

Estudio preliminar de la respuesta del cultivo de la morera a la variabilidad espacial de la humedad en condiciones de agricultura urbana

Preliminary study of mulberry crops response to moisture spatial variability under urban agricultural conditions

Geisy Hernández Cuello¹, Teresa López Seijas², Julio Reyes Fernández³, Felicita González Robaina¹ y Jeny Pérez Petitón⁴

RESUMEN. El presente trabajo define los resultados preliminares de respuesta del cultivo de la morera a la variabilidad espacial de la humedad en el suelo, en condiciones de agricultura urbana. Se tomó como área piloto la finca La Conchita, del municipio San Miguel del Padrón. Se realizó estudio topográfico del área, determinándose in situ la densidad aparente y la humedad volumétrica. La estructura espacial de los datos se evaluó por medio del esquema de análisis geoestadístico. Se define a partir del valor de capacidad de campo (Cc) determinado para las condiciones de estudio, un límite productivo o criterio de riego cuando la humedad alcanza el valor de 0,40 cm³/cm³ y una reserva fácilmente utilizable del agua disponible en el perfil hasta los 20 cm de 10 mm. El análisis de variabilidad espacial de la humedad muestra un semivariograma ajustado al tipo esférico con un alcance de 10 m, lo que permite establecer esquemas de muestreo y tratamientos en la continuidad del estudio.

Palabras clave: estudio topográfico, análisis geoestadístico, capacidad de campo.

ABSTRACT. This paper defines the preliminary results of mulberry crops response to the spatial variability of soil moisture under urban agriculture conditions. Was taken La Conchita as pilot area located at San Miguel del Padrón municipality. Topographic survey was conducted in the area, determined in situ bulk density and volumetric moisture. The spatial structure of the data was assessed by means of geostatistical analysis scheme. Is defined from the value of field capacity (CC) determined for the study conditions, a limit or standard productive irrigation when moisture reaches a value of 0, 40 cm³/cm³, and available water content in profile to 20 cm of 10 mm. The analysis of spatial variability of moisture adjusted semivariogram shows a spherical type with a range of 10 m, which allows for sampling schemes and treatment in the continuation of the study.

Keywords: Topographic survey, geostatistical analysis, field capacity.

¹M. Sc., Investigador Auxiliar, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Carretera de Fontanar, km 2½, Reparto Abel Santamaría, Boyeros, La Habana, Cuba, Teléf.: (53) (7) 691-1038, 691-2665, 691 2533, E-mail: geisy@iagric.cu

²Dr. C., Investigador Titular, IAgric.

³ Ing., Especialista, IAgric.

⁴ M. Sc., Investigador Auxiliar, Universidad Agraria de La Habana, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

Recibido 21/07/10, aprobado 23/11/11, trabajo 00/11, investigación.

INTRODUCCIÓN

El uso de los árboles en los sistemas de producción ganadera en el trópico, y en particular en Cuba, es una práctica que data desde hace muchos años. En el desarrollo histórico de la ganadería vacuna, los árboles siempre constituyeron un componente en los potreros como sombra, cercas vivas y maderables.

Teniendo en cuenta que los pastos por sí solos no cubren los requerimientos nutricionales de los rumiantes, para una adecuada producción de leche y carne, algunos árboles y arbustos son una buena fuente alternativa para su utilización como alimento suplementario. Éstos se caracterizan por presentar elevados contenidos de proteínas y una alta digestibilidad, comparada con la mayoría de los pastos (Simón, 1998).

La morera (*Morus alba L.*) es una especie forrajera que presenta características de calidad nutritiva, producción de biomasa y versatilidad agronómica importantes, representando así un excelente potencial para mejorar la calidad alimenticia de las dietas e incrementar la producción de los animales (Elizondo, 2004).

Los resultados de investigaciones en Cuba en el cultivo de la morera (*Morus alba L.*) han versado sobre los más disímiles temas como: la influencia de variedades, fertilización, frecuencia de corte y época del año sobre la producción y la composición bromatológica del cultivo, sin embargo no brindan información sobre la respuesta al riego en este cultivo ya que todos los

trabajos se han efectuado en condiciones de secano. El presente trabajo pretende estudiar la variabilidad espacial de la humedad, así como definir algunos elementos para el manejo del riego en este cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación fue realizada en la finca La Conchita, perteneciente a la CCS Briones Montoto, situada en el municipio San Miguel del Padrón en los 23°05'14.05" de latitud N y 82°19'21.37" de longitud Oeste, a 28 metros sobre el nivel del mar.

Como área experimental se tomó una parcela de 10 metros de ancho por 31 metros de largo, previamente establecida por el productor, según el ordenamiento de la finca.

El suelo del área experimental se clasifica como Pardo con Carbonatos Plastogénico según la segunda clasificación genética de suelos (1988) y que clasifica como Pardo sialítico vértico en la nueva versión de la clasificación genética de los suelos de Cuba de Hernández *et al* (1999).

Algunas propiedades físicas e hidrofísicas para este tipo de suelo como la granulometría, densidad real, infiltración básica, humedad de saturación, humedad a capacidad de campo, conductividad hidráulica de saturación (Ks) hasta 40 cm de profundidad se muestran en la Tabla 1 y fueron tomados de la base de datos reportada por Cid (2010), para diferentes suelos de Cuba.

TABLA 1. Propiedades físicas e hidrofísicas del suelo. (Cid, 2010)

Profundidad, cm	Humedad saturación, cm ³ /cm ³	Infiltración básica, m/día	K saturación, cm/hora	Densidad real	Arena, %	Arcilla, %	Limo, %
0-20	0,573		2,6	2,7	19,3	63,4	17,3
20-40	0,570	0,17	1,9	2,7	17,5	60,9	21,6

El estudio topográfico del área se realizó en cuadrículas de 5 x 5 m considerado como una micro topografía. Para la obtención de las curvas de nivel con equidistancia vertical entre las mismas de 10 cm se utilizó el software SURFER 7.0.

Para la determinación de la densidad aparente y la humedad gravimétrica del suelo se muestrearon con barrena de suelo y con anillos de volumen conocido (100 cm³) un total de veinticinco puntos hasta 20 cm de profundidad, distribuidos en el área experimental en función de sus características, al ser un área larga y estrecha

(Figura 1). Los primeros 11 puntos se distribuyeron en un transepto por la línea central y a lo largo del campo (eje de las y) tomándose las muestras cada 2,5 metros. También se tomaron otros 8 puntos en dos transeptos en el sentido del ancho del campo (eje de las x) siguiendo el mismo

criterio de muestreo cada 2,5 m y se tomaron además otros 6 puntos al azar. El procedimiento de muestreo y calculo para la determinación de la humedad gravimétrica, densidad aparente y humedad volumétrica se hizo de acuerdo a la metodología establecida por Cid *et al.* (1984).

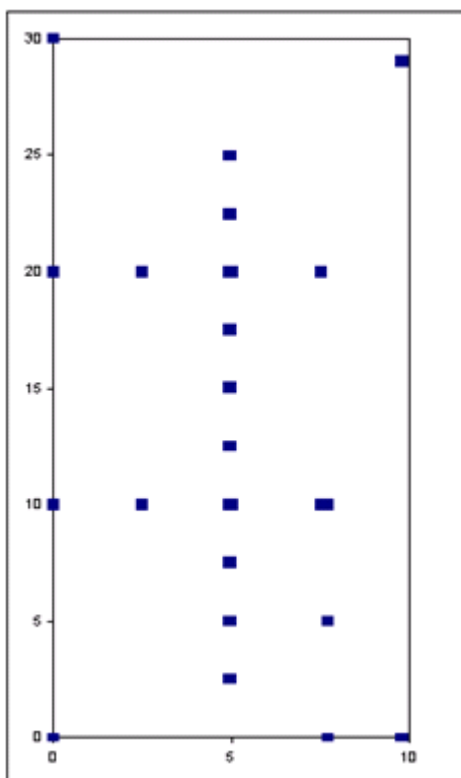


FIGURA 1. Puntos de muestreo en el área experimental.

Para el análisis estadístico de los datos se calcularon los estadígrafos media, desviación estándar y coeficiente de variación según lo definido por Cué (1987).

La estructura espacial de los datos se evaluó por medio del esquema de análisis geoestadístico

propuesto por Martínez Cob *et al.* (1996) con las siguientes fases: 1). modelización del semivariograma muestral 2). validación del modelo y 3). Krigado.

El valor experimental de un semivariograma muestral para una distancia h se calcula:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^n [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

donde:

$\gamma(h)$ - semivarianza;

$n(h)$ - número de pares en función de la distancia de separación entre los puntos;

$Z(x_i)$ - valor de la propiedad en el punto x_i ;

$Z(x_i+h)$ - valor de la propiedad a una distancia h del punto x_i .

Se modelaron los semivariogramas para las dos direcciones principales (vertical y horizontal), con el objetivo de comprobar si la distribución espacial es isotrópica o anisotrópica. La determinación de los modelos de semivariograma más adecuados y de sus parámetros (alcance, meseta, nugget) se llevó a cabo mediante la técnica denominada validación cruzada. Los estadísticos de validación cruzada descritos por Hevesi et al. (1992) fueron usados como criterios de medida para aceptar un modelo como adecuado: media de los errores observados (AKE), error cuadrático medio (MSE) y el error cuadrático medio estandarizado (SMSE)).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 2 se resume el levantamiento topográfico del área experimental que muestra que la cota mínima del terreno es de 25,2 msnm y la máxima de 26,55 msnm. La pendiente en **Y** fue de 1, 25 y en **X** de 5, 66 y la componente de 5,80 %.

Es necesario resaltar que a 10 metros del área experimental se encuentra ubicado un pozo que tiene una cota en el terreno natural de 27, 90 msnm, en el borde del agua de 27,56 msnm y en el fondo del pozo de 25, 84 msnm. Las cotas ubicadas en el terreno natural y en el borde del pozo se encuentran entre 1,35 y 1,01 m por encima de la cota máxima y entre 2,7 y 2,36 m por encima de la cota mínima, mientras que la del fondo del pozo está a 0,64 m por encima de la cota mínima del terreno.

Estos primeros resultados sugieren que existe escurrimiento subsuperficial hacia el área experimental, lo que ha provocado en el cultivo síntomas visibles de estrés por sobrehumedecimiento en la parte más baja del campo. Dichos síntomas aparecieron después de iniciada la experimentación.

En la Tabla 2, se presentan los resultados de la densidad volumétrica o aparente determinada in situ y del cálculo de los límites superior e inferior de la reserva de agua fácilmente disponible en el suelo. La desviación estándar en la estimación de la densidad fue de 0,090 y el CV de 0,07 lo que indica poca variabilidad de las condiciones estructurales del suelo en el área experimental.

Se define a partir del valor de capacidad de campo (C_c) definido para este tipo de suelos, un límite productivo o criterio de riego cuando la humedad alcanza el valor de $0,40 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, lo que corresponde al 90% del valor de C_c y la reserva fácilmente utilizable del agua disponible en el perfil hasta los 20 cm es de 10 mm. Estos valores pueden constituir parámetros importantes para el manejo del riego en este cultivo en condiciones similares a las de este estudio.

En la Tabla 2, se presentan los resultados de las propiedades físicas determinadas in situ: el límite superior de humedad disponible o capacidad de campo y la densidad volumétrica o aparente. Para esta última la desviación estándar fue de 0,090 y el CV de 0,07 lo que indica poca variabilidad de las condiciones estructurales del suelo en el área experimental.

Por otra parte se define a partir del valor de capacidad de campo (C_c) determinado para las condiciones de estudio, un límite productivo o criterio de riego cuando la humedad alcanza el valor de $0,40 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, lo que corresponde al 90% del valor de C_c y la reserva fácilmente utilizable del agua disponible en el perfil hasta los 20 cm es de 10 mm. Estos valores pueden constituir parámetros importantes para el manejo del riego en este cultivo en condiciones similares a las de este estudio.

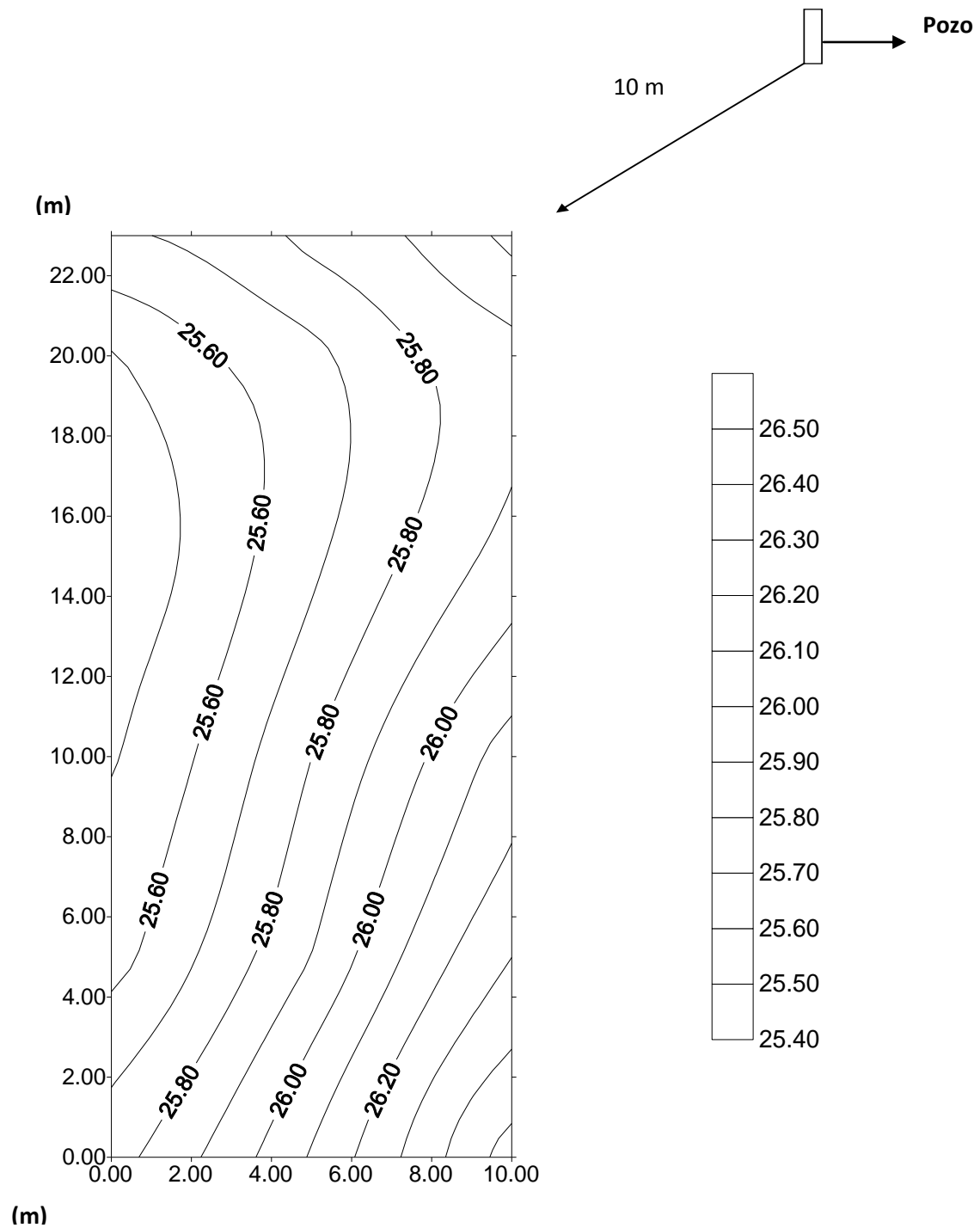


FIGURA 2. Levantamiento topográfico.

Tabla 2. Propiedades físicas determinadas in situ en el área experimental

Profundidad	Límite Superior de humedad disponible (Capacidad de campo, Cc), $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$	Límite Productivo, $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$	Densidad aparente, $\text{g}.\text{cm}^{-3}$	Reserva fácilmente utilizable, mm
0-20 cm.	0,45	0,40	1,23	10

Los valores de humedad del suelo en el momento del muestreo oscilaron entre 30% y 46% de volumen total para una media de 40,2 %, con una desviación standard de 0,0293, una varianza de 0,00086 y un CV de 0,09. Como se observa los valores de humedad en el momento del muestreo no presentan una alta variabilidad según los estadígrafos de dispersión clásicos.

Por otra parte el análisis de variabilidad espacial de la humedad muestra un semivariograma que ha

sido ajustado al tipo esférico con un alcance de 10 m (Figura 3). Este valor es un resultado importante para establecer esquemas de muestreo y tratamientos en la continuidad del estudio. Otros autores dentro de los que se destacan Utset (1993), Gonzáles, Utset y López (1998), González y López (2003) y mas recientemente Hernández et al. (2006) han empleado dicha herramienta para estudios de propiedades físicas, químicas e hidrofísicas de suelo, así como variables agronómicas de diferentes cultivos.

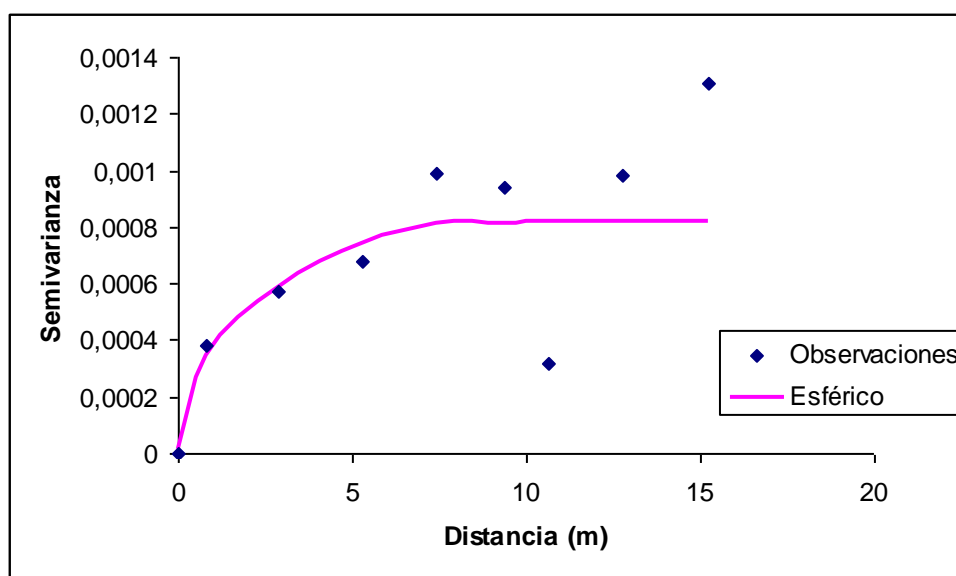


FIGURA 3. Semivariograma muestral y modelo esférico de la humedad del suelo en el área experimental.

En la **Tabla 3** se muestran los parámetros (nugget, meseta y alcance) del modelo esférico ajustados para el semivariograma muestral adireccional y los estadígrafos de validación cruzada para el modelo ajustado.

El análisis de estos resultados permite afirmar que el modelo propuesto permitirá el cálculo de estimas no sesgadas al encontrarse que la media de los errores observados no es significativamente

distinta de cero (test t). Será además adecuado porque el error cuadrático medio es inferior a la varianza muestral, demostrando que la estima calculada por krigeado será mejor que la que se obtiene por la media de los valores muestrales. El error cuadrático medio estandarizado se encuentra en el intervalo sugerido 1 ± 0.566 ($0.43 < SMSE < 1.57$).

TABLA 3. Parámetros del modelo esférico ajustados al semivariograma

Nugget	Modelo		Validación cruzada		
	Meseta	Rango	AKE	MSE	SMSE
0	0,0082	10	0,06	0,00039	0,72

Por último, en la Figura 4 se observan el levantamiento topográfico y el mapa de humedad obtenido a partir de la interpolación con el modelo anteriormente definido. Como se puede observar existen zonas de valores de humedad en un mismo rango cada 10 metros en el sentido perpendicular a la mayor pendiente. Los mayores valores se obtuvieron en la zona más baja del área experimental y donde se aprecian síntomas de estrés por sobrehumedecimiento y ataque de hongos.

Como paliativo a este problema se decidió en primera instancia, realizar poda de saneamiento, aplicación de fungicida (*Trichoderma*) y acanterar para lograr una mejor aeración de las raíces. Posteriormente se realizaran estudios de drenaje más profundos.

CONSIDERACIONES FINALES

El levantamiento topográfico mostró que la pendiente en **Y** fue de 1, 25 y en **X** de 5, 66 y la componente de 5,80 %.

La densidad aparente determinada in situ para las condiciones del estudio dio valores medios de 1,23 g.cm³ con desviación estándar en la estimación de 0,090 y coeficiente de variación de 0,07, lo que indica poca variabilidad de las condiciones estructurales del suelo en el área experimental. Por otra parte la reserva fácilmente utilizable del agua disponible en el perfil hasta los 20 cm es de 10 mm. Estos valores pueden constituir parámetros importantes para el manejo del riego en este cultivo en condiciones similares a las de este estudio.

El análisis de variabilidad espacial de la humedad muestra un semivariograma ajustado al tipo esférico, con un alcance de 10 m. Este valor es un resultado importante para establecer esquemas de muestreo y tratamientos en la continuidad del estudio. La interpolación utilizando este resultado permite definir mapas de humedad del suelo más representativos de la variabilidad de la misma en la zona de estudio.

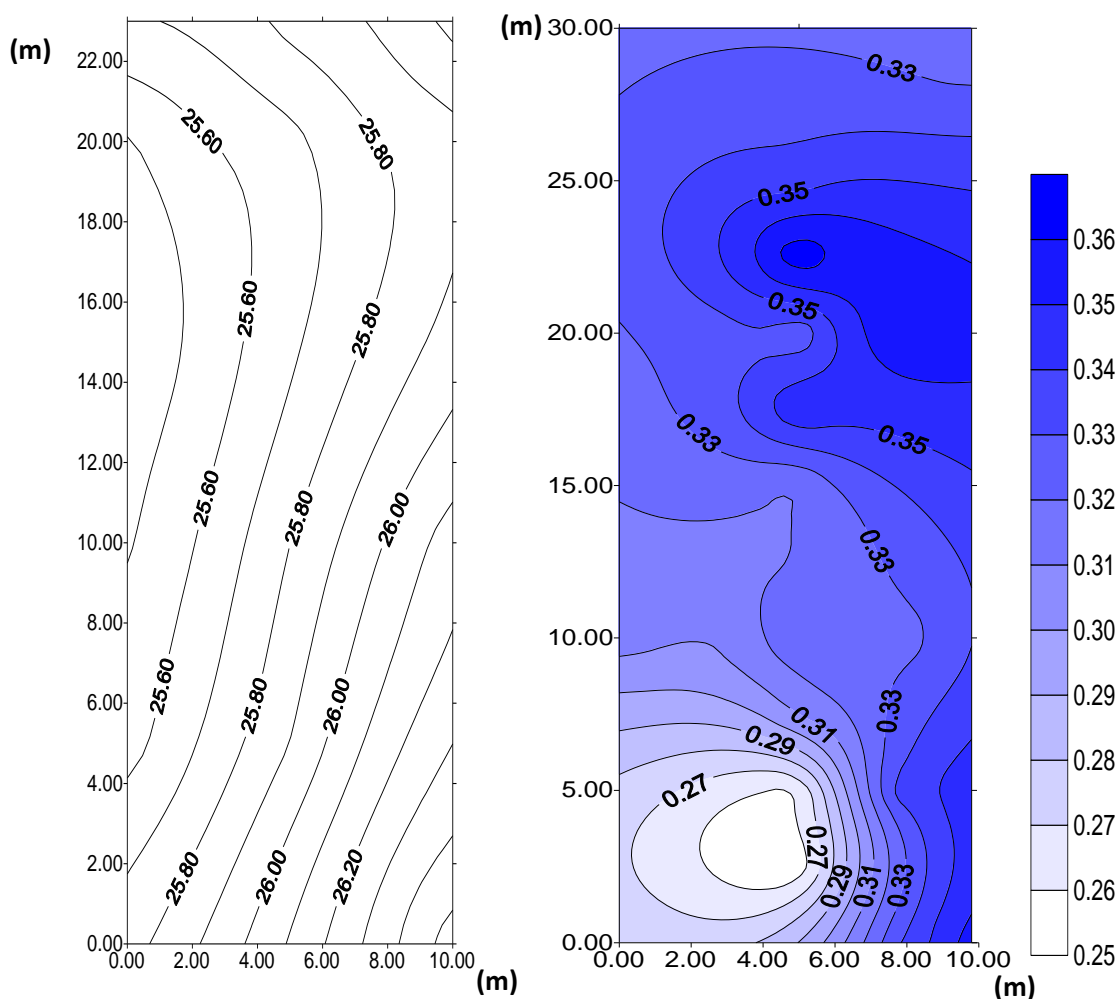


FIGURA 4. Levantamiento topográfico y mapa de humedad en el área estudiada obtenido a partir de la interpolación con el modelo de estructura espacial definido.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. CID, G.: *Evaluación de la potencialidad productiva y las principales limitaciones para la producción de cereales en algunas regiones secas de Cuba utilizando Modelos de Simulación de Cultivos*, 21pp., Proyecto SIM del PNCT Cambio Global, Informe de etapa, Caracterización de los suelos en las regiones bajo estudio, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), La Habana, 2010.
2. CID, G., M. HERRERA, J. SÁNCHEZ Y A. HERNÁNDEZ: *Metodología para la determinación de propiedades hidrofísicas*, 55pp., Publicación del Centro Nacional de Suelos y Fertilizantes, La Habana, Cuba, 1984.
3. CUE, J.L., E. CASTELL y J.M. HERNÁNDEZ: *Estadística I Parte*. Universidad de La Habana, Facultad de Matemática Cibernética, La Habana, 1987.
4. ELIZONDO, J. “Calidad nutricional y consumo de morera (*Morus alba*), Ramio (*Bohemeria nivea* (L) GAUD) y sorgo negro forrajero (*Sorghum almum*) en cabras”, *Agronomía Mesoamericana*, 15(2): 209-213, 2004.
5. GONZÁLEZ, R. F. y T. LÓPEZ: “Aplicación de técnicas geoestadísticas para la obtención del mapa de rendimiento del cultivo de la papa”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 12(1): 45-47, 2003.

6. GONZÁLEZ, R. F; A. UTSET y T. LÓPEZ: “Variabilidad espacial de propiedades físicas de un suelo Orthic Ferrasol”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 7(1), 63:66, 1998.
7. HERNÁNDEZ, A., O. ASCANIO y E. CAMACHO: *Genetic Classification of Cuban Soils*, pp. 155-157, In *Soil Classification*, UNEP, Moscow, Russia, 1988.
8. HERNÁNDEZ, A., J.M. PÉREZ; D. BOSCH y L. RIVERO: *Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba*, 64pp., Edit. AGRINFOR, La Habana, 1999.
9. HERNÁNDEZ, P.M.; L. HERNÁNDEZ; J. DÍAZ; Y. ZAMORA y Y. DOPICO: “Obtención del mapa de rendimiento georreferenciado del cultivo de la papa mediante el empleo de técnicas de agricultura de precisión”, *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 15(2): 37-41, 2006.
10. HEVESI, J.A, J.D. ISTOK & A.L. FLINT: “Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics. Part I: Structural analysis”. *J. Appl. Meteorol.* 31(7): 661-676, 1992.
11. MARTÍNEZ-COB, A.: “Multivariate geostatistical analysis of evapotranspiration and precipitation in mountainous terrain”, *Journal of Hydrology*, 174: 19-35, 1996.
12. SIMÓN, L.: *Del monocultivo de pastos al silvopastoreo*, 9pp., La experiencia de la EEPF IH. (Ed. Simón, L.). Los árboles en la ganadería. Tomo I. Silvopastoreo. EEPF “Indio Hatuey”. Matanzas, Cuba, 1998.
13. UTSET, A.: *Aplicación de técnicas Geoestadísticas a la Caracterización de la Variabilidad Espacial de la Conductividad Eléctrica en los Suelos*, **Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas)**. Instituto Superior de Ciencias Agrícolas “Fructuoso Rodríguez Pérez”, La Habana, Cuba, 1993.

