

CLASIFICACION ESPACIAL DE LA TEXTURA DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS DE ZAPOPAN JALISCO

Daniel Ibarra Castillo¹, José Ariel Ruiz Corral^{2*}, Diego R. González Eguiarte³, José Germán Flores Garnica²

¹Universidad de Guadalajara-CUCBA-Departamento de Ciencias Ambientales. Las agujas, Zapopan, Jalisco, México. C.P. 45110. AP 39-82 Teléfono 37771150, Ext. 3261, dibarra@cucba.udg.mx. ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias CIRPAC-Guadalajara, Jalisco, México. ³Universidad de Guadalajara-CUCBA-Departamento de Desarrollo Rural Sustentable.

Introducción

La textura del suelo es la característica más importante, y permanente del suelo (Edward 2000), el tamaño de las partículas del suelo se expresa como textura (Honorato 2000), refiere a la proporción relativa de las partículas de arena, limo y arcilla (Fernández 1991). Relacionada con muchas reacciones físicas y químicas del suelo, importantes para el desarrollo de los cultivos (Fuentes 1997), elemental para la productividad de la agricultura, como la sustentabilidad del recurso edáfico (Fernández 1991).

Las áreas agrícolas del municipio de Zapopan son suelos predominantemente Regosoles (SEMADES 2006), se caracterizan por una textura arenosa, clasificándose de muy pobre a pobre (Ibarra et al. 2007). Para orientar debidamente los programas de rehabilitación de la textura de los suelos, así, para facilitar la generación, y la transferencia de tecnología, se requiere de un diagnóstico cuantitativo y ágil, sobre la situación de la textura del suelo. El objetivo del presente estudio, fue determinar, la clasificación espacial de la textura del suelo en la región agrícola de Zapopan, Jalisco. La estimación del estado actual de un recurso edáfico en una región determinada, implica una caracterización de su distribución espacial, fundamentada en muestreos de campo y procesos de interpolación geográfica, mediante el cual se generan imágenes y/o mapas temáticos (Flores et al. 2002, Anguiano et al. 2003). Dos de los procedimientos de interpolación geográfica de mayor uso, son, la Distancia Inversa Ponderada (DIP) (Hartkamp et al. 1999) y el método Kriging Ordinario (KO) (Bruz et al. 1996). DIP, es el método de interpolación más comúnmente utilizado, debido a la sencillez de sus cálculos. Sin embargo, la técnica de KO, ha probado su utilidad, y ventaja sobre la mayoría de los métodos de interpolación, en la descripción de la distribución espacial de variables geológicas y edáficas. Las ventajas de KO derivan de su capacidad de proveer el mejor estimador insesgado (Olea 1991). El método KO se basa en la teoría de variables regionalizadas, desarrolladas en los años 1960's por Matheron (Hemyari y 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 tal fin, se requiere formar pares de observaciones. Cuando se utiliza el semivariograma, la atención se enfoca sobre las diferencias entre las observaciones, por lo que el peso de las observaciones cambia de acuerdo al arreglo espacial de las muestras. El método KO, utiliza una combinación lineal de pesos en puntos conocidos $\sum \lambda_i Y_i$ para estimar el valor en un punto desconocido, donde Y_i son las variables evaluadas en las localidades de observación, λ_i son los pesos Kriging (De Beurs 1988). El método DIP calcula un valor para sitios no muestreados, utilizando un promedio ponderado de valores de sitios cercanos sí muestreados. La ponderación está dada por una función

inversamente proporcional a la distancia entre el punto a ser estimado y el punto muestreado (De la Mora et al. 2004).

Materiales y métodos

El área de estudio, la zona agrícola del municipio de Zapopan, Jalisco, (Figura 3), la cual se sitúa en el Valle de Zapopan, entre las coordenadas extremas 20°50'54.4" y 20°41'24.03" de latitud Norte y 103°24'19.83" y 103°33'23.17" de longitud Oeste. Presenta una altitud promedio de 1600 msnm (INEGI 2001). La precipitación pluvial media anual es 979 mm, distribuidos entre los meses de mayo y octubre; siendo julio el mes más lluvioso con 251 mm; la temperatura media es de 19.7°C, mayo, junio y julio es el trimestre más cálido (Ruiz et al. 2003a). Predominan los suelos del tipo regosol, que cubren más del 90% de la superficie agrícola (SEMADES 2006). Los regosoles son suelos formados a partir de materiales no consolidados, de textura arenosa; se pueden encontrar en distintos climas y con diversos tipos de vegetación. Se caracterizan por no presentar capas distintas. En general, son claros y se parecen bastante a la roca que los subyace, cuando no son profundos. Muchas veces están acompañados de afloramiento de rocas o tepetate y son de susceptibilidad variable a la erosión (FAO 1985). Geológicamente, existen rocas predominantes ígneas extrusivas ácidas: riolita porfírica, toba liparítica, pómez y obsidiana, asociadas con algunos afloramientos de basalto, que son los materiales que dan origen a los suelos; de éstos, los más recientes son los de la Sierra de La Primavera (SGJ 1988), la cual manifiesta un relieve, producto de una caldera de tipo explosivo de aproximadamente 11 km de diámetro, modificada por diversos domos riolíticos en la zona de fractura anular, cuyos productos piroclásticos se depositaron en la región central del municipio, dando origen a los suelos del Valle de Zapopan (Curiel et al. 1991).

Trabajo de campo y laboratorio

Para el muestreo de suelos, se partió del mapa del área agrícola del municipio de Zapopan y por medio del SIG (Sistemas de Información Geográfica) Arc View SIG 3.2, se estableció un diseño sistemático en base a una plataforma de proyección de cuadrícula UTM (Universal Transverso de Mercator), con distancia cada 900 metros entre sitios de muestreos georreferenciados, registrando 242 sitios a muestrear y de los cuales se colectaron muestras únicamente de 105, debido a que al revisar información cartográfica actualizada, se observó que el área representada por las muestras restantes ya estaba invadida por la mancha urbana. De esta forma, la superficie total comprendida por el estudio fue de 11,871.41 hectáreas de uso agrícola. El distanciamiento entre muestras se estableció de acuerdo con los siguientes criterios: a) el antecedente de que los suelos regionales del área de estudio, son predominantemente regosoles, como lo señala INEGI (2001), con base en muestreo de campo y análisis de laboratorio; b) el hecho de que el material madre; es suelto, de textura gruesa, son claros, y que el área de estudio ha estado expuesta a la degradación de los suelos, tanto por el material que les subyace, como por el manejo intensivo que involucra el uso desordenado de insumos agrícolas (Ruiz et al. 2003b); c) un muestreo previo de la composición de la textura (en 25 ha) a intervalos de 50, 100, 250 y 500 m, realizado en el año 2002, dentro del marco de esta misma investigación, y que mostró poca variabilidad de la textura, aún a distancias de 500 m y d) recursos económicos limitados para el muestreo y análisis de laboratorio. El muestreo se realizó en una sola toma, a una profundidad de 0 a 60 cm, y localizando los sitios de muestreo con el GPS ya descrito. Las muestras colectadas se turnaron al

Laboratorio de Física y Química de Suelos de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), para la determinación de las partículas minerales (arena, limo, y arcilla), para la textura, que se hizo con el método Bouyoucus - Norma Oficial Mexicana 021 (Norma Oficial Mexicana 021 2000). Los resultados del análisis de laboratorio se capturaron en hoja de cálculo electrónico (Microsoft Excel), para integrar una base de datos georreferenciada.

Métodos de interpolación espacial

Se utilizó la matriz de datos georreferenciados de los valores de arena, limo, y arcilla, para desarrollar un proceso de interpolación espacial, considerando dos métodos: Kriging ordinario (KO) y Distancia inversa ponderada (DIP). Estos dos métodos de interpolación se ejecutaron mediante el sistema geoestadístico GS+ ver. 5.1 (Gamma 2001). La interpolación con el método KO permite convertir los datos de la variable de estudio (en este caso arena, limo y arcilla) en superficies continuas (Burrough y McDonnell 1998); se puede calcular mediante la ecuación siguiente (De la Mora et al. 2004):

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

Donde $\tilde{Z}_{KO}(x_0)$ = valor estimado de KO 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 las variables Z (arena, limo y arcilla), para un punto de muestreo i , en el sitio x_i ; n = número 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 KO 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 muestreo en el sitio x_i y el punto a estimar en el sitio x_0 . Los valores de arena, limo y arcilla se interpolaron con base en KO, con la finalidad de obtener superficies continuas de valores. Para esto se obtuvo el variograma de los datos de las partículas que conforman la textura. El variograma es la herramienta básica del método KO, y se utiliza para modelar la correlación espacial entre observaciones (Czaplewski et al. 1994). La variación espacial definida por el variograma, se modeló con el objetivo de utilizar los modelos generados, para estimar los valores de arena, limo y arcilla, en los sitios que no se muestrearon.

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 se muestrearon. La ponderación es producto de una función inversamente proporcional a la distancia entre el punto a estimar y el punto muestreado, como se expresa en la siguiente función lineal (de acuerdo con de la Mora et al. 2004):

$$\beta^*(x_0) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p} \beta(x_i)}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}} \quad (3)$$

Donde $\beta^*(x_0)$ = 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) y 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 cuál de los métodos de interpolación se ajustó mejor a los datos de arena, limo y arcilla. 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 se calcula de la forma siguiente (Isaaks y Srivastava 1989):

$$CME = \frac{1}{n-1} \sum_{r=1}^n r^2 \quad (4)$$

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

Generación de imágenes raster de contenido de las partículas del suelo (arena, limo y arcilla)

El método de interpolación de mejor ajuste se utilizó para generar las imágenes raster del contenido de las partículas (arena, limo y arcilla) que conforman la textura del suelo, y obtener una imagen raster del tipo de textura, como de las clases texturales, en el módulo de análisis de superficie del SIG IDRISI32. A partir de estas imágenes, y utilizando este mismo SIG, se realizaron análisis de la variación espacial de los componentes minerales del suelo, en el área agrícola de Zapopan, para determinar la condición textural de los suelos del área, con los criterios de clasificación según el triángulo de texturas (Edward 2000), del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA 1954, USDA 1957, INEGI 1981), gruesa, media y fina, y de acuerdo a la clasificación de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO 1985), de la agrupación de las 12 clase texturales, los cuales han sido manejados con fines de interpretación e inferencia por parte de la FAO (FAO 1985) y otras instituciones (INEGI 1981).

Resultados y discusión

Comparación de los valores de los componentes del suelo.

Con respecto a los valores de los componentes de la textura del suelo, obtenidos de las determinación en laboratorio de las muestras recolectadas en campo, se apreció que, en promedio, la proporción de las partículas minerales en el área de estudio; para la arena es de 59.49, para el limo de 26.41, y la arcilla de 14.09 por ciento respectivamente; siendo el valor más bajo, de 29.28, 6.0, y 2.72; y el más alto el valor de 85.28, 41.28, y 42.72 en el orden; de arena, limo, y arcilla. Estos resultados coinciden de manera aproximada con muestreos realizados por la Fundación Produce Jalisco en el año 2000 (FPJ 2000), en los que, en promedio, se

obtuvo un valor de 59.5, 26.4, y 14.1; para arena, limo, y arcilla respectivamente, para 25 muestreos dentro del área de estudio, con valor mínimo de 31.1, 19.3, y 9.6; y el más alto el valor de 71.1, 37.3, y 31.6 en el orden respectivo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Comparación de los componentes del suelo obtenidos de las determinaciones en laboratorio de los muestreos de campo establecidos en la zona agrícola de Zapopan, Jalisco, con los registrados de la FPJ*.

Partículas del Suelo	Zona de Muestreo registrada					
	Área de estudio (2005)			FPJ (2000)		
Valores	Promedio %	Más bajos %	Más altos %	Promedio %	Más bajos %	Más altos %
Arena	59.49	29.28	85.28	59.5	31.1	71.1
Limo	26.41	6.0	41.28	26.4	19.3	37.3
Arcilla	14.09	2.72	42.72	14.1	9.6	31.6

FPJ= Fundación Produce Jalisco.

Variación espacial de las partículas minerales del suelo

Respecto al análisis de la distribución espacial, al interpolar los valores muestrales de la proporción de las partículas minerales del suelo, con los métodos KO y DIP, y al validar las estimaciones de estos métodos mediante el procedimiento de validación cruzada y la comparación del valor del cuadrado medio del error (Cuadro 2), Se establece que los métodos de interpolación espacial se comportaron de manera similar. Sin embargo, se aprecia, que el método KO fue ligeramente superior.

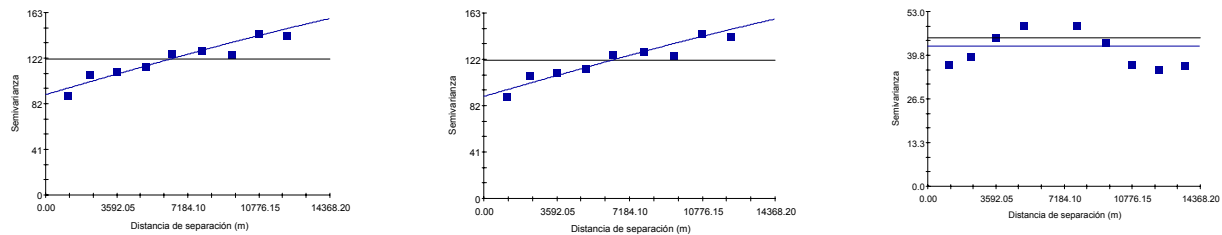
Cuadro 2. Valores del cuadrado medio del error (CME) para cuatro técnicas de interpolación al estimar el contenido de las partículas minerales de la textura del suelo de la zona agrícola de Zapopan, Jalisco.

Partículas minerales del suelo (%)	CME			
	KO	DIP1*	DIP2*	DIP3*
Arena	8.8323	8.8525	8.9149	9.1628
Limo	5.7309	5.6865	5.7115	5.8716
Arcilla	5.4041	5.4808	5.5610	5.6704

* DIP1, DIP2, y DIP3 = Distancia Inversa Ponderada nivel 1, 2, y 3.

En la Figura 1 se muestra el variograma isotrópico de cada una de las proporciones de las partículas minerales, que componen la textura del suelo; es claro que este variograma representa una clara, y definida estructura espacial (Sahin y Hassan 1998). El semivariograma cumple con el objetivo de determinar los parámetros que después se utilizaron en la interpolación (Journel y Huijbregts 1978); así el semivariograma representa el modelo teórico que es herramienta básica de apoyo a la técnica de interpolación espacial KO. Es evidente que existe una tendencia a la variabilidad espacial, según los resultados, de los componentes de la textura; para Ao (rango) representa la distancia hasta donde existe correlación espacial para los componentes de la textura; y se ubica aproximadamente para la arena a los 30,410 metros, limo 31,100 metros, y arcilla a los 13,560.4167, distancia máxima entre los dos pares de sitios en la que existe correlación espacial entre los mismos (De la Mora et al. 2004); para sill (Co+C), presenta valores de 193.300 en arena, y 72.53 en limo, se ajusta a los puntos de mayor valor del semivariograma (Journel y Huijbregts

1978), donde existe una correlación espacial (De la Mora et al. 2004) y estabilidad en su semivariograma, constituye una estructura espacial definida, en relación a la variabilidad espacial de sus datos (Journel y Huijbregts 1978), en arcilla con 42.44835, no tuvo estabilidad en su semivariograma, constituye una estructura espacial no definida en relación a la variabilidad espacial de sus datos (Sahin y Hassan 1998) para nugget (Co), define una discontinuidad a partir del origen de la gráfica (Samra et al. 1989), presenta un valor, para: arena de 89.700, y limo 31.300, en arcilla 42.44835, presenta 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). y para el modelo teórico, de mejor ajuste para las variable de la arena, y limo fue esférico, modelo que significa dependencia espacial (Samra et al. 1989), en arcilla se ajustó al modelo lineal, modelo que no se aprecia adecuadamente la variabilidad espacial (Armstrong y Carignan 1997). De aquí que se decidiera utilizar el método KO, con que se generó las imágenes raster de los componentes de la textura, dado que presentó el menor valor del CME y es el método considerado como el mejor estimador lineal insesgado (Olea 1991).



Modelo	Nugget (Co)	Sill (Co + C)	Rango (Ao)	Modelo	Nugget (Co)	Sill (Co + C)	Rango (Ao)	Modelo	Nugget (Co)	Sill (Co + C)	Rango (Ao)
Esférico	89.700	193.300	30410.0000	Esférico	31.30000	72.53000	31100.0000	Lineal	42.44835	42.44835	13560.4167

a)

b)

c)

Figura 1. Variograma isotrópico de la partícula de: a) arena; b) Limo; y c) Arcilla del área agrícola del municipio de Zapopan, Jalisco.

La Figura 2, Muestra la composición generada de las imágenes raster de arena, limo, y arcilla, obtenida mediante la interpolación con KO. Con base al análisis anterior y debido a que el método KO es considerado como el mejor estimador lineal insesgado (Olea 1991) se decidió entonces utilizar este método para generar la imagen raster de los valores de cada una de las partículas que componen la textura del suelo. De esta forma, los parámetros del modelo seleccionado se implementaron en el sistema IDRISI32. En ella se aprecian los modelos espaciales de los valores de arena. Limo y arcilla en la superficie agrícola de Zapopan, con valores que van de <45.85 a 76.35 en arena, de <15.66 a 32.89 en limo, y arcilla de <2.35 a 42.52. Estos valores extremos difieren ligeramente de los valores originales de los muestreos, debido, principalmente, a que ya son valores generados a partir de un modelo. Sin embargo, la información de esta imagen ratifica el diagnóstico preliminar (Cuadro 1) en el sentido de que, en términos generales, la textura de los suelos de Zapopan, se ubica en la condición de los suelos arenosos, lo cual evidencia una coincidencia razonable entre los valores representados por la interpolación por KO y los valores reales obtenidos de las muestras analizadas.

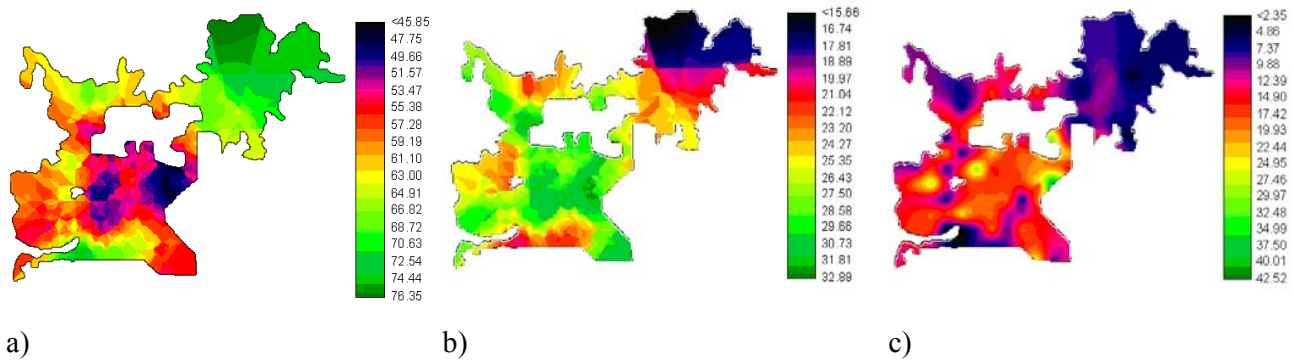


Figura 2. Modelos de interpolación de los valores de las partículas minerales de la textura de: a) arena; b) Limo; y c) Arcilla del área agrícola del municipio de Zapopan, Jalisco.

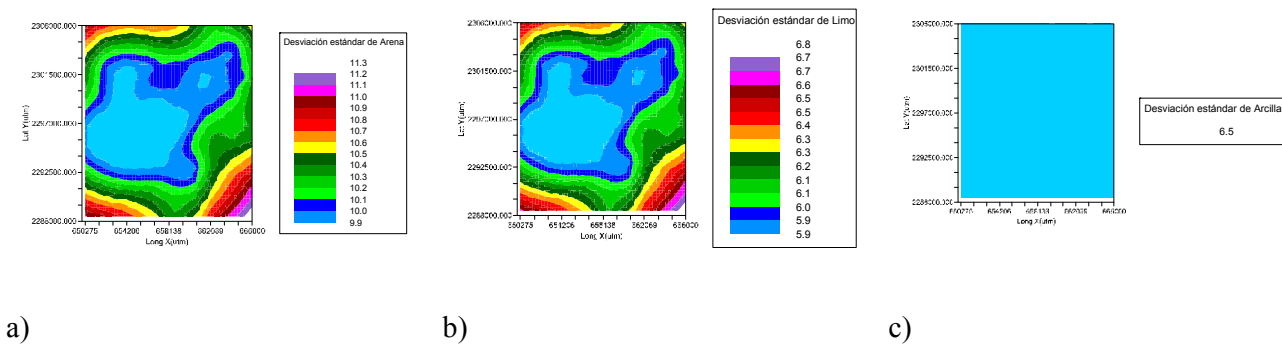


Figura 3. Modelos de interpolación de los valores de desviación estándar de las partículas minerales de la textura de: a) arena; b) Limo; y c) Arcilla del área agrícola del municipio de Zapopan, Jalisco.

En la Figura 3 se muestra los modelos de distribución espacial de la desviación estándar de las partículas minerales de la textura del suelo en el área interpolada, del área de estudio. De acuerdo con la información de esta figura, realizadas las estimaciones de cada una de las partículas que conforman la textura del suelo, están en el rango de desviación estándar de 9.9 a 11.3, para arena, de 5.9 a 6.8, para limo, y en arcilla de 6.5. Esto implica que las estimaciones para la arena tienen una precisión alta, y para el limo su puntualidad es baja, y en el caso de la arcilla es escasa. Por lo que de realizarse muestreos complementarios futuros se recomendarían en áreas sobre todo en las esquinas que si correspondan a la superficie agrícola de Zapopan.

Distribución espacial de la clasificación de la textura del suelo

En el Cuadro 3 se percibe que el 91.94 por ciento corresponde a una textura gruesa, el 7.90 por ciento una textura media, y el 0.16 por ciento una textura fina, según los criterios mencionados (Edward, 2000; FAO, 1985). En la Figura 3 se observa la distribución de la clasificación de los tipos de textura, por lo que constata, en términos generales, la clasificación de los suelos de la región agrícola de Zapopan son suelos predominantemente de textura gruesa, situación que concuerda con otros estudios sobre la región (INEGI, 2001).

Cuadro 3. Condición del suelo, por tipo de texturas, y clases texturales en los suelos de la zona agrícola del municipio de Zapopan, Jalisco.

Tipo de textura	Clase textural	Superficie(ha)	Superficie (%)
	Arena franca	5,559.10	46.83
	Franco-arenoso	5,355.46	45.11
Suelos de textura arenosa (gruesa)	<u>Subtotal</u>	10,914.56	91.94
	Franco arcillo-arenoso	416.98	3.51
	Franco	520.71	4.39
Suelos de textura media	<u>Subtotal</u>	937.69	7.90
	Franco-arcilloso	2.80	0.02
	Arcillo-arenoso	16.30	0.14
	Arcilloso	0.00	0.00
Suelos de textura fina (arcillosa)	<u>Subtotal</u>	19.10	0.16
	Total	11,871.41	100.00

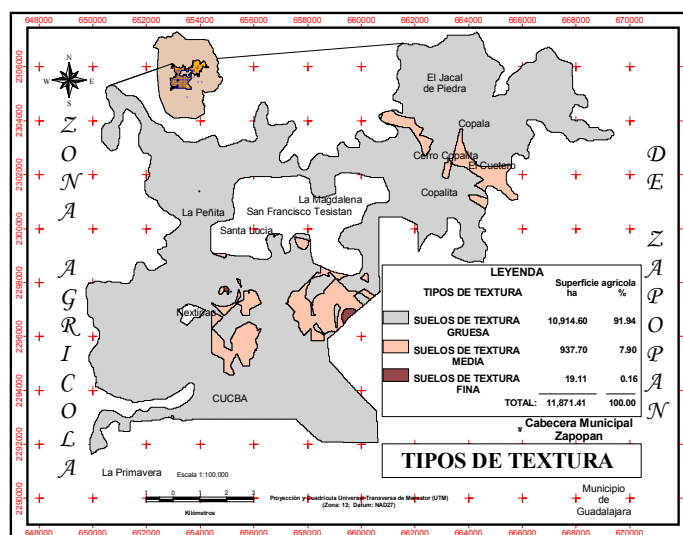


Figura 4. Distribución espacial de la clasificación de los tipos de textura del suelo en la zona agrícola del Municipio de Zapopan, Jalisco.

La textura de los suelos de Zapopan, se ubica en arenosa; entre las clase texturales de arena franca, y franco arenoso, en la mayoría de la superficie, lo cual evidencia una coincidencia razonable entre los valores representados por la interpolación por KO y los valores reales obtenidos de las muestras analizadas, aunque aproximadamente cerca del 92 por ciento de la superficie está representada, en dos clases predominantes, mencionadas Cuadro 3, Figura 4 y Figura 5, lo que corresponde con la característica de suelos ligeros (arenosos) en la zona agrícola de Zapopan (INEGI 1981, CETENAL 1970). De acuerdo con los datos del Cuadro 3, y según los criterios de FAO (1997), se deduce que el 91.94 por ciento (arena franca + franco-arenoso), con 10,914.56 ha de la superficie agrícola posee una textura gruesa (arenosa), el 7.90 por ciento (franco arcillo-arenoso + franco), una textura media, con 937.69 ha del área, y el 0.16 por ciento (franco-arcilloso, arcillo-arenoso y arcilloso), con el 19.10 ha, una textura fina (arcillosa),

capacidad de intercambio escaso (Havlin *et al.*, 1999), no retiene los elementos nutritivos 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 4. Comparación de la clase de suelo resultante de la zona agrícola actual del municipio de Zapopan, Jalisco, con el suelo ideal productivo de la agricultura, en relación con el contenido de los porcentajes de las partículas del suelo.

Suelo	% arena	% limo	% arcilla
Suelo de la zona agrícola de Zapopan	91.94	7.89	0.15
Suelo franco (suelo ideal)	72	50	27
Diferencia del suelo actual sobre el ideal	19.94	42.11	26.85

Conclusiones

La condición de la textura en los suelos agrícolas de Zapopan se encuentra marcadamente de acuerdo al valor máximo observado, con un 85.28 por ciento de partículas de arena.

El muestreo realizado permitió identificar, caracterizar, y clasificar la variabilidad de la distribución espacial de la textura, en las diferentes clases texturales. El método KO se mostró ligeramente superior al resto de los métodos al realizar la interpolación espacial con las diferentes partículas, que componen la textura del suelo, definiendo adecuadamente el tipo de textura, como las clases texturales del área de estudio.

Tanto el muestreo en campo, como la descripción de la clasificación de la variación espacial, de la proporción de las partículas minerales del suelo, permitieron valorar, la clasificación del tipo de textura, y las clases texturales, que condicionan los suelos del área agrícola de Zapopan, por lo que más del 91 % de la superficie agrícola de Zapopan presentan suelos arenosos (textura gruesa); definiendo generalmente, el tipo de textura: gruesa, con el 91.94 por ciento de la superficie agrícola, con una extensión de 110, 914.56 ha y dos clases texturales predominantes: arena franca, con el 46.83 por ciento, (5,559.10 ha.), y franco- arenoso, con el 45.11 por ciento, (5,355.46 ha.), de los suelos agrícolas de Zapopan.

El análisis de la distribución espacial de la variable estudiada, permitió identificar como limitante la productividad de los suelos, con condición: de suelos de textura gruesa (arenosa), y dos clases texturales: arena franca, y franca-arenosa, la cual predispone suelos con alta porosidad, escasa adhesión entre sus partículas minerales, baja capacidad de retención de humedad, baja estabilidad del suelo, y estructura desmoronable, como una baja retención de elementos nutritivos alrededor de sus partículas, y alta lixiviación de los elementos nutritivos, por lo que la disponibilidad de los nutrientes en la zona radicular de las plantas es baja.

La relación resultante, de las tres partículas que componen la textura de los suelos estudiados, en relación con la composición de un suelo idóneo, arrojaron que contienen un alto contenido de arenas, bajo en limo, y un escaso porcentaje de las partículas de arcillas.

Los suelos arenosos, condicionan que puede debilitar el crecimiento, y volumen del sistema radicular de las plantas, disminuye la disponibilidad de los nutrientes, perjudica la capacidad de retención del agua, limita la capacidad de intercambio catiónico.

Y aunado a que los suelos de la zona estudiada comparativamente al suelo ideal difiere; de un porcentaje mayor de la partícula de arena con un 19.94 más, en limo le falta un 42.11 y de arcilla con un 26.85 por ciento menos, lo que significa, que es considerable la falta del contenido de las partículas del suelo para estar cerca de un suelo franco o ideal para la agricultura, en el caso de limo que es bajo y en arcilla es escaso.

El SIG y el mapa de distribución espacial del contenido de los tipos de textura, como el de las clase texturales, constituyen una fuente de información que podrá ser actualizada periódicamente, y posibilitará el diagnóstico de esta variable, herramienta que puede ser utilizada ahora y en el futuro para la toma de decisiones en relación con el diseño e instrumentación de programas adecuados para mejorar la textura de los suelos de ésta y otras regiones.

Bibliografía

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

Bruz, 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 choropleth maps to estimate properties at points: a soil survey case study. *Environmetrics*, 7(1):1-16.

Benton, J.J. Jr. 2003. *Agronomic handbook. Management of crops, soils, and their fertility.* CRC PRESS. Boca Raton. London. New York. Washington, D.C. USA. 450 p.

Havlin, J. L., J. D. Beaton, S. L. Tisdale y W. L. Nelson. 2005. *Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management.* Pearson Prentice Hall. Seventh Edition. Upper Saddle River, NJ, USA. 515 p.

Ibarra C. D., Ruiz C. J. A., González E. R. D., Flores G. J. G. 2007. Distribución espacial del contenido de materia orgánica de los suelos de Zapopan, Jalisco. *Revista Terra Latinoamericana. Organó Científico de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.* ISSN 1870-9982. Junio 2007, volumen 25, número 2. pág. 187.

Ruiz C., J.A., I.J. González A., J. Anguiano C., I. Vizcaíno V., D. Ibarra C., J. Alcalá G., S. Espinosa 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.

Agradecimientos

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).
Fundación Produce Jalisco (FPJ).
Universidad de Guadalajara (UDEG).

