiz *et al.*, 1997). La mayoría de los investigadores coinciden en señalar que las propiedades del suelo, tanto físicas como químicas, se caracterizan por una gran variabilidad (Youngs, 1983; Briggs y Shishira, 1985; Vallejo *et al.*, 1993).

4.2.3. Propiedades físico y químicas del suelo.

4.2.3.1. Textura y porosidad del suelo.

La textura del suelo es la característica más importante permanente del suelo. El tamaño relativo de las partículas del suelo se expresa como textura, y se refiere a la proporción relativa de las partículas de arena, limo y arcilla. La textura está relacionada con muchas reacciones físicas y químicas del suelo importantes para el desarrollo de las plantas, (Henry, 1986). Es muy importante la influencia de la textura sobre otros rasgos del suelo, (Fernández, 1991; Edward, 2000; Honorato, 2000). El tamaño de las partículas del suelo, afecta tanto a características intrínsecas del suelo, como a la capacidad de retención de agua y a la aireación del suelo (Buol *et al.*, 1980; Badillo y Rodríguez, 1983; Edward, 1997). De las tres partículas fundamentales de un suelo, las arcillas son las más importantes desde el punto de vista de la fertilidad; estos minúsculos cuerpos de tamaño menor a los 0.002 mm tienen la propiedad de retener los elementos nutritivos alrededor de sus partículas, evitando de esta manera que sean lavados y manteniéndolos disponibles en la zona radical de las plantas (Buol *et al.*, 1983; Edward, 2000). En suelos arenosos y limosos, la

erosión del terreno arable ocurre a menudo, y con menor frecuencia ocurre en los suelos arcillosos, (Kirkby y Morgan, 1984). Los suelos que contienen más del 30 al 35 por ciento de arcilla son por lo general coherentes y forman agregados estables de suelos y son resistentes al impacto de las gotas de lluvia y a la erosión, (Morgan, 1977).

El tamaño de las partículas del suelo afecta a dos importantes características del mismo: la superficie interna y, el número y tamaño de los espacios de poros (Sánchez y Renedo, 1996; Porta *et al.*, 1999). La superficie interna de un suelo es el total de la superficie de todas las partículas en el suelo. Cuantas más pequeñas sean las partículas en un suelo, mayor será su superficie interna (Buol *et al.*, 1980). Como el suelo contiene muchas partículas pequeñas, un puñado de suelo puede contener muchos cientos de metros cuadrados de superficie interna (Edward, 1997).

La superficie interna es importante porque las reacciones ocurren en la superficie de las partículas del suelo. Debido a que los suelos con las partículas más pequeñas (limo y arcilla), tienen una superficie interna más grande, retienen mayor proporción de humedad. Y así, como las reacciones que retienen nutrientes de las plantas en el suelo también ocurren en la superficie de las partículas, se establece la regla de que a partículas más pequeñas en el suelo, más agua y nutrientes puede retener el mismo, (Black, 1975; Honorato, 2000).

El tamaño y número de poros depende del tamaño de las partículas; se encuentran más poros entre las partículas pequeñas que entre las grandes; los poros son mayores entre las partículas más grandes. Así, los suelos con mucha arcilla tienen muchos poros pequeños, mientras que los suelos con mucha arena tienen menos poros pero más grandes (FAO, 1997). El agua se escurre rápidamente a través de poros grandes llamados macroporos o poros de aireación. A medida que el agua drena, entra aire tras ella, llenando los espacios (Wild, 1992). Los espacios pequeños o microporos, tienden a retener agua. Ambos tamaños de poros son importantes, dado que el suelo necesita

microporos para retener agua y macroporos para retener el aire, (Porta *et al.*, 1999).

La fracción mineral del suelo más grande es la arena. Está compuesta principalmente de granos de cuarzo meteorizados. Los granos individuales de arena, excepto los más finos son visibles a simple vista. Todos son areniscos al tacto. Los granos de arena no se pegan unos a los otros, de forma que actúan como granos individuales en el suelo. Suficiente arena en un suelo crea grandes poros, de forma que la arena favorece la infiltración del agua (proporción en la que el agua entra en el suelo) y la aireación. Por otro lado, grandes cantidades de arena disminuyen la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes, (Henry, 1978).

El limo es la fracción de suelo de tamaño medio. Las partículas de limo son suaves o como polvo al tacto (como talco). Al igual que la arena, los granos de limo no se unen los unos a los otros. De todas las fracciones del suelo, el limo tiene la mejor capacidad para retener grandes cantidades de agua en una forma que puede ser utilizada por las plantas, (Henry, 1986).

La arcilla es la fracción de suelo más pequeña, más diminuta. Como una lamina de cristal. Mientras que la arena y el limo simplemente resultan de la fractura de la roca en pequeñas partículas; la arcilla es el resultado de reacciones químicas entre minerales meteorizados para formar partículas diminutas de nuevos minerales (Edward, 2000). Estos nuevos minerales pueden unir nutrimentos químicamente a sus superficies, reteniendo los nutrientes de la planta en el suelo. Las partículas de arcilla se pegan las unas a las otras y, por ello no se componen como granos individuales en el suelo. La arcilla mojada es normalmente pegajosa y puede ser moldeada. Algunos tipos de arcillas se hinchan cuando están húmedas y encogen cuando se secan. Los suelos con alto contenido de arcilla retienen mejor el agua y los nutrimentos, pero son menos aireados y la infiltración de agua a través de ellos es más lenta.

En el suelo existen además otras partículas minerales como la grava y otros trozos de piedras mayores de dos milímetros y que no son consideradas como

parte de la textura del suelo, pero sin embargo, son a menudo parte del suelo y afectan su uso, por el nivel y contenido de pedregosidad que se encuentra en el terreno agrícola.

De acuerdo con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 1954) puede haber 12 clases texturales, de acuerdo al triángulo que se describe en la Figura 3.

Los edafólogos catalogan los suelos en clases texturales porque cada clase tiene importantes y especiales propiedades para su manejo (Porta *et al.*, 1999; Edward, 2000). La textura determina la forma en la que el agua se comporta en el suelo, ya sea que ésta entre a manera de infiltración, se escurra a través de suelos gruesos (arenosos), o se percole más rápidamente porque tiene espacios de poros más grandes. De la misma manera, un suelo arenoso se seca rápidamente después de una lluvia o en la primavera, permitiendo al agricultor entrar en el campo más rápidamente; así, los suelos toscos (arenosos) están probablemente más necesitados de una frecuente irrigación (Guzmán, 1982). En los suelos finos (arcillosos) debe esperarse el problema contrario, que es un exceso de agua. Los suelos arcillosos retienen los nutrimentos de las plantas mejor que los suelos arenosos, esto es debido a la percolación rápida del agua a través de suelos arenosos (Fernández, 1991; Wild, 1992). La textura del suelo influye en la facilidad con la que un suelo puede ser labrado. Debido a que las partículas de arcilla se juntan, es necesario más combustible y caballos de fuerza para el arrastre de las herramientas como los arados (Teuscher *et al.*, 1984; Porta *et al.*, 1999). La pegajosidad de la arcilla también afecta a las condiciones físicas del suelo. Los suelos finos normalmente forman terrones cuando están cultivados; se puede formar una costra en la superficie e interferir en la emergencia de plántulas (Black, 1975). Un suelo fino tiende a estar "apretado", lo que significa que tiene poros principalmente pequeños, difíciles de ser penetrados por el aire y las raíces. En contraste, los suelos arenosos están sueltos y bien aireados. La mayoría de los agricultores consideran los suelos medios los ideales. Pueden mantener agua pero sin mantenerse húmedos durante mucho tiempo. No son ni pegajosos ni duros de trabajar; en general los suelos de textura media tienen

las características ideales, tanto de los suelos arenosos (gruesos) como de los suelos finos (Black, 1993).

4.2.3.2. Conductividad eléctrica (CE) (Salinidad).

La cantidad de flujo eléctrico se llama conductividad eléctrica y se mide por la unidad de milimhos por centímetro (mmhos/cm) (Jackson, 1964; Wild, 1992). El efecto principal de la salinidad es hacerle más difícil a las plantas la absorción del agua del suelo (Porta *et al.*, 1999). Este factor es un indicador de la cantidad de sales presentes en solución, e indirectamente también nos señala el valor de presión osmótica que se presenta. Dado que, la manera en que una planta toma sus nutrimentos es por vía osmótica, es importante conocer la CE del sustrato, ya que en el momento que existe un valor más alto que la presión que tiene internamente la planta, ésta no podrá absorber sus nutrimentos (Curiel, 1991). En los suelos no salinos, aproximadamente la mitad del agua retenida en la capacidad de campo está disponible para las plantas; el agua restante es adsorbida por las partículas del suelo y en los suelos salinos, sólo el 10 por ciento del agua del suelo retenida en la capacidad de campo está disponible para las plantas, porque es atraída por los iones de la sal (Chapman y Pratt, 1997; Cajuste, 1997). Los científicos del suelo definen tres tipos de problemas del suelo basados en los tipos de sales solubles: salinos, sódicos y salino- sódicos, (Allison *et al.*, 1954; CIPAC; 1993; Aguirre, 2001). Los suelos salinos tienen niveles altos de sales, excepto de sodio, su conductividad es mayor a 4.0 mmhos/cm (a 2.0 mmhos/cm comienza a ser perjudicial para las plantas), con un porcentaje de sodio intercambiable menor a 15, y una proporción de adsorción de sodio (PAS = porcentaje de adsorción de sodio) menor a 13, con un pH menor de 8.5, con una estructura de suelo normal. Los suelos sódicos tienen pequeñas cantidades de algunas sales que se encuentran en suelos salinos, pero tienen un alto contenido de sodio, su conductividad es menor a 4.0 mmhos/cm, con un porcentaje de sodio intercambiable mayor a 15, y una proporción de adsorción de sodio mayor a 13, y con un pH mayor de 8.5, con una estructura de suelo pobre. Los suelos salino- sódicos, contienen altos niveles de sales y de sodio, la conductividad es

mayor a 4.0 mmhos/cm, con un porcentaje de sodio intercambiable (o saturación de sodio) mayor a 15, una PAS menor a 13, un pH menor de 8.5, con una estructura de suelo normal, (CRAT, 1974; Allison *et al.*, 1980; Edward, 2000).

4.2.3.3. pH.

El pH es el parámetro del suelo que describe la acidez o alcalinidad de un suelo, afectando el crecimiento de las plantas. La reacción del suelo es medida con ayuda de la escala de pH, que oscila de 0 a 14.0 unidades de pH (UpH); la medición de 0 a 7 unidades de pH, indica suelos ácidos, mientras que de 7 a 14 indica suelos alcalinos, y el punto medio de la graduación, esto es 7.0, es neutro (Havlin *et al.*, 1999).

El pH del suelo es la concentración de iones hidrógeno (H^+) en suelos ácidos y de iones hidroxilos (OH^-) en suelos alcalinos (Aguirre, 2001). Además de indicar el grado de acidez o alcalinidad de un suelo, el pH es una de las características químicas que tiene un significado importante en la presencia de nutrimentos disponibles para las plantas (Black, 1975, Fernández, 1991). Suelos ácidos o muy alcalinos presentan baja disponibilidad de nutrimentos. En suelos con pH de 5.5 a 6.0 la disponibilidad es máxima en el aprovechamiento de nutrimentos, existiendo un equilibrio de elementos químicos en el suelo (Kennedy, 1992; Aguirre, 2001). La reacción del catión del ión de hidrógeno (H^+), provoca una solución ácida y la reacción del anión del ión hidroxilo (OH^-), provoca una solución básica (Porta *et al.*, 1999).

La acidez es considerada como una condición de estrés, por la influencia que ejerce directa e indirectamente en el medio suelo-raíz. En forma directa, en un suelo con bajos valores de pH se presenta la toxicidad del hidrógeno sobre los tejidos de la raíz, provocando cambios enzimáticos, limitando la permeabilidad de las membranas de la raíz y su crecimiento; además que se perturba el equilibrio de los constituyentes en la solución del suelo, afectando la disponibilidad de los nutrimentos y aumentando la solubilidad de sustancias tóxicas. Esto afecta a todo el sistema microbiano, responsable de la

mineralización y humificación de la materia orgánica (Pierr *et al.*, 1932; Kennedy, 1992; Black, 1993). El pH en la mayoría de los suelos se controla por la percolación. La percolación del agua, lixivia las bases y las reemplaza en los sitios de intercambio, con iones hidrógeno; generalmente se produce en climas húmedos, donde la precipitación excede a la evaporación. Varios procesos producen iones de hidrógeno, que hacen el suelo ácido, algunos son naturales y otros son el resultado de la actividad humana. Entre los procesos naturales que contribuyen a la acidez del suelo está la respiración de las raíces de las plantas y la respiración de los organismos del suelo; éstos eliminan dióxido de carbono que reacciona con el agua para producir ácido carbónico, que se descompone, descargando iones de hidrógeno. Cuando los cultivos son cosechados, las raíces de las plantas captan los nutrientes, como el potasio (catión) y devuelven al suelo un número equivalente de iones de hidrógeno, perdiendo calcio y magnesio en cada cosecha (ejemplo: de cada tonelada de alfalfa extrae del suelo aproximadamente 13.61 kg de calcio y 3.63 kg de magnesio), aumentando durante la cosecha la velocidad de acidificación del suelo. La nitrificación aporta iones de hidrógeno al suelo, ya que las bacterias nitrificantes oxidan el ion amonio (NH_4^+) liberándose iones de H^+ (Havlin *et al.*, 1999). Actualmente, la condición de estrés por acidez en las plantas se relaciona con la concentración de hidrógeno, así como con la liberación de aluminio intercambiable; este último es elemento trivalente, por lo cual tiene mayor posibilidad de ocupar sitios de intercambio y ser absorbidos por la planta en mayor proporción que otros elementos o nutrientes divalentes o monovalentes. El Al^{+++} en la planta inhibe la división y elongación celular, actúa en las mitocondrias y el núcleo. Una vez que se acumula dentro de las células meristemáticas interfiere con el ADN (ácido desoxirribonucleico) y anula el crecimiento radical, impidiendo la absorción y el transporte de nutrientes como el calcio (Ca) y fósforo (P), con los que llega a concretarse dentro de la célula, manifestándose daño con el engrosamiento de raíces y tejidos necróticos, y provocando la muerte a determinadas concentraciones (Curiel, 1991). En el caso del maíz, una acumulación de 400 ppm de Al^{+++} en los tejidos lleva a la intoxicación (Castellanos *et al.*, 2000). La acidez y toxicidad de aluminio han llamado de manera especial la atención, en parte por su relación con algunas formas de contaminación, como la acidificación de la lluvia por

SO₂ (dióxido de azufre) y el daño que produce el Al⁺⁺⁺ en el hombre cuando se acumula y destruye las células cerebrales y hepáticas, además de contribuir a una descalcificación ósea acelerada (Curiel, 1991). El Cuadro 1 describe las reacciones de la hidrólisis que se producen en el suelo a diferentes intervalos de pH.

Cuadro 1. Reacciones de los diferentes niveles de pH (Chapman y Pratt, 1997; Porta *et al.*, 1999).

PH	REACCIÓN DE HIDRÓLISIS EN EL SUELO	TIPO DEL SUELO
4.0 – 6.0	Se produce una reacción de hidrólisis de aluminio, (el Al empieza a dejar estructuras de arcillas de silicatos; la saturación de bases es baja y la saturación de Al es alta).	Son llamados suelos ácidos.
6.0 – 7.0	Se produce una reacción de intercambio de hidrógeno, se acidifican ligeramente los suelos y la saturación de bases está por debajo del 100 %, con escasa saturación de hidrógeno.	Son llamados suelos neutros o ligeramente ácidos.
7.0 - 8.0	Se produce una reacción de hidrólisis de calcio intercambiable, (dependiendo del tipo de suelo y de la lixiviación del calcio por la lluvia).	Son llamados suelos no calcáreos.
8.0 - 8.5	Se produce una reacción de hidrólisis de carbonato de sodio, conteniendo carbonato de calcio libre.	Son llamados suelos calcáreos.
8.5 - 10.0	Se produce una reacción de hidrólisis de carbonato de sodio, La saturación de bases es de 100%.	Son llamados suelos sódicos.

La Figura 1. Refiere de la relación que hay entre el pH del suelo con la saturación de aluminio en el mismo, A pH del suelo menores mayor saturación de aluminio en el suelo, mencionada por Castellanos *et al.*, (2000).

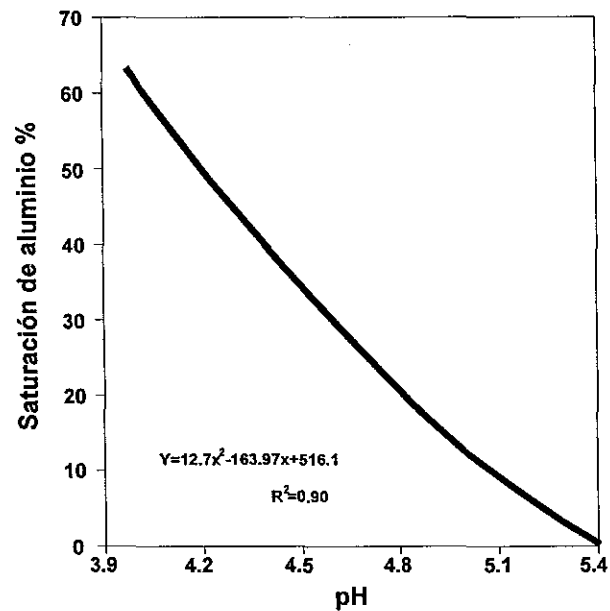


Figura 1. Relación entre el pH del suelo y saturación de aluminio para varios Oxisoles y Ultisoles de Puerto Rico (Abruña y Vicente, 1955).

4.2.3.4. Aluminio (Al).

El aluminio es el metal más extendido en la corteza terrestre, encontrándose en una proporción del 75%, principalmente en forma de silicatos (Danae, 1977). Entra en la composición de gran número de rocas como el granito, mica, feldespato, etc. y en la de las arcillas (Quillet, 1968). El aluminio en forma activa es un elemento perjudicial para las plantas en suelos con pH fuertemente ácido, ya que es causante de toxicidad, particularmente cuando el

pH es inferior 5.0 (Fassbender and Bornemiza, 1987). A pH menor de 5.5, el Al se vuelve altamente soluble y empieza a abandonar la estructura de arcillas de silicato (Aguirre, 2001). El aluminio reemplaza a los cationes de Ca^{++} y Mg^{++} (Castillo *et al.*, 1999) y contribuye a la fijación de P (Havlin *et al.*, 1999). De esta forma se establece una fuerte correlación entre pH ácido, niveles de Al^{+++} intercambiable e inhibición del crecimiento de la mayoría de las especies de plantas (Pierr *et al.*, 1932; Aguirre, 2001).

La toxicidad del aluminio también incrementa el estrés hídrico de las plantas durante los periodos de sequía (Buckman y Brady, 1997), ya que el pobre crecimiento de la raíz limita la capacidad de la planta para captar el agua, reduciendo la capacidad de captación del agua (DucauFour, 1984; Porta *et al.*, 1999). La toxicidad del aluminio se produce principalmente en suelos minerales de clima templado, húmedos (con régimen de lluvia alta) (Edward, 1997), los problemas con este elemento raramente aparecen en suelos orgánicos porque éstos tienen poco aluminio (Edward, 2000). La acidez extrema del suelo y la presencia de Al limitan la degradación microbiana de la materia orgánica, activa la fijación del nitrógeno y la nitrificación, debido a que inhiben el crecimiento de la mayoría de los organismos como bacterias y gusanos de tierra (Fassbender and Bornemiza, 1987; Havlin *et al.*, 1999). La bacteria *Rhizobia* prospera en pH casi neutro y es sensible al aluminio (Edward, 2000). El pH en el cual los niveles de Al alcanzan valores perjudiciales, depende tanto de la planta como de una serie de factores del suelo entre los que están la mineralogía de arcillas, el contenido de MO, la presencia de otros cationes y aniones, y la salinidad total del suelo (Fassbender and Bornemiza, 1987). El aluminio se encuentra asociado con la presencia del pH ácido en el suelo, (Adams and Pearson, 1967). Edward (1997), menciona que a partir de 4 a 5.2 por ciento de aluminio intercambiable (Cuadro 5a del anexo) muestra solubilidad en los suelos ácidos. La relación de mayor porcentaje de saturación de aluminio, con relación al rendimiento del maíz es bajo. Sin embargo, se puede afirmar que la mayoría de los cultivos son sensibles a las altas concentraciones de Al, siendo la toxicidad de este elemento uno de los problemas más serios, y con relación a los bajos rangos de pH (ácidos), en estos suelos, requiere mayores esfuerzos de investigación, sobre todo en lo concerniente a la selección y mejoramiento

genético encaminado a la obtención de variedades de plantas que sean tolerantes al aluminio (Edward, 2000; Aguirre, 2001). Representa una relación, con la productividad en los cultivos, que se encuentra en detrimento (Rodríguez y Rodríguez, 2002; Will, 1992). Dentro de los cultivos más tolerantes al Al se encuentran (por orden de tolerancia): Brassica siega, cebada, papa, avena y remolacha (Pearson y Adams, 1967). El aumento de la solubilidad de los elementos tóxicos (Cuadro 5ª del anexo); en el caso del aluminio tiene influencia con la productividad y manejo de los suelos (Rowell, 1994).

Con menos del 10 por ciento de aluminio intercambiable en el suelo, los cultivos casi no presentan problemas. En cambio, ningún cultivo tolera más del 60 por ciento de Al intercambiable como indica (Castellanos *et al.*, 2000; Figura 2). En la figura nos muestra la relación entre el porcentaje de saturación de aluminio en la fase de intercambio y el rendimiento relativo de maíz.

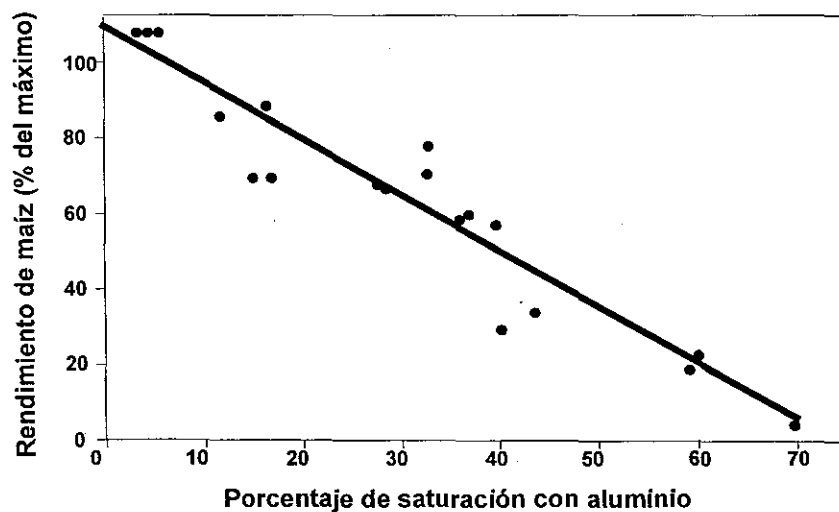


Figura 2. Variación del rendimiento de maíz con el porcentaje de saturación de aluminio en cinco ultisoles de Puerto Rico (Abruña *et al.*, 1975).

4.2.3.5. Materia orgánica (MO).

La materia orgánica es esa porción del suelo que incluye restos de animales y plantas en varios estados de descomposición (Edward, 1997), que originalmente contiene todos los nutrimentos necesarios para el crecimiento de las plantas. La MO desempeña, además, importantes funciones, tales como el mejoramiento de la estructura de los suelos y la promoción de una condición física deseable. Para llegar a esto, los animales del suelo juegan un papel importante, ya que colaboran en la mezcla del suelo y la creación de túneles (Millar *et al.*, 1972). La materia orgánica fresca y el humus retienen seis veces su propio peso en agua, actuando como una esponja, lo cual es importante especialmente en suelos secos y arenosos (FAO, 1997). La materia orgánica provoca que las partículas del suelo se agrupen para formar agregados del suelo, y con esto mejora su permeabilidad y capacidad de laboreo (Edward, 1997). El incremento de la materia orgánica en el suelo previene la erosión del suelo de 1 a 3 por ciento o más, y al igual una pérdida equivalente de materia orgánica incrementa la erosión.

La materia orgánica está compuesta de complejos compuestos que contienen carbono, los cuales se decomponen de una manera más o menos rápida a una temperatura entre 5 y 25°C hasta formar humus. El humus es la forma aprovechable por las plantas y también se descompone pero más lentamente (Edward, 1997; Caravaca y Albaladejo, 2001). El humus es de color oscuro y está formado por partículas diminutas del tamaño de la arcilla, y cerca del 50 por ciento del humus es carbono, el 5 por ciento es nitrógeno y el 0.5 por ciento es fósforo. Los factores que afectan la cantidad de materia orgánica de un suelo son cinco: vegetación, clima, textura del suelo, drenaje y labores culturales. Generalmente los suelos de textura fina (arcilla) contienen más materia orgánica que los suelos arenosos, ya que en los suelos finos se desarrolla más cantidad de materia vegetal, porque retienen más agua y nutrimentos. Debido a que los suelos arenosos son más aireados, tienen mejor suministro de oxígeno, dando como resultado que la descomposición de la materia orgánica sea más rápida; los suelos finos contienen más materia

orgánica porque la arcilla protege al humus de su descomposición posterior, siendo más lenta. El drenaje del suelo tiene un impacto sobre los niveles de materia orgánica del suelo; cuando más mojado está el suelo, hay menor oxígeno disponible para alimentar a la descomposición y hay una mayor acumulación de materia orgánica y los suelos más húmedos contienen una mayor capa negra en descomposición.

El contenido de materia orgánica de un suelo se manifiesta como indicador de productividad. Se ha estimado, que por cada uno por ciento de materia orgánica en el suelo se obtendrá una producción de 3.5 HI/ha de maíz (245 kg/ha) (Tisdale y Nelson, 1991). El humus no sólo almacena agua y nutrientes, sino que permite que éstos estén más disponibles para el uso de la planta; al descomponerse la materia orgánica libera ácidos orgánicos débiles que disuelven minerales del suelo, como el fósforo, para el uso de las plantas. A la materia orgánica se debe también a que la acción que consiste en “aprisionar” metales como el hierro (Fe) y el Zinc (Zn) para que estén disponibles para las plantas; en cambio este mismo proceso es una desventaja para elementos como el cobre (Cu), el cual se inmoviliza sin que las plantas lo aproveche.

4.2.3.6. Capacidad de Campo (CC).

La capacidad de campo de un suelo se presenta cuando los espacios porosos se encuentran cubiertos de agua en un 50 a 100% (Gallegos, 1997). En condiciones de capacidad de campo, típicamente el suelo se concibe como un cuerpo que retiene humedad con una tensión que fácilmente puede ser vencida por el esfuerzo radical de una planta, esto es, que se encuentra fácilmente disponible o extraíble. Técnicamente se dice que CC equivale en promedio a un potencial hídrico del suelo de $-1/3$ de bar (50% del agua en un suelo) (Porta *et al.*, 1999). Las capas de agua son bastantes finas como para retener agua contra la gravedad cuando el suelo se encuentre a capacidad de campo (Edward, 1997). De manera natural la capacidad de campo se logra aproximadamente 48 horas después de una lluvia abundante. Inmediatamente

después de la lluvia, un suelo generalmente se encuentra saturado, pero después de 48 horas el agua se ha drenado y existe ya un balance entre espacios porosos de aire y espacios porosos de agua (Aguirre, 2001). El crecimiento de las plantas es más rápido en este nivel de humedad ideal (CC), porque hay suficiente aire del suelo y el agua es retenida de forma débil en (Porta *et al.*, 1999).

4.2.3.7. Punto de marchitamiento permanente (PMP).

Cuando se interrumpe el drenaje y la eliminación del agua debido al consumo de agua por las plantas y la evaporación continúa vaciando el agua de cohesión y encogiendo las capas de agua en el suelo; el agua restante se adhiere más herméticamente, siendo retenida en un potencial más bajo (mayor valor negativo) (Rita y Melida, 1990), y se hace más difícil para las raíces de la planta absorber agua (Aguirre, 2001). En el punto de marchitamiento permanente, la mayor parte del agua de cohesión ha desaparecido (permanece un 10 %) y la planta ya no puede superar el potencial del agua del suelo; en esta condición se mantiene un 25 por ciento de potencial de agua del suelo, o sea 25 % de espacio de poros lleno de agua. El potencial hídrico del suelo es de -15 bares (Edward, 1997)

4.2.3.8. Agua Aprovechable (AA).

El agua disponible se define como la que permanece entre la capacidad de campo y el punto de marchitamiento permanente ó entre -1/3 y -15 bares aproximadamente (CP, 1991; Edward, 2000). El agua aprovechable o también llamada agua disponible (AD), es la parte del agua del suelo que puede ser absorbida por las raíces de las plantas (Porta *et al.*, 1999).

4.2.3.9. Densidad Aparente (Da).

La densidad aparente se define como la masa de sólidos del suelo entre el volumen total (Castellanos *et al.*, 2000). Dado que el volumen total del suelo no es una constante, se hace referencia a la densidad aparente de un suelo considerando siempre el volumen a una determinada humedad. La densidad aparente es un indicador de la compactación de los suelos, ya sean minerales u orgánicos (Moreno, 1993). Los materiales sólidos como las arcillas y las arenas son de densidad aparente alta (aproximadamente 2.65 g/cm^3), y los materiales orgánicos son de densidad baja (aproximadamente 0.1 g/cm^3); por tanto el grado de compactación es menor en los materiales orgánicos (Porta *et al.*, 1999; Castellanos *et al.*, 2000). La Da permite estimar el agua retenida en el suelo ó la capacidad de retención de humedad en el suelo (Aguirre, 2001). Un suelo con baja Da es el que provee un buen ambiente para el desarrollo del sistema radical de las plantas (Porta *et al.*, 1999).

4.3. Los sistemas de información geográfica (SIG) y sus aplicaciones.

Los sistemas de Información Geográfica se definen como un conjunto de métodos, herramientas y recopilación de datos que están diseñados para actuar coordinadamente para capturar, almacenar, analizar, transformar y presentar la información geográfica y de sus atributos (datos) con el fin de satisfacer múltiples propósitos (Robinson *et al.*, 1995; Lillesand y Kiefer, 2000).

Los SIG se conciben también como el conjunto de programas o subsistemas que permiten almacenar, modificar, manipular y relacionar cualquier tipo de información espacialmente (Chuvieco, 1990; Fernández y Tajadura, 1993; Alcántara, 2001).

En la actualidad, conforme avanza la informática, la computación y la investigación, los sistemas de información geográfica son más integrales y multidisciplinarios (Gándaras *et al.*, 1996)

Las soluciones para muchos problemas, frecuentemente requieren acceso a varios tipos de información que sólo pueden ser relacionadas con la geografía o distribución espacial (Bosque, 1992; Neteler and Mitasova, 2003). Sólo la tecnología SIG permite almacenar y manipular información usando geografía para analizar patrones, relaciones, localización de una zona, de una área, ubicación de sitios, condiciones generales y específicas, tendencias, rutas en la información; todo tendiente a contribuir a tomar mejores decisiones (Cl, 1992; Thurston and Moore, 2003).

Los SIG son en la actualidad muy utilizados por las instituciones de investigación, en estudios de recursos naturales para la evaluación de los impactos sobre el medio ambiente natural, en relación con los factores antropogénicos; para la planificación de actividades destinadas a preservar los recursos naturales (Anta, 1992; Lillesand y Kiefer, 2000).

Toda la nueva información que puede proveer un SIG depende significativamente de la información que posee la base de datos disponible (Chuvienco, 1990; Olea, 1991). La calidad de esta base de datos y sus contenidos determinan la cantidad y calidad de los resultados obtenidos en los sistemas de información geográfica (Lillesand y Kiefer, 2000; Ariza, 2002).

Con respecto al manejo y representación de datos de campo, los sistemas de información geográfica representan una excelente herramienta para la integración, análisis, mantenimiento y manipulación de grandes cantidades de información espacial georeferenciada (Robinson *et al.*, 1995); la información puede provenir tanto de estudios de campo como de gabinete (Tapia *et al.*, 1995; Medina *et al.*, 1997) en formato cartográfico, tabular o de imagen digital (Aronoff, 1989).

Los SIG son útiles para un gran número de manipulaciones, sobresaliendo las superposiciones de mapas, transformaciones de escala, la representación gráfica y la gestión de base de datos (Chuvienco, 1990). Las aplicaciones de los SIG van en el sentido de constituir una herramienta de ayuda a la gestión y

toma de decisiones. Entre las aplicaciones se encuentran: la cartografía automatizada, infraestructuras, gestión territorial, análisis ambiental, equipamiento social, recursos mineros, tráfico, demografía y otros (Lillesand y Kiefer, 2000).

En el aspecto medio ambiente, existen un gran número de aplicaciones, sobre todo desarrolladas por instituciones y universidades dedicadas a la investigación ambiental, facilitando la evaluación del impacto medioambiental en la ejecución de proyectos, integrados con sistemas de adquisición de datos (base de datos). De esta forma, es posible el análisis en tiempo real de la concentración de contaminantes, así como de otros aspectos, con el fin de tomar precauciones y medidas según sea el caso a tratar. Los SIG proveen ayuda fundamental en trabajos tales como repoblación forestal (forestación), planificación de explotaciones agrícolas, ya sea con técnicas tradicionales, mecánicas y tecnificadas (agricultura digital) por monitores sensoriales (la agricultura de punta), estudios de representatividad de caracterización de ecosistemas, de caracterización de propiedades edáficas, topográficas, climatológicas, estudios geológicos, de fragmentación, estudios de especies (corredores de fauna y flora silvestre), y otros. (Star and Estes, 1990; Maguire *et al.*, 1991, V1 y V2; Goodchild *et al.*, 1999; Stillwell and Clarke, 2004).

4.4. Geoestadística.

La Geoestadística se define como un método de estimación para las variables espaciales (Matheron, 1975, y Armstrong, 1994), o técnicas destinadas al análisis de datos espacialmente distribuidos (Matheron y Kleigeld, 1987). Surge a partir de la década de los 50's con los estudios realizados por el investigador D. G. Krige en minas de oro, a raíz de la necesidad de obtener mayor precisión en la estimación de los trabajos geológicos para la minería (Matheron, 1975). En la actualidad ha sido extendida a los más diversos campos de las ciencias de la tierra, como la edafología, y otras más (Matheron and Kleigeld, 1987). Con el desarrollo de la informática moderna se han propiciado condiciones para su divulgación y aplicación; programas específicos como el software GS+ v 5.1,

analiza los datos georreferenciados correlacionándolos espacialmente y usando la información de manera óptima (Gamma, 2001). Desde el comienzo de la década de los 90's, la Geoestadística comenzó a desarrollar tecnologías como principio para describir la variabilidad espacial asociada con los aspectos de producción agrícola, y con ello medir los rendimientos y preservar la calidad ambiental (Pierce y Nowak, 1999). La variabilidad se aplica para el conocimiento, en el manejo de las áreas agrícolas, como otras, que resulte en beneficio de la agricultura (GCMR, 1996; Melchiori *et al.*, 2003). La variabilidad de las propiedades de los suelos, causa variaciones en el rendimiento de la agricultura convencional, como en la agricultura de precisión (altamente tecnificada) (Mulla y Schepers, 1977; Cambardella *et al.*, 1996), es por eso, necesario el estudio de la variabilidad de las propiedades de los suelos a través de técnicas geoestadísticas que permiten determinar parámetros que se aplican en los SIG, en la elaboración de imágenes de interpolación, y delimitación de las áreas (Melchiori *et al.*, 2003). Se ha estudiado la variabilidad de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos que afectan la productividad de los cultivos, reportándose asociaciones entre éstas (Cambardella *et al.*, 1996, y Ortega *et al.*, 1999), aunque dichas asociaciones dependen de la variación de los parámetros y del rango en que estos afectan al rendimiento (Mallarino *et al.*, 1996).

4.4.1. El método Kriging (K).

Es un método de interpolación geostadístico; es una herramienta técnica de interpolación espacial o una técnica de interpolación espacial, que lleva este nombre en reconocimiento al Dr. D.G. Krige (Matheron, 1975). Actualmente, es uno de los procedimientos de mayor uso para la interpolación de variables edáficas (Webster y McBratney, 1987). Se basa en la teoría de variables regionalizadas desarrollada en los años 1960's por Matheron (Matheron, 1975; Hemyari and Nofziger, 1987) y utiliza semivariogramas, los cuales son una medida de la correlación espacial entre observaciones hechas en varios puntos, lo que a su vez describe la función de varianza sobre una distancia en incremento. Para esto se requiere formar pares de observaciones. Cuando se

utiliza el semivariograma o variograma, es para modelar la correlación espacial entre observaciones (Czaplewski *et al.*, 1994). El método Kriging permite convertir los datos de la variable, en superficies continuas (Burrough y McDonnell, 1998).

A través del método Kriging es posible estimar valores puntuales o funciones lineales del campo aleatorio en una región, utilizando un conjunto limitado de valores observados. Adicionalmente a la estimación puntual o promedio, el método Kriging provee una medida de la precisión de los valores estimados. Es una metodología para identificar la estructura de las variaciones espaciales; es decir, se puede utilizar para estimar los valores de cualquier variable regionalizada (aquella que está definida en un espacio de una, dos o tres dimensiones y que muestra una estructura espacial) que describa un fenómeno geofísico.

Las aplicaciones que el método Kriging ha tenido son numerosas, tanto en el campo de la geología, donde tuvo su origen, como en el área de la edafología, donde ha servido principalmente para describir la distribución espacial de las diversas características físicas, químicas y de fertilidad del suelo. Al respecto, Webster y McBratney (1987) utilizaron el método Kriging simple (kriging ordinario) para mapear tres propiedades de fertilidad del suelo; fósforo disponible, potasio intercambiable y pH en la capa superior de suelo. Un total de 77 ha fueron muestreadas a intervalos de 40 m y los semivariogramas de las variables estudiadas fueron determinados a partir de mediciones y valores kriging estimados a intervalos de 10 m en un mallado cuadrado.

Brus *et al.* (1996) compararon el comportamiento de seis métodos en la estimación de propiedades de suelos en puntos no muestreados y reportaron que Kriging fue el método más confiable al mostrarse como más consistente al interpolar un buen número de variables. Dicha consistencia se evidenció tanto al trabajar bajo un muestreo libre como estratificado por tipo de suelo.

Cuando se trata de casos no estacionarios se sugiere el uso de una técnica conocida como Kriging Universal para la interpolación espacial de variables,

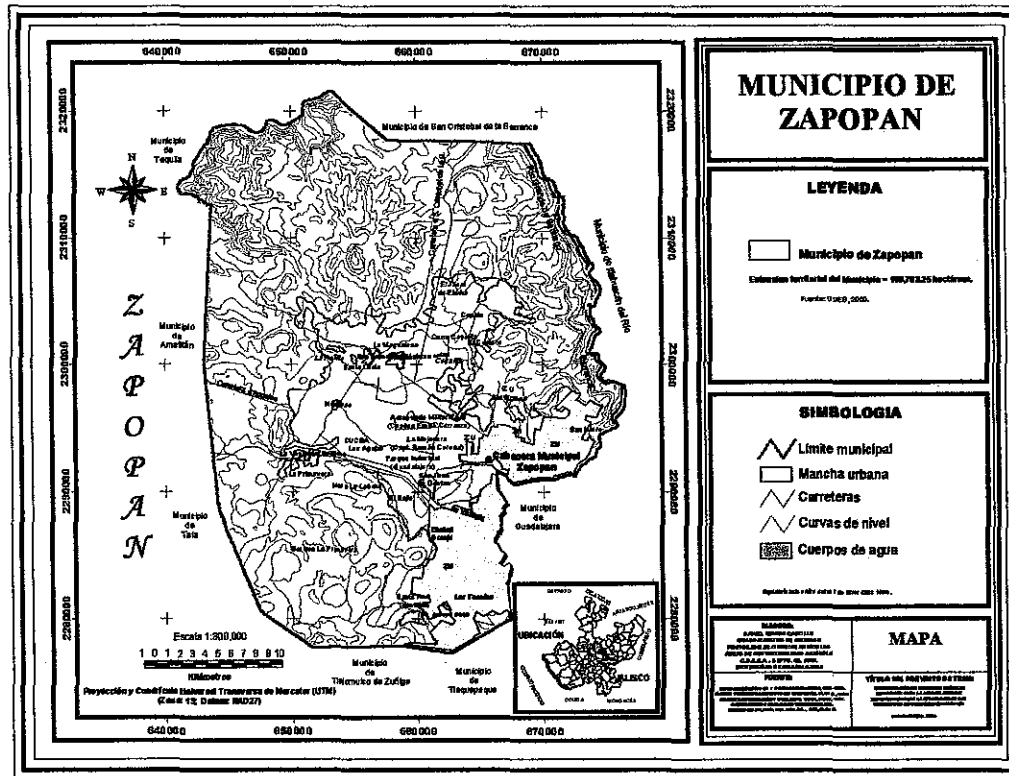
siempre y cuando exista una estructura de error correlacionado modelable; esta técnica considera la parte determinística, obtiene los coeficientes (β) óptimos de la función, usa los errores correlacionados (variograma) y produce estimadores Kriging óptimos de mínima varianza. Muchos autores están de acuerdo en que éste es el mejor método de interpolación espacial para describir las variaciones locales (Collado, 1988; ASCE, 1990).

V. MATERIALES Y METODOS

5.1. Área de Estudio.

El área de estudio la constituye la zona agrícola del Municipio de Zapopan. El Municipio se localiza en la región centro del estado de Jalisco, en la región Lerma-Santiago, de la cuenca del Río Santiago-Guadalajara y en la subcuenca del Río Verde-Presa del Río Bolaños, Provincia de Guadalajara (INEGI, 2001), entre los paralelos $20^{\circ} 59' 00''$ y $20^{\circ} 34' 00''$, y entre los meridianos $103^{\circ} 18' 00''$ y $103^{\circ} 39' 00''$, con una extensión territorial de 109,703.25 ha. (UdeG, 2000), que representa el 1.47% de la superficie estatal, y siendo uno de los principales municipios que conforman la Zona Metropolitana de Guadalajara. La zona agrícola se encuentra ubicada entre los paralelos $20^{\circ} 43' 21.84''$ y $20^{\circ} 50' 23.75''$ Norte y los meridianos $103^{\circ} 24' 52.14''$ y $103^{\circ} 30' 12.3''$ Oeste. En la década de los 80's, el valle de Zapopan constituía el 25% (27,425.81 ha) del área municipal, con una altitud promedio de 1600 msnm (Curiel, 1989; INEGI, 1981); en la actualidad al Valle de Zapopan corresponde el 10.82% del área municipal, aproximadamente; la disminución obedece al crecimiento poblacional y urbano del Municipio.

El Municipio de Zapopan colinda al Norte con los municipios de Tequila y San Cristóbal de la Barranca e Ixtlahuacán del Río; al Sur con Tlajomulco de Zúñiga y Tlaquepaque; al Oeste con Amatitán, Arenal, Tala y Tequila, y al Este con Ixtlahuacán del Río y Guadalajara. Se ubica en la región hidrológica del Río Santiago, y se divide en 300 localidades, de las cuales las más importantes son Zapopan (cabecera municipal), Atemajac del Valle, San Juan de Ocotán, Santa Ana Tepetitlán, San Francisco Tesistán, Col. Constitución (SGJ, 1988), (Mapa 1).



Mapa 1. Localización del Municipio de Zapopan, Jalisco.

5.1.1. Características ambientales.

5.1.1.1. Orografía.

El 43.3% de la superficie del municipio de Zapopan es considerada como una zona accidentada; el 19.3% como semi-plana y el 37.4% restante con condiciones planas. El valle agrícola de Zapopan se incluye en esta última condición (Curiel, 1989).

5.1.1.2. Hidrografía.

Zapopan cuenta con varios recursos hidrológicos, tiene ríos de importancia nacional como el Río Lerma, de importancia estatal como el Río Salado y

algunos de importancia local como el Río Blanco, Río San Isidro y Río Atemajac, además de presentar algunos caudales temporales como: El caudal Los Colomos, Caudal La Soledad, el caudal Las Canoas y el caudal Los Gavilanes. Presenta una amplia riqueza en manantiales, destacándose los del Bosque La Primavera, que presenta dentro del municipio 16 yacimientos de agua fría y 3 termales; además de 32 manantiales y 109 pozos de agua potable en el resto del municipio. Existen pequeñas presas que en la actualidad presentan serios problemas de asolvamiento, como la Presa La Peñita, Presa San Juan Copalita y Presa El Escaloncito (Curiel, 1989; UdeG, 2000).

5.1.1.3. Geología.

La región (Zapopan) es un lugar de transición producto de millones de años (INEGI, 1997) es parte de las estructuras de la Provincia Geológica de la Sierra Madre Occidental y de la Provincia Geológica del Eje Neovolcánico transversal (faja volcánica) (DGSNEGI, 1980; Ferreras, 1997), enclavada en las subprovincia de Guadalajara; de lomeríos suaves asociadas con cañadas y sierras de laderas suaves abruptas y pequeñas mesetas asociadas con cañadas y cañón, producto de la subdivisión de la Placa Tectónica Continental del Pacífico (Dewey, 1980; Ferreras, 1997) (con influencia de la subdivisión de la placa de Cocos del Pacífico) (DGSNEGI, 1980). Las rocas predominantes son las ígneas extrusivas ácidas: riolita porfírica, toba liparítica, pómez y obsidiana asociadas con algunos afloramientos de basalto, siendo materiales que presentan una antigüedad que va de los 25 mil a los 5 millones de años, siendo las formas más recientes las correspondientes a La Primavera (LBLP, 1991). Esta sierra manifiesta un relieve, producto de una caldera de tipo explosivo aproximadamente de 11 km de diámetro modificada por diversos domos riolíticos en la zona de fractura anular, cuyos productos piroclásticos fueron depositados en la región central del municipio, dando origen a los suelos del Valle de Zapopan (Curiel, 1989).

5.1.1.4. Clima.

Según la clasificación oficial del clima (Köppen-García), el municipio de Zapopan tiene tres tipos climáticos: clima semicálido subhúmedo Acw₁ con el 81.68% de la superficie; clima cálido subhúmedo A (w₀) con el 16.63% al NO y NE; clima templado subhúmedo C (w₂) con 1.69% al S (INEGI, 1997).

La precipitación pluvial anual media, es del orden de los 980 mm distribuidos entre los meses de mayo a octubre; siendo julio el mes más lluvioso con 251 mm; la temperatura media es de 19.7 a 20°C, siendo mayo, junio y julio el trimestre más cálido (Ruiz *et al.*, 2003a). En las épocas más críticas de humedad de los meses de enero a mayo, los vientos dominantes proceden del oeste; la velocidad promedio es de 18 km/h, alcanzando máximas de 54 km/h en el mes de marzo. En cuanto a las características agroclimatológicas, la radiación solar es de 495 cal/cm²/día, que en la zona agrícola representa un potencial de rendimiento para maíz de 11 ton/ha (Curiel, 1989). El inicio de temporal de lluvias es en la segunda decena de junio (Ruiz *et al.*, 2003b).

5.1.1.5. Suelos.

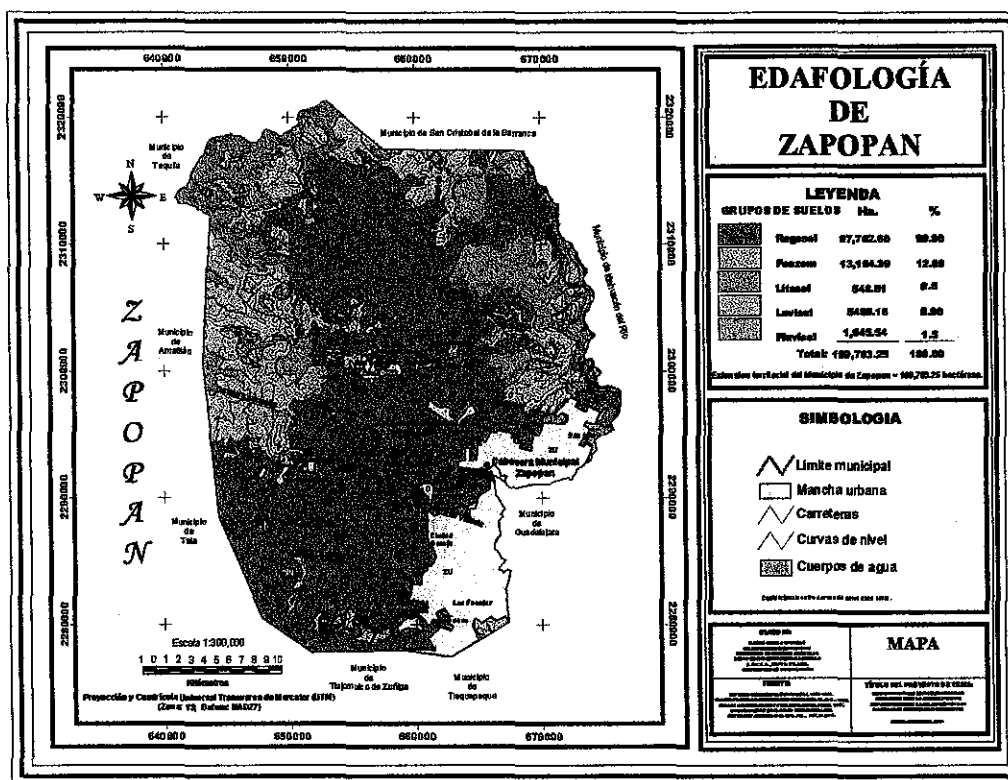
Las unidades de suelo (según clasificación FAO, 1985) que en orden de abundancia constituyen el Municipio de Zapopan, son: Regosol, Feozem, Fluvisol, Litosol, Luvisol, con un proceso de formación *in situ* coluvial y aluvial. El nivel de fertilidad de estas unidades es muy variable, dado que el contenido de arcilla, materia orgánica y humedad cambian según el lugar donde se ubiquen. En el Mapa 2 se describe la distribución espacial de estos tipos de suelo en el interior del Municipio. En el Cuadro 1 se muestra el nivel de representatividad que en términos de superficie, guardan estas unidades de suelo. En el Cuadro 2 se describen las subunidades correspondientes a cada unidad y, en el Cuadro 3 el tipo de textura relacionada con cada unidad.

5.1.2. Características de los suelos predominantes.

Regosol (Del Griego: Rhegos; manto o cobija) (Símbolo R): Se presenta en el 80 % de la zona y son considerados suelos con desarrollo incipiente y una fertilidad de baja a moderada; presentan una alta proporción de arenas

pomáceas aportadas por La Primavera, permitiendo la retención de humedad en épocas críticas para las siembras de maíz en el mes de abril. Exhiben colores claros por el material de origen y su bajo contenido de materia orgánica; son muy susceptibles a la erosión por la baja capacidad que tiene estos materiales para formar agregados (SGJ, 1988; Curiel, 1989). Son suelos formados a partir de materiales no consolidados, con capa de material suelto que cubre la roca, de textura gruesa, se pueden encontrar en muy distintos climas y con diversos tipos de vegetación (FAO, 1985). Se caracterizan por no presentar capas distintas. En general son claros y se parecen bastante a la roca que les dio origen, cuando no son profundos. Muchas veces acompañados de afloramiento de rocas o tepetate. Son de susceptibilidad variable a la erosión (FAO, 1985).

Feozem (Del Griego: Phaeozem): Se manifiesta en una superficie del 12 %, y su composición y características son similares a la unidad anterior, con la diferencia de un mayor contenido de materia orgánica y capacidad de retención de humedad. Su color es más oscuro y se encuentra en los valles y mesetas al sur del Municipio (SGJ, 1988; Curiel, 1989). Son suelos con una capa superficial oscura suave y rica en materia orgánica y nutrimentos, por lo que son considerados suelos fértiles; se pueden encontrar en zonas semiáridas, templadas o tropicales; en condiciones naturales tienen cualquier tipo de vegetación. Se encuentran en terrenos desde planos, hasta montañosos, y la susceptibilidad a la erosión depende del tipo de terreno donde se encuentren (FAO, 1985).



Mapa 2. Unidades de suelo FAO-UNESCO en Zapopan. (Adaptado de UdeG, 2000).

Cuadro 2. Superficie y nivel de representatividad de diferentes unidades de suelo en el municipio de Zapopan, Jalisco (Fuente: UdeG, 2000).

No.	Grupos de Suelo	Superficie (has.)	Porcentaje (%)
1	Regosol	87,762.60	80.00
2	Feozem	13,164.39	12.00
3	Luvisol	5,485.16	5.00
4	Fluvisol	1,645.54	1.50
5	Litosol	548.51	0.50

Cuadro 3. Subunidades correspondientes a cada unidad de suelo de Zapopan, Jalisco (Fuente: INEGI, 1997; UdeG, 2000).

No.	Unidad e Suelo	Subunidad de Suelo
1	Regosol	Dístrico
2	Feozem	Háplico
3	Luvisol	Crómico
4	Fluvisol	Eutríco
5	Litosol	S/Subunidad

Cuadro 4. Tipo de textura correspondiente a cada unidad de suelo (Fuente: INEGI, 1997; UdeG, 2000)

No.	Grupos de Suelo	Textura
1	Regosol	Media
2	Feozem	Media
3	Luvisol	Media
4	Fluvisol	Gruesa
5	Litosol	Media

5.1.3. Materiales.

5.1.3.1. Material cartográfico.

Se utilizaron las cartas edafológicas 1:50,000, correspondientes al área de estudio para auxiliar el trazado de las líneas de muestreo de suelo en campo, para inferir los puntos de muestreo.

Asimismo se utilizó información digital perteneciente al sistema de información ambiental, derivado del Proyecto de Ordenamiento Ecológico Territorial, desarrollado por la Universidad de Guadalajara al final de la década de los 90's (UdeG, 2000).

5.1.4. Metodología.

La metodología del presente estudio implicó el desarrollo de las siguientes etapas:

5.1.4.1) Recopilación de la información disponible de la zona de estudio.

5.1.4.2) Identificación de necesidades de muestreo y recolección de muestras georreferenciadas en campo.

5.1.4.3) Análisis de laboratorio e integración de una matriz de datos.

5.1.4.4) Interpolación espacial.

5.1.4.5) Análisis de imágenes para identificar limitantes para la agricultura.

5.1.4.6) Generación de cartas temáticas por variable.

5.1.4.1) Recopilación de la información disponible de la zona de estudio.

Consistió en la recopilación de toda la información que se encontró disponible en la zona de estudio. Se analizó la información de diversas instancias, tales como el INEGI, la Universidad de Guadalajara, el INIFAP y la Fundación Produce Jalisco (FPJ, 2000). Esta consulta permitió recabar información de muestreos de campo y sus respectivos análisis de laboratorio. Sin embargo, algunos datos fueron recuperables y otros no, debido a la falta de coordenadas geográficas de las muestras.

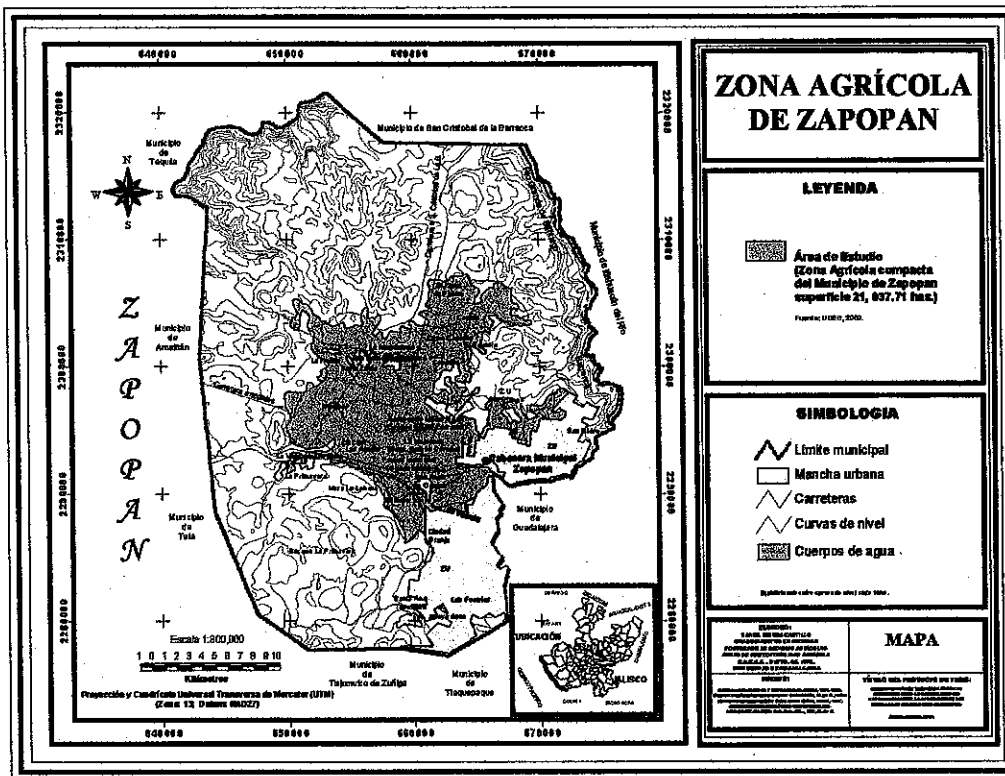
5.1.4.2) Identificación de necesidades de muestreo y recolección de muestras georreferenciadas en campo.

A partir del mapa de áreas agrícolas de Zapopan (Mapa 3.), se determinó la existencia de 21,037.71 hectáreas de uso agrícola, lo que en principio constituyó el área a muestrear (área de estudio). Para esta superficie, y de

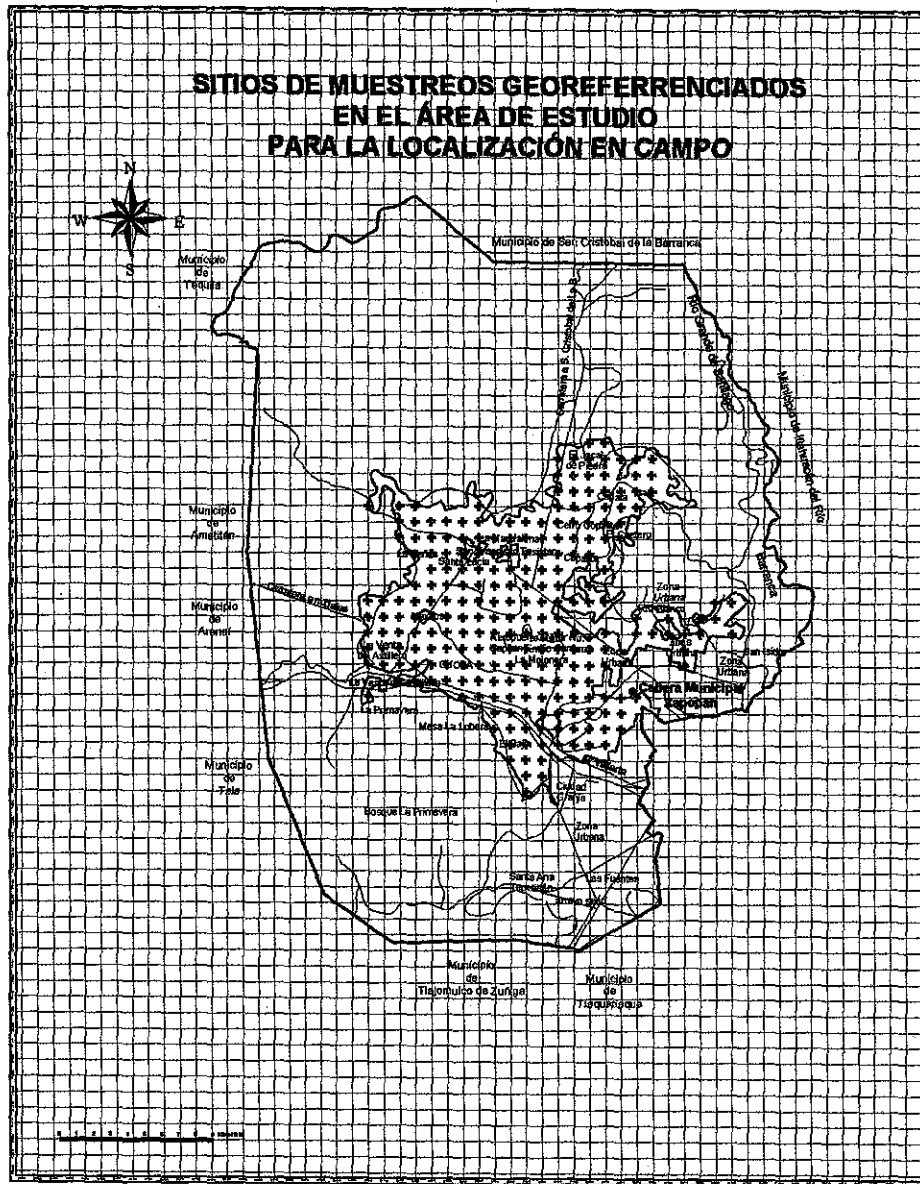
acuerdo con la disponibilidad de recursos económicos del proyecto, se proyectó una cuadrícula que incluía un muestreo cada 900 m de desplazamiento en "x" y en "y". Se utilizó para este trazado el sistema de coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) zona 13 NAD 27, proporcionando un total de 242 sitios a muestrear (Mapa 4). Para este trazado se utilizó el sistema de información geográfica (SIG) ArcView GIS 3.2 (ESRI, 1999). El plano de muestreo se imprimió en graficador HP DesignJet 1050C.

Con el plano y con un geoposicionador Garmin GPS XL-12, se localizaron en campo los puntos de muestreo. En el Cuadro 4 se describe la localización de los puntos de muestreo.

Las muestras se tomaron con una barrena de 1.20 metros de altura, conformando una sola muestra compuesta para el estrato correspondiente a los primeros 60 cm de suelo. Como dato complementario se registró la altitud del sitio de muestreo con el GPS y altímetro. Las muestras recabadas en campo fueron secadas y llevadas al Laboratorio de Física y Química de Suelos de la Fundación Produce Jalisco A. C., para ser analizadas.



Mapa 3. Ubicación de la zona agrícola del Municipio de Zapopan, Jalisco. (Adaptado de UdeG, 2000).



Mapa 4. Plano de localización de los sitios de muestreos georeferenciados en campo del área de estudio del Municipio de Zapopan, Jalisco.

Cuadro 5. Base de datos de 242 sitios de muestreos georreferenciados para el levantamiento en campo del área de estudio del Municipio de Zapopan, Jalisco.

No.	Long X (UTM)	Lat Y (UTM)	No.	Long X (UTM)	Lat Y (UTM)	No.	Long X (UTM)	Lat Y (UTM)	No.	Long X (UTM)	Lat Y (UTM)
1	663225	2306950	62	653050	2300475	123	659525	2296775	184	664150	2294000
2	664150	2306950	63	653975	2300475	124	660450	2296775	185	668775	2294000
3	661375	2306025	64	654900	2300475	125	661375	2296775	186	652125	2293075
4	662300	2306025	65	655825	2300475	126	666000	2296775	187	653050	2293075
5	663225	2306025	66	656750	2300475	127	669925	2296775	188	653975	2293075
6	664150	2306025	67	657675	2300475	128	667850	2296775	189	654900	2293075
7	665075	2306025	68	658600	2300475	129	669700	2296775	190	655825	2293075
8	666000	2306025	69	659525	2300475	130	670625	2296775	191	656750	2293075
9	669925	2306025	70	660450	2300475	131	650275	2295850	192	657675	2293075
10	661375	2305100	71	661375	2300475	132	651200	2295850	193	658600	2293075
11	662300	2305100	72	662300	2300475	133	652125	2295850	194	659525	2293075
12	663225	2305100	73	663225	2300475	134	653050	2295850	195	660450	2293075
13	664150	2305100	74	653975	2299550	135	653975	2295850	196	661375	2293075
14	666000	2305100	75	653975	2299550	136	654900	2295850	197	662300	2293075
15	666925	2305100	76	654900	2299550	137	655825	2295850	198	663225	2293075
16	661375	2304175	77	655825	2299550	138	656750	2295850	199	650275	2292150
17	662300	2304175	78	656750	2299550	139	657675	2295850	200	655825	2292150
18	663225	2304175	79	657675	2299550	140	658600	2295850	201	656750	2292150
19	664150	2304175	80	658600	2299550	141	659525	2295850	202	657675	2292150
20	665075	2304175	81	659525	2299550	142	660450	2295850	203	658600	2292150
21	666000	2304175	82	660450	2299550	143	661375	2295850	204	659525	2292150
22	666925	2304175	83	661375	2299550	144	662300	2295850	205	660450	2292150
23	650275	2303250	84	664150	2299550	145	664150	2295850	206	661375	2292150
24	652125	2303250	85	653050	2298625	146	666000	2295850	207	662300	2292150
25	653050	2303250	86	653975	2298625	147	666925	2295850	208	663225	2292150
26	656750	2303250	87	654900	2298625	148	667850	2295850	209	664150	2292150
27	661375	2303250	88	655825	2298625	149	668775	2295850	210	665075	2292150
28	662300	2303250	89	656750	2298625	150	669700	2295850	211	666000	2292150
29	663225	2303250	90	657675	2298625	151	671550	2295850	212	657675	2291225
30	664150	2303250	91	658600	2298625	152	650275	2294925	213	658600	2291225
31	665075	2303250	92	659525	2298625	153	651200	2294925	214	659525	2291225
32	666000	2303250	93	660450	2298625	154	652125	2294925	215	660450	2291225
33	652125	2302325	94	661375	2298625	155	653050	2294925	216	661375	2291225
34	653050	2302325	95	663225	2298625	156	653975	2294925	217	662300	2291225
35	653975	2302325	96	650275	2297700	157	654900	2294925	218	663225	2291225
36	654900	2302325	97	651200	2297700	158	655825	2294925	219	664150	2291225
37	655825	2302325	98	652125	2297700	159	656750	2294925	220	665075	2291225
38	656750	2302325	99	653050	2297700	160	657675	2294925	221	657675	2290300
39	658600	2302325	100	653975	2297700	161	658600	2294925	222	658600	2290300
40	659525	2302325	101	654900	2297700	162	659525	2294925	223	659525	2290300
41	660450	2302325	102	655825	2297700	163	660450	2294925	224	660450	2290300
42	661375	2302325	103	656750	2297700	164	661375	2294925	225	661375	2290300
43	662300	2302325	104	657675	2297700	165	662300	2294925	226	662300	2290300
44	663225	2302325	105	658600	2297700	166	663225	2294925	227	663225	2290300
45	664150	2302325	106	659525	2297700	167	664150	2294925	228	664150	2290300
46	665075	2302325	107	660450	2297700	168	668775	2294925	229	665075	2290300
47	652125	2301400	108	661375	2297700	169	650275	2294000	230	658600	2289375

48	653050	2301400	109	662300	2297700	170	651200	2294000	231	659525	2289375
49	653975	2301400	110	663225	2297700	171	652125	2294000	232	660450	2289375
50	654900	2301400	111	664150	2297700	172	653050	2294000	233	661375	2289375
51	655825	2301400	112	670625	2297700	173	653975	2294000	234	662300	2289375
52	656750	2301400	113	671550	2297700	174	654900	2294000	235	663225	2289375
53	657675	2301400	114	650275	2296775	175	655825	2294000	236	664150	2289375
54	658600	2301400	115	651200	2296775	176	656750	2294000	237	658600	2288450
55	659525	2301400	116	652125	2296775	177	657675	2294000	238	659525	2288450
56	660450	2301400	117	653050	2296775	178	658600	2294000	239	660450	2288450
57	661375	2301400	118	654900	2296775	179	659525	2294000	240	659525	2287525
58	662300	2301400	119	655825	2296775	180	660450	2294000	241	660450	2287525
59	663225	2301400	120	656750	2296775	181	661375	2294000	242	659525	2286600
60	664150	2301400	121	657675	2296775	182	662300	2294000			
61	665075	2301400	122	658600	2296775	183	663225	2294000			

5.1.4.3) Análisis de laboratorio e integración de una matriz de datos.

En esta etapa se realizaron las determinaciones necesarias, en el Laboratorio de Física y Química de Suelos de la Fundación Produce Jalisco, A. C., de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana 021 (PROY-NOM-021-RECNAT-2000) (DOF- SEMARNAT, 2000).

La textura se determinó por el método de Bouyoucus; la materia orgánica por el método de Walkley-Black; el pH por el método potenciométrico; la conductividad eléctrica por el método Solu-Bridge; el contenido de aluminio por el método de Bamhisel y Bertsch; la densidad aparente por el método de probeta, y capacidad de campo, punto de marchitamiento permanente y agua aprovechable por el método de Richards.

Los resultados de los análisis de laboratorio, se capturaron en el programa de Microsoft Excel, integrando una matriz georreferenciada con los siguientes datos: Coordenadas UTM, % arena, % limo, % arcilla, % materia orgánica, pH, conductividad eléctrica, densidad aparente, capacidad de campo, punto de marchitamiento permanente, agua aprovechable y aluminio intercambiable.

Esta matriz de datos georreferenciados se grabó como archivo tipo texto, para ser utilizado en rutinas de interpolación en el sistema de información geográfica (SIG) IDRISI32 (Clark, 2000)

5.1.4.4) Interpolación espacial.

Se utilizó la matriz de datos georreferenciados para desarrollar un proceso de interpolación espacial considerando dos métodos: Kriging Ordinario (KO) (Webster y McBratney, 1987) y Distancia Inversa Ponderada (DIP) (Isaaks and Srivastava, 1989). Estos dos métodos de interpolación se ejecutaron mediante el sistema geoesadístico GS+ ver. 5.1. (Gamma, 2001). La interpolación con el método kriging ordinario, permite convertir los datos de la variable de estudio, en superficies continuas (Burrough y McDonnell, 1998) y puede ser calculado usando la formula siguiente (Hunner, 2000):

$$\tilde{Z}_{KO}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot Z(x_i) \quad (1)$$

Donde: $\tilde{Z}_{KO}(x_0)$ = valor estimado de kriging ordinario en el sitio no muestreado x_0 ; λ_i = ponderación para el punto de muestreo i en el sitio x_i ; $Z(x_i)$ = valor de la variable Z (datos por cada una de las variables de estudio), para un punto de muestreo i , en el sitio x_i ; n = numero de puntos de muestreo. La varianza de KO se calcula con la expresión:

$$\sigma_{KO}^2(x_0) = C(x_0, x_0) - \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot C(x_i, x_0) + \mu \quad (2)$$

Donde: $\sigma_{KO}^2(x_0)$ = Varianza de kriging ordinario en el sitio no muestreado x_0 ; $C(x_0, x_0)$ = covarianza del punto a estimar en el sitio x_0 ; consigo mismo; $C(x_i, x_0)$ = covarianza del punto de muestro en el sitio x_i y el punto a estimar en el sitio x_0 ; μ = mu, promedio de la población. Los valores de cada variable fueron interpolados con base en KO, con la finalidad de obtener superficies continuas de valores. Para esto se obtuvo el variograma de los datos. El variograma es la herramienta básica del método kriging, y se utiliza para modelar la correlación espacial entre observaciones (Czaplewski *et al.*, 1994). La variación espacial

definida por el variograma, fue modelada con el objetivo de utilizar los modelos generados, para estimar los valores de contenido de cada una de las variables en los sitios que no fueron muestreados.

El método DIP se basa en el cálculo de un valor para sitios no muestreados, para lo cual utiliza un promedio ponderado de valores de sitios cercanos que sí fueron muestreados. La ponderación es producto de una función inversamente proporcional a la distancia entre el punto a ser estimado y el punto muestreado, como se expresa en la siguiente función lineal (de acuerdo a la descripción De la Mora *et al.*, 2004):

$$\hat{\beta}^*(x_0) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p} * \beta(x_i)}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}}$$

Donde: $\hat{\beta}^*(x_0)$ = valor estimado en el sitio no muestreado x_0 ; $\beta(x_i)$ = valor observado en el sitio x_i ; d_i^p = distancias desde cada sitio muestreado hacia el sitio no muestreado a estimar; p = exponente de distancia (el cual es definido iterativamente hasta lograr el mínimo error medio); n = número de sitios muestreados. En este estudio se probaron tres niveles de ponderación de DIP: a) DIP simple (exponente de distancia igual a 1); DIP cuadrático (exponente de distancia igual a 2) DIP cúbico (exponente de distancia igual a 3).

El ajuste de los métodos de interpolación se probó mediante un procedimiento de validación cruzada, el cual se ejecutó desde el sistema GS+ ver. 5.1, y consiste en la generación de residuales, que representan la diferencia entre valores observados y estimados. Estos últimos se generan removiendo el valor muestreado de un sitio en particular, después de lo cual su valor es estimado con base a los restantes sitios (Isaaks y Srivastava, 1989).

Se calculó el cuadrado medio del error (CME) de los residuales para identificar cual de los métodos de interpolación se ajustó mejor a los datos de cada variable. En este sentido, se selecciona el que presenta un menor valor de

CME (De la Mora *et al.*, 2004). El cuadrado medio del error resume estadísticos que incorporan tanto el sesgo, como la dispersión de la distribución del error (CME= varianza + sesgo²), el cual es calculado de la forma siguiente (Isaaks y Srivastava, 1989):

$$CME = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n r^2$$

Donde: CME = Cuadrado medio del error; n = número de sitios muestreados; y r = residuales (diferencia entre los valores observados y los valores estimados).

5.1.4.5) Análisis de imágenes para identificar limitantes para la agricultura.

En esta penúltima etapa de la metodología, se trabaja con cada una de las imágenes que se generen en la interpolación, para estratificarlas con sus rangos establecidos, objetivo que permite analizarlas, para establecer el estado actual del recurso edáfico e identificar posibles limitantes físico-químicas del suelo para la agricultura en Zapopan.

Los criterios de clasificación de las variables fueron:

1.- Arena, limo, arcilla (Textura):

Se utilizó el triángulo de texturas (Figura 3) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA, 1954), para reclasificar las imágenes de arena, limo y arcilla, para luego sobreponerlas y obtener la imagen de clases texturales.

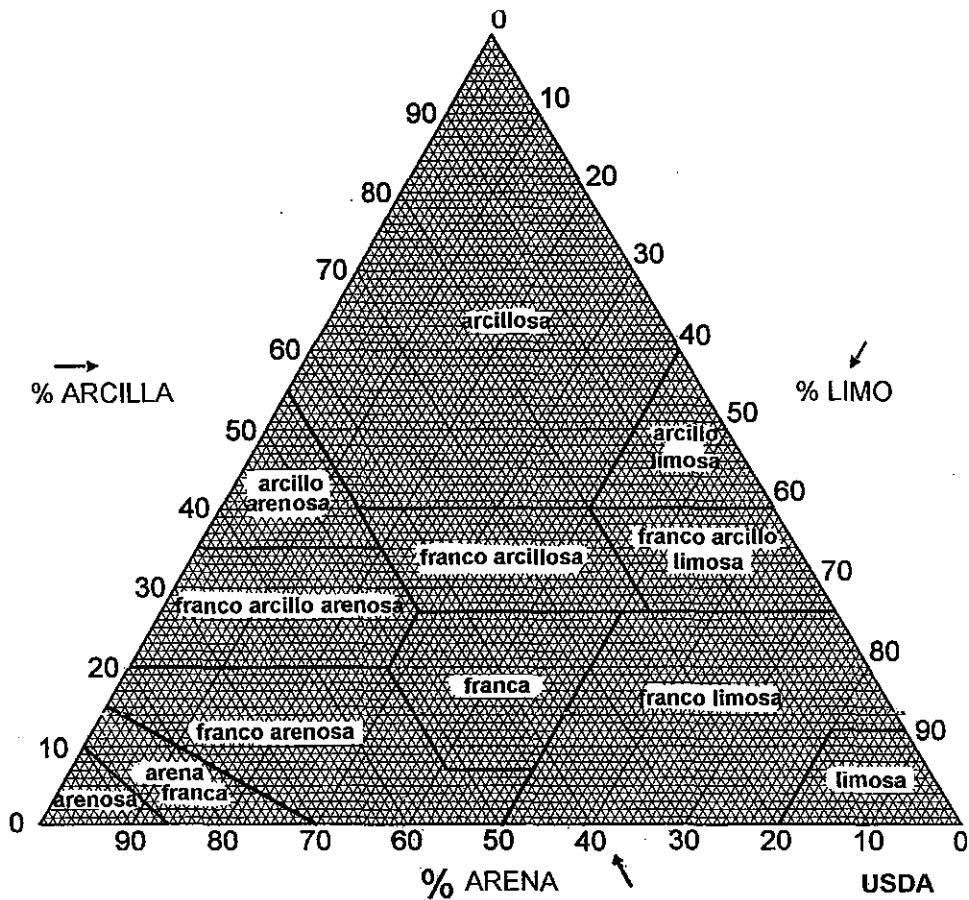


Figura 3. Triángulo de texturas del suelo (Adaptado de USDA, 1954).

La imagen de clases texturales se reclasificó para obtener una imagen de tres tipos básicos de textura (USDA, 1954; USDA, 1957; INEGI, 1981): gruesa, media y fina, los cuales han sido manejados con fines de interpretación e inferencia por parte de la FAO (FAO, 1985) y otras instituciones (INEGI, 1981). La agrupación de las clases texturales se realizó de acuerdo con el Cuadro 6.

Cuadro 6. Agrupación de las clases texturales del suelo en tres tipos básicos de textura (FAO, 1985).

Tipo de Textura	Orden	Clase textural
Suelos de textura gruesa	1	Arena (Arenoso)
	2	Arena franca
	3	Franco arenoso
Suelos de textura media	4	Franco arcillo arenoso
	5	Franco
	6	Franco limoso
	7	Limo (Limoso)
Suelos de textura fina	8	Franco arcillo limoso
	9	Franco arcilloso
	10	Arcillo arenoso
	11	Arcillo limoso
	12	Arcilla (Arcilloso)

2.- Materia orgánica (MO):

Para la materia orgánica, se estratificó según Moreno (1993) como se describe en el Cuadro 7. La descripción de las categorías es:

Cuadro 7. Estratificación para la materia orgánica (M.O.). (Moreno Dahme, 1993).

Nivel	Condición de la Clasificación del Suelo por niveles de M.O. Humificada.	Porcentaje de Materia Orgánica (%)
1	Muy Pobre	<1.0
2	Pobre	1.0 – 1.99
3	Mediano	2.0 -2.99
4	Rico	3.0 – 3.99
5	Muy Rico	>4.0

El significado agrícola de las condiciones de la MO del suelo, incluidas en el Cuadro 7 es el siguiente:

Muy Pobre. El nivel muy pobre de MOH conduce a la pérdida de los suelos y limita extremadamente el desarrollo de los cultivos.

Pobre. Los suelos pobres en MOH, restringen con mayor severidad la conservación y productividad de los suelos, con riesgo a la pérdida del suelo; la pobre fertilidad disminuye significativamente el desarrollo de los cultivos.

Mediano. Los suelos con mediano porcentaje de MOH contribuyen con una regular fertilidad para el desarrollo de los cultivos, limitando la conservación y productividad de los suelos.

Rico. Los suelos ricos en MOH permiten una fertilidad adecuada de los suelos y contribuyen a su conservación, así como al buen desarrollo y productividad de los cultivos.

Muy Rico. La condición de los suelos muy ricos en materia orgánica humificada (MOH) permite una alta fertilidad, como una contribución significativa a la conservación y productividad de los suelos, mejorando marcadamente sus características de aprovechamiento y elevando productivamente el desarrollo de los cultivos.

3.- pH:

Para la variable pH, los criterios de estratificación se tomaron también de Moreno (1993), como se describe en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Clasificación del pH del suelo (Moreno, 1993).

Nivel	Rango de pH	Condición
1	< 4.20	Extremadamente ácido
2	4.20 – 5.59	Fuertemente ácido
3	5.60 – 6.59	Moderadamente ácido
4	6.60 – 7.39	Neutro
5	7.40 – 8.39	Moderadamente alcalino
6	> 8.39	Fuertemente alcalino

El significado agrícola de las condiciones de pH del suelo, incluidas en el Cuadro 8 es el siguiente:

Extremadamente ácido. Representa una condición del pH del suelo que inhibe el desarrollo radicular, por lo que la presencia de cultivos es prácticamente infalible.

Fuertemente ácido. Permite el desarrollo radicular de una gama estrecha de especies de cultivo que prefieren suelos con tendencia ácida.

Moderadamente ácido. Condición de suelo que permite el uso agrícola, considerando la implementación de cultivos con preferencia de suelos de tendencia ácida.

Neutro. Condición del suelo que permite el desarrollo de una amplia gama de cultivos.

Moderadamente alcalino. Condición de suelo que permite el uso agrícola, considerando la implementación de cultivos con preferencia de suelos de tendencia alcalina.

Fuertemente alcalino. Permite el desarrollo radicular de una gama estrecha de especies de cultivo que prefieren suelos con tendencia alcalina.

4.- Al (aluminio).

Para la variable aluminio intercambiable los criterios de clasificación corresponden a lo reportado por varios autores, mencionados por: Pearson y Adams (1967); por Castellanos *et al.* (2000) y Edward (2000), que se incluyen en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Estratificación del contenido de aluminio intercambiable en el suelo.

Nivel	Rangos de aluminio intercambiable %	Condición
1	0	Muy Bajo
2	0 – 2	Bajo
3	2 – 5	Moderadamente Bajo
4	5 – 15	Mediano
5	15 – 30	Moderadamente Alto
6	30 - 60	Alto
7	> 60	Muy Alto

Nota: a partir del intervalo de 5-15 por ciento, con una condición mediano, inicia el problema de toxicidad por aluminio intercambiable en suelos ácidos (pH = 5.5 hacia abajo), ocasionando problemas en el desarrollo y asimilación del sistema radicular de la planta, mostrando un detrimento en la planta, en la productividad de los cultivos y en la sustentabilidad del suelo.

5.- Conductividad eléctrica (Salinidad):

Los niveles usados como criterios para conductividad eléctrica, fueron tomados de la clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA, 1954) (Cuadro 10).

Cuadro 10. Estratificación por conductividad eléctrica (USDA, 1954).

Nivel	Conductividad eléctrica (25°C) (mmhos/cm)	Clasificación del suelo por salinidad
1	0 – 2	No salino
2	2 – 4	Ligeramente salino
3	4 – 8	Medianamente salino o Moderadamente salino
4	8 – 12	Fuertemente salino
5	> 12	Extremadamente salino o Muy Fuertemente salino

Las implicaciones agrícolas de los estratos de salinidad del Cuadro 10 son:

No salino. Permite el desarrollo de todo tipo de cultivos.

Ligeramente salino. Es factible el desarrollo de una moderada diversidad de cultivos, pero limita la adaptación y productividad de especies muy sensibles a la salinidad.

Medianamente salino (Moderadamente salino). Permite el desarrollo de especies que poseen mediana a alta tolerancia a la presencia de sales en el suelo.

Fuertemente salino. Sólo se posibilita el desarrollo de especies con muy alta tolerancia a la salinidad. Este grupo de especies es muy reducido.

Extremadamente salino (Muy fuertemente salino). Prácticamente no existe posibilidad para el desarrollo vegetal.

6.- Densidad aparente (Da).

La clasificación de esta variable se realizó siguiendo los intervalos mencionados por Curiel (1989) y que se describen en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Clasificación de densidad aparente del suelo.

Nivel	Densidad aparente (g/cm ³)	Condición del suelo
1	<1.2	No – compactación
2	1.2 - 1.4	Compactación ligera a media
3	1.4 - 1.6	Compactación media a alta
4	>1.6	Compactación alta

Las implicaciones agrícolas de las condiciones de densidad aparente del Cuadro 11 son:

La condición no - compactación representa suelos sin limitación para el desarrollo de raíces.

Compactación ligera a media. Representa condiciones de suelo que pueden llegar a ser una barrera para el desarrollo de raíces de cultivos, sobre todo cuando se trata de suelo seco. Sin embargo, el nivel de afectación en este sentido está dado por el tipo de cultivo (tipo de sistema radicular) y por la ya mencionada condición de humedad del suelo.

Compactación de media a alta. Suelos con esta característica pueden constituir ya una barrera seria para las raíces, sobre todo en condición de suelo seco.

Compactación alta. En este nivel de compactación, las raíces definitivamente encuentran una barrera muy difícil de franquear, por lo que normalmente se desvían, provocando una disminución en el aprovechamiento de agua y oxígeno y nutrimentos por parte de la planta.

Los efectos de degradación física en los suelos secos, con una densidad aparente de 1.2 a 1.4 g/cm³ constituyen una barrera seria a las raíces del cultivo; a partir de 1.6 g/cm³ disminuye el aprovechamiento de agua y oxígeno por las plantas y por lo tanto de los nutrimentos.

7.- Constantes de humedad (CH)

La interpretación de las imágenes de capacidad de campo, punto de marchites permanente y humedad aprovechable, se consideró de mayor sentido si se canalizaba hacia la descripción de la capacidad de almacenamiento de humedad del suelo en el estrato muestreado de 60 cm del perfil. Para ello se generó una imagen sobre este parámetro de acuerdo con la siguiente expresión señalada por Villalpando (1985):

$$CAHS = (\text{Prof}) (\text{HA}) (\text{Da})/10$$

Donde:

CAHS = Capacidad de almacenamiento de humedad del suelo

Prof = Profundidad del suelo, en el estrato muestreado en los 60 cm del perfil.

HA = Humedad aprovechable = CC – PMP

CC = Capacidad de campo

PMP = Punto de marchitez permanente

Da = Densidad aparente

La imagen de CAHS se clasificó de acuerdo con los intervalos señalados en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Condición de humedad en los primeros 60 cm de suelo, para cuatro intervalos de CAHS.

CAHS (cm)	Condición
< 60	Baja
60-75	Media
75-100	Alta
>100	Muy alta

5.1.4.6) Generación de cartas temáticas por variable.

Las imágenes temáticas fueron transformadas en mapas temáticos utilizando el SIG ArcView 3.2, para conformar el sistema de información edafológico municipal.

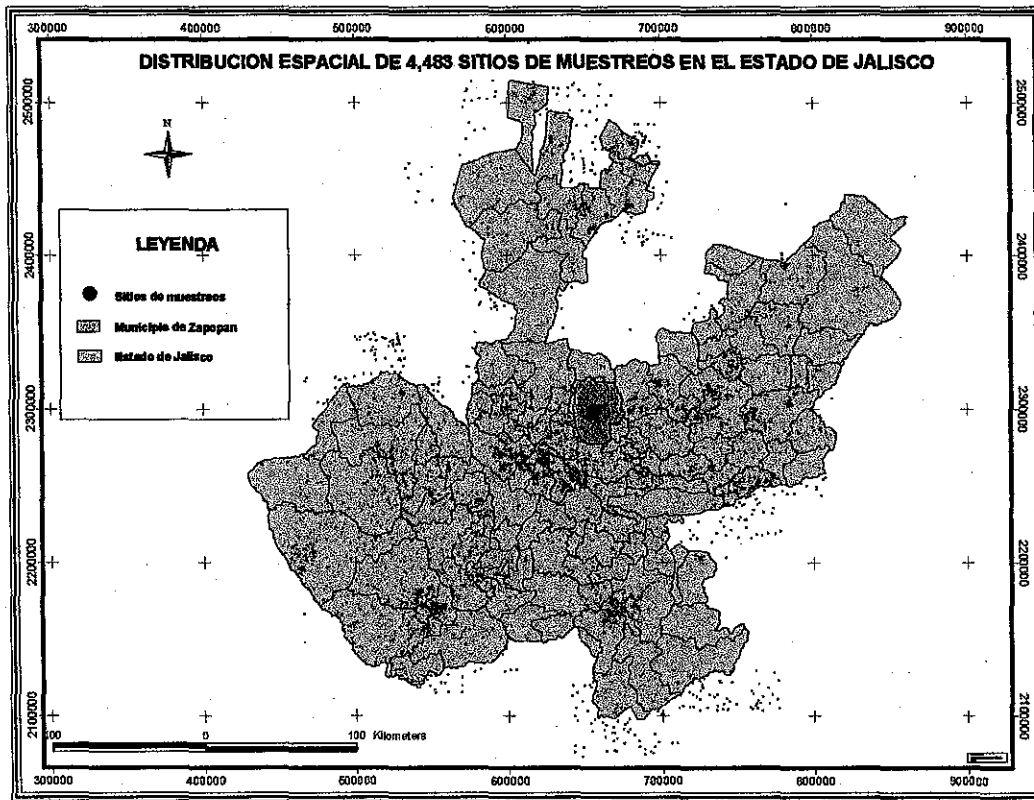
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Recopilación de información disponible del área de estudio.

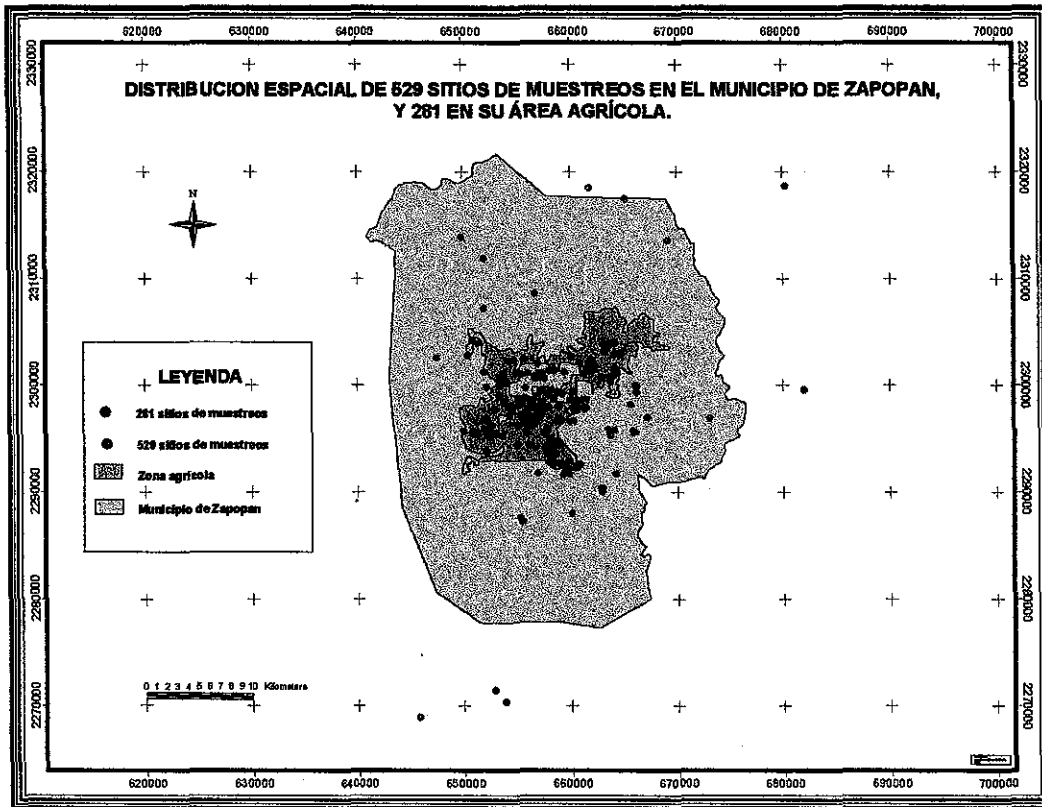
A partir de las recopilaciones y consultas de los bancos de datos existentes de diferentes instancias, se obtuvieron 4,483 registros de muestreo de suelo georreferenciados en el Estado de Jalisco y sus alrededores (Mapa 5). De estos muestreos, 529 se realizaron en sitios correspondientes al municipio de Zapopan, de los cuales 281 se ubicaron en el área agrícola de este municipio (Mapa 6, Cuadros 1a y 1b del anexo). Con la información de los Cuadros 1a y 1b del anexo, se integró un banco de datos antecedentes de muestreo de suelo en el área de estudio. Además de la información de estos cuadros, se recabaron más datos de muestreo de suelo, sin embargo no se pudo recuperar su referencia geográfica, por lo que no pudieron incluirse en el banco de datos.

6.2. Identificación de necesidades de muestreo y toma de muestras georreferenciadas en campo.

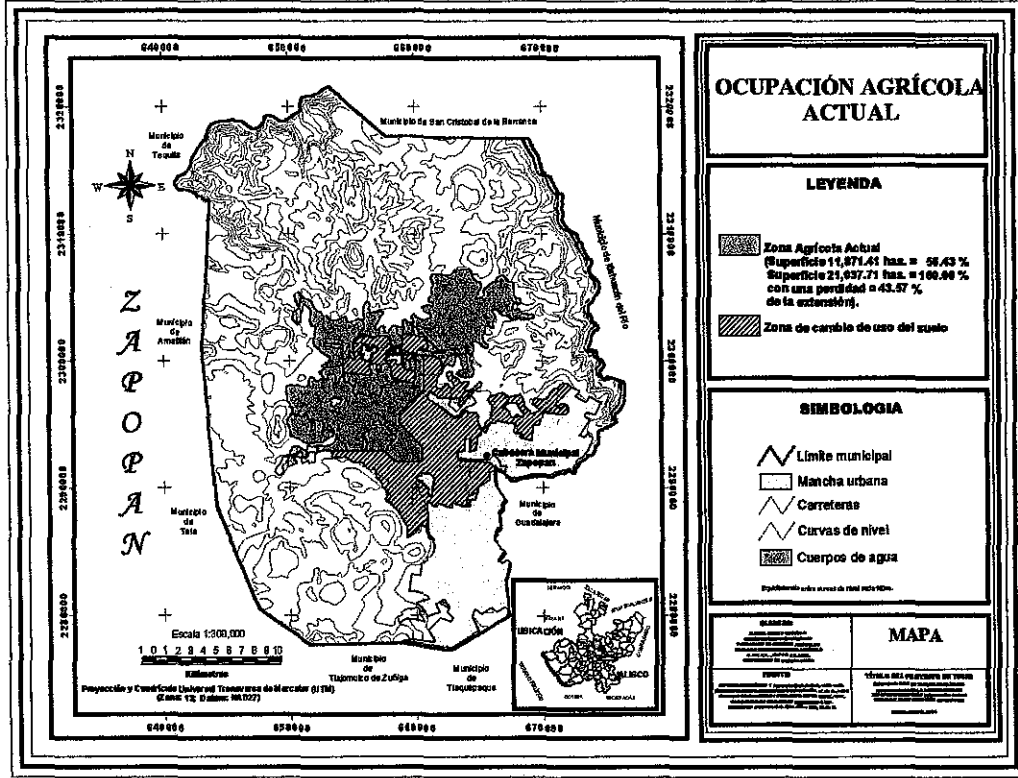
El trabajo de georreferenciación y geoposicionamiento realizado en campo, permitió delimitar la zona de uso agrícola actual, cuantificándose una superficie de 11,871.41 hectáreas, esto es 15,554.4 ha aproximadamente menos desde la década de los 80's, correspondiendo en la actualidad con el 10.82 % del área (Mapa 7). El uso del suelo en esta superficie cambió de agrícola a urbano y otros usos, como industrial y pecuario. De esta forma, de los 242 muestreos que originalmente se plantearon para cubrir el área agrícola de Zapopan, sólo fue necesario realizar 105 (Mapa 8), Esto debido a la contracción tan dinámica que el área agrícola ha sufrido en los últimos años (Mapa 9).



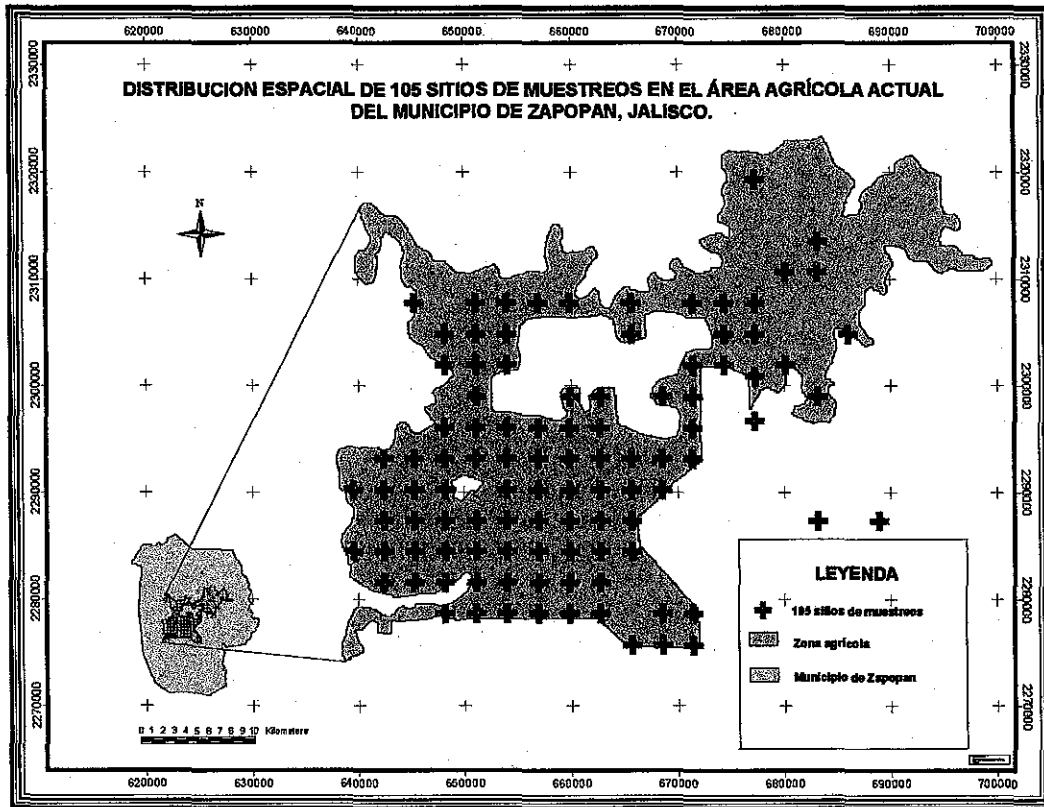
Mapa 5. Distribución espacial de 4,483 sitios de muestreo de suelo en el Estado de Jalisco.



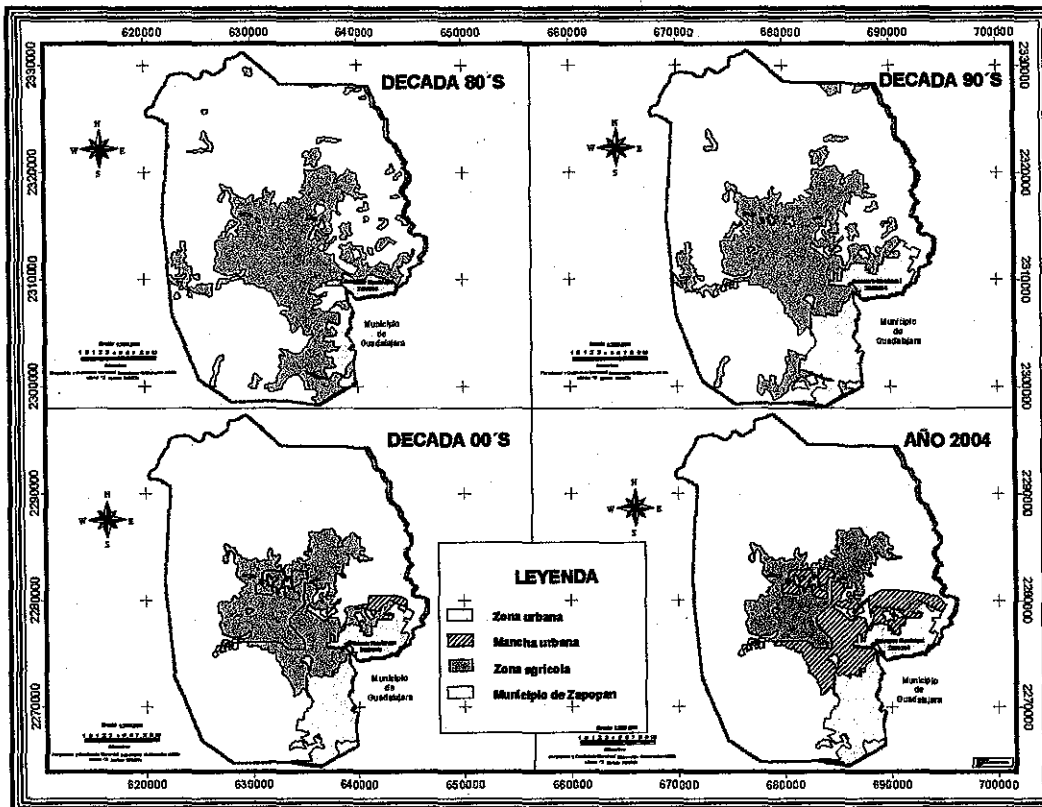
Mapa 6. Distribución espacial de sitios de muestreos en el municipio de Zapopan y su área agrícola.



Mapa 7. Ocupación agrícola actual del municipio de Zapopan, Jalisco (2004).



Mapa 8. Distribución espacial de los sitios de muestreos realizados en la zona agrícola actual del municipio de Zapopan, Jalisco.



Mapa 9. Distribución espacial de la mancha urbana en relación con el área agrícola, en los períodos 1981-1990, 1991-2000, 2001-2003 y año 2004 en el municipio de Zapopan, Jalisco.

6.3. Análisis de laboratorio e integración de una matriz de datos.

Los resultados de los análisis de laboratorio se capturaron en Excel de Microsoft para integrar una matriz de datos por cada una de las variables edáficas estudiadas de la zona agrícola de Zapopan (Cuadro 2a, anexo).

6.4. Interpolación espacial.

En el Cuadro 13 se describen los resultados de la validación cruzada de los dos métodos de interpolación utilizados. Se aprecia los valores del cuadrado medio del error correspondiente a los métodos kriging ordinario (KO) y distancia inversa ponderada (DIP), al interpolar nueve propiedades del suelo de la zona agrícola de Zapopan. Se observa que los métodos de interpolación espacial se comportaron de manera similar; sin embargo, se aprecia que el método KO fue ligeramente superior, para la mayoría de las variables estudiadas. Considerando estos resultados, y que el método KO es el mejor estimador lineal insesgado (Olea, 1991; De la Mora *et al.*, 2004), se seleccionó kriging ordinario como el método para generar las imágenes raster con resolución de 30 por 30 por cada una de las variables edáficas. Se aprecia que DIP fue ligeramente mejor para limo, CE y CAHS, por lo que se considera que no todas las variables, en este estudio se aplique con KO.

6.5. Modelaje de la variabilidad espacial de propiedades del suelo

El variograma experimental proporciona una idea inicial de la variabilidad espacial de los datos de manera visual, siendo el más apto para representar u obtener una clara y definida estructura espacial (Sahin y Hassan, 1998). Este modelo teórico es necesario, con el objetivo de determinar los parámetros del semivariograma, que posteriormente se usan en las interpolaciones (Journel y Huijbregts, 1978).

En las Figuras 4 a la 15, se describen los variogramas, y los componentes del semivariograma y la imagen raster obtenida para cada una de las propiedades del suelo estudiadas, utilizando el método kriging ordinario. Los variogramas (semivariogramas), los cuales representan el modelo teórico y herramienta básica de apoyo a la técnica de interpolación espacial kriging, constituyen cuantitativamente la variabilidad de una variable regionalizada del fenómeno en el espacio (Journel y Huijbregts, 1978), (variograma isotrópico resumen del comportamiento de la función sistemática de los resultados, es evidente que existe una tendencia a la variabilidad espacial).

Cuadro 13. Valor del cuadrado medio del error (CME) para dos técnicas de interpolación: Kriging ordinario (KO) y Distancia inversa ponderada (DIP) para interpolar nueve propiedades del suelo de la zona agrícola de Zapopan, Jalisco.

Propiedades del suelo	CME	
	KO	DIP1
Arena (%)	<u>95.0909</u>	95.4577
Limo (%)	40.2196	<u>39.6257</u>
Arcilla (%)	<u>35.8583</u>	36.5863
MO (%)	<u>0.23509</u>	0.24508
pH (Unidades)	<u>0.48605</u>	0.48791
Aluminio (%)	<u>0.07408</u>	0.07713
CE (mmhos/cm)	10.3439	<u>10.316</u>
Da (g/cm ³)	<u>0.00458</u>	0.00461
CAHS (%)	137.389	<u>132.961</u>

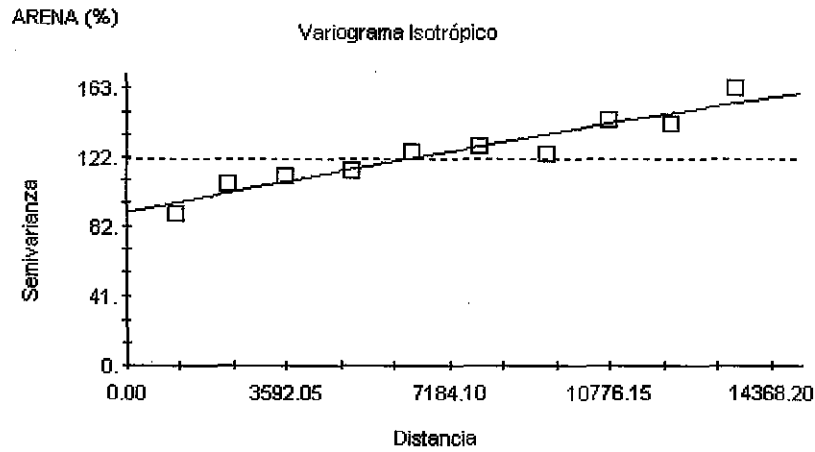
La distancia (rango, A_0) representa la distancia hasta donde existe correlación espacial para la variable en cuestión. Los resultados muestran que A_0 se ubica aproximadamente a los 31,100 metros en la mayoría de las variables estudiadas, con excepción de arcilla y conductividad eléctrica que llegaron a 13,560.4167 metros, distancia máxima entre dos pares de sitios en la que existe correlación espacial entre los mismos (De la Mora *et al.*, 2004).

El valor sill ($Co+C$), es el parámetro que se ajusta a los puntos de mayor valor del semivariograma (Journel y Huijbregts, 1978) donde existe correlación espacial (De la Mora *et al.*, 2004). Los resultados obtenidos: de 193.3 para arena, 72.53 para limo, 42.44 para arcilla, 0.452 para MO, 0.873 para pH, 13.0 para aluminio, 9.96 para CE, 0.0079 para Da, 41,950 para CAHS. Las variables arcilla y conductividad eléctrica no tuvieron estabilidad en su semivariograma, constituye una estructura espacial no definida en relación a la variabilidad espacial de sus datos (Chica, 1987).

El nugget (Co), define una discontinuidad a partir del origen de la gráfica (Samra *et al.*, 1989), los resultados: para arena es de 89.7, limo 31.30, MO 0.1949, pH 0.436, Al 6.5, Da 0.00396, y CAHS 7,900 representa una discontinuidad del efecto nugget, a partir del origen (Chica, 1987). Las variables de arcilla y conductividad eléctrica presentan resultados de 42.44835 y 9.96256 valores iguales con respecto al sill, y el nugget, definido como el fenómeno denominado "ruido blanco", manifiesta ausencia de estructura en el semivariograma (efecto nugget puro) (Journel y Huijbregts, 1978).

Los modelos teóricos de mejor ajuste para las variables fueron: arena, limo, y CAHS el modelo esférico, en cambio para MO, pH, aluminio y Da el modelo exponencial, modelos que significan dependencia espacial (Chica, 1987). En el caso de arcilla y conductividad eléctrica, se ajustó al modelo lineal, modelo que no se aprecia adecuadamente la variabilidad espacial (Armstrong y Carignan, 1997).

(a)



Modelo esférico ($C_0 = 89.700$; $C_0 + C = 193.300$; $A_0 = 30410.00$; $r^2 = 0.916$;
RSS = 341.)

znn

(b)

Modelo	Nugget (C_0)	Sill ($C_0 + C$)	Rango (A_0)
Esférico	89.700	193.300	30410.0000

(c)

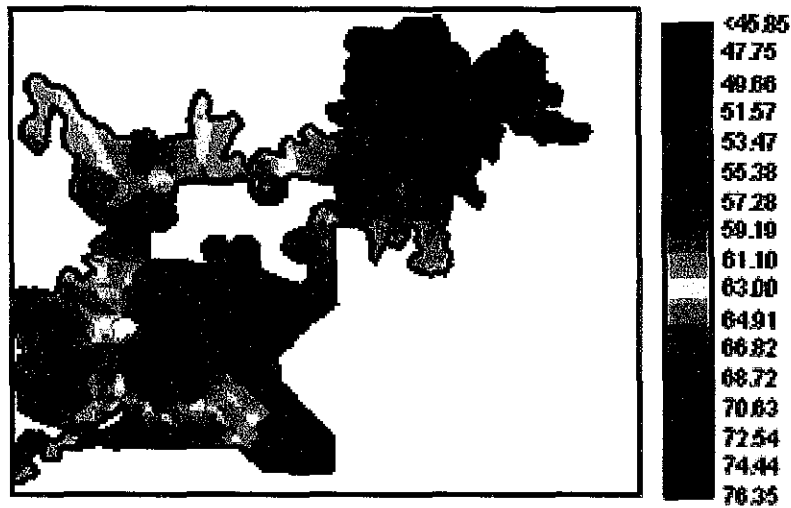
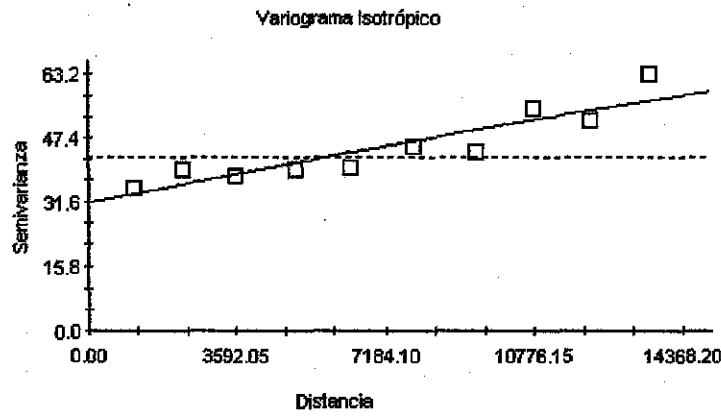


Figura 4. Variograma isotrópico (a), modelo de variabilidad espacial (b), e imagen raster (c) del porcentaje de arena del suelo de la zona agrícola del municipio de Zapopan, Jalisco.

(a) LIMO (%)



Modelo esférico ($C_0 = 31.300$; $C_0 + C = 72.530$; $A_0 = 31100.00$; $r^2 = 0.823$; $RSS = 124$.)

(b)

Modelo	Nugget (C_0)	Sill (C)	Rango (A_0)
Esférico	31.30000	72.53000	31100.0000

(c)

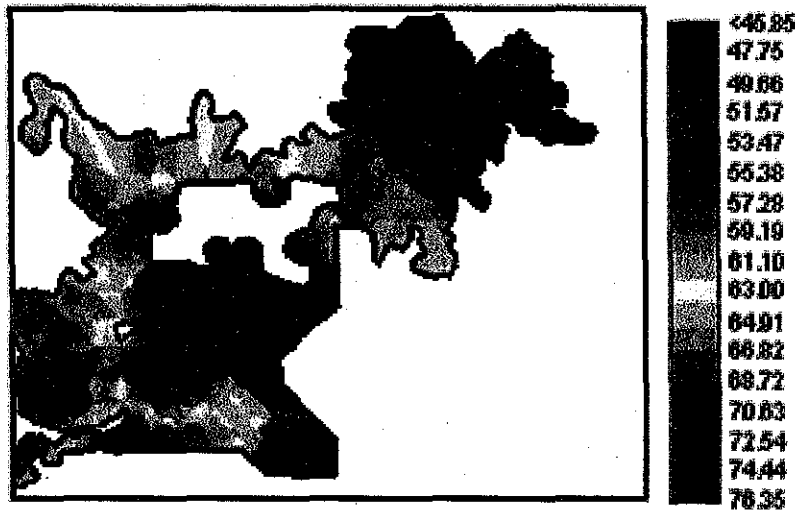
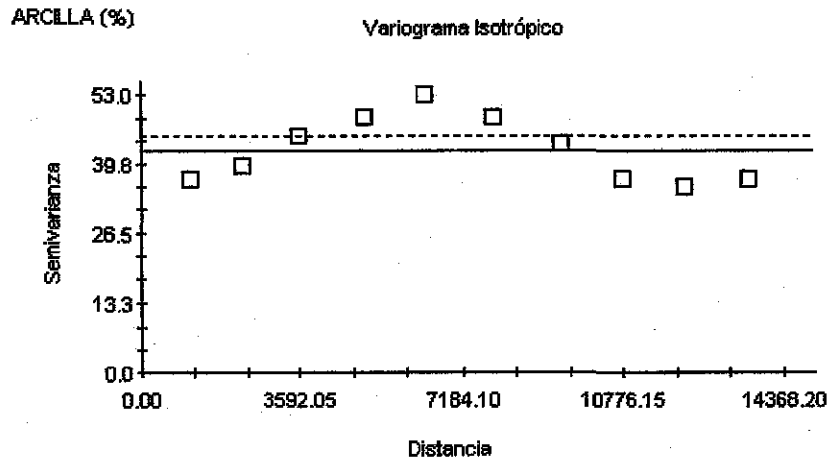


Figura 5. Variograma isotrópico (a), modelo de variabilidad espacial (b), e imagen raster (c) del porcentaje de limo del suelo de la zona agrícola del municipio de Zapopan, Jalisco.

(a)



Modelo Lineal (Co = 42.448; Co + C = 42.448; Ao = 13560.42; r2 = 0.000; RSS = 356.)

(b)

Modelo	Nugget (Co)	Sill (C)	Rango (Ao)
Lineal	42.44835	42.44835	13560.4167

(c)

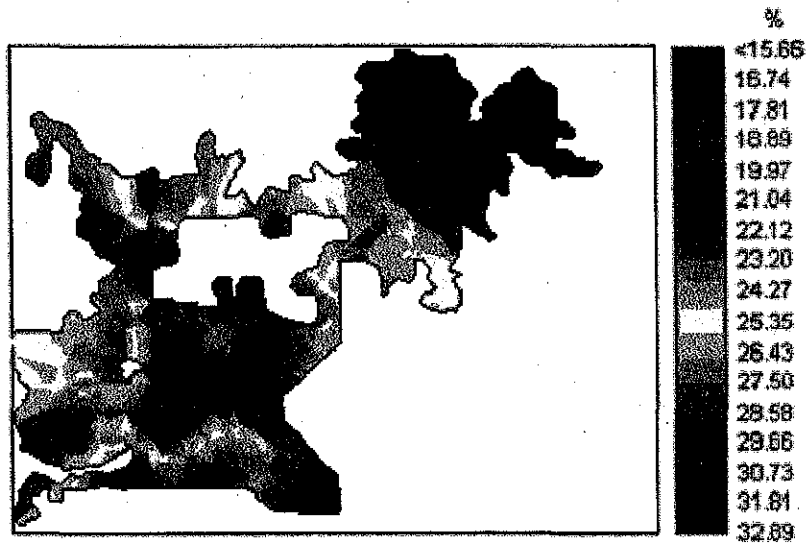
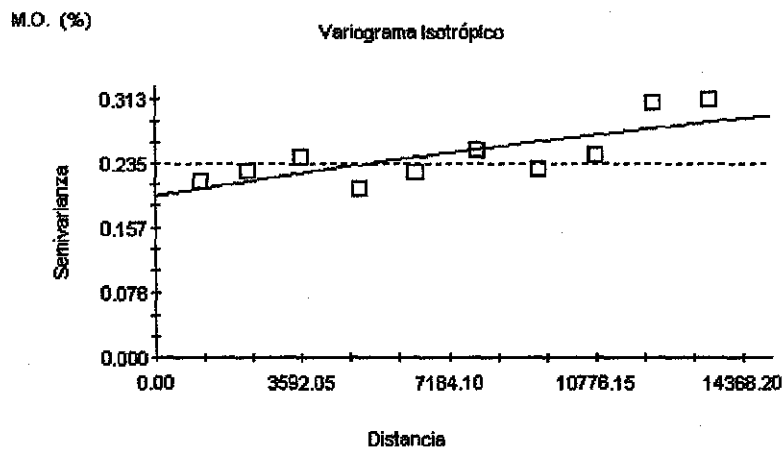


Figura 6. Variograma isotrópico (a), modelo de variabilidad espacial (b), e imagen raster (c) del porcentaje de arcilla del suelo de la zona agrícola del municipio de Zapopan, Jalisco.

(a)



Modelo exponencial ($C_0 = 0.195$; $C_0 + C = 0.453$; $A_0 = 31100.00$; $r^2 = 0.578$;
RSS = $5.350E-03$)

(b)

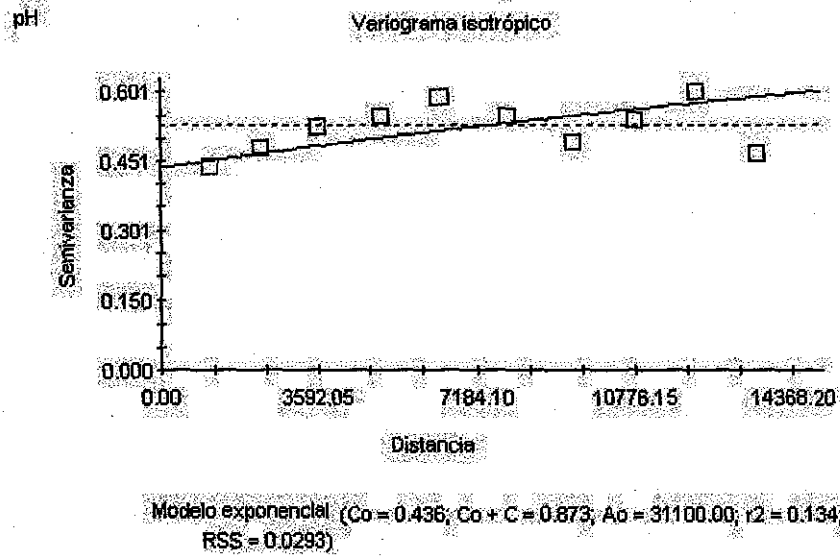
Modelo	Nugget (C_0)	Sill (C)	Rango (A_0)
Exponencial	0.19490	0.45280	31100.0000

(c)



Figura 7. Variograma isotrópico (a), modelo de variabilidad espacial (b), e imagen raster (c) del contenido de materia orgánica del suelo de la zona agrícola del municipio de Zapopan, Jalisco.

(a)



(b)

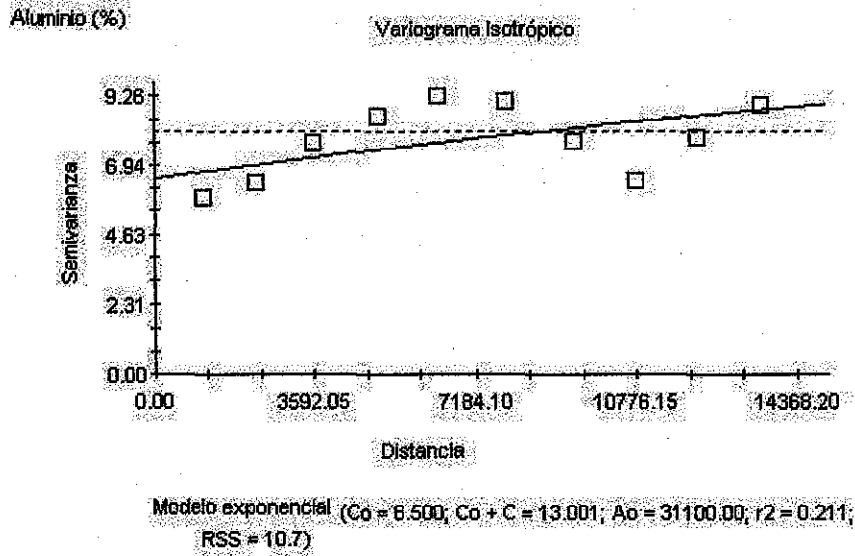
Modelo	Nugget (C_0)	Sill (C)	Rango (A_0)
Exponencial	0.43600	0.87300	31100.0000

(c)



Figura 8. Variograma isotrópico (a), modelo de variabilidad espacial (b), e imagen raster (c) del pH del suelo de la zona agrícola del municipio de Zapopan, Jalisco.

(a)



(b)

Modelo	Nugget (C_0)	Sill (C)	Rango (A_0)
Exponencial	6.50000	13.00100	31100.0000

(c)

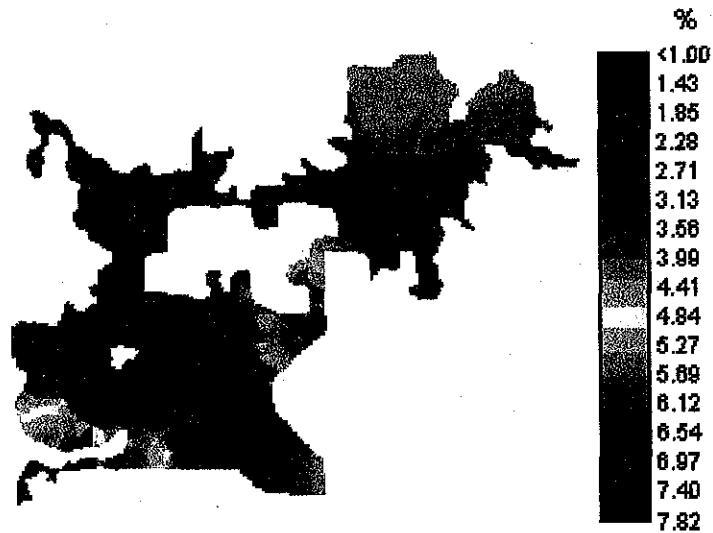
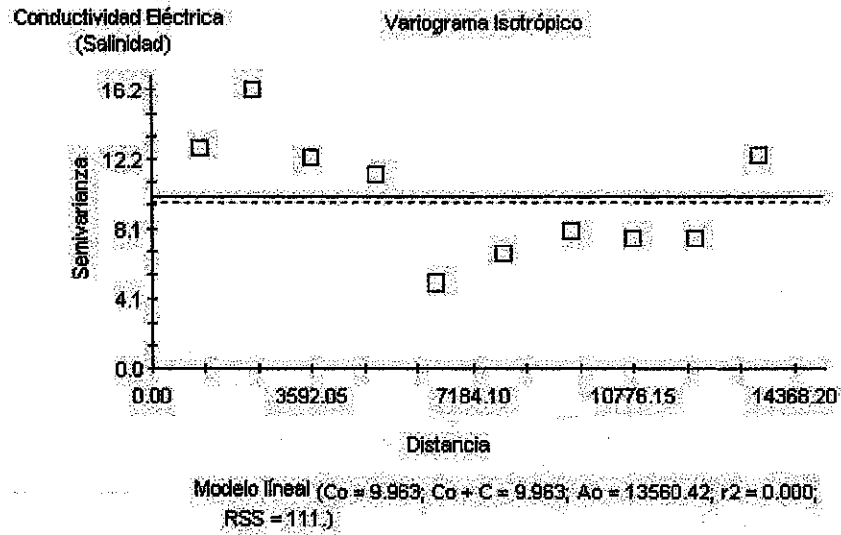


Figura 9. Variograma isotrópico (a), modelo de variabilidad espacial (b), e imagen raster (c) del porcentaje de aluminio intercambiable del suelo de la zona agrícola del municipio de Zapopan, Jalisco.

(a)



(b)

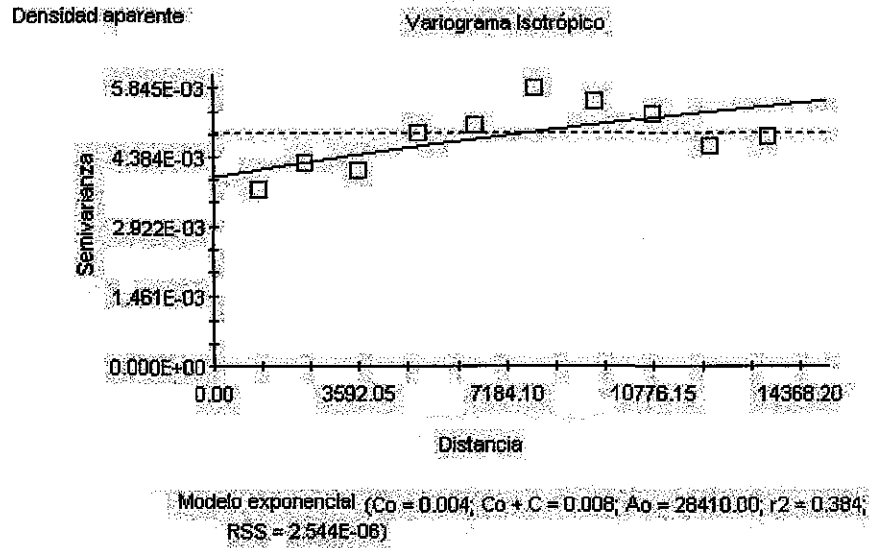
Modelo	Nugget (C_0)	Sill (C)	Rango (A_0)
Líneal	9.96256	9.96256	13560.4167

(c)



Figura 10. Variograma isotrópico (a), modelo de variabilidad espacial (b), e imagen raster (c) de la conductividad eléctrica del suelo de la zona agrícola del municipio de Zapopan, Jalisco.

(a)



(b)

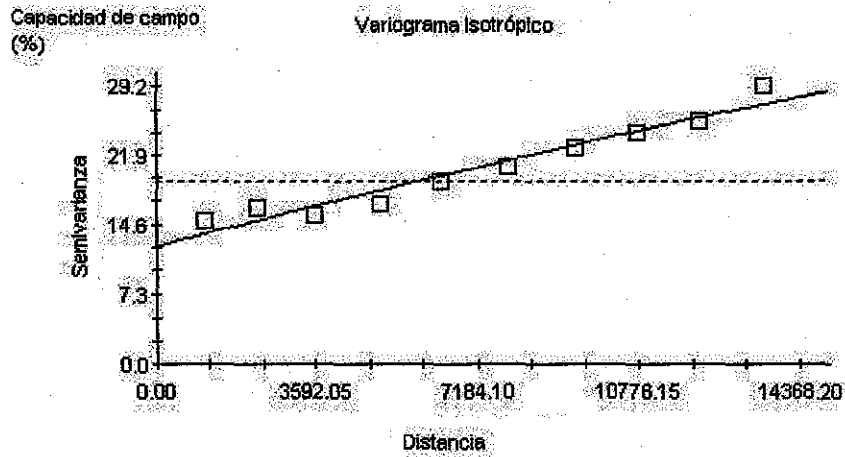
Modelo	Nugget (C_0)	Sill (C)	Rango (A_0)
Exponencial	0.00396	0.00793	28410.0000

(c)



Figura 11. Variograma isotrópico (a), modelo de variabilidad espacial (b), e imagen raster (c) de la densidad aparente del suelo de la zona agrícola del municipio de Zapopan, Jalisco.

(a)



Modelo esférico ($C_0 = 12.270$, $C_0 + C = 36.650$, $A_0 = 31100.00$, $r^2 = 0.943$, $RSS = 12.0$)

(b)

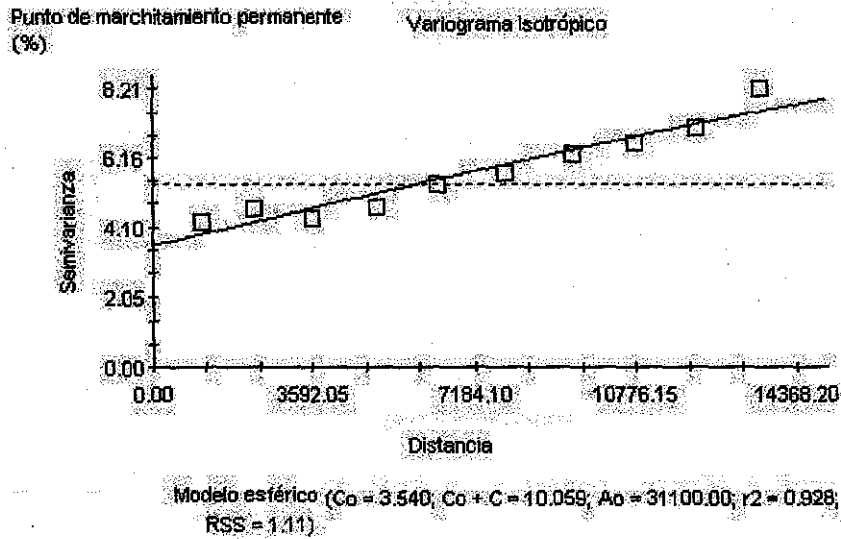
Modelo	Nugget (C_0)	Sill (C)	Rango (A_0)
Esférico	12.270	36.650	31100.0000

(c)



Figura 12. Variograma isotrópico (a), modelo de variabilidad espacial (b), e imagen raster (c) de la capacidad de campo del suelo de la zona agrícola del municipio de Zapopan, Jalisco.

(a)



(b)

Modelo	Nugget (C_0)	Sill (C)	Rango (A_0)
Esférico	3.5400	10.059	31100.0000

(c)

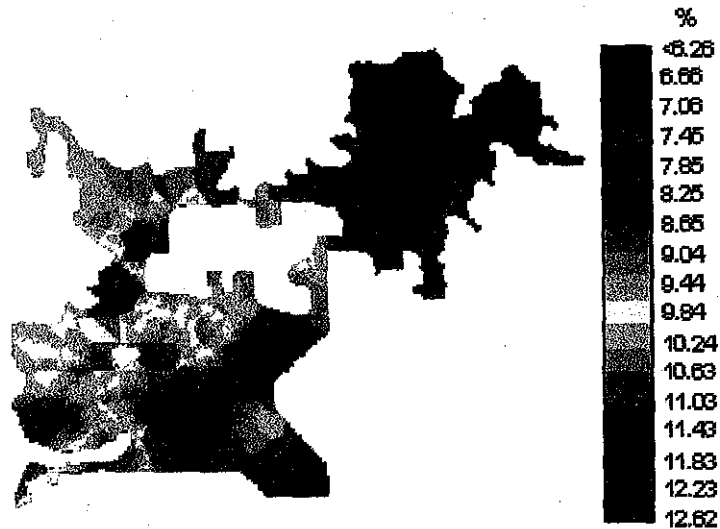
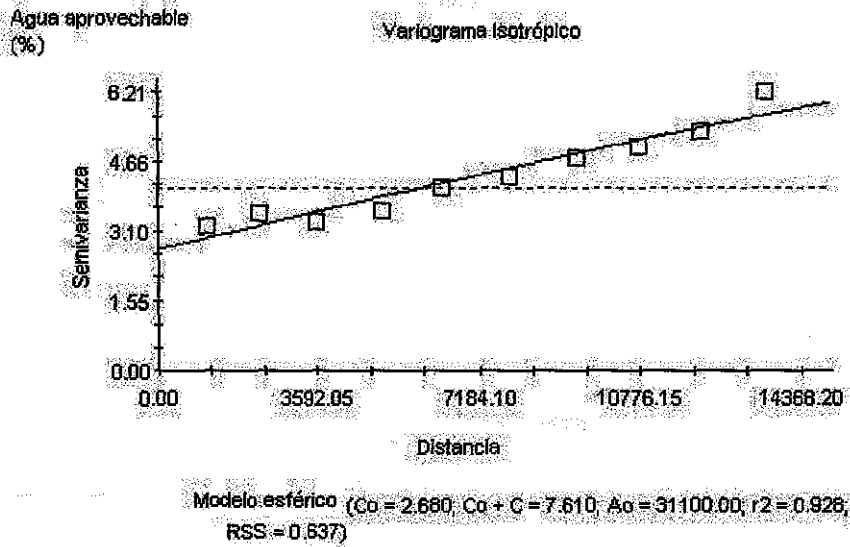


Figura 13. Variograma isotrópico (a), modelo de variabilidad espacial (b), e imagen raster (c) del punto de marchitamiento permanente del suelo de la zona agrícola del municipio de Zapopan, Jalisco.

a)



(b)

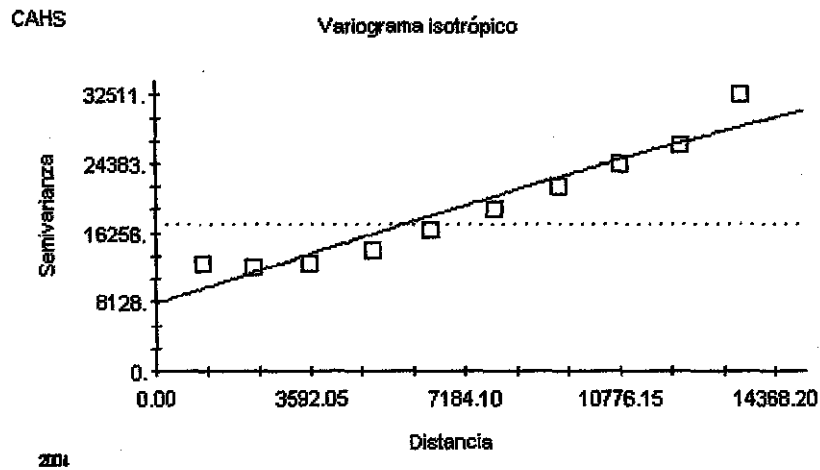
Modelo	Nugget (C_0)	Sill (C)	Rango (A_0)
Esférico	2.680	7.610	31100.0000

(c)



Figura 14. Variograma isotrópico (a), modelo de variabilidad espacial (b), e imagen raster (c) de la humedad aprovechable del suelo de la zona agrícola del municipio de Zapopan, Jalisco.

(a)



Spherical model ($C_0 = 7900.000$; $C_0 + C = 41950.000$; $A_0 = 31100.000$; $r_2 = 0.920$;
RSS = $3.434E+07$)

(b)

Modelo	Nugget (C_0)	Sill (C)	Rango (A_0)
Esférico	7,900.00	41,950.00	31100.0000

(c)



Figura 15. Variograma isotrópico (a), modelo de variabilidad espacial (b), e imagen raster (c) de la capacidad de almacenamiento de humedad del suelo en los primeros 60 cm del perfil, de la zona agrícola del municipio de Zapopan, Jalisco.

6.6. Análisis de la información para identificar limitantes para la agricultura.

Para realizar el análisis de limitantes edáficas para la agricultura de Zapopan, las imágenes raster se reclasificaron en intervalos que evidenciaran ciertas características de importancia, como se expresó en el Capítulo de Materiales y Métodos. A continuación se describen los resultados obtenidos para cada variable.

6.6.1. Textura.

Con las imágenes raster de porcentaje de arena, limo y arcilla se elaboró mediante álgebra de mapas en el SIG IDRISI32, la imagen de clases texturales del suelo que se muestra en la Figura 16. Se observa que se identificó la presencia de siete clases texturales en el área de estudio, aunque cerca del 92% de la superficie está representada por sólo dos clases: arena franca y franco-arenosa (Cuadro 14), lo que corresponde con la característica condición de suelos ligeros de Zapopan (CETENAL, 1970).

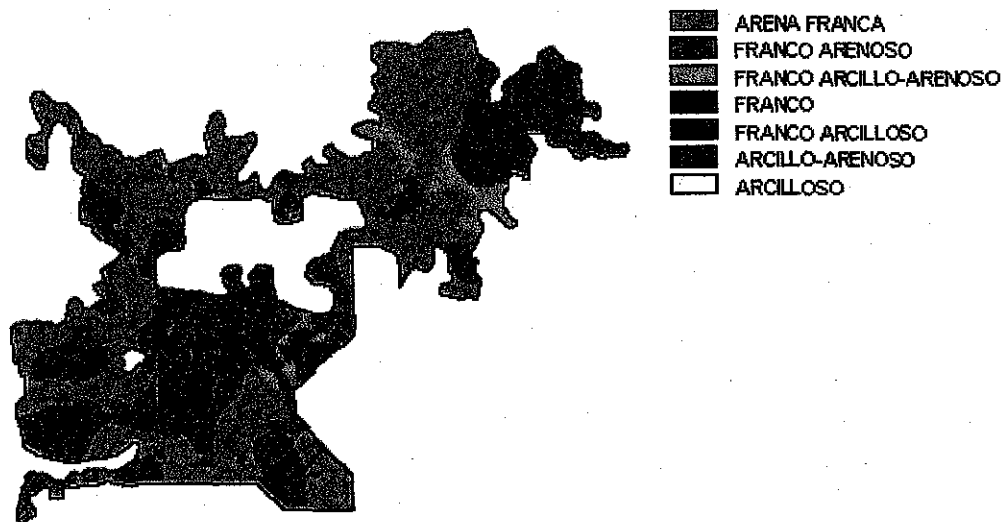


Figura 16. Distribución espacial de clases texturales del suelo de la zona agrícola actual del municipio de Zapopan, Jalisco.

Cuadro 14. Clases texturales del suelo de la zona agrícola actual del municipio de Zapopan, Jalisco.

Clase textural	Superficie (ha)	Porcentaje de la superficie agrícola (%)
Arena franca	5,559.10	46.83
Franco-arenoso	5,355.46	45.11
Franco arcillo-arenoso	416.98	3.51
Franco	520.71	4.39
Franco-arcilloso	2.80	0.02
Arcillo-arenoso	16.30	0.14
Arcilloso	0.00	0.00
Total	11,871.41	100.00

De acuerdo con los datos del Cuadro 14, y según los criterios de FAO (1997), se deduce que el 91.94% (arena franca + franco-arenoso) de la superficie agrícola posee una textura gruesa, el 7.90% (franco arcillo-arenoso + franco) una textura media y el 0.16% (franco-arcilloso, arcillo-arenoso y arcilloso) una textura fina. La Figura 17 constata la predominancia de los suelos de textura gruesa en la región, ya que como se observa en el mapa, éstos se distribuyen en todas direcciones.

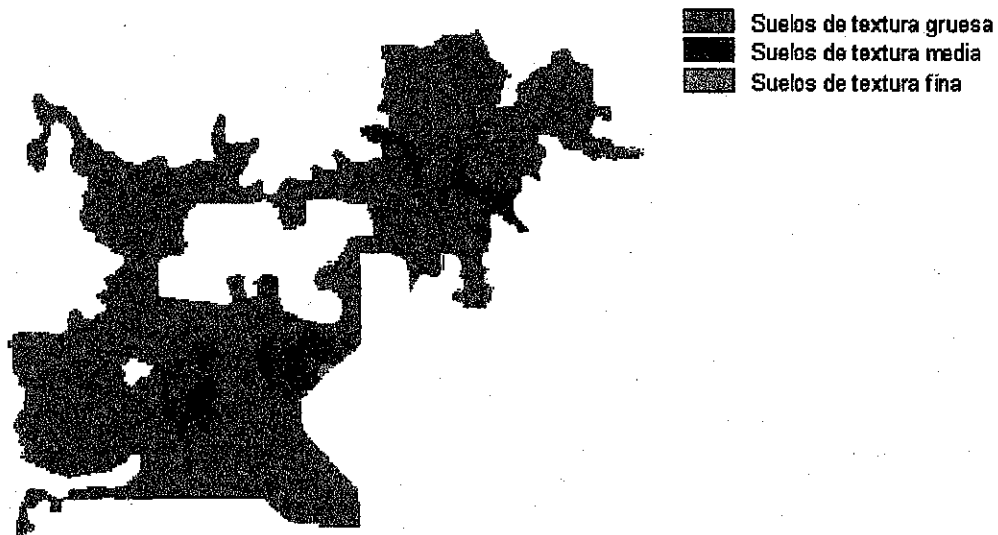


Figura 17. Distribución espacial de tres grandes grupos de textura en la zona agrícola actual del municipio de Zapopan, Jalisco.

De acuerdo con Kirkby y Morgan (1984), esta predominancia de texturas ligeras en los suelos regionales, es factor de predisposición a la erosión tanto eólica como hídrica, lo cual constituye una limitante física para el uso agrícola del suelo regional (Morgan, 1977). Aunado a ello, el porcentaje de limo en el suelo es bajo y la arcilla es escaso (Figura 17, Cuadro 3a, del Anexo), lo cual significa que los suelos regionales son erosionables (Morgan, 1977). Agricultores especialistas e investigadores en el ramo, manifiestan que un suelo ideal (Cuadro 15), es el de textura franca (Gallegos, 1997), que facilita el desarrollo de los cultivos, como el maíz, y otros, son más productivos y más fácilmente laborables. Entonces, habiendo resultado los suelos de Zapopan de una textura arenosa con alto porcentaje de arena, deben considerarse con una limitante para la productividad de cultivos. Está condicionante es una ventaja que permite una mejor aireación, pero no permite la retención de nutrimentos y agua, de manera que las raíces de las plantas puedan aprovechar por disponibilidad, sin que se pierda por arrastre a las capas más profundas del subsuelo (Edward, 1997), tanto por su alta porosidad, su adhesión entre sus partículas es escasa (Porta *et al.*, 1999), su capacidad de intercambio escaso (Havlin *et al.*, 1999), no retiene los elemento nutrimentales por su lixiviación rápida, la estabilidad del suelo es baja, y de una estructura desmoronable (Brenes and Pearson, 1973; Black, 1993), limitándolos hacia una mejor productividad y sostenibilidad del suelo (Edward, 2000; De Boer, 1999).

Cuadro 15. Comparación de la clase de suelo resultante de la zona agrícola actual del municipio de Zapopan, Jalisco, con el suelo ideal productivo, en relación con los porcentajes de las partículas del suelo.

Tipo de Suelo	% arena	% limo	% arcilla
Suelo de la zona agrícola de Zapopan	91.94	7.89	0.15
Suelo franco (ideal) *	72	50	27

* Triangulo de textura del suelo (USDA, 1954).

6.6.2. Materia orgánica.

La Figura 18 describe la distribución espacial de las diversas condiciones de contenido de materia orgánica encontradas en el suelo agrícola de Zapopan. Como es notorio en esta Figura, predominan en la región sólo dos condiciones de M.O.: suelos pobres y muy pobres en materia orgánica, correspondientes con un contenido de M.O. entre 1 y 1.99% y <1%, respectivamente (Cuadro 16).



Figura 18. Distribución espacial de las condiciones de materia orgánica del suelo en la zona agrícola actual del municipio de Zapopan, Jalisco.

Cuadro 16. Condición actual de contenido de materia orgánica y fertilidad del suelo de la zona agrícola actual del municipio de Zapopan, Jalisco.

Porcentaje de M.O. (%)	Condición de fertilidad de suelo	Superficie (ha)	Porcentaje de la superficie agrícola (%)
< 1	Muy pobre	6,048.33	50.95
1 a 1.99	Pobre	5,823.08	49.05
2 a 2.99	Medio	0.00	0.00
3 a 3.99	Rico	0.00	0.00
> 3.99	Muy rico	0.00	0.00
Total		11,871.41	100.00

En el Cuadro 16, se aprecia que cerca de la mitad de la superficie muestreada se ubicó en la condición de muy pobre, con valores de MO inferiores a 1 %. La otra mitad tiene contenidos de MO que corresponden a la categoría de pobre, entre 1.0 y 1.99 %; solamente 3 de los 105 sitios de muestreo registraron una condición media, con un contenido de MO entre 2.0 y 2.99 %. Estos resultados reflejan, en términos generales, una situación de pobreza de MO en los suelos agrícolas de Zapopan, condición que coincide con reportes previos sobre la región (CETENAL, 1970; Curiel, 1989). La condición de bajo contenido de MO en los suelos de la región, se explica en función de una agricultura a base de cultivos esquilmanes (Ruíz *et al.*, 1997), y la presencia de suelos susceptibles a la erosión (Ruíz *et al.*, 2003b). En particular para el municipio de Zapopan, la erosión eólica constituye una fuente de pérdida de suelo importante (Curiel, 1989), se propicia el adelgazamiento del horizonte orgánico, que en este tipo de suelo es de por sí reducido (DETENAL, 1979). Este bajo contenido de MO en la casi totalidad de los suelos de Zapopan, explica, en parte por lo menos, lo que se opina actualmente sobre un descenso en la fertilidad de estos suelos, los que en los años 50's (Padilla, 1963) gozaban de un reconocimiento por su fertilidad y potencial productivo. El bajo contenido de materia orgánica también repercute en un debilitamiento de la estructura del suelo lo cual propicia, a su vez, la defloculación del mismo (Edward, 1997). Bajo estas condiciones, el suelo queda mayormente expuesto a la erosión, dificultándose el crecimiento de la raíces de las plantas, y disminuyendo la capacidad de aprovechamiento del agua (Porta *et al.*, 1999), y una escasa captación de nutrientes, por baja capacidad de intercambio (Havlin *et al.*, 1999), esto significa un riesgo alto de pérdida del suelo, bajo una cubierta escasa, y sus impacto de erosión es alto, tanto por el viento y la lluvia (Brenes and Pearson, 1973; Black, 1993; Edward, 2000).

6.6.3. pH.

En la Figura 19 se describe la imagen raster de pH reclasificada en intervalos correspondientes a términos de nivel de acidez, neutralidad o alcalinidad del suelo, de acuerdo con Moreno (1993). Como se muestra en la Figura 19, el pH

del suelo agrícola en la región de estudio; varía entre 4.58 a 6.28, aunque la mayor parte de la superficie registra un valor por debajo de 6.0, lo cual significa una condición predominantemente ácida para los suelos regionales; esta situación concuerda con resultados de investigaciones previos en la zona (Curiel, 1989). En la Figura 19 y Cuadro 17 se manifiesta claramente esta condición con una predominancia de suelo fuertemente ácido (61.1% de la superficie agrícola, con 7,259.28 ha), seguida de una condición moderadamente ácida (38.9% de la superficie agrícola, con 4,612.13 ha).

Estas condiciones de pH del suelo, sobre todo las áreas clasificadas como fuertemente ácidas (Figura 19), representan una limitante edáfica regional para el desarrollo agrícola, ya que de acuerdo con Rodríguez y Rodríguez (2002), en general los suelos ácidos son desfavorables para el crecimiento y desarrollo de los cultivos, pues al disminuir el pH del suelo, se frena el desarrollo de muchos microorganismos, disminuye la disponibilidad de varios nutrientes para la planta y se incrementa la presencia de elementos tóxicos que las raíces absorben, limitando la capacidad intercambio de cationes favorables (Havlin *et al.*, 1999). Además, los suelos ácidos impiden el desarrollo de un patrón diversificado de cultivos en la región (Moreno, 1993), ya que para la mayoría de las plantas cultivadas, el rango de pH óptimo va de 6.0 a 7.0 ó 7.5 (FAO, 1980; Ruiz *et al.*, 1999).

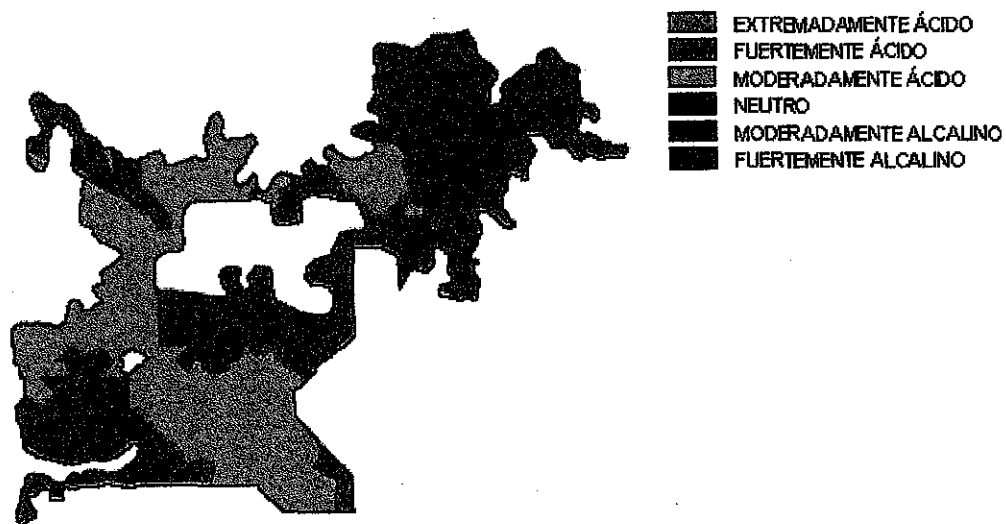


Figura 19. Distribución espacial de las condiciones de acidez para los suelos de la zona agrícola actual del municipio de Zapopan, Jalisco.

Cuadro 17. Valores de pH y condiciones de acidez en el suelo agrícola actual del municipio de Zapopan, Jalisco.

Intervalo de pH	Condición de pH	Superficie (ha)	Porcentaje de la superficie agrícola (%)
< 4.20	Extremadamente ácido	-	-
4.20 – 5.59	Fuertemente ácido	7,259.28	61.10
5.60 – 6.59	Moderadamente ácido	4,612.13	38.90
6.60 – 7.39	Neutro	-	-
7.40 – 8.39	Moderadamente alcalino	-	-
> 8.39	Fuertemente alcalino	-	-
Total		11,871.41	100.00

Por otra parte, la condición moderadamente ácida, que representa 38.9% de la superficie agrícola (Cuadro 17), es favorable para el desarrollo de la agricultura (Cuadro 4a, del Anexo), ya que la mayoría de los elementos nutritivos del suelo son disponibles para las plantas bajo el rango de pH de 5.6 a 6.5 (Edward, 2000) (Cuadro 5a, del Anexo). La literatura refiere, que un pobre crecimiento y rendimiento de los cultivos se atribuye a un bajo pH en los suelos (Worley, 1976; Kennedy, 1992), y uno de los efectos más reseñados de la acidez del suelo sobre los cultivos es la restricción en el crecimiento y volumen de las raíces, lo que conlleva a un sistema radical muy limitado (Brenes and Pearson, 1973; Doss *et al.*, 1977; Black, 1993), perjudicando la capacidad de absorción de agua y nutrimentos (Worley, 1976; Havlin *et al.*, 1999).

6.6.4. Aluminio intercambiable.

En la Figura 20 se describe la imagen raster, apreciando la distribución espacial del aluminio intercambiable (Al^{+3}), en tres niveles identificados en la región. En el Cuadro 18 se establecen las condiciones de aluminio intercambiable, que prevalecen en la zona; estas son: condición baja, que va de 0 a 2 por ciento de Aluminio intercambiable, con una superficie de 2,727.80

ha y cubriendo el 22.98 por ciento del área agrícola. Esta condición se integra, fundamentalmente, por una franja diagonal al centro del área de estudio, con una orientación de NO a SE, y en algunas otras superficies aisladas en los extremos NE y SO. A la condición de aluminio “moderadamente bajo”, y con rango de 2 a 5 % de aluminio intercambiable, correspondió la mayor superficie (8,119.31 ha, equivalente al 68.39 por ciento del área total), Una tercera condición detectada, es la que corresponde a “mediano”, que va de 5 a 15 por ciento de aluminio intercambiable y que abarca una superficie de 1,024.30 ha equivalente al 8.63 por ciento del área considerada. Esta última categoría se ubica, fundamentalmente, en dos zonas: una al Este de la región y la otra al Suroeste. (Figura 20 y Cuadro 18).

De acuerdo con estos resultados, y conforme a lo mencionado por Pearson y Adams (1967), Castellanos *et al.* (2000) y Edward (2000), únicamente el estrato de la condición mediano (5-15 % de aluminio intercambiable) debería representar problemas de toxicidad de aluminio en algunos de los cultivos que son tradicionales en la región de estudio, tales como: maíz, frijol, caña de azúcar y sorgo, entre otros (Cuadro 6a, del Anexo). Para un caso específico (Veloso *et al.*, 2000) se señala que el aluminio es capaz de producir trastornos del crecimiento en árboles pequeños de pimienta negra, específicamente por un retardo en el crecimiento de la raíz, debido al efecto del incremento en la absorción de este catión y la disminución de la absorción de calcio. Otra información referente al efecto que el aluminio soluble produce sobre las plantas, y que es en el mismo sentido que lo expresado por estos autores, la presenta con toda amplitud Havlin *et al.* (1999). Este problema, estrechamente asociado con suelos ácidos, ha sido una motivación permanente para la instrumentación de programas de rehabilitación de suelos en Zapopan (DGEZ, 2004-06).

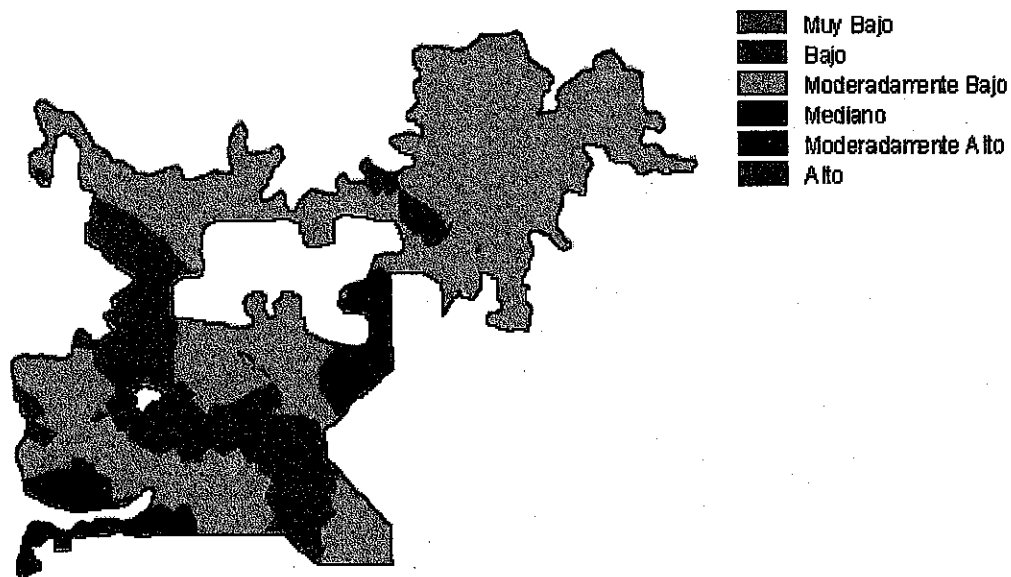


Figura 20. Distribución espacial de los niveles de aluminio intercambiable para el suelo de la zona agrícola actual del municipio de Zapopan, Jalisco.

Cuadro 18. Condición de aluminio intercambiable del suelo de la zona agrícola actual del municipio de Zapopan, Jalisco.

Al Intercambiable (%)	Condición del Al Intercambiable (Al^{+3})	Superficie (ha)	Porcentaje de la superficie agrícola (%)
0	Muy bajo	-	-
0 - 2	Bajo	2,727.80	22.98
2 - 5	Moderadamente bajo	8,119.31	68.39
5 - 15	Mediano	1,024.30	8.63
15 - 30	Moderadamente alto	-	-
30 - 60	Alto	-	-
> 60	Muy alto	-	-
Total		11,871.41	100.00

Analizando en conjunto las Figuras 19 y 20, se observa una razonable e inversa relación entre los valores de pH y aluminio intercambiable. Esto es lo esperado, ya que la acidez en los suelos se presenta cuando el porcentaje de saturación de bases disminuye a causa de un incremento del aluminio en el

complejo de intercambio del suelo, representado fundamentalmente por la fracción arcillosa y la materia orgánica (Havlin *et al.*, 1999; Edward, 2000).

6.6.5. Conductividad eléctrica (salinidad).

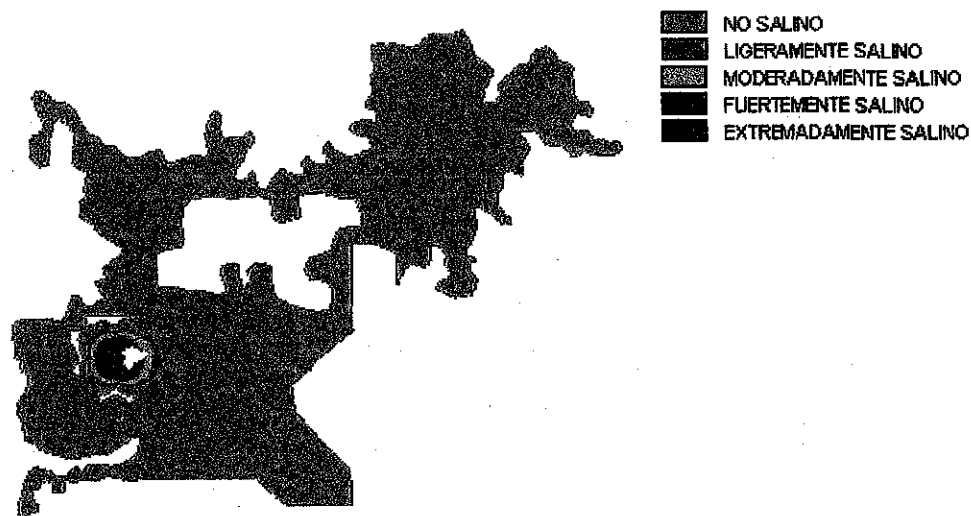


Figura 21. Distribución espacial de las condiciones de salinidad para los suelos de la zona agrícola actual del municipio de Zapopan, Jalisco.

La imagen raster de la Figura 21, muestra la distribución espacial de diferentes categorías que se integraron con auxilio de la clasificación que hace el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA, 1954) sobre esta variable.

Cuadro 19. Condición de la salinidad (C.E.) en los suelos de la zona agrícola actual del municipio de Zapopan, Jalisco.

Intervalo de Salinidad (C.E.) (25°C) (mmhos/cm)	Condición de Salinidad (C.E.)	Superficie (ha)	Porcentaje de la superficie agrícola (%)
0 – 2	No salino	11,535.7	97.13
2 – 4	Ligeramente salino	89.90	0.80
4 – 8	Moderadamente salino	109.63	0.92
8 – 12	Fuertemente salino	54.36	0.45
> 12	Extremadamente salino	81.82	0.70
Total		11,871.41	100.00

El Cuadro 19 muestra el detalle referente a las diferentes categorías de salinidad y se establece que la condición dominante, en términos de superficie, es la de suelo no salino en la gran mayoría de la superficie objeto del estudio; las cuatro categorías restantes se ubican en las condiciones de ligeramente salino a extremadamente salino en superficies que varían de 54.36 a 109.63 ha. De acuerdo con la imagen raster (Figura 21), la zona afectada por salinidad, que en total ocupa únicamente el 2.87 % de la región, se ubica en las cercanías de Nextipac, población que al verter desechos al suelo agrícola, ha propiciado su ensalitramiento.

6.6.6. Densidad aparente

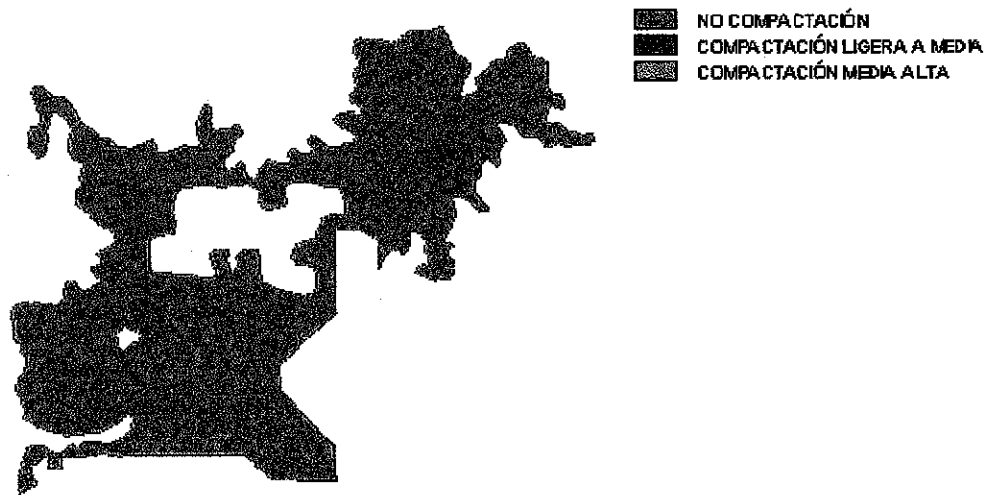


Figura 22. Distribución espacial de la Densidad aparente para los suelos de la zona agrícola actual del municipio de Zapopan, Jalisco.

La imagen raster de la Figura 22, muestra que no existe compactación de suelos en la región de estudio, de acuerdo con la clasificación mencionada por Curiel (1989); por tanto, esta variable no constituye una limitante para el desarrollo de los cultivos. En congruencia, el Cuadro 20 confirma esta interpretación.

Cuadro 20. Condición de la densidad aparente en los suelos de la zona agrícola actual del municipio de Zapopan, Jalisco.

Intervalo de la Densidad aparente (g/cm ³)	Condición de la Densidad aparente	Superficie (ha)	Porcentaje de la superficie agrícola (%)
<1.2	No compactación	11,871.41	100.00
1.2 - 1.4	Compactación ligera a media	0.00	0.00
1.4 - 1.6	Compactación media a alta	0.00	0.00
>1.6	Compactación alta	0.00	0.00
Total		11,871.41	100.00

De acuerdo con varios autores (Edward, 1997; Porta *et al.*, 1999; Castellanos *et al.*, 2000), es esta condición la que debe esperarse en suelos con alto porcentaje de arena, es decir de textura "gruesa".

6.6.7. Capacidad de almacenamiento de humedad del suelo (CAHS) en los primeros 60 cm del perfil.

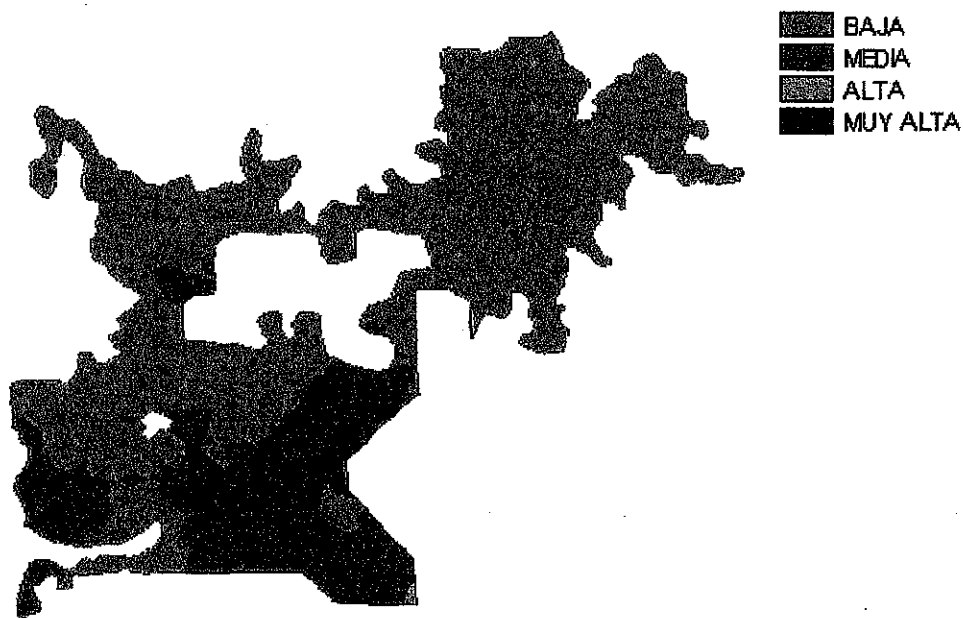


Figura 23. Distribución espacial de la capacidad de almacenamiento de humedad del suelo, en los 60 cm del perfil, para los suelos de la zona agrícola actual del municipio de Zapopan, Jalisco.

La imagen raster de distribución espacial permitió establecer tres niveles en el contenido de humedad del suelo que son bajo, medio y alto (Figura 23).

Cuadro 21. Condición de la capacidad de almacenamiento de humedad del suelo en los 60 cm del perfil, en la zona agrícola actual del municipio de Zapopan, Jalisco.

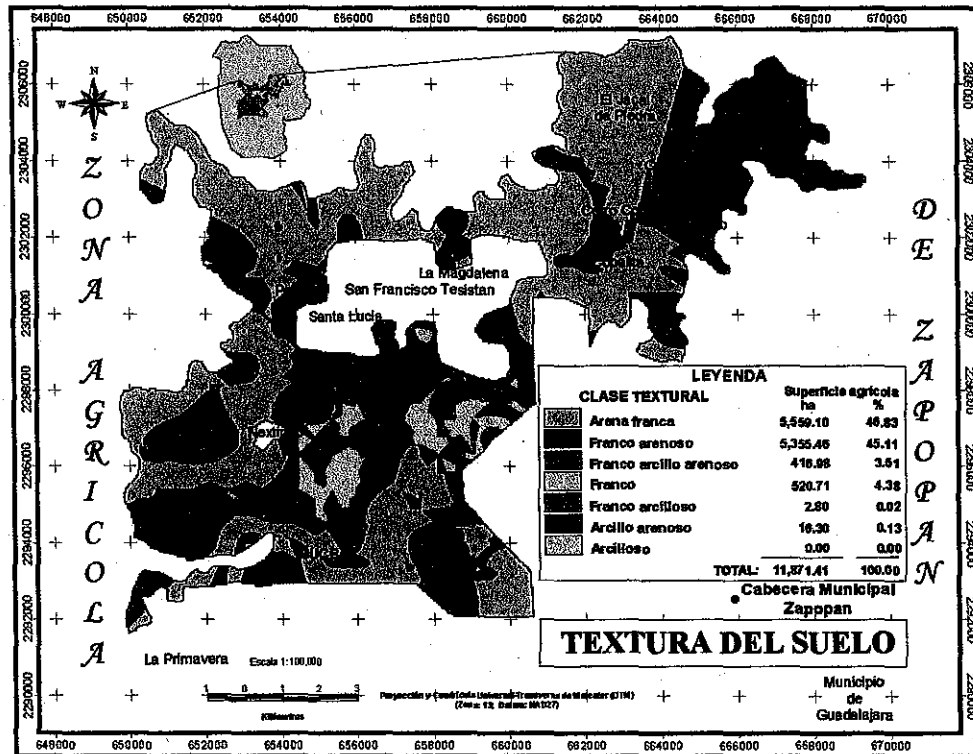
Intervalo (mm)	Condición de capacidad de almacenamiento de humedad	Superficie (ha)	Porcentaje de la superficie agrícola (%)
< 60	Baja	8,472.77	71.37
60-75	Media	3,383.05	28.49
75-100	Alta	15.58	0.13
>100	Muy alta	0.00	0.00
Total		11,871.41	100.00

En el Cuadro 21 se muestran los tres estratos de capacidad de almacenamiento de humedad presentes en la región; domina el nivel bajo con 71.37% de la superficie (8,472.77 ha) las cuales se distribuyen en la parte Centro Norte de la región. A la condición media correspondió el 28.49% de la superficie, con ubicación en la porción Centro Sur del área; por último, la condición alta se ubica en una pequeña área hacia el Sureste de la zona. Estos resultados reflejan que en la zona agrícola en estudio la cantidad de agua que puede almacenar el suelo es baja hacia el norte de la zona. Según los especialistas, la retención de humedad se relaciona con el tipo de textura del lugar (Porta *et al.*, 1999; Edward, 2000; Aguirre, 2001). Bajo estas condiciones, la percolación es rápida y en general la cantidad de agua disponible es de media a baja; sin embargo, habrá que tomar en consideración que la zona presenta un ambiente benigno con un buen temporal de lluvias, tanto en la cantidad, como en la distribución de la lluvia. Por otra parte, la formación de los

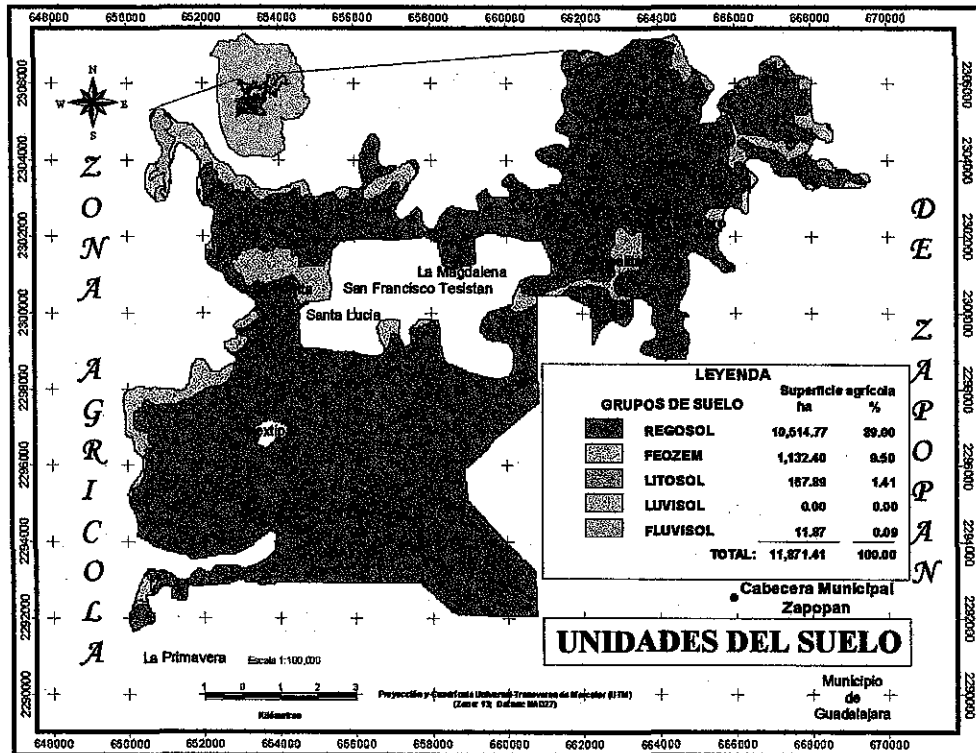
suelos subterráneos permite captar humedad (CETENAL, 1970; Ruíz *et al.*, 1997).

6.7. Cartografía temática.

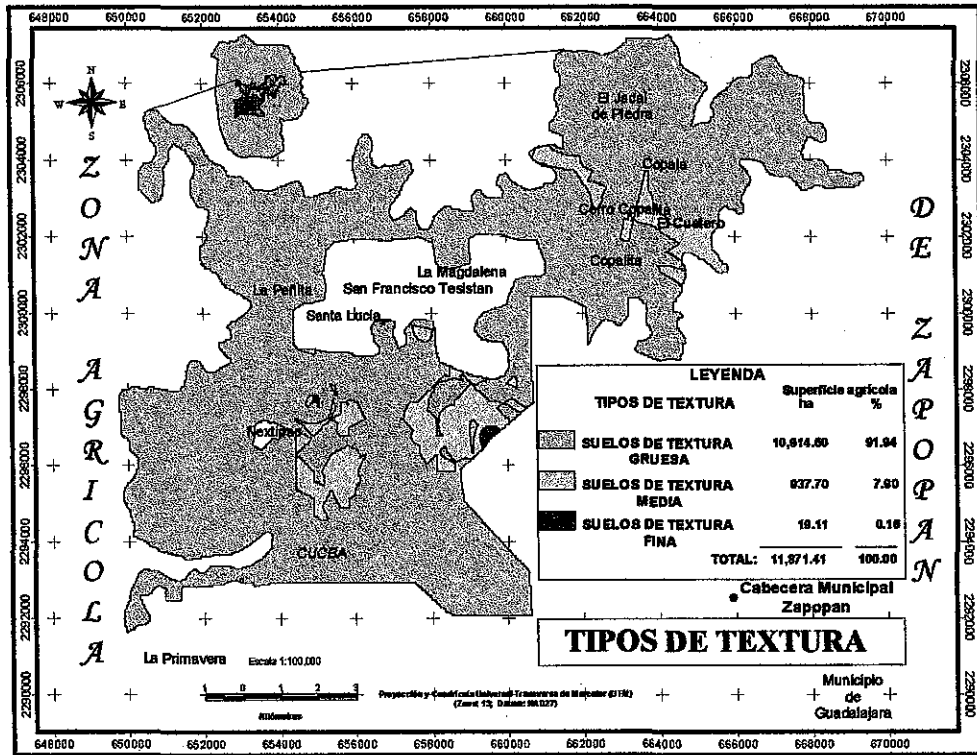
Se muestra la serie de mapas temáticos, obtenidos de la clasificación de cada una de las condiciones, por cada una de las variables estudiadas en la zona agrícola del Municipio de Zapopan, Jalisco.



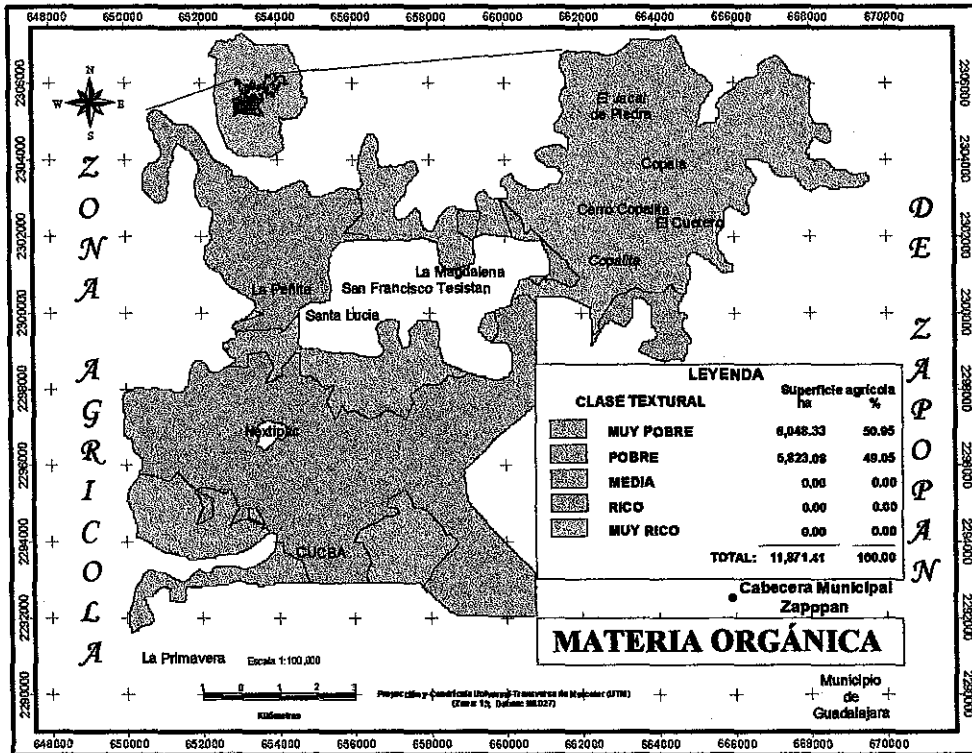
Mapa 10. Clases texturales del suelo en la zona agrícola actual del municipio de Zapopan, Jalisco.



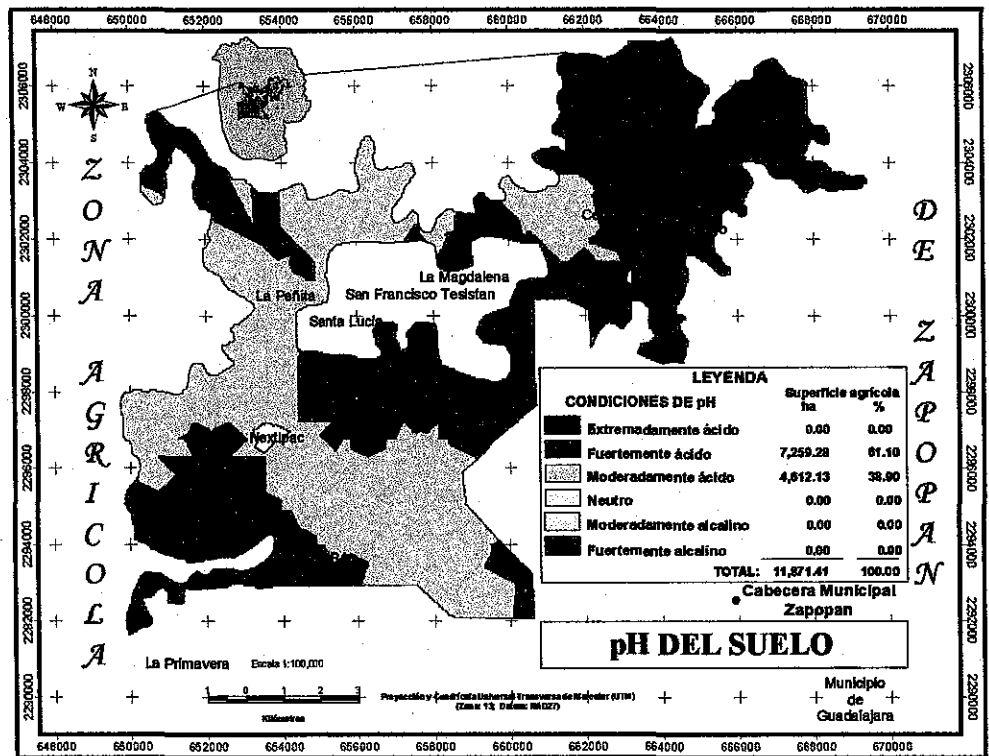
Mapa 11. Unidades del suelo en la zona agrícola actual del municipio de Zapopan, Jalisco.



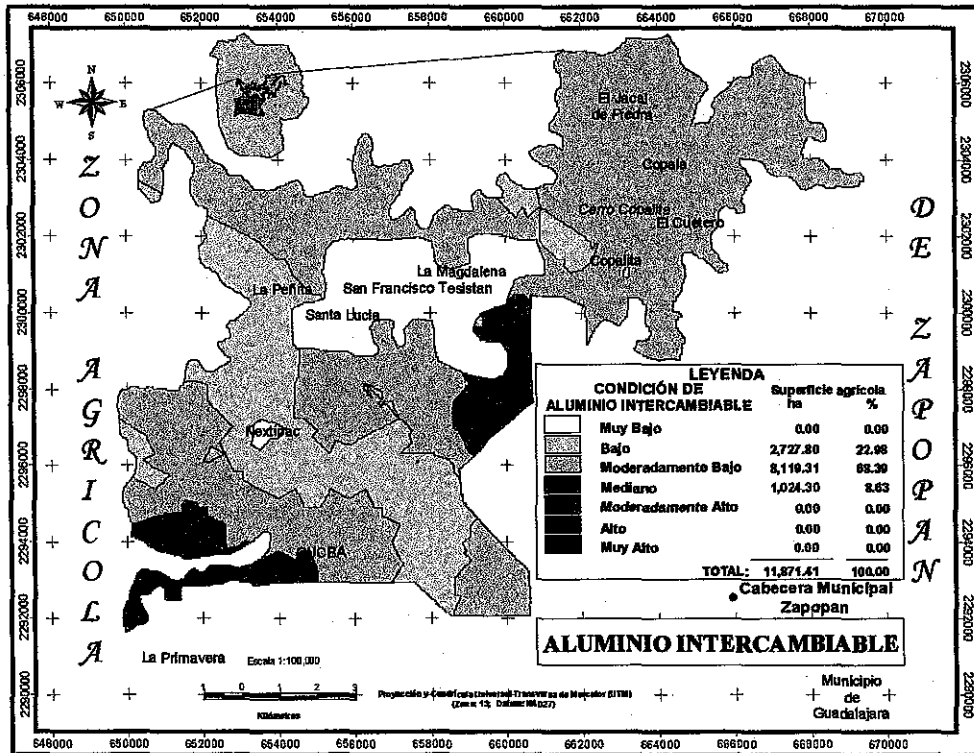
Mapa 12. Tipos de textura del suelo de la zona agrícola actual del municipio de Zapopan, Jalisco.



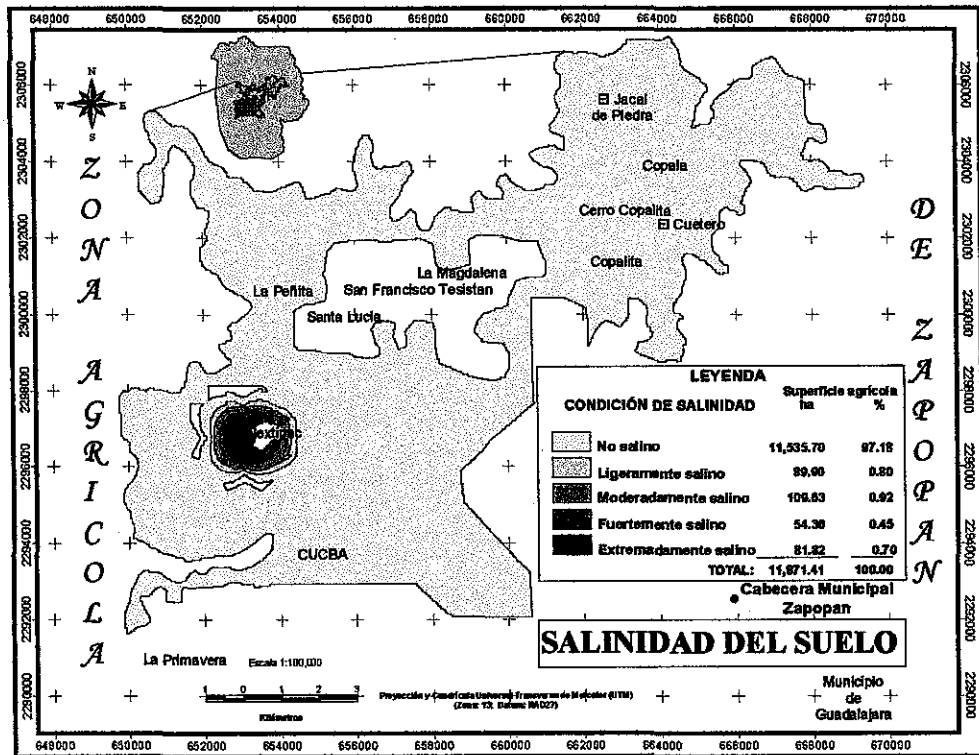
Mapa 13. Contenido de materia orgánica del suelo de la zona agrícola actual del municipio de Zapopan, Jalisco.



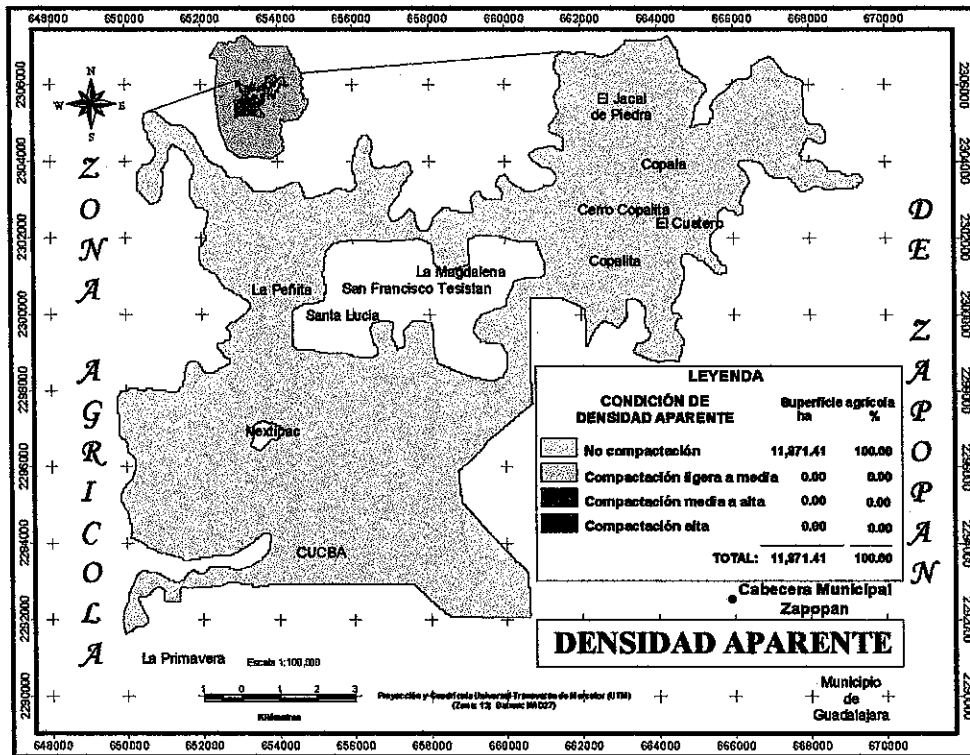
Mapa 14. pH del suelo de la zona agrícola actual del municipio de Zapopan, Jalisco.



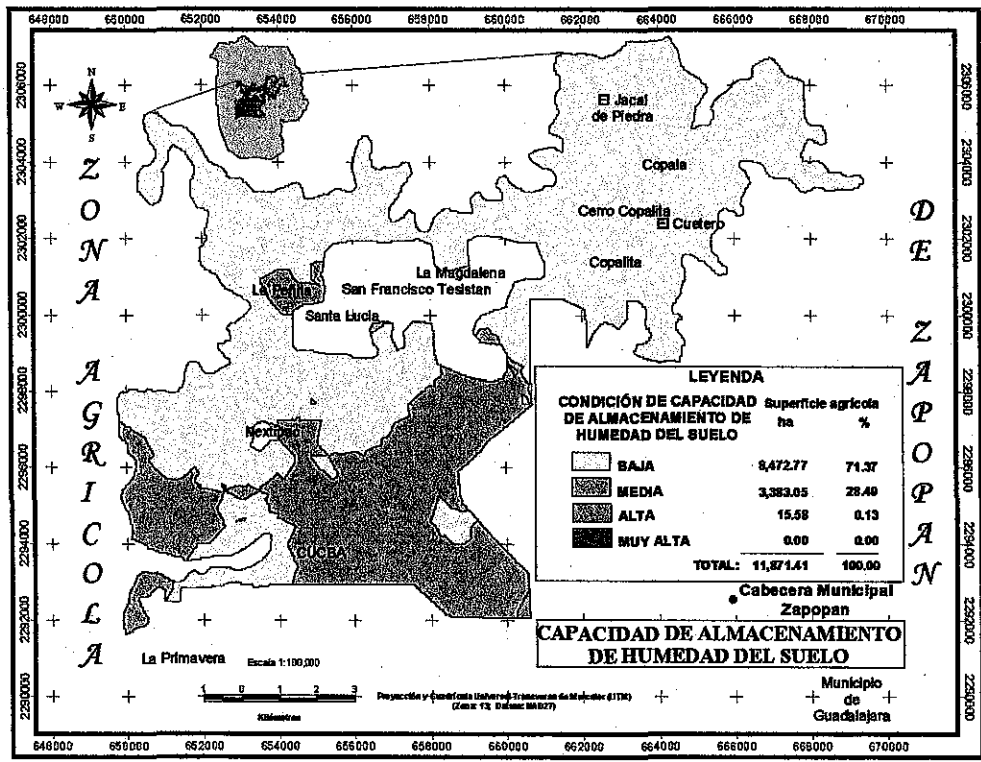
Mapa 15. Aluminio intercambiable del suelo en la zona agrícola actual del municipio de Zapopan, Jalisco.



Mapa 16. Salinidad del suelo en la zona agrícola actual del municipio de Zapopan, Jalisco.



Mapa 17. Densidad aparente del suelo en la zona agrícola actual del municipio de Zapopan, Jalisco.



Mapa 18. Capacidad de almacenamiento de humedad del suelo (CAHS) en los 60 cm del perfil, en la zona agrícola actual del municipio de Zapopan, Jalisco.

VII. CONCLUSIONES

De acuerdo con los planteamientos, metodología y resultados obtenidos, se concluye que:

Los métodos de interpolación espacial presentaron un ajuste similar en las variables edáficas estudiadas. El método kriging ordinario no siempre es superior al método DIP, aunque kriging fue superior que DIP en la mayoría de las variables estudiadas. El método DIP con exponente 1 fue consistentemente superior que DIP2 y DIP3. Las variables que no presentaron una estructura espacial definida fueron porcentaje de arcilla y conductividad eléctrica.

El muestreo realizado permitió identificar y caracterizar la variabilidad espacial de la mayor parte de las características edáficas estudiadas.

El análisis de la distribución espacial de las variables estudiadas permitió identificar como limitantes de la productividad de los suelos, las siguientes condiciones:

Textura arena franca y franco arenoso, la cual predispone suelos con alta porosidad, escasa adhesión entre sus partículas, baja capacidad de retención de humedad, baja capacidad de intercambio catiónico, rápida lixiviación de elementos nutrimentales, baja estabilidad del suelo y estructura desmoronable.

Contenido de materia orgánica de pobre a muy pobre, indicando una condición baja de fertilidad de los suelos del área agrícola, con baja capacidad de intercambio catiónico, con riesgo alto de pérdida del suelo, y por tanto un nivel de erodabilidad alto.

Fuerte acidez del pH, condición que puede debilitar el crecimiento y el volumen del sistema radicular de las plantas, frenar el desarrollo de microorganismos

favorables del suelo, disminuir la disponibilidad de los nutrimentos, perjudicar la capacidad de absorción del agua, incrementar la presencia de elementos tóxicos, limitar la capacidad de intercambio de cationes, impedir el desarrollo de un patrón diversificados de cultivos en la zona, y favorecer el estrés en la relación suelo – raíz.

Sólo el 8.63% de la superficie agrícola presenta un contenido de Al intercambiable entre 5-15%, condición que puede causar trastornos en el suelo por toxicidad, incrementa el estrés hídrico de la planta en tiempo de secas, y disminuye la capacidad de aprovechamiento y captación de agua y nutrimentos.

Este contenido de Al intercambiable está estrechamente asociado con los suelos fuertemente ácidos, observándose una razonable e inversa relación entre pH y Al intercambiable en el complejo de intercambio del suelo.

En términos generales, el suelo no presenta problemas de salinidad.

Los suelos regionales no presentan el problema de compactación.

La capacidad de almacenamiento de humedad del suelo, se ubica en una condición que va de media a baja para el estrato de los primeros 60 cm de suelo.

Con base en las conclusiones anteriores, se tiene que los suelos de la zona agrícola del municipio de Zapopan, son suelos que actualmente experimentan procesos de degradación tanto física, como química y biológica.

Las bases de datos y sistema de información edáfica integradas en este estudio, permitirán constituir una fuente de información que podrá ser actualizada periódicamente y posibilitará el diagnóstico de las condiciones físicas y químicas del suelo, para el uso de la agricultura en el municipio de Zapopan.

VIII. BIBLIOGRAFIA

Abruña, R. F., R.W. Pearson y R. Pérez-Escolar. 1975 Respuesta del maíz y del frijol al encalamiento en oxisoles y ultisoles de Puerto Rico. En Bornemisza, E. y A. Alvarado (Eds). Manejo de los suelos en América tropical, Raleigh, N. C. North Carolina State University. 161 p.

Abruña, Rodriguez F. y Vicente Chandler J. 1955 Refinement of a quantitative method for determining the lime requirements of soil. J. Agr. Univ. Puerto Rico 39; 41-45 p.

Adams, F. and Pearson, R.W. 1967. Cto lime in the southern U.S. and Puerto Rico. In: Soil acidity and liming Ed. By R.W. Pearson; F. Adams. Wisconsin, EE.UU. American Society of Agronomy. 186 p.

Aguirre Gómez Arturo. 2001. Química de suelos ácidos templados y tropicales. 1er. edición. Editorial UNAM (universidad Autónoma de México), Cd. Universitaria. México, D.F. 272 p.

Alcántara García Dante Alfredo. 2001. Topografía. Fundación ICA, A.C. México, D.F. 337 p.

Allison L.E.; Bernstein L.; Bower, C.A.; Brown, J.W.; Fireman M.; Hatcher, J.T.; Hayward H.E.; Pearson G.A.; Reeve R.C.; Richard L.A.; and Wilcox L.V. 1954. Diagnosis and Improvement of Souline and Alkali Soils. United States Salinity Laboratory Staff, Agriculture (USDA). L.A. Richards, Editor. Washington, D.C., USA. 160 p.

Allison L.E.; Bernstein L.; Bower, C.A.; Brown, J.W.; Fireman M.; Hatcher, J.T.; Hayward H.E.; Pearson G.A.; Reeve R.C.; Richard L.A.; and Wilcox L.V. 1980. Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos. L.A. Richards, Editorial LIMUSA (personal del laboratorio

de salinidad de los E.U.A.), Departamento de agricultura de los Estados Unidos de América. México. 170 p.

Anguiano C. J., J.J. Alcántar R., J.A. Ruiz C., I.J. González A., I. Vizcaíno V., Regalado R. y C. de la Mora O. 2003. Recursos edafo-climáticos para la planeación del sector productivo en el estado de Michoacán. Libro Técnico Núm. 1. INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Uruapan. 173 p.

Anta F., S. 1992. Ecología y Manejo Integral de Recursos Naturales en la Región de la Chinantla. 1992. Fundación Friedrich Ebert, Representación en México. México, D.F. 250 p.

Armstrong, M. 1994. "BonSens et Géostatistique", Bulletin de Liaison des Anciens Stasières du Centre d'Estudes Superiours des Matieres Premieres CESMAT, No. 40, Novembre 1994. 8 p.

Armstrong, M. Y Carignan, J. 1997. "Géostatistique Linéaire, Application au Domaine Minier.", École de Mines de Paris, 112 p.

Ariza López Francisco Javier. 2002. Calidad en la producción cartográfica. Edición RA-MA (524-1). Paracuello de Jarama, Madrid, España. 355 p.

Aronoff, S. 1989. Geographical information systems: A management perspective. WDL Publ. Ottawa, Canadá. 294 p.

ASCE Hydraulic Division. 1990. Review of geostatistics in hidrology. I: BASIC CONCEPTS. Journal of Hydraulic Engineering, Vol 115 (5) :612-631 p.

Badillo Juárez Eulalio y Rodríguez Rico Alfonso. 1983. Mecánica de suelos. Tomo II. 2da. edición. Edición Limusa México. 324 p.

Black C. A. 1975. Reacciones Suelo-Planta. Tomo II. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 717p.

- Black Charles A. 1993. Soil Fertility Evaluation and Control. Ed. Lewis Publishers. USA. 731 p.
- Bragachini, M; von Martini, A; Méndez, A; Bongiovanni, R; Martellotto, E. 1999. "Cuaderno de Actualización Técnica de Agricultura de Precisión". INTA, Manfredi. EU. 180 p.
- Briggs, D. J. y Shishira, E. K. 1985. Soil Variability in geomorphologically defined survey units in the Albudeite area of Murcia province. Spain. Catena Suppl. 6, 69-84 p.
- Bosque Sendra Joaquín. 1992. SIG (Sistemas de Información Geográfica). De. RIALP, S.A. Madrid, España. 445 p.
- Buckman Harry O. and Brady Nylec. 1997. Naturaleza y propiedades de los suelos. Editorial Montaner y Simon, S.A. Barcelona, España. 567 p.
- Buol S.W.; Hole F.D. and McCracken R.J. 1980. Genesis y Classification of Soil. Second Edition. De The Iowa State University Press. USA. 292 p.
- Buol S.W.; Hole F.D. y McCracken R.J. 1983. Génesis y clasificación de suelos. Editorial Trillas, S.A. de C.V. . México, D.F. 411 p.
- Burrough, P. A. and McDonnell. 1998. Principles of geographical information systems. Claredon Press Oxford. 333 p.
- Brenes, E.; and Pearson, R. W. 1973. Root response of three gramineae species to soil acidity in an Oxisol and an Ultisol. Soil Science (EE.UU.) 116: 295302.
- Brus, D.J., J.J. De Gruijter, B.A. Barsman, R. Visschers, A.K. Bregt, A. Brewuwsma, J. Bouma, J.J. De Gruijter. 1996. The performance of spatial interpolation methods and cloropleth maps to estimate properties at points: a soil survey case study. Environmetrics, 7(1):1-16 p.

- Cajuste J. Lenon. 1977. Química de suelos con un enfoque agrícola. Colegio de Postgraduados, Chapingo: México. 273 p.
- Cambardella, C. A.; Colvin, T. S.; Karlen, D. L.; Lognston, D. S.; Berry, E. C.; Radke, J. K.; Kaspar, T. C.; Parkin, T. B.; and Jaynes, D. B. 1996. Precision Agriculture. ASA, CSSA, SSSA. USA. 189 – 195 p.
- Castellanos, J. Z.; Uvalle Bueno, J. X.; Aguilar Santelises, A. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. Segunda edición, Colección INCAPA. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, Estado de México. 226 p.
- Castillo, A.E., Carbonell, R.M. y Vázquez, S. 1999. Influencias de Enmiendas Orgánicas Sobre El Aluminio De Cambio En Un Oxisol. Ciencia del Suelo. Vol. 17 No. 1, 58-59 p.
- Caravaca, F., A. Lax and J. Albaladejo. 2001. Soil aggregate stability and organic matter in clay and fine silt fractions in urban refuse-amended semiarid soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 65:1235-1238 p.
- CETENAL (Centro de Estudios del Territorio Nacional). 1970. Clasificación de suelo de la FAO/UNESCO. CETENAL. México. 27p.
- CI (Conservación Internacional). 1992. Manual SIG v. 2.0. De. Conservación Internacional y Departamento de Ciencias y Cooperación Técnica). 196 p.
- CIPAC (Centro de Investigaciones Pacifico Centro). 1993. Criterios para la interpretación de resultados de análisis de suelos. INIFAP - SARH. México. 25 p.
- Clark University (CU). 2000. Idrisi32 (Software GIS for Windows). Clark Univesity. 950 Main Street, Worcester MA 01610-1477. USA.. (Email: idrisci@clarku.edu; <http://www.clarklabs.org>).

- Cline, M. G. 1944. Principles of soil sampling. Soil Science. 58, 275-288 p.
- CP (Colegio de Postgraduados). 1991. Manual de conservación del suelo y del agua. 3ª. Ed. Colegio de Postgraduados. SARH-SPP. Montecillo, Estado de México. 584 p.
- Collado Jaime. 1988. Estimación óptima de la precipitación media con el método kriging. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, SARH. Ingeniería Hidráulica en México. 34-45 p.
- Curiel, B. A. 1989. Degradación actual y potencial de los suelos agrícolas de Zapopan, Jalisco. Tesis de Maestría. Escuela de Graduados, Facultad de Agronomía-Universidad de Guadalajara. Predio Las Agujas, Zapopan, Jalisco. 89 p.
- Curiel B. A. 1991. Estrés Planta-Suelo. Tiempos de Ciencia. Universidad de Guadalajara. 66 p.
- Czaplewski, R.L., Reich, R.M. y Bechtold, W.A. 1994. Spatial autocorrelation in growth of undisturbed natural pine stand across Georgia. Forest Science 40, 314-328 p.
- Chapman Homer D. and Pratt Parker F. 1997. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Octava edición. Editorial Trillas. México, D.F. 772 p.
- Chica-Olmo, M. 1987. Análisis Geoestadístico en el Estudio de la Exploración de Recursos Minerales, Tesis Doctoral. Universidad de Granada, España. 137 p.
- Chuvieco Emilio. 1990. Fundamento de la Teledetección Espacial. RIALP, S.A. Madrid, España. 451 p.

- CRAT (Centro Regional de Ayuda Técnica). 1974. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. (L.A. Richards; USADA); AID (Agencia para el Desarrollo Internacional). 1er. edición. Ed. Limusa. México. 170 p.
- Danae. 1977. Enciclopedia de la Ciencia y de la técnica tomo 1. Ediciones Danae, S.A. Barcelona, España. 400 p.
- De Boer, L. 1999. Agricultura de Precisión presente y futuro y las principales diferencias entre Argentina y EEUU. Ed. INTA, Manfredi, EU. 17 p.
- De Beurs Kirsten. 1988. Evaluation of Spatial interpolation techniques for climate variables (Case study of Jalisco, México). (NRG/GIS Modeling Lab) Departament: Mathematics, Wageningen Agricultural Univesity. Supervisor from CIMMYT, México: A.D. Hartkamp. Date: 23 July, 1988. 68 p.
- De la Mora O., C., J.G. Flores G., J.A. Ruiz C., J. García V. 2004. Modelaje estocástico de la variabilidad espacial de la calidad de agua en un ecosistema lacustre. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. Artículo aceptado para publicarse en 2004. 10 p.
- DETENAL (Dirección de Estudio del Territorio Nacional). 1979. Descripción de la carta edafológica DETENAL. Dirección de Estudios del Territorio Nacional, Secretaría de Programación y Presupuesto. México, D. F. 104 p.
- Dewey, J.I. 1980. Tectónica de placas. Información científica y tecnológica. Vol. 11 No. 33. CONACYT. México. 187 p.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) - SEMARNAT (Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2000. Proyecto de la norma oficial mexicana PROY-NOM-021-RECNAT-2000 (establece las

especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de los suelos, estudios, muestreos y análisis, publicado el 17 de Octubre de 2000). México, D. F. (semarnat.gob.mx/dof/diciembre01.shtml).

DGSNEGI (Dirección General de Servicio Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1980. Carta Estatal de Regionalización Fisiográfica (Jalisco). En: Anexo Cartográfico de la Síntesis Geográfica del Estado de Jalisco. Secretaría de Programación y Presupuesto. México, D. F. 306 p.

DGEZ (Dirección General de Ecología de Zapopan). 2004-2006. Programa de conservación y mejoramiento de suelos de las áreas agrícolas del Municipio de Zapopan, (aplicación de materia orgánica, encalado, Plantación de cortina rompevientos, etc.). Consejo Municipal de Desarrollo Rural Sustentable, Dirección General de Ecología, Departamento agropecuario, Fomento agropecuario, FADA (Fortaleza Amenaza y debilidades). Zapopan, Jalisco, México. Programa del Consejo Municipal de Zapopan: 2004-2006.

Doss, B.D; Ewans, C.E.; and Turner, J.L. 1977. Influence of subsoil acidity on tomato yield and fruit size. *Journal of the American Society for Horticultural Science (EE.UU.)* 102(5):643645.

DuchauFour Philippe. 1984. Edafología. Editorial Masson, S.A. Barcelona, España. 487 p.

Edward J. P. 1997. *Soil Science Management*. 3rd. Edition. Delmar publishers. Albany, New York, USA. 393 p.

Edward J. Plaster. 2000. *La ciencia del suelo y su manejo*. Editorial Paraninfo. Madrid, España. 405 p.

Eastman, J.R. 1999. Idrisi32. Technical referente. Clark University-Graduate School of Geography. Worcester Mass., 01610. USA. 229 p.

- Eastman, J. R. 1999. Idrisi32. Guide to GIS and image processing Volume I. Clark Labs., Clark University. Worcester, Massachussets, USA. 193 p.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute, Inc.). 1999. ArcView GIS 3.2 (v 3.2) (Software GIS for Windows). New York, Redlands, CA 92373-8100, USA. New York, USA. (www.esri.com/software/y2000”).
- Fassbender Hans W. y Bornemiza Elemer. 1987. Química de suelos. Segunda edición. Editorial Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. 404 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1980. Metodología Provisional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos. FAO. Roma. 86 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1985. Mapa mundial de los suelos (1:5'000,000) FAO-UNESCO (Preparado por La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). Leyenda revisada. Roma. 140 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1997. Conservación de suelos. Boletín de suelos No. 4. Roma, Italia. 81 p.
- Farreras, S. 1997. Tsunami en México, en M.F. Lavin. Editorial Contribución a la Oceanografía Física en México. Monografía No. 3. Unión Geofísica Mexicana. México. 98 p.
- Flamand Rodríguez Carlos L. 1981. Introducción a la mecánica de los suelos. 1er. edición. Editorial Patronato UACH (Universidad Autónoma de Chapingo), Departamento de Irrigación. Chapingo, México. 405 p.

- Fernández L. Carlos. 1991. Mejoramiento y estabilización de los suelos. Primera edición. Edición Limusa. México, D.F. 352 p.
- Fernández López J. y Tajadura Zapirain J. A.. 1993. Autocad avanzado v. 12. McGraw-Hill/Interamericana. Madrid, España. 585 p.
- FitzPatrick, E.A. 1984. Suelos (Su Formación, Clasificación y Distribución). Primera edición. Editorial Continental. México, D.F. 430 p.
- FitzPatrick, E.A. 1996. Introducción a la Ciencia de los Suelos. Editorial Trillas. México, D. F. 288 p.
- Flores L., H.E., K.F. Byerly M., J.J. Aceves R. y J.A. Ruiz C. 2002. Diagnóstico del sistema de producción de agave con énfasis en problemas fitosanitarios. En: Análisis agroecológico del *Agave tequilana* Weber var. Azul con énfasis en problemas fitosanitarios en Jalisco. Publicación Especial Núm. 1. INIFAP-CIRPAC-C.E. Altos de Jalisco. Tepatitlán, Jal., México. pp. 63-95.
- FPJ (Fundación Produce Jalisco). 2000. Base de datos de muestreos de suelo en campo en las áreas agrícolas del estado de Jalisco. Archivo electrónico. Fundación Produce Jalisco. Guadalajara, Jalisco, México.
- Gallegos del Tejo Arturo. 1997. La aptitud agrícola de los suelos (La pedología aplicada a las actividades agropecuarias). 1er. edición. Editorial Trillas, S.A. de C.V., México, D.F. 203 p.
- Gamma Desing Software (GDS). 2001. GS+ (Geostatistics for the Environmental Sciences) Version 5.1.1 (ver. 5.1) (Software Geostatistics for Windows) P.O. Box 201, Plainwell, Michigan 49080. USA. Michigan, USA. (Email:Support@gammadesingn.com: www.gammadesingn.com).

- Gándaras Alier José Luis; Cazorla Montero Adolfo; y Martínez Falero Eugenia J. 1996. Optimización en la asignación espacial de usos del suelo: Metodología casos de aplicación y programas informático. Editado Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. 229 p.
- Goodchild Michael; Egenhofer Max; Fegeas Robin and Kottman Cliff. 1999. Interoperating Geographic Information Systems. Editorial KAP (Kluwer Academic Publishers) Norwell, Massachusetts 02061, USA. 499 p. (<http://www.wkap.nl>>).
- González A., I.J., J.A. Ruiz C., J.G. López A., L. Mena H., R. Martínez P., J.A. Camarena B.,M.H. Pérez B., V. Vázquez V. y R. Villa H. 1996. Diagnóstico del potencial agroecológico para caña de azúcar en áreas de ampliación del Ingenio de Puga en el estado de Nayarit. Publicación Especial Núm. 1. INIFAP. Tepic, Nayarit. 86 p.
- GCMR (Grupo de Coordinación sobre Madera Rameal). 1996. Departamento de la Madera y Ciencias Forestales. Facultad de Ciencias Forestales y Geomática. Universidad Laval. Quebec, Canada. 81 p.
- Guzmán Gabriela. 1982. Conservación y mejoramiento de suelos. Edición Árbol, S.A. de C.V. (GEA = grupo de estudios ambientales). México, D.F. 67 p.
- Hartkamp, A.D., K. de Beurs, A. Stein and J.W. White. 1999. Interpolation techniques for climate variables. NRG-GIS Series 99-01. CIMMYT. Mexico, D.F. 26 p.
- Havlin I. John; Beaton D. James; Tisdale Samuel and L. y Nelson Werner L. 1999. Soil Fertility and Fertilizers an Introduction to Nutrient Management. Sixth Edition. Ed.Prentice Hall, Inc. Upper Saddle River, New Jersey. EEUU. 487 p.

- Hemyari Parichehr and D. L. Nofziger. 1987. Analytical solution for punctual kriging in one dimension. Soil Science Society of America Journal 51(1): 268-269 p.
- Henry D. Foth. 1978. Fundamentals of Soil Science. Trans-edition Michigan. Estados Unidos. 436 p.
- Henry D. Foth. 1986. Fundamentos de la ciencia del suelo. Segunda impresión. Editorial CECSA. México, D. F. 425 p.
- Honorato D. Ricardo. 2000. Manual de Edafología. 4ta. Edición. Editorial Alfa Omega, S.A. de C.V. México, D. F. 263 p.
- Hunner G. 2000. Modeling forest stand structure using geostatistics, geographic information systems, and remote sensing. Tesis Doctoral. Departamento of Forest Sciences, Colorado State University.
- Ibarra Castillo D. 2002. Apuntes de Conservación y Manejo de Suelos y Agua . Maestría de Ciencias Agrícolas y Forestales, CUCBA, UDEG.
- Ibarra Castillo D. 2003 Apuntes de los Sistema de Producción Sustentable, "Manejo de los principales recursos". Maestría de Ciencias Agrícolas y Forestales, CUCBA, UDEG.
- INE (Instituto Nacional de Ecología). 2001. Sustentabilidad Ambiental (La transición hacia el desarrollo sustentable, perspectiva de América Latina y el Caribe). Ed. INE-SEMARNAT, UAM (Universidad Autónoma Metropolitana), PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). México. 161 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1981 Síntesis geográfica de Jalisco y anexo cartográfico (edafología) (escala:

1:50,000, 1:250,000 y 1:1'000,000). 1da. Reimpresión. SPP-Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. México, D. F. 300p.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1997. Cuaderno Estadístico Municipal de Zapopan, Jalisco. INEGI, H.A. Zapopan y Gobierno del Estado de Jalisco. Zapopan, Jalisco. 35 p.

INEGI. 2001. Modelo digital de elevación escala 1:50,000. Disco compacto. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, Ags., México.

INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agrícolas y Pecuarias). 1999. Sistema de Información Ambiental para la Región Pacífico Centro. Protocolo de proyecto CONACYT R-29161B. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Guadalajara, Jalisco. 35 p.

Isaaks, E.H. and R.M. Srivastava 1989. An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press. New York. 561 p.

Jackson M.L. 1964. Análisis químicos de los suelos. OMEGA, S.A. Barcelona, España. 653 p.

Journel, A. G. y Huijbregts, A. V., 1978. Mining Geostatistics, Academic Press, New York. 300 p.

Kennedy I.R. 1992. Acid Soil and Rain. Plubishers RSP (Research Studies Press LTD, (RSP)). Second edition . De Research Studies Press CTD (RSP) Wiley & Sons Inc., Great Britain, Great Yarmouth. Great Britain. 253 p.

Kirkby M.J. y Morgan R.P.C. 1984. Erosión de suelos. Editorial Limusa. México, D. F. 375 p.

- Kirsten de Beurs. 1998. Evaluation of spatial interpolation techniques for climate variables. Department of Mathematics, Agricultural University. Wageningen. Supervisors from WAU: A.C. van Eijnsbergen and A. Stein. Supervisor from CIMMYT, México: A.D. Hartkamp. 550 p.
- LBLP (Laboratorio Bosque La Primavera). 1991. Ordenamiento Ecológico de Zapopan. Curiel B., A., Rangel A., R., Reyna B., O., Ponce R., J., Ramírez Q., Ibarra C. D. Protocolo de proyecto. Laboratorio Bosque La Primavera, Universidad de Guadalajara, H. Ayuntamiento de Zapopan. 145 p.
- Lillesand Thomask M. and Kiefer Ralph W. 2000. Remote Sensing and Image Interpretation. Fourth Edition. De John Wiley & Sons, Inc. New York, USA. 724 p.
- Lincoln, R. J.; Boxshall, G. A.; y Clark, P. F. 1995. Diccionario de Ecología, Evolución y Taxonomía. F.C.E. México, D.F. 488 p.
- Maguire David J.; Goodchild Michael and Rhind David W. 1991. Geographical Information Systems (GIS) (principles and applications). Volumen 1: Principles first published. Ed. Longman Scientific and Technical. Harlow, (Essex CM202j2, England). Great Britain, England. 955 p.
- Maguire David J.; Goodchild Michael and Rhind David W. 1991. Geographical Information Systems (GIS) (principles and applications). Volumen 2: Applications. Ed. Longman Scientific and Technical. Harlow, (Essex CM202j2, England). Great Britain, England. 896 p.
- McKinney Michael L. and Schoch Robert M. 1996. Environmental Science—Systems and Solutions. Web Enhanced Edition. USA. 584 p.
- Mallarino A. P.; P. N. Hinz and E. S. Oyarzabal. 1996. Precision Agriculture. ASA, CSSA, SSSA. 151-158 p.

- Marín García María Luisa; Aragón Revuelta Pilar y Gómez Benito Carmen. 2002. Análisis químico de suelos y aguas, (manual de Laboratorio). Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia (U.P.V.) Ref.: 2002.175, Valencia, España. 176 p.
- Matheron, G. 1970. "Lathéorie des variables Regionalisáes et ses Applications » Les cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleau, Fascicule 5. Ecole des Mines de Paris. 212 p.
- Matheron, G. 1975. « Les Concepts de Base et L'Evolution de la Géostatistique Minière », NATO A.S.I. Rome, Italie. 13-25 Octobre. 8p.
- Matheron, G. and Kleigeld, W. J. 1987. "The Evolution of Geostatistics", APCOM 87. Proceedings of the Twentieth International Symposium on the Application of Computers and Mathematics in the Mineral Industries. Volume 3. Geostatistics. Johannesburg, SA, MM. 9-12 p.
- Medina, G.G. y J.A. Ruiz C. 1992. SICA 2.0: Sistema de información para caracterizaciones agroclimáticas ver. 2.0 Guía de documentación y manual del usuario. Tema didáctico N0. 2. INIFAP-CIRNOC-C.E. Zacatecas. 131 p.
- Medina G., J. A. Ruiz C., R. A. Martínez P. y M. Ortiz V. 1997. Agric. Téc. Méx. Metodología para la Determinación del Potencial Productivo de Especies Vegetales. 23(1):69-90 p.
- Melchiori R. J. M.; García F. O.; y Echeverría H. 2003. Variabilidad espacial en algunas propiedades del suelo (I A. V. R. T.) . FCEGAC y A. P. 1-5 p.
- Millar, C. E., Turk, L. M. y Foth, H. D. 1972. Fundamento de la Ciencia del Suelo. Editorial Continental. México, D. F. 454 p.

- Moreno-Dahme., R. 1993. Criterios para la interpretación de resultados de análisis de suelos. Documento de circulación interna. INIFAP. México, D.F. 25 p.
- Morgan, R. P. C. 1977. Soil Erosion in the United Kingdom. National College Agricultural Engineering. Occasional paper No. 4., 41 p.
- Mulla, D. J. And J. S. Schepers . 1977 . The State of Site Specific Management for Agriculture . ASA, CSSA, SSSA. 1-18 p..
- Navarro Blaga Simon y Navarro García Gines. 2000. Química agrícola (El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 477 p.
- Neteler Markus and Mitsova Helena. 2003. Open Source GIS: A Grass GIS Approach. Editorial KAP, Second Printing, USA. (Kluwer Academic Publishers). Norwell, Massachusetts 02061. USA. 421 p.
- Norma Oficial Mexicana (NOM) 021 (PROY-NOM-021-RECNAT). 2000. Establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. 90 p.
- Olea, R. A. 1991. Geostatistical glossary and multilingual dictionary. Oxford University Press, New York. 256 p.
- Ortiz V. B. 1977. Edafología. Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México. Ediciones Paternas, A. C. 210 p.
- Ortega R. A., D. G. Westfall W. J. Gangloff, and G. A. Peterson . 1999. Precision Agriculture 1999 . Part. 1 2nd Precision European Conference on Precision Agriculture. 387-396 p.

- PPJA (Programa de la Procuraduría de Justicia Ambiental 2001-2006). 2002. De. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales; PROFEPA (Procuraduría Federal de Protección al Ambiente y PND (Plan Nacional de Desarrollo (2001-2006). México . 111 p.
- Padilla Sanchez Ramón. 1963. La Reforma Agraria y El Plan Jalisco. Profesor de Prácticas Agrícolas. Escuela de Agricultura. Universidad de Guadalajara. 128 p.
- Pearson W. Robert and Adams Fred. 1967. Soil Acidity and Liming. Agronomy No.12. American Society of Agronomy, Publisher Madison. Wisconsin, USA. 265 p.
- Pierce F. J., and P. Nowak. 1999. Advance in Agronomy, 67. Academic Press. 85 p.
- Pierr, W. H.; Pohlman, G. G.; and T. C. McIlwaine. 1932. Soluble aluminum studies: Y. The concentration of aluminum in the displaced soil solution of naturally acid soils. Soil Sci. 34: 145-160 p.
- Pierr, W. H. 1931. Neutralizing values and rates of reaction with acid soils of different grades and kinds of liming materials. Soil Sci. 29: 137-158 p.
- Porta Casanellas Jaime. López-Acevedo Reguerín Martha; y Roquero De Laburu Carlos. 1999. Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente. 2da. edición. Editorial Mundi-Prensa (MP). Madrid, España 917 p.
- Quillet (Enciclopedia Autodidáctica Quillet). 1968 Química, tomo III. Editorial Arístides Quillet, S.A. México. 526 p.
- Rita López Julio y Melida López Julio. 1990. El diagnóstico de suelos y plantas (método de campo y laboratorio). 4ta. edición. De. Mundi-Prensa. Madrid, España. 351 p.

- Robinson, H. Arthur; Morrison L. Joel; Muehrke C. Phillip; Kimerling Jon A.; and Guptill C. Stephen. 1995. Elements of Cartography. Sixth Edition. Johnvri Ley & Sons, INC. New York, USA. 780 p.
- Rodríguez Fuentes Humberto y Rodríguez Alosi José. 2002. Métodos y análisis de suelo y plantas (criterios de interpretación). Editorial Trillas, S.A.de C.V. México, D. F. 187 p.
- Rowell, D.L. 1994. Soil Science: methods and applications. London. Longman. 350 p.
- Ruiz C., J.A., H.E. Flores L., R.A. Martínez P., D.R. González E., y L. Nava V. 1997. Determinación del potencial productivo de especies vegetales para el Distrito de Desarrollo Rural de Zapopan, Jalisco. Folleto Técnico Núm. 5. INIFAP-CIRPAC-C.E. Centro de Jalisco. Tlajomulco de Zúñiga., Jal., México. 60 p.
- Ruiz C., J.A., G.M. García,lez., C.O. Trejo., R.M. Parra., I.J. González A., H.E. Flores L., y K. Fco. Byerly M. 1999. Requerimientos agroecológicos de cultivos. Libro Técnico Núm. 3. INIFAP. CIRPAC-SAGAR. Guadalajara, Jalisco, México. 324 p.
- Ruiz C., J.A., I.J. González A., J. Anguiano C., I. Vizcaíno V., D. Ibarra C., J. Alcalá G., S. Espinoza V. y H.E. Flores L. 2003a. Estadísticas climatológicas básicas para el estado de Jalisco (Período 1961-2000). Libro Técnico Núm. 1. INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Centro de Jalisco. 1ª. Ed. Conexión Gráfica. Guadalajara, Jalisco, México. 281 p.
- Ruiz C., J.A., I.J. González A., J. R. Regalado R., J. Anguiano C., I. Vizcaíno V., y D.R. González E. 2003b. Recursos edafo-climáticos para la planeación del sector productivo en el estado de Jalisco. Libro Técnico Núm. 2. INIFAP. CIRPAC. Guadalajara, Jalisco, México. 172 p.

- Sánchez Víctor y Renedo Girón. 1996 Dinámica y mecánica de suelos. Editorial Agrotécnicas, S.C. (Lotofinter). Madrid, España. 426 p.
- SGJ (Secretaría de Gobierno de Jalisco). 1988. Los Municipios de Jalisco. 1988. Secretaría de Gobernación y Gobierno del Estado de Jalisco, Centro Estatal de Estudios Municipales de Jalisco. Colección: Enciclopedia de los Municipios de México. México, D. F. 189 p.
- Sahin, A. y Hassan, H.M. 1998. Enhancement of Permeability Variograms Using Outcrop Data, The Arabian Journal for Sciences and Engineering, Vol. 23, No. 1C. 137-144 p.
- Samra J. S., Gill H.S., y Bhatia V.K. 1989. Spatial stochastic modeling of growth and forest resource evaluation. Forest Sci. 35, 663-676.
- Star Jeffrey and Estes John. 1990. Geographic Information Systems (GIS). Editorial Prentice-Hall, Inc. (paramount Communications Company Englewood Cliffs, New Jersey 07632). New Jersey, USA. 297 p.
- Stillwell John and Clarke Graham. 2004. Wiley (John Wiley & Sons LTD), The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO198SQ, England. 403 p. (e-mail: es-books@wiley.co.uk).
- Tapia V.,L. M., J.A. Ruiz C., A. Valenzuela, M. Tiscareño, A. Muñoz, E. Venegas, R. Molina y X. Chávez. 1995. Areas potenciales para el cultivo de cucurbitáceas en el proyecto de riego Chilatán de Tepalcatepec, Michoacán. Terra, 13(3):231-243 p.
- Teuscher Henry; Adler Rudolph and Seaton Jerome P. 1984. El suelo y su fertilidad. 8va. Ed. Editorial Continental, S.A. de C.V. México, D.F. 497 p.
- Tisdale Samuel L. y Nelson Werner L. 1991. Fertilidad de los suelos y los fertilizantes. Primera edición. Editorial LIMUSA. México 760 p.

- Tisdale Samuel L. y Nelson Werner L. 1988. Fertilidad de los suelos y los fertilizantes. Primera edición. Editorial UTEHA. México, D. F. 739 p.
- Thurston Jeff; Poiker Thomask; and Moore J. Patrick. 2003. Integrated Geospatial Technologies (a guide to GPS, GIS, and Data Logging). Editorial WILEY (John Wiley & Sons, Inc.) New Jersey, USA. 261 p. (e-mail: permcoordinator@wiley.com).
- UdeG (Universidad de Guadalajara). 2000. Ordenamiento Ecológico Territorial del Estado de Jalisco. Informe Técnico Final de Proyecto. Universidad de Guadalajara. Disco Compacto. Guadalajara, Jalisco, México.
- USDA (Unid State Departament Agriculture). 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils, USDA Handbook N. 60. Washington, D. C. USA. 160 p.
- USDA (Unid State Departament Agriculture, and The Yearbook or Agriculture). 1957. Soil the United States Department of Agriculture. Washington, D.C., USA. 771 p.
- Vallejo, V. R.; Cortina J.; Fons, J.; Romanya, J. Y Sauras, T. 1993. Estrategias de muestreo en suelos forestales, (El estudio del suelo y su degradación en relación con la desertificación). SECS. Salamanca. 1717-1726 p.
- Velasco Molina Hugo A. 1983. Uso y manejo del suelo. 1er. Edición. Editorial LIMUSA, S.A. México, D.F. 185 p.
- Veloso, Carlos Alberto Costa, Malavolta Eurípedes y Muraoka, Takashi. 2000. Aluminum and calcium absorption by black pepper seedlings. Sci agric. [online]. Ene./mar. 2000, vol. 57, No.1 [citado 05 Mayo 2005]. 141-145 p. Disponible en la World Wide Web: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttex&pid=S0103-90162000000100023&lng=es&nrm=iso. ISSN 0103-9016.

Vicén Carreño Martha y Antolín Vicén Carlos. 1996. Diccionario de Términos Ecológicos. Editorial Paraninfo. Madrid, España. 173 p.

Villalpando I., J.F. 1985. Metodologías de investigación en agroclimatología. Documento de circulación interna. Mimeografiado. INIA-SARH. Zapopan, Jalisco. 183 p.

Webster, R. And A.B. McBratney. 1987. Mapping soil fertility at Broom's Barn by simple kriging. J. Sci. Food Afric. 38:97-115 p.

Wild Alan. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Edición Mundi-Prensa. Madrid, España. 1025 p.

Worley, RE. 1976. Response of tomato pH of a Coastal Plain Soil. Journal of the American Society of Horticultural Science (EE.UU.) 10(4):460-462.

Youngs, E. G. 1983. Soil physical theory and heterogeneity. Agr. Water Management. 6. 309-320 p.

IX. ANEXO

Cuadro 1a. Base de datos de ocho propiedades del suelo de 152 sitios de muestreos georeferenciados, de los 281, del área agrícola del municipio de Zapopan, Jalisco (años 1975 y 2000).

No.	Longitud X (utm)	Latitud Y (utm)	Arena %	Arcilla %	Limo %	M.O %.	pH Unidad	CE mmhos/ cm	CIC me/10 0 g	Profundi- dad cm
1	650010	2295633	53	24	23	2.5	5.8	1	-	50
2	651366	2303849	56	20	24	3.8	5.7	1	-	30
3	652195	2299750	52	22	26	1.3	5.5	1	-	85
4	654313	2297110	80	8	12	0.7	5.5	1	-	100
5	661358	2301019	68	14	18	0.9	5.7	1	-	150
6	655353.571	2298597.29	-	-	-	1.1	5.2	0	4.5	-
7	664567.296	2302805.75	-	-	-	1.1	6.4	0	15.3	-
8	655300.275	2298104.79	-	-	-	1.4	6.4	0	10.5	-
9	659809.083	2292335.09	-	-	-	1.6	5.2	0	4	-
10	659404.644	2292269.76	-	-	-	1.5	5.3	0	2.8	-
11	658716.945	2294631.09	-	-	-	2	4.6	0	11	-
12	660907.253	2292468.55	-	-	-	1.3	4.6	0	3	-
13	652685.926	2296174.32	-	-	-	1.2	5.9	0	5.6	-
14	652517.125	2295650.04	-	-	-	1.3	4.6	0	4.9	-
15	652406.723	2295064.79	-	-	-	1.4	5.3	0	5.3	-
16	660652.197	2297970.58	-	-	-	1.2	5.7	0	3.1	-
17	656127.152	2296267.41	-	-	-	1.1	4.8	0	5.2	-
18	655444.02	2298198.37	-	-	-	1.3	6.3	0	6.7	-
19	657326.38	2297939.12	-	-	-	1.7	5.8	0	5.3	-
20	664739.869	2302899.7	-	-	-	1.1	6.4	0	10.3	-
21	656416.668	2296239.35	-	-	-	1.2	5.1	0	5.7	-
22	663204.219	2303222.96	-	-	-	0.9	5.1	0	7.2	-
23	656955.588	2297382.14	-	-	-	1.3	4.3	0	5.1	-
24	655482.894	2297122.46	-	-	-	1.4	5.9	0	6.4	-
25	654308.921	2302123.97	-	-	-	1.2	4.5	0	6.4	-
26	658352.764	2293366.87	-	-	-	1.2	5.5	0	6.9	-
27	660301.182	2292309.01	-	-	-	1.5	4.7	0	3.7	-
28	662209.264	2301460.46	-	-	-	1.5	6.4	0	5.4	-
29	662322.541	2301707.57	-	-	-	1.6	6.9	0	6.6	-
30	657191.552	2296892.33	-	-	-	0.4	7.5	0	23.4	-
31	659025.654	2292573.69	-	-	-	1.6	6.4	0	3.8	-
32	658546.582	2294291.22	-	-	-	1.3	5.2	0	6.8	-
33	658377.646	2293797.62	-	-	-	2	5.1	0	12.9	-
34	658843.581	2296538.84	-	-	-	0.9	3.9	0	5.1	-
35	653470.769	2298918.24	-	-	-	1.2	4.8	0	4.5	-
36	652344.138	2295586.97	-	-	-	1.5	5.1	0	4.4	-
37	657300.91	2297569.87	-	-	-	1	5.1	0	4	-
38	659189.787	2296634.37	-	-	-	1.1	4.1	0	4.7	-
39	654638.53	2297729.68	-	-	-	1.4	5.1	0	5.4	-
40	658553.818	2293522.52	-	-	-	1.78	5.6	0	6.7	-
41	656527.208	2296793.89	-	-	-	3.5	5.1	0	4.3	-
42	657362.209	2297201.44	-	-	-	1.3	5.2	0	4.2	-
43	663782.352	2300276.42	-	-	-	1.1	5.9	0	5	-

44	656063.036	2296943.33	-	-	-	1	4.2	0	5	-
45	652247.075	2296723.85	-	-	-	1.2	6	0	9.6	-
46	656417.24	2296177.85	-	-	-	1.4	4.8	0	6.1	-
47	653909.892	2298338	-	-	-	1.3	4.5	0	3.5	-
48	660562.432	2292219.25	-	-	-	1.4	4.8	0	3.2	-
49	659805.293	2292734.82	-	-	-	1.6	4.2	0	25.3	-
50	656554.415	2296978.64	-	-	-	0.9	4.4	0	5.8	-
51	655832.795	2296818.19	-	-	-	1.1	5.1	0	6.5	-
52	660335.253	2297844.55	-	-	-	1.2	5.8	0	4.2	-
53	651986.226	2296782.99	-	-	-	1.4	5	0	33	-
54	656893.437	2297842.82	-	-	-	1.1	4.4	0	3.3	-
55	662037.554	2301274.29	-	-	-	1.7	6.5	0	6.3	-
56	663806.471	2300768.68	-	-	-	1.6	4.9	0	4.1	-
57	650399.971	2302734.23	-	-	-	0.89	4.75	0.59	22.4	-
58	655180.907	2298503.44	-	-	-	0.8	4.4	0	7.3	-
59	653798.923	2300981.52	-	-	-	1.4	5.3	0	5.5	-
60	657380.76	2298308.64	-	-	-	1.4	6.4	0	6.1	-
61	658980.182	2294326.06	-	-	-	1.51	5.7	0	5.5	-
62	663660.807	2303842.45	-	-	-	0.9	4.6	0	3.7	-
63	660068.526	2298518.53	-	-	-	1.4	5.8	0	4.5	-
64	660476.334	2298214.91	-	-	-	1.6	5.7	0	4.9	-
65	653948.854	2300398.64	-	-	-	1.9	5	0	5.4	-
66	654712.279	2302281.44	-	-	-	1.3	4.7	0	7	-
67	657581.358	2295419.94	-	-	-	1.4	5.4	0	6.1	-
68	658107.774	2294809.86	-	-	-	1.6	4.2	0	6.2	-
69	657968.049	2294285.79	-	-	-	1.5	5.9	0	8.6	-
70	664152.586	2303816.5	-	-	-	0.9	5.6	0	3.9	-
71	650870.151	2295450.69	-	-	-	2.9	5.6	0	11	-
72	663921.303	2303814.24	-	-	-	0.5	4.6	0	3.8	-
73	663462.325	2303440.74	-	-	-	0.9	5.1	0	3	-
74	657427.367	2299508.36	-	-	-	1.2	4.9	0	5.5	-
75	655873.683	2295527.04	-	-	-	1.4	5.1	0	5.3	-
76	656922.36	2297843.09	-	-	-	1.2	4.1	0	4.1	-
77	655684.495	2297216.57	-	-	-	1.2	5.8	0	4.1	-
78	656999.805	2301933.68	-	-	-	0.9	5.7	0	3.7	-
79	655415.393	2298167.35	-	-	-	1.2	4.9	0	5	-
80	656426.714	2298268.99	-	-	-	1.2	5.4	0	4.7	-
81	658509.105	2301332.85	-	-	-	1.4	4.1	0	6.1	-
82	657837.928	2295822.11	-	-	-	1.2	5.9	0	5.4	-
83	650849.816	2304152.77	-	-	-	1.51	4.65	1.21	26	-
84	652198.129	2295739.4	-	-	-	1.5	6.2	0	5.6	-
85	651995.393	2295768.32	-	-	-	2.1	5.3	0	7.9	-
86	656444.164	2296393.35	-	-	-	1	5.2	0	4.3	-
87	659925.385	2292274.69	-	-	-	1.9	6	0	4.7	-
88	656239.986	2296575.96	-	-	-	1.1	5.9	0	5.7	-
89	660416.912	2292310.12	-	-	-	1.3	5	0	2.6	-
90	657273.425	2297415.86	-	-	-	1.3	5.2	0	5.1	-
91	657981.426	2299021.55	-	-	-	1.5	4.8	0	4.8	-
92	655179.203	2298687.93	-	-	-	1.1	4.6	0	4.1	-
93	651274.807	2295485.08	-	-	-	1.9	5.7	0	6.4	-
94	652342.468	2295771.46	-	-	-	1.3	4.4	0	4.6	-
95	658946.482	2297892.86	-	-	-	1.7	4	0	7.2	-
96	656488.555	2297839.05	-	-	-	1.6	4.6	0	5.2	-
97	652982.691	2295346.76	-	-	-	1.1	4.7	0	5	-

98	657850.904	2294438.44	-	-	-	1.8	6.1	0	10.5	-
99	657680.798	2294067.84	-	-	-	1.3	5.8	0	7.1	-
100	655357.834	2298136.07	-	-	-	1.1	4.6	0	4.5	-
101	660627.398	2297539.82	-	-	-	1.1	5.4	0	4	-
102	660453.868	2297538.17	-	-	-	1.2	5.4	0	5.5	-
103	653491.26	2299840.94	-	-	-	1.38	6.7	0.54	19	-
104	653512.87	2300640.65	-	-	-	1.2	5	0	5.9	-
105	654606.497	2298067.64	-	-	-	0	0	0	-	-
106	661941.02	2302288.16	-	-	-	1	4.7	0	3.2	-
107	663147.897	2303068.65	-	-	-	1.4	5	0	6.3	-
108	652924.29	2295407.73	-	-	-	1.4	5.2	0	6.2	-
109	655973.698	2297219.25	-	-	-	1	4.5	0	5.1	-
110	659578.228	2292271.4	-	-	-	1.5	4.8	0	4	-
111	664133.004	2302863	-	-	-	1.4	5.5	0	5.9	-
112	655012.472	2301084.94	-	-	-	2	5.1	0	7.3	-
113	655695.008	2302321.28	-	-	-	1	4.8	0	5.8	-
114	660873.89	2302001.13	-	-	-	1.4	5.1	0	22.7	-
115	658237.63	2293304.29	-	-	-	1.3	3.8	0	10.5	-
116	654406.879	2297758.3	-	-	-	1.3	4.4	0	5.9	-
117	651917.819	2301148.89	-	-	-	1.65	5.35	0.53	25.8	-
118	657922.14	2299174.75	-	-	-	1.4	4.6	0	6	-
119	663084.087	2303683.07	-	-	-	1.1	5.6	0	3.7	-
120	661600.878	2301577.6	-	-	-	1.2	5.1	0	3.9	-
121	654095.971	2300123.23	-	-	-	1.2	5.2	0	10	-
122	655237.613	2298626.97	-	-	-	1.3	4	0	8.3	-
123	657896.547	2292655.33	-	-	-	1.2	3.9	0	8.2	-
124	651275.912	2295362.09	-	-	-	2.2	5.9	0	6.6	-
125	655836.498	2296418.46	-	-	-	1	4.5	0	5.3	-
126	652961.72	2297652.84	-	-	-	0.9	3.6	0	5	-
127	658926.869	2296908.64	-	-	-	1	5	0	3.6	-
128	655060.057	2294294.43	53.1	13.6	33.3	0.13	5	0.52	13	-
129	656153.053	2294348.81	59.1	13.6	27.3	1.17	6.9	1.08	16	-
130	657764.495	2293533.56	43.1	23.6	33.3	0.55	4.7	0.45	19	-
131	658544.086	2292588.83	53.1	15.6	31.3	0.48	4.6	0.85	18.4	-
132	656696.506	2294143.52	47.1	19.6	33.3	0.13	5.6	0.32	14	-
133	655179	2296077.82	45.1	19.6	35.3	0.13	4.9	0.72	16	-
134	655637.925	2297122.66	41.1	23.6	35.3	0.55	5.6	1.06	15.2	-
135	657178.749	2297148.06	49.1	23.6	27.3	0.89	6.5	0.89	16	-
136	657466.027	2297604.63	49.1	17.6	33.3	0.13	6.6	1.18	14.8	-
137	657359.633	2297847.18	51.1	17.6	31.2	0.75	6.8	1.3	14.8	-
138	657963.279	2297874.98	65.1	13.6	21.3	0.2	5.1	0.77	12	-
139	658497.568	2298632.8	55.1	21.6	23.3	1.1	5.3	0.6	12.4	-
140	664170.271	2300945.68	60.4	10.32	29.3	0.13	4.4	0.95	16.4	-
141	664154.773	2301465.85	70.4	10.32	19.3	0.55	4.5	1.47	15.2	-
142	662965.55	2300646.1	71.1	9.6	19.3	0.89	4.9	0.87	16.2	-
143	661672.782	2301917.79	65.1	11.6	23.3	0.55	5.6	0.53	13.4	-
144	660105.109	2302566.98	51.1	17.6	31.3	1.58	4.6	0.84	16	-
145	660343.834	2299369.89	57.1	13.6	29.3	0.69	5.1	0.71	14.8	-
146	655748.198	2298706.72	61.1	13.6	25.3	0.69	4.9	0.57	13	-
147	656871.726	2298805.74	55.1	17.6	27.3	0.48	4.7	0.81	17.4	-
148	656132.442	2297691.83	61.1	13.6	25.3	0.34	5.3	0.49	15.6	-
149	654319.253	2297852.21	65.1	15.6	23.3	0.82	5.9	0.57	15	-
150	653615.439	2295111.45	63.1	13.6	23.3	1.1	6.9	0.73	17.2	-
151	652129.398	2293614.57	55.1	15.6	29.3	0.34	4.5	0.71	16	-

* Fuente INEGI, 1975 y FUPRODUCE, 2000.

Cuadro 1b. Base de datos de nueve propiedades del suelo de 129 sitios de muestreos georeferenciados, de los 281, ubicados en el área agrícola del municipio de Zapopan, Jalisco (años 2002).

No.	Long X (utm)	Lat Y (utm)	Arena		Limo %	M.O. %	pH Unidad	C.E.		C.C. %	P.M.P. %
			%	Arcilla %				mmhos/ cm	Da. g/cc		
1	656198.958	2296696.12	60	17	23	0.28	5.15	0.497	1.309	20.1	10
2	656247.653	2296685.51	66	15	19	3.66	4.85	0.375	1.361	20.2	10.1
3	656298.06	2296676.75	52	19	29	1.11	4.96	0.621	1.245	21.4	10.7
4	656346.755	2296666.13	56	19	25	1.28	4.99	0.357	1.207	22.7	11.3
5	656397.179	2296655.53	66	15	19	0.62	4.8	0.359	1.271	20.3	10.1
6	656445.875	2296644.91	68	13	19	0.73	4.6	0.529	1.26	19.8	9.94
7	656494.543	2296636.14	62	17	21	0.52	5.35	0.359	1.348	19.5	9.77
8	656543.239	2296625.52	56	15	29	0.66	5.21	0.397	1.315	20	10
9	656591.935	2296614.9	50	23	27	0.97	5.29	0.436	1.208	22.8	11.4
10	656581.969	2296566.84	54	23	23	1.28	4.81	0.415	1.243	23.5	11.7
11	656529.823	2296575.58	58	19	23	0.86	5.33	0.562	1.221	21.6	10.8
12	656484.577	2296588.08	62	15	23	0.62	5.53	0.311	1.301	20.2	10.1
13	656437.62	2296598.71	58	15	27	0.66	5.46	0.389	1.286	20.4	10.2
14	656385.474	2296607.45	70	21	9	1.76	7.52	0.531	1.473	20.3	10.1
15	656336.789	2296618.07	44	25	31	2.63	4.97	0.421	1.054	28.5	14.2
16	656286.372	2296626.82	56	21	23	0.55	7.78	0.401	1.327	22.2	11.1
17	656235.914	2296641.12	64	15	21	1.66	4.94	0.462	1.255	21.3	10.6
18	656187.235	2296649.89	54	19	27	0.41	5.17	0.533	1.336	20	10
19	656177.269	2296601.82	58	21	21	0.9	5.8	0.397	1.292	20.3	10.1
20	656128.601	2296610.6	56	23	21	0.97	5.44	0.595	1.302	19.7	9.88
21	656138.568	2296658.66	52	21	27	0.8	5.55	0.299	1.248	21	10.5
22	656146.795	2296706.71	48	23	29	1.11	5.66	0.485	1.211	22.8	11.4
23	656222.514	2296589.33	56	21	23	0.93	5.67	0.479	1.291	21	10.5
24	656272.921	2296580.57	58	21	21	0.17	4.8	0.58	1.226	22	11
25	656325.05	2296573.68	36	33	31	1.45	5.01	0.45	1.178	24.7	12.3
26	656366.921	2296550.08	50	25	25	0.1	5.21	0.519	1.267	21.1	10.5
27	656419.05	2296543.18	52	23	25	0.07	5.66	0.436	1.315	20.2	10.1
28	656465.99	2296534.4	52	27	21	0.28	5.68	0.363	1.337	19.4	9.72
29	656516.38	2296527.48	46	27	27	0.69	6.09	0.385	1.281	20.7	10.3
30	656563.886	2296457.82	42	33	25	1.11	4.27	0.624	1.203	23.2	11.6
31	656558.612	2296465.15	60	17	23	1.83	4.3	0.519	1.132	25.2	12.6
32	656509.926	2296475.76	44	31	25	0.8	5.5	0.454	1.245	20.7	10.3
33	656457.745	2296488.19	62	21	17	0.73	4.9	0.497	1.298	20.2	10.1
34	656410.84	2296493.29	56	17	27	0.8	4.9	0.63	1.289	20.3	10.1
35	656360.439	2296500.2	56	21	23	1.11	5.6	0.541	1.305	20.5	10.2
36	656310.066	2296505.27	48	25	27	1.66	5.5	0.554	1.106	25.1	12.5
37	656259.642	2296515.87	56	19	25	1.18	5.5	0.567	1.23	23	11.5
38	656212.651	2296530.2	52	21	27	0.86	5.7	0.562	1.265	21.6	10.8
39	656165.659	2296544.52	62	25	13	1	5.8	0.45	1.269	20.4	10.2
40	656115.208	2296556.97	50	23	27	0.9	5.2	0.564	1.229	20.4	10.2

41	656106.98	2296508.92	58	39	3	1.9	4.5	1.156	1.145	26	13
42	656155.693	2296496.46	46	27	27	1.38	5.9	0.667	1.194	21.8	10.9
43	656202.667	2296483.98	58	15	27	0.86	5.9	0.493	1.267	21.7	10.8
44	656249.675	2296467.81	40	31	29	1.59	5.6	0.665	1.178	23.3	11.6
45	656298.344	2296459.04	50	23	27	0.97	5.9	0.395	1.28	22.2	11.1
46	656348.744	2296452.12	60	19	21	0.45	5.4	0.667	1.3	20.2	10.1
47	656386.967	2296446.94	60	15	25	0.97	5.8	0.444	1.261	19.8	9.94
48	656447.762	2296441.97	62	17	21	0.69	5.2	0.464	1.351	18.6	9.33
49	656498.153	2296435.06	58	19	23	0.83	5	0.499	1.233	18.7	9.37
50	656545.144	2296420.74	42	27	31	1.59	4.6	0.448	1.161	22.3	11.1
51	656533.457	2296370.81	56	23	21	1.18	4.5	0.861	1.292	21.2	10.6
52	656484.788	2296379.59	42	29	29	1.24	4.9	0.69	1.81	23.3	11.6
53	656436.092	2296390.21	56	19	25	0.9	5	0.452	1.302	22.1	11
54	656387.413	2296398.98	54	21	25	0.9	5.9	0.479	1.313	21.3	10.6
55	656337.056	2296402.2	56	17	27	1.07	6	0.676	1.336	19	9.5
56	656288.395	2296409.13	52	21	27	1.59	5.3	0.867	1.131	21.7	10.8
57	656239.743	2296416.06	36	33	27	2.59	5.5	0.92	1.11	27.1	13.5
58	656191.013	2296430.36	62	17	21	1.21	5.7	0.324	1.279	21.2	10.6
59	656142.282	2296444.67	60	13	27	1.21	5.4	0.899	1.292	21.4	10.7
60	656095.274	2296460.84	36	27	37	2.45	5.1	0.852	1.134	25.3	12.6
61	656087.046	2296412.79	52	23	25	0.83	4.8	0.497	1.144	21.4	10.7
62	656165.308	2296395.07	77	21	2	0.87	5.9	0.626	1.188	21.6	10.7
63	656214.038	2296380.76	39	36	25	1.77	5.5	0.959	1.137	23.6	11.8
64	656269.738	2296362.83	41	32	27	1.91	5	0.813	1.234	23.8	11.9
65	656321.85	2296357.78	53	24	23	0.69	5.4	0.857	1.13	21.3	10.6
66	656341.004	2296350.58	51	24	25	0.52	6.2	0.726	1.218	20.7	10.3
67	656393.116	2296345.52	45	30	25	1.29	5.5	0.682	1.269	21.3	10.6
68	656445.263	2296336.78	37	34	29	1.04	4.8	0.935	1.256	22.1	11
69	656493.839	2296339.08	41	30	29	0.9	5.1	0.669	1.373	20.5	10.2
70	656480.886	2296239.33	53	28	19	0.52	4.8	0.743	1.274	20.4	10.2
71	656430.21	2296275.76	53	24	23	0.45	5.1	0.556	1.214	22.8	11.4
72	656383.253	2296286.39	39	32	29	0.66	5.3	0.379	1.227	21.7	10.8
73	656329.343	2296298.81	41	30	29	1.04	4.4	0.707	1.231	20	10
74	656452.465	2296309.18	47	28	25	0.56	4.9	1.285	1.264	20.1	10
75	656225.101	2296310.75	53	24	23	0.8	4.5	0.638	1.297	18.3	9.16
76	656177.887	2296349.06	37	38	25	1.18	4.5	0.904	1.233	22.6	11.3
77	656141.496	2296343.19	41	32	27	1.08	5	0.648	1.328	19.3	9.66
78	656080.597	2296359.23	39	36	25	0.76	4.5	0.997	1.28	19.2	9.61
79	656068.953	2296305.61	51	24	25	0.8	6.7	0.671	1.33	22.2	11.1
80	656121.082	2296298.72	37	34	29	1.22	5.8	0.682	1.109	21.4	10.7
81	656154.202	2296282.42	25	46	29	1.56	5	0.732	1.084	25.4	12.7
82	656201.056	2296282.85	29	32	39	1.01	5.6	0.688	1.198	23.4	11.7
83	656253.357	2296257.51	49	26	25	0.63	6.7	0.57	1.224	18.7	9.38
84	656314.119	2296256.23	25	46	29	0.56	5	0.655	1.17	21.1	10.5
85	656359.287	2296251.11	45	28	27	1.74	4.5	0.756	1.035	26.2	13.1
86	656418.499	2296229.52	25	40	35	0.28	5.5	0.582	1.15	22.5	11.2
87	656470.68	2296217.09	67	20	13	0.35	6	0.931	1.18	22.4	11.2
88	656517.638	2296206.46	53	26	21	0.56	5.5	1.006	1.137	21.2	10.6
89	656499.057	2296150.94	45	28	27	0.8	5.3	0.743	1.202	19.7	9.88
90	656450.353	2296163.4	47	26	27	0.56	5.5	0.682	1.195	20.4	10.2
91	656391.192	2296179.45	53	24	23	0.59	5.3	0.613	1.1	21.8	10.9
92	656345.956	2296191.95	33	38	29	1.49	4.9	0.807	1.045	25.2	12.6
93	656295.52	2296202.55	55	19	26	0.84	5.2	0.564	1.227	21.1	10.5
94	656248.545	2296215.03	51	21	28	0.99	5.1	0.551	1.217	20.2	10.1

95	656201.57	2296227.51	37	33	30	1.06	7.1	0.909	1.166	22.3	11.1
96	656178.572	2296275.26	39	31	30	1.72	5.1	1.239	1.18	23.7	11.8
97	656145.494	2296286.03	45	29	26	1.53	6.1	1.323	1.176	21.7	10.8
98	656082.884	2296300.21	47	25	28	1.65	6.8	1.934	1.191	21.7	10.8
99	656194.739	2296216.37	37	37	26	1.57	5.7	0.723	1.208	22.4	11.2
100	656243.442	2296203.91	55	25	20	1.65	5.3	0.442	1.249	20.4	10.2
101	656295.692	2296184.1	47	27	26	0.99	4.9	0.56	1.155	19.6	9.83
102	656344.354	2296177.17	39	29	32	0.88	5.2	0.603	1.097	23.4	11.7
103	656384.436	2296159.09	55	21	24	0.95	5.4	0.644	1.195	21.4	10.7
104	656445.181	2296159.66	49	23	28	0.92	5.7	0.503	1.163	22	11
105	656141.777	2296125.48	39	33	28	1.42	5	0.593	1.159	24.6	12.3
106	656103.459	2296139.88	37	35	28	1.83	4.2	1.075	1.081	24.2	12.1
107	656066.896	2296152.46	47	28	25	2.12	4.9	1.147	1.124	25.5	12.7
108	656675.309	2296792.81	61	20	19	1.24	5.8	0.638	1.239	20.2	10.1
109	656665.361	2296742.9	51	22	27	1.06	5.3	0.399	1.266	20.2	10.1
110	656655.413	2296692.99	45	24	31	0.99	5.1	0.491	1.193	20.8	10.4
111	656647.204	2296643.09	57	20	23	0.88	5.5	0.497	1.133	19.7	9.88
112	656635.517	2296593.17	57	20	23	0.92	4.9	0.673	1.92	19.4	9.72
113	656625.552	2296545.11	59	18	23	1.16	5.8	0.456	1.336	19.2	9.61
114	656612.136	2296495.17	63	16	21	0.65	6.2	0.517	1.342	19.5	9.77
115	656602.154	2296448.95	55	20	25	0.58	4.6	0.446	1.147	22.5	11.2
116	656586.948	2296404.52	59	18	23	0.87	5	0.792	1.24	20.3	10.1
117	656573.583	2296349.05	67	16	17	0.76	5.3	0.466	1.337	19.1	9.55
118	656563.6	2296302.83	69	14	17	0.87	5.8	0.537	1.299	18.2	9.11
119	656612.287	2296292.21	51	20	29	0.8	5.5	0.407	1.298	21	10.5
120	656611.926	2296330.96	61	16	23	0.91	5.4	0.713	1.25	19.2	9.61
121	656628.871	2296375.39	55	20	25	0.44	5.1	0.517	1.203	21.5	10.7
122	656635.386	2296421.58	57	22	21	1.02	5.2	0.796	1.273	20.2	10.1
123	656645.352	2296469.64	63	18	19	0.44	5.7	0.517	1.226	21.4	10.7
124	656655.352	2296514.02	61	18	21	0.47	5.2	0.556	1.211	21.3	10.6
125	656673.99	2296562.16	51	20	29	0.8	5.4	0.521	1.254	20.4	10.2
126	656685.66	2296613.93	55	20	25	1.05	5.7	0.714	1.306	19.2	9.61
127	656714.727	2296660.33	61	18	21	0.73	5.1	0.663	1.255	20	10
128	656370.618	2296712.48	57	20	23	1.09	5.2	0.73	1.256	20.4	10.2
129	656729.365	2296765.63	47	22	31	1.45	5.5	0.586	1.255	20.5	10.2

Cuadro 2a. Matriz de datos de los sitios de muestreos resultantes de once variables del suelo, determinadas en la zona agrícola del municipio de Zapopan, Jalisco (año 2004).

No.	Coord. Long X(utm)	Coord. Lat Y(utm)	Arena %	Arcilla %	Limo %	M.O. %	pH Unidades	Al Cmol/kg	CE mmhos/cm	CC %	AA %	PMP %	Da g/cc
1	662300	2306025	80	8.72	11.28	0.27	4.61	0.6	0.2	10.4	4.85	5.578	1.1
2	664150	2304175	72	6.72	21.28	1.26	4.91	0.2	0.3	13.5	6.29	7.224	1.07
3	663225	2303250	68	10.72	21.28	0.07	4.61	0.7	0.3	15.1	7.02	8.073	1.1
4	664150	2303250	84	4.72	11.28	0.07	5.08	0.4	0.1	8.8	4.09	4.704	1.03
5	652125	2302325	54	10.72	35.28	0.93	6.21	0.2	1.9	18.8	8.76	10.072	1.05
6	653975	2302325	74	6.72	19.28	1.79	5.5	0.2	0.1	14.7	6.85	7.872	0.9

7	654900	2302325	72	10.72	17.28	0.07	4.64	0.7	0.1	12.1	5.65	6.496	0.98
8	655825	2302325	64	16.72	19.28	0.93	7.47	0.2	0.5	21.6	10	11.525	1.27
9	656750	2302325	56	10.72	33.28	0.93	4.71	0.6	0.6	17.3	8.06	9.265	1.05
10	658600	2302325	56	16.72	27.28	0.87	5.85	0.1	0.5	15.5	7.2	8.272	1.19
11	660450	2302325	62	8.72	29.28	0.93	6.51	0.2	1.9	18.8	8.76	10.071	0.98
12	661375	2302325	80	4.72	15.28	1.93	5.84	0.2	1.1	12	5.59	6.426	1.02
13	662300	2302325	64	10.72	25.28	0.4	5.84	0.2	0.1	14.3	6.67	7.631	1.07
14	653050	2301400	62	12.722	25.28	0.6	5.28	0.2	0.5	20.7	9.65	11.091	1
15	653975	2301400	62	6.72	31.28	2.06	5.48	0.1	1.3	23	10.7	12.285	1.02
16	654900	2301400	64	12.72	23.28	1.26	6.4	0.1	0.2	14.7	6.85	7.868	1.15
17	658600	2301400	64	10.72	25.28	0.54	4.93	0.3	0.5	15.7	7.32	8.409	1.19
18	661375	2301400	60	10.72	29.28	0.34	5.38	0.1	0.2	15.4	7.16	8.223	1.08
19	662300	2301400	64	10.72	25.28	0.54	6.48	0.2	0.3	12.7	5.89	6.769	1.14
20	665075	2301400	70	8.72	21.28	1.2	4.65	0.3	0.9	13.042	6.068	6.974	1.19
21	653050	2300475	54	16.72	29.28	1.26	5.46	0.1	0.29	17.443	8.115	9.328	1.12
22	653975	2300475	50	14.72	35.28	1.6	6.22	0.1	0.36	21.624	10.057	11.567	1.08
23	654900	2300475	36	22.72	41.28	1.26	5.14	0.2	0.21	31.582	14.693	16.889	0.94
24	660450	2300475	64	8.72	27.28	1.4	4.11	0.9	0.26	20.927	9.735	11.191	1.07
25	661375	2300475	76	4.72	19.28	1.53	4.67	0.3	0.72	12.459	5.795	6.663	1.13
26	663225	2300475	64	6.72	29.28	1.26	5.01	0.3	0.7	22.195	10.395	11.869	1.04
27	653050	2299550	70	6.72	23.28	0.93	7.3	0.1	0.83	12.275	5.711	6.564	1.17
28	653975	2299550	56	16.72	27.28	0.6	6.28	0.2	0.33	16.013	7.45	8.563	1.11
29	656750	2299550	44	20.72	35.28	0.6	4.39	0.9	0.3	23.532	10.948	12.584	0.99
30	657675	2299550	62	10.72	27.28	0.27	4.94	0.2	0.18	16.637	7.73	8.897	1.14
31	659525	2299550	36	30.72	33.28	0.27	4.9	0.2	0.45	22.441	10.441	12	1.05
32	660450	2299550	70	10.72	19.28	0.93	4.79	0.6	0.3	12.953	6.026	6.927	1.2
33	662300	2300153	70	10.72	19.28	0.6	4.98	0.2	0.68	13.802	6.422	7.38	1.24
34	664150	2299550	68	4.72	27.28	1.53	6.5	0.1	1.07	14.355	6.679	7.676	1.19
35	653050	2298625	54	20.72	25.28	0.73	5.64	0.1	0.28	19.467	9.057	10.41	1.12
36	653975	2298625	68	6.72	25.28	0.93	5.18	0.2	0.98	14.08	6.551	7.53	1.09
37	654900	2298625	60	12.72	27.28	0.47	5.25	0.2	0.2	13.93	6.481	7.449	1.02
38	655825	2298625	48	22.72	29.28	0.34	5.3	0.2	0.17	20.254	9.423	10.831	1.07
39	656750	2298625	62	16.72	21.28	0.34	5.68	0.1	0.16	16.197	7.536	8.661	1.13
40	657675	2298625	50	18.72	31.28	0.6	4.76	0.5	0.22	20.159	9.379	10.78	1.04
41	660450	2298625	51.28	22.72	26	1.72	4.46	0.9	0.16	22.444	10.442	12.002	1.08
42	662300	2298825	51.28	22.72	26	0.96	4.63	0.6	0.16	19.88	9.249	10.631	1.07
43	651200	2297700	63.28	8.72	28	1.38	6.74	0.1	0.59	20.376	9.48	10.896	1.06
44	652125	2297700	53.28	16.72	30	1.03	4.96	0.4	0.33	18.816	8.754	10.062	1.16
45	653050	2297700	81.28	6.72	12	1.17	6.35	0.1	0.83	11.889	5.532	6.357	1.17
46	653975	2297700	57.28	16.72	26	1.86	6.38	0.1	0.52	21.107	9.82	11.287	1.13
47	654900	2297700	29.28	30.72	40	1.72	5.11	0.3	0.33	26.887	12.509	14.378	1
48	655825	2297700	63.28	14.72	22	0.69	4.99	0.3	0.23	14.212	6.612	7.6	1.11
49	656750	2297700	53.28	16.72	30	0.89	5.62	0.2	0.21	17.884	8.32	9.564	1.17
50	657675	2297700	53.28	18.72	28	1.38	5.94	0.2	0.34	20.883	9.716	11.167	1.08
51	658600	2297700	47.28	20.72	32	1.45	4.87	0.5	0.26	20.679	9.621	11.058	1.1
52	659525	2297700	47.28	20.72	32	1.58	4.52	0.7	0.49	22.728	10.574	12.154	1.06
53	660450	2297700	59.28	14.72	26	0.48	5.07	0.3	0.33	15.807	7.354	8.453	1.17
54	650275	2296775	61.28	14.72	24	1.79	5.87	0.2	0.21	19.342	8.999	10.343	1.2
55	651200	2296775	59.28	20.72	20	0.96	5	0.3	0.23	15.006	6.982	8.024	1.12
56	652125	2296775	43.28	28.72	28	1.65	5.41	0.2	0.28	22.747	10.583	12.164	1.13
57	653050	2296775	65.28	12.72	22	0.89	5.61	0.2	32	17.759	8.355	9.604	1.08
58	654900	2296775	53.28	16.72	30	1.24	6.08	0.2	0.34	21.003	9.772	11.231	1.07
59	655825	2296775	51.28	16.72	32	1.1	5.38	0.2	0.22	16.839	7.827	9.005	1.06
60	656750	2296775	53.28	16.72	30	1.1	5.51	0.2	0.59	17.168	7.988	9.18	1.11
61	657675	2296775	53.28	16.72	30	1.38	5.335	0.2	0.36	19.163	8.916	10.247	1.16

62	658600	2296775	43.28	24.72	32	1.86	5.6	0.1	0.37	25.819	12.012	13.807	1.06
63	659525	2296775	45.28	42.72	12	1.38	4.6	1.2	0.16	24.163	11.242	12.921	1.09
64	651200	2295850	65.28	12.72	22	1.17	5.65	0.2	0.13	15.781	7.342	8.439	1.09
65	652125	2295850	59.28	10.72	30	1.38	5.18	0.2	0.59	16.694	7.767	8.927	1.18
66	653050	2295850	73.28	6.72	20	0.75	5.69	0.1	0.17	11.595	5.395	6.2	1.19
67	653975	2295850	59.28	14.72	26	1.17	6.45	0.1	0.33	18.655	8.679	9.976	1.17
68	654900	2295850	49.28	18.72	32	1.51	6.64	0.1	0.32	21.498	10.002	11.496	1.03
69	655825	2295850	49.28	18.72	32	1.38	5.2	0.2	0.28	20.568	9.569	10.999	1.06
70	656750	2295850	55.28	18.72	26	1.38	5.23	0.1	0.32	25.59	11.906	13.684	1.08
71	657675	2295850	55.28	6.72	38	0.75	7.42	0.1	0.35	22.069	10.267	11.802	1.14
72	658600	2295850	51.28	18.72	30	1.72	6.36	0.1	0.42	18.627	8.666	9.961	1.07
73	664150	2295850	57.28	14.72	28	0.69	5.45	0.2	0.14	15.876	7.387	8.489	1.06
74	666000	2295850	85.28	4.72	10	0.69	6.13	0.2	0.05	15.091	7.021	8.07	1.07
75	650275	2294925	55.28	14.72	30	0.13	6.14	0.1	0.61	21.568	10.035	11.533	1.25
76	651200	2294925	51.28	16.72	32	0.69	5.77	0.2	0.5	23.79	11.068	12.722	1.12
77	652125	2294925	49.28	18.72	32	0.69	4.91	0.5	0.33	23.163	10.777	12.386	1.11
78	653050	2294925	51.28	16.72	32	1.31	4.15	0.3	0.21	23.286	10.834	12.452	1.11
79	653975	2294925	43.28	24.72	32	2.07	5.25	0.1	0.28	25.605	11.913	13.692	1.02
80	654900	2294925	51.28	18.72	30	2.34	6.16	0.1	0.16	20.24	9.417	10.823	1.1
81	655825	2294925	51.28	18.72	30	1.17	6.9	0.1	0.53	20.974	9.758	11.216	1.04
82	656750	2294925	55.28	10.72	34	0.96	6.64	0.1	0.17	22.132	10.297	11.835	1.08
83	657675	2294925	61.28	10.72	28	0.82	5.85	0.1	0.18	18.723	8.711	10.012	1.18
84	658600	2294925	55.28	14.72	30	1.31	5.59	0.1	0.3	17.84	8.3	9.54	1.07
85	651200	2294000	55.28	16.72	28	1.03	4.2	1.7	0.18	20.44	9.51	10.93	1.18
86	652125	2294000	53.28	16.72	30	1.03	5.06	0.3	0.26	19.016	8.847	10.169	1.1
87	653050	2294000	85.28	2.72	12	0.48	5.59	0.2	0.08	9.598	4.466	5.132	1.24
88	658610	2296760	51.28	14.72	34	0.69	4.64	0.6	0.35	27.271	12.688	14.583	1.05
89	653975	2294000	71.28	2.72	26	0.34	5.26	0.6	0.07	15.046	7	8.046	1.1
90	654900	2294000	63.28	8.72	28	1.31	5.36	0.3	0.18	21.359	9.937	11.422	1.02
91	655825	2294000	51.28	18.72	30	1.03	5.02	0.7	0.13	23.236	10.811	12.425	1.1
92	656750	2294000	85.28	8.72	6	0.69	5.3	0.2	0.11	21.748	10.118	11.63	1.2
93	657675	2294000	59.28	18.72	22	1.03	5.75	0.1	0.4	18.03	8.389	9.641	1.16
94	653050	2293075	71.28	6.72	22	0.69	5.78	1.1	0.17	14.442	6.719	7.723	1.17
95	653975	2293075	81.28	2.72	16	0.96	4.66	0.6	0.21	17.847	8.303	9.544	1.13
96	654900	2293075	71.28	8.72	20	1.65	5.46	0.7	0.05	23.409	10.891	12.518	1.27
97	655825	2293075	71.28	6.72	22	0.82	5.88	0.1	0.27	18.886	8.787	10.099	1.09
98	656750	2293075	67.28	8.72	24	1.1	5.47	0.1	0.33	21.489	9.998	11.491	1.15
99	657675	2293075	57.28	14.72	28	0.69	6.75	0.1	0.4	20.505	9.54	10.965	1.08
100	659525	2293075	59.28	12.72	28	1.17	6.47	0.1	0.29	21.17	9.849	11.321	1.12
101	660450	2293075	59.28	12.72	28	1.24	4.48	1.1	0.2	26.705	12.424	14.281	1.03
102	658600	2292150	43.28	24.72	32	1.38	6.09	0.2	0.43	24.956	11.611	13.345	1.12
103	659525	2292150	61.28	8.72	30	1.38	5.62	0.2	0.26	18.108	8.425	9.683	0.97
104	660450	2292150	51.28	12.72	36	0.89	4.79	0.5	0.18	26.614	10.987	12.627	1.11
105	658600	2288450	59.28	12.72	28	0.69	5.63	0.2	0.11	21.349	9.933	11.416	1.2

Cuadro 3a. Agrupación en porcentaje de las clases texturales del suelo, en los tres tipos básicos de textura según FAO (FAO, 1980), en la zona agrícola del municipio de Zapopan, Jalisco.

Tipo de Textura	Clase textural	Superficie	%
	Arena (Arenoso)	0.0	0.0
	Arena franca	5,559.10	46.83
	Franco arenoso	5,355.46	45.11
<u>Suelos de textura gruesa</u>	Total	10,914.56	91.94
	Franco arcillo arenoso	416.98	3.51
	Franco	520.71	4.38
	Franco limoso	0.0	0.0
	Limo (Limoso)	0.0	0.0
<u>Suelos de textura media</u>	Total	937.69	7.89
	Franco arcillo limoso	0.0	0.0
	Franco arcilloso	2.80	0.02
	Arcillo arenoso	16.30	0.13
	Arcillo limoso	0.0	0.0
	Arcilla (Arcilloso)	0.0	0.0
<u>Suelos de textura fina</u>	Total	19.10	0.15
	Totales	11,871.41	100.00

Cuadro 4a. Relación de rangos de pH, para diferentes cultivos agrícolas.

No.	Cultivo	Rango pH	No.	Cultivo	Rango pH	No.	Cultivo	Rango pH	No.	Cultivo	Rango pH
1	Ajo	6.0-7.0	17	Chile	5.5-7.0	33	Haba	5.5-7.5	49	Piña	5.0-6.0
2	Alfalfa	6.3-7.8	18	Col de Bruselas	6.0-7.5	34	Jícama	6.0-7.5	50	Plátano	5.3-6.5
3	Algodón	5.5-7.0	19	Col o Repollo	6.0-7.5	35	Lechuga	6.0-7.0	51	Remolacha	6.0-7.2
4	Almendra	6.0-7.5	20	Coliflor	6.0-7.5	36	Maíz*	5.8-7.2	52	Rábano	5.8-7.2
5	Apio	5.5-7.0	21	Caupí	5.0-6.0	37	Mango	5.0-6.5	53	Sorgo*	5.5-7.0
6	Arroz	5.0-6.5	22	Cereza	6.0-7.5	38	Manzano	5.5-7.0	54	Soya	5.5-7.0
7	Avena	5.5-7.2	23	Ciruelos	6.0-7.0	39	Melón	6.0-7.5	55	Sandía	5.7-7.2
8	Betabel	6.0-7.2	24	Cítricos	6.0-7.0	40	Mijo	5.5-7.0	56	Tabaco	5.0-6.5
9	Brócoli	6.0-7.5	25	Durazno	6.0-7.0	41	Nogal	6.0-7.8	57	Trébol dulce	6.5-7.5
10	Cacahuete	5.5-6.8	26	Espárrago	6.2-7.5	42	Papa	5.0-6.2	58	Trébol rojo	5.5-7.0
11	Calabacita	6.0-7.5	27	Espinacas	6.0-7.0	43	Pasto Bermuda	5.5-7.0	59	Trébol blanco	5.8-7.0
12	Caña de Azúcar*	5.5-7.0	28	Frambuesa	5.5-6.5	44	Pasto Orchard	6.0-7.0	60	Trigo	5.5-7.5
13	Cebolla	5.8-7.0	29	Fresa	5.0-6.5	45	Pasto Sudan	5.5-6.5	61	Tomate rojo	6.0-7.0
14	Centeno	5.5-6.5	30	Frijol*	6.0-7.5	46	Pasto Buffel	6.5-8.0	62	Vid	5.5-7.5
15	Cebada	6.0-7.5	31	Garbanzo*	6.0-7.5	47	Pepino	5.5-7.0	63	Zanahoria	6.0-7.5
16	Chícharos	5.8-7.2	32	Girasol	6.0-7.5	48	Perejil	5.5-7.0	64	Agave tequilaza Weber**	6.0-8.0
65	Nopal**	6.8-8.2									

Fuente: Varios autores, (Castellanos *et al.*, 2000), ** (Ruíz *et al.*, 1999).

Nota: es importante reconocer que existe una gran variabilidad genética en cuanto a la adaptación de las especies al pH, por lo que los datos del cuadro son sólo un indicador a considerar.

* Cultivos que se desarrollan en la zona agrícola del municipio de Zapopan, Jalisco.

Cuadro 5a. Relación en la reacción del rango del pH en el suelo, con las solubilidad de los elementos del suelo, en clima templado.

No.	pH (rango)	Elementos
1	6.0-8.0	Nitrógeno
2	6.3-8.0	Fósforo
3	6.0-10.0	Potasio
4	7.0-10.0	Calcio
5	7.0-10.0	Magnesio
6	6.0-10.0	Azufre
7	5.0-7.2	Boro
8	4.0-7.0	Cobre
9	4.0-7.0	Zinc
10	7.0-10.0	Molibdeno
11	4.0-5.0	Manganeso
12	4.0-5.0	Hierro
*13	4.0-5.2	Aluminio

Fuente: Adaptado de Truog, USDA Yearbook of Agriculture 1943-1947, (Edward, 2000).

* El aluminio muestra su solubilidad en suelos ácidos.

Cuadro 6a. Relación de cultivos que se desarrollan en la zona agrícola del Municipio de Zapopan, Jalisco.

No.	Cultivo
1	Maíz (<i>Zea mays</i>)
2	Fríjol (<i>Phaseolus vulgaris</i>)
3	Garbanzo (<i>Cicer arietium</i>)
4	Sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>)
5	Caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i>)
6	Agave tequilana Weber (<i>Agave tequilaza Weber</i>)
7	Nopal (<i>Opuntia Picus – indica</i>)
8	Pasto (<i>Lolium sp.</i>)

ABREVIATURAS

AA - Agua Aprovechable (HA – Humedad Aprovechable).
A.C. – Asociación Civil.
Al – Aluminio.
ADN - ácido desoxirribonucleico.
CC – Capacidad de campo.
CAHS – Capacidad de Almacenamiento de Humedad del Suelo
CE (C.E.) – Conductividad Eléctrica.
CME – Cuadrado Medio del Error.
CH – Constante de Humedad.
CI - Conservación Internacional.
cm – Centímetros.
CIPAC - Centro de Investigaciones Pacifico Centro.
CU - Clark University.
CP - Colegio de Postgraduados.
Da. – Densidad aparente.
DAEU = Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.
DETENAL – Dirección de Estudios del Territorio Nacional.
DIP – Distancia Inversa Ponderada.
DOF - Diario Oficial de la Federación.
DGSNEGI - Dirección General de Servicio Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
DGEZ - Dirección General de Ecología de Zapopan.
ESRI - Environmental Systems Research Institute.
FAO – Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
FPJ - Fundación Produce Jalisco.
GIS - Geographic Information Systems.
GCMR - Grupo de Coordinación sobre Madera Rameal.
GPS –Sistema de Posicionamiento Global o Geoposicionador.
INE - Instituto Nacional de Ecología.
INEGI - Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
INIFAP - Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agrícolas y Pecuarias.
k – Kriging.
ko – Kriging Ordinario.
Lat – Latitud.
Long. - Longitud
LBLP - Laboratorio Bosque La Primavera.
m– Metro.
mm – Milímetros.
MO – Materia orgánica
MOH – Materia Orgánica Humificada.
NOM - Norma Oficial Mexicana.
OETJ - Ordenamiento Ecológico Territorial del Estado de Jalisco.
pH – Potencial de Hidrógeno.
PMP – Punto de Marchitamiento Permanente.
PPJA - Programa de la Procuraduría de Justicia Ambiental.

Prof. – Profundidad.
R – Regosol.
RTAC (CRAT) - Centro Regional de Ayuda Técnica.
SEMARNAT - Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
SGJ - Secretaria de Gobierno de Jalisco.
SIG – Sistemas de Información Geográfica.
SPP - Secretaria de Programación y Presupuesto.
U de G - Universidad de Guadalajara.
UpH - Unidades de pH.
USDA - Unid State Departament Agriculture.
UTM - Universal Transversa de Mercator.

< - Menor a
> - Mayor a
% - Porciento o Porcentaje.
° - Grados.
' - Minutos.
" - Segundos.

Ao – Rango o Distancia de Separación.
(Al⁺³) = Al⁺⁺⁺ – Aluminio intercambiable.
(Ca) o (Ca⁺⁺) – Calcio.
Co – Nugget o Discontinuidad del Origen.
Co+C – Sill o Meseta.
°C – Grados Centígrados.
(Cu) – cobre.
(Fe) – hierro.
Fósforo - (P).
g/cm³ – Gramos sobre Centímetros Cúbicos.
(H⁺) - concentración de iones hidrógeno.
Hl/ha - Hectolitros por hectáreas.
ha. – Hectárea.
km – Kilómetro.
kg/ha – kilogramos por hectárea.
km/h – Kilómetros por hora.
m – Metro.
mm – Milímetros.
mmhos/cm – Milimhos sobre Centímetros.
(Mg⁺⁺) - Magnesio
(NH₄⁺) - ion amonio.
(OH⁻) - concentraciones de iones hidroxilos.
ppm – partes por millón.
(SO₂) - dióxido de azufre.
ton/ha. – Toneladas sobre Hectáreas.
(Zn) – Zinc.