ARTÍCULO ORIGINAL

Determinación de la geometría del perfil del suelo mediante el método de tratamiento de imágenes

Determination of soil profile geometry through the image processing method

Ing. Maykel Cruz Díaz, Dr.C. Miguel Herrera Suárez, Dr.C. Alberto Taboada Crispi, Ing. Laura García Pedraza

Universidad Central de las Villas (UCLV), Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

RESUMEN. El presente trabajo se fundamenta en la determinación de la geometría del perfil del suelo aplicando el método de tratamiento de imágenes, para lo cual fue necesario realizar una búsqueda en la bibliografía relacionada con el tema objeto de estudio que permitió abundar en el tema para poder determinar las metodologías a emplear para la toma de los datos. Los resultados finales posibilitaron la construcción de un perfilómetro de varillas tradicional, que permitió realizar las mediciones de la geometría del perfil del suelo en los campos de caña y compararlas con el método de tratamiento de imágenes, para demostrar que se obtiene la geometría del perfil del suelo aplicando el método que se propone en este trabajo. Se logró desarrollar un método de tratamiento de imágenes para determinar la geometría del perfil del suelo sin necesidad de aplicar los costosos métodos laser desarrollados por otros autores que se dificultan mucho en nuestro país. Finalmente los resultados evidencian la factibilidad técnica de la utilización de este método así como la efectividad del mismo.

Palabras clave: perfil, suelo, tratamiento de imágenes.

ABSTRACT. This research is based in the determination of the geometry of the soil profile using the image processing method. It was necessary to carry out a search in the literature on the topic under study that allowed deepening on the subject in order to determine methodologies to be used for the collection of the data. The final results gave us the possibility to construct a traditional rod profilometer, which allowed carrying out the measurements of the geometry of the soil profile in the cane fields and to compare it with the method of image processing to show that can be obtained the soil profile geometry using the method proposed in this paper. It was possible to develop a method of image processing to determine the geometry of the soil profile without the need of costly laser methods developed by other authors that make it very difficult in our country. Finally, the results show the technical feasibility of using this method and its effectiveness.

Keywords: profile, soil, image processing.

INTRODUCCIÓN

El perfil del suelo se define como la desviación típica de las elevaciones superficiales del suelo, considerando los cambios debidos a la pendiente del terreno, y las huellas que puedan dejar los neumáticos de las máquinas y ciertos implementos de laboreo (Merrill *et al*., 2001; Porta *et al*., 2003[1]).

Esto adquiere gran importancia ya que es uno de los parámetros que da la posibilidad de determinar la forma que toma el suelo, luego que sobre el actúa la fuerza de los neumáticos u órganos de trabajo de las diferentes máquinas agrícolas durante el laboreo (García, 2006)[2], además permite a los diseñadores de máquinas e implementos agrícolas, conocer las características del suelo y poder realizar un diseño óptimo, adecuado que cumpla con los requisitos agrotecnológicos.

De esta forma, la medición de la geometría del suelo es trascendental para entender los procesos a los que se ven sometidos los mismos. Según (Oelze *et al*., 2003; García

[1] PORTA, J.; M. LÓPEZ-ACEVEDO y C. ROQUERO: Edafología para la agricultura y el medio ambiente, 2003.

[2] GARCÍA, R.: Desarrollo de una metodología para la medición de la rugosidad superficial del suelo 120pp., Tesis presentada en opción al título de Doctor en Ciencias en la especialidad Suelo E.T.S. De Ingenieros Agrónomos Dpto. De Edafología, Universidad Politécnica De Madrid Madrid, España, 2006.

(2006), los mayores retos para llevar a cabo dicha medición residen en las dificultades para evitar la interacción con el terreno, la sensibilidad de los instrumentos de medida en las condiciones de campo y las escalas milimétricas que son necesarias. En este tipo de medición es importante que la tecnología empleada sea fiable y que represente con la mayor veracidad posible la geometría del perfil del suelo,

Según Colomer, (2005)[3] y García (2006)[4], los métodos más competentes para la toma de datos durante la medición del perfil del suelo, son los que se soportan en técnicas de lectura sin contacto de tipo láser, como los desarrollados por (Huang y Bradford, (1990); Huang, (1998); Yadranka, (2011)[5]; Ayllón y Pérez, (2012)[6] y posteriormente perfeccionada por Darboux y Huang (2003; González, 2008). Esté método ha sido complementado con el de fotogrametría (Merel y Farres, 1998; Colomer, 2005). Aunque no se descarta el tradicional método de las varillas, este se soporta en técnicas de lectura por contacto (Wagner y Yiming, 1991).

Teniendo en cuenta la importancia que tiene conocer la geometría del perfil del suelo para la posterior toma de decisiones, se decidió desarrollar el presente trabajo que tiene como objetivo determinar la geometría del perfil de los suelos utilizando el método de tratamiento de imágenes.

MÉTODOS

El presente trabajo se desarrolló en el período comprendido de febrero a abril de 2013, en la Unidad Empresarial Básica (UEB) Abel Santamaría Cuadrado, ubicada en el municipio de Encrucijada. Las mediciones del perfil del suelo se tomaron en el campo 81, bloque 73 de la Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC) José Arcadio García.

Metodología para la determinación de la geometría del perfil del suelo

La adquisición de datos del perfil superficial del suelo se hace normalmente a través de métodos de contacto, utilizando un conjunto de varillas y con el apoyo de diversos métodos para la toma de datos de alturas (Kuipers, 1957; Whalley y Rea, 1994; Zribi *et al.*, 2000; Vargas, 2008[7]) esta se realizó sobre la base de las técnicas de los autores antes mencionados, aunque disminuyendo los costos de su desarrollo, se optó por utilizar la técnica clásica, más segura, el perfilómetro de varillas, con el que finalmente se llevaron a cabo las mediciones en campo. Las mediciones comenzaron a partir del décimo surco alejadas del borde del campo 10 m, para evitar posibles áreas con mayores modificaciones por causas del viraje de la maquinaria durante la cosecha. Se tomaron 50 mediciones en la diagonal del campo para abarcar toda el área experimental.

En este estudio se empleó el método de tratamiento de imágenes y el de la varillas para establecer posteriores patrones de comparación.

Metodología para la determinación del perfil del suelo con un perfilómetro de varillas

Durante estas mediciones se empleó un perfilómetro de varillas, desarrollado en el Departamento de Ingeniería Agrícola de la Universidad Central de Las Villas (Figura 1).

FIGURA 1. Perfilómetro de varillas construido.

Antes de la colocación del perfilómetro se limpia el área correspondiente al perfil de mediciones, retirando toda la paja, vegetación indeseable, obstáculos y restos de cosecha, que puedan obstruir las mediciones. Luego se coloca el perfilómetro justamente en el centro del surco de manera tal que quede a igual distancia para cada uno de los extremos, logrando así abarcar toda el área necesaria para la toma de los datos. Para garantizar la nivelación del perfilómetro se utilizó la cápsula un nivel de burbuja tradicional (Figura 2). Una vez colocado el instrumento se registraron manualmente las lecturas de las dimensiones del perfil del suelo. Y luego se introdujeron los datos en el software Matlab para graficar los resultados.

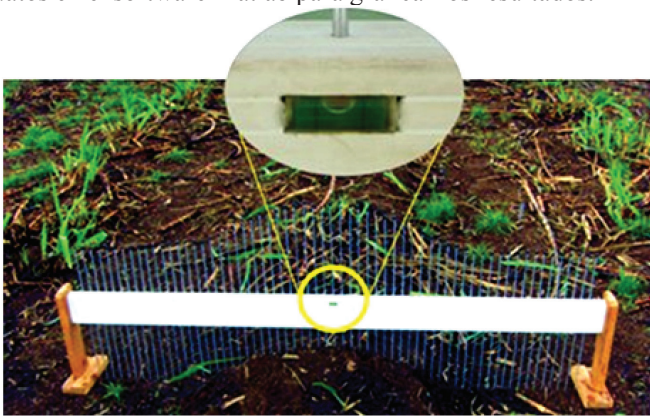

FIGURA 2. Cápsula del nivel de burbuja utilizada para nivelar el perfilómetro en el campo.

[3] COLOMER, J.: Cámaras fotogramétricas digitales, altímetros láser y captadores hiperespectrales: una nueva generación de sensores aerotransportados para la geoinformación, Institut Cartogràfic de Catalunya, ICC, Barcelona, España, 2005.

[4] GONZÁLEZ, S.: Actualidad, vigencia y necesidad del conocimiento de la Fotogrametria, 8pp., Universidad de La Habana, La Habana, 2008.

[5] YADRANKA, P.: Fusión de imágenes mediante wavelets para extracción de las partes verdes en imágenes agrícolas, 55pp., Tesis para optar por el Grado de Máster en Investigación en Informática, Universidad complutense de Madrid, Facultad de Informática, Madrid, España, 2011.

[6] AYLLÓN, J. y D. PÉREZ: Implementación de un sistema de detección de verdes para agricultura de precisión. En: Madrid, U. c. d. (ed.) 1 ed. Facultad de Informática, Madrid, España, 2012.

[7] VARGAS, E.: Monitoreo asistido de plantaciones agrícolas: Técnicas de procesamiento digital de imágenes e inteligencia artificial para diagnosticar y controlar la incidencia de la Sigatoka Negra, Ed. Instituto Tecnológico de Costar Rica, 2008.

Metodología para la obtención de la geometría del perfil del suelo aplicando el método de tratamiento de imágenes

Las mediciones con este método se realizaron en los mismos puntos medidos anteriormente con el perfilómetro de varillas, de modo que se puedan establecer comparaciones posteriores.

Para la obtención de las imágenes se colocó inicialmente, un fondo de color blanco perpendicular al surco (Figura 3), el cual consistente en una pizarra de cartón de 1,96 m de largo y 0,31 m de ancho, Dicho fondo servirá de contraste a la hora procesar las imágenes. Las mismas se tomaron con una cámara Canon A810 de 16 Mpx. Todas las imágenes se tomaron a una misma distancia, ángulo y altura de colocación.

FIGURA 3. Contraste utilizado para tomar las fotos del perfil del suelo.

Antes de la colocación del fondo de contraste se limpió el área correspondiente al perfil de mediciones, retirando toda la paja, vegetación indeseable, obstáculos y restos de cosecha, que puedan causar ruido en las mediciones (Figura 4).

Una vez tomadas las imágenes su procesamiento se desarrolló con la ayuda del software especializado Matlab R2012b el cual contiene un módulo para el procesamiento de imágenes digitales. Se programó una secuencia de operaciones que van desde la identificación y el filtrado de la imagen hasta la definición, ploteo y determinación de la geometría del perfil del suelo. Todo el proceso de tratamiento de las imágenes se realizó en una Laptop ACER ASPIRE 4739Z.

Metodología para el procesamiento de las imágenes en Matlab

FIGURA 4. Imagen original.

El proceso de recortado de la imagen, se obtiene al recortar la misma para simplificar el proceso y disminuir el gasto de recursos computacionales. Esto se realizó con el software especializado hyperSnap6 (Figura 5).

Luego la imagen es filtrada, este proceso es a menudo un funcionamiento no linear usado en el procesamiento de imágenes para reducir el ruido y los bordes. Uno de los filtros más efectivos es de mediana de 7x7, cuando la meta es reducir ruido y bordes de la imagen simultáneamente (Figura 6).

FIGURA 5**.** Imagen recortada en HyperSnap6 para procesar en Matlab.

FIGURA 6. Imagen filtrada.

Así mismo la imagen se somete a un proceso de segmentación (binarización) en el cual se reduce solamente en dos colores identificados, utilizando el método de Otzu mediante el cual se puede nivelar o convertir una imagen de intensidad, a una imagen binaria, el nivel es un valor de intensidad normalizado que queda en el rango [0, 1]. El método funciona escogiendo el umbral para minimizar la variación de los pixeles negros y blancos (Figura 7).

FIGURA 7. Imagen binarizada por el método de Otzu.

Una vez convertida en una imagen binaria la misma es rellenada, proceso que quita de una imagen binaria todos los componentes conectados menores que los pixeles P que se definan, y produce otra imagen binaria, predefinida en 8 pixeles para dos dimensiones, 26 pixeles para tres dimensiones (Figura 8).

FIGURA 8. Imagen rellenada.

Luego la función (imread) del Matlab puede importar del mapa de bits de Windows (BMP) imágenes que especifican un valor negativo por la altura de la misma. La especificación de BMP usa los valores negativos para indicar la orientación de la imagen y convertirla en una imagen negativo donde los pixeles blancos son convertidos en negros y viceversa (Figura 9).

FIGURA 9. Imagen en negativo.

Después la imagen es erosionada (imerode) y se realiza la corrección binaria, de la misma, este comando puede realizar múltiples correcciones al mismo tiempo que la imagen se procesa, usando cada elemento de la estructuración para suavizar los picos (Figura 10).

FIGURA 10. Imagen erosionada.

Para todo este proceso es necesario que a la hora de captar la imagen, no queden en el área que se pretende analizar residuos de cosechas, plantas indeseables o que el sol esté en una posición en la cual se creen sombras que generen interferencia o ruidos en la imagen, que entorpezcan el proceso de tratamiento de la imagen con el software.

Metodología para el procesamiento estadístico de los resultados

Para el procesamiento estadístico de los resultados se utilizó el software STATGRAPHICS. Centurion.XV.v15.2.14.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados de la medición del perfil del suelo aplicando el método de tratamiento de imágenes

Los resultados de la medición del perfil del suelo, demostraron que el método de tratamiento de imágenes es confiable para determinar la geometría del perfil del suelo (Figura 11), pues la curva obtenida del procesamiento de las imágenes sigue la misma tendencia exhibida por la curva trazada a partir de las mediciones del perfilómetro.

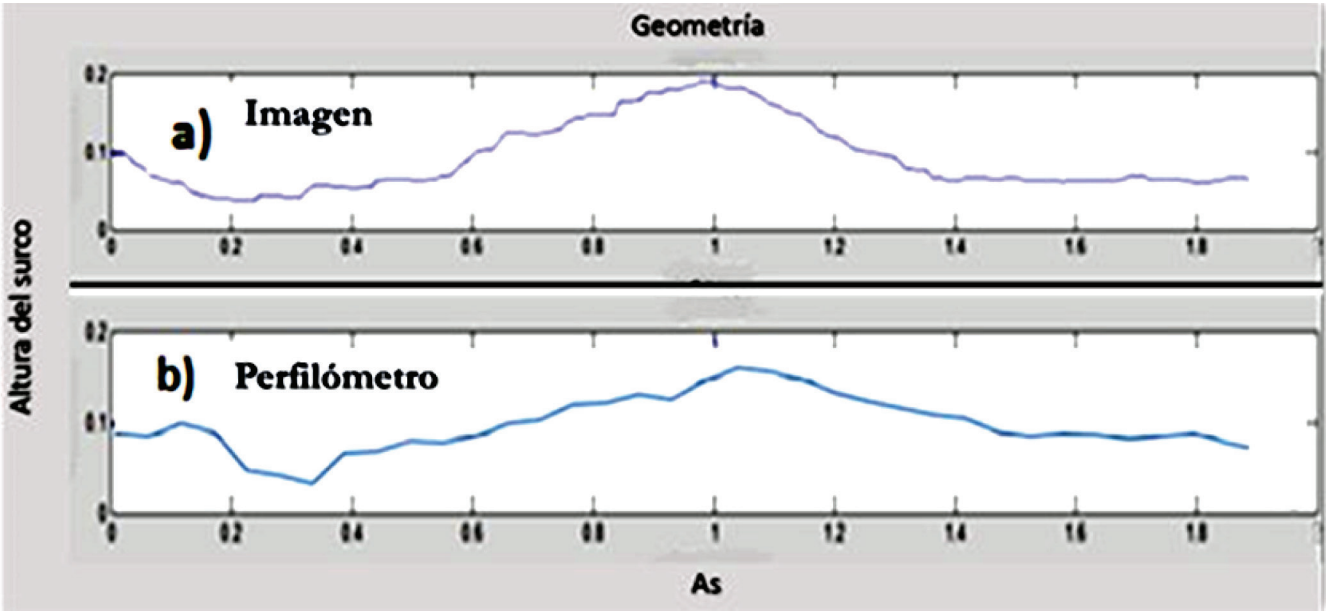

FIGURA. 11. Geometrías estimadas por ambos métodos.

No obstante los resultados evidencian (Figura 11), que existen diferencias en las partes extremas de ambos perfiles medidos, lo cual es un indicador de la influencia de los efectos que causan la presencia de materias extrañas que no pudieron ser filtradas durante el pos procesamiento de las imágenes, tales como, hierbas, restos de cosecha, y pajas de caña entre otras, haciéndose imprescindible que se tenga en cuenta a la hora de capturar la imagen que las condiciones del terreno sean las óptimas, para evitar que existan ruidos en la imagen.

Otro aspecto que tiene gran influencia en este resultado son los posibles efectos de borde, pues a la hora de recortar la imagen para su procesamiento hay que tener en cuenta los extremos, en función de evitar estos efectos, por tal motivo es necesario que las dimensiones del contraste excedan la longitud del perfil del suelo a medir en la transversal.

La diferencia entre ambos métodos, está dada por la diferencia que existe entre la ubicación de las coordenadas locales y globales de cada uno, lo cual es solucionado añadiendo un factor de corrección para homogenizar la escala de los mismos (Figura 11).

Una comparación de ambos métodos demostró que existen diferencias que se oscilan desde los 0,02 m hasta los 0,06 m aproximadamente, y se concentran en los extremos debido a las interferencias de los efectos de borde mencionados anteriormente.

La comparación entre las distribuciones de ambos métodos para la obtención del perfil del suelo mostró que no existen diferencias significativas entre los mismos, con un nivel de confiablidad del 99,73%.

El análisis de normalidad evidenció que los perfiles obtenidos por ambos métodos se ajustan una distribución normal para ambos, con una media que oscila desde los 0,18 m hasta los 0,22 m y una desviación estándar $\sigma =$ 4,13 y 4,15 para el perfilómetro y el método de imagen respectivamente (Tabla).

TABLA. Resultados de las pruebas de normalidad para ambas variables

Método	Prueba	Estadístico	Valor-p
Perfilómetro	Chi-Cuadrada	17,0541	0,196845
	Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,96775	0,439873
	Chi-Cuadrada	18,7838	0,129962
Tratamiento de Imagen	Estadístico W de Shapiro-Wilk	0,938602	0,0547223

CONCLUSIONES

- El método es confiable, teniendo en cuenta la correcta preparación del área antes de capturar la imagen a procesar.
- La comparación de la distribución de frecuencia de los datos en el análisis estadístico de la normalidad, demostró que no hay diferencias significativas entre ambos métodos.
- A la hora de tomar la imagen es necesario tener en cuenta que no queden residuos de cosecha, plantas indeseables u otros obstáculos que puedan hacer interferencia a la hora de analizar la imagen.
- Las dimensiones del contraste utilizado para capturar la imagen deben tener un excedente para poder corregir posibles efectos de borde que se originan al tomar las imágenes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DARBOUX, F. y C. HUANG: "An instantaneous-profile laser scanner to measure soil surface microtopography", *Soil Science Society of America Journal,* ISSN: 0361-5995, 67: 92-99, 2003.

HUANG, C.: *Quantification of soil microtopography and surface roughness. Fractals in soil science.*, United States, 1998.

HUANG, C. y J. BRADFORD: "Portable laser scanner for measuring soil surface roughness", *Soil Science Society of America Journal,* ISSN: 0361-5995, 54: 1402-1406, 1990.

KUIPERS, H.: "A reliefmeter for soil cultivation studies", *Netherlands J. Agric Sci*, 5: 255- 262, 1957.

MEREL, A. y P. FARRES: "The monitoring of soil surface developmen using analytical photogrammetry", *Photogrametric Record*, ISSN: 0031-868X, 16: 331- 345, 1998.

MERRILL, S.; C. HUANG; T. ZOBECK y D. TANAKA: "Use of the Chain set for scale-sensitive and erosion relevant measurement of soil surface roughness", *Sustaining the Global Farm. Eds. D.E. Stott, R.H. Mohtar and G.C. Steinhardt*, 57: 594-600, 2001.

OELZE, M.; J. SABATIER y R. RASPECT: "Roughness measurements of soil surfaces by acoustic backscatter", *Soil Science Society of America Journal,* ISSN: 0361-5995, 67: 241-250, 2003.

WAGNER, L. y Y. YIMING: "Digitization of profile meter photographs", *Transaction of the ASAE*, ISSN: 0001-2351, 34: 412-416, 1991.

WHALLEY, B. y R. REA: "A digital surface roughness meter", *Earth Surface Processes and Landforms,* ISSN: 0197-9337, 19: 809- 814 1994.

ZRIBI, M.; V. CIARLETTI; O. TACONET; J. PAILLÉ y P. BOISSARD: "Characterization of the soil structure and microwave backscattering based on numerical three-dimensional surface representation", *Analysis with a fractional Brownian model. Remote Sens. Environ*, 72: 159-169, 2000.

Recibido: 12/06/2014.
Aprobado: 23/07/2015.
Publicado: 07/09/2015.

Maykel Cruz Díaz, Prof. Asistente. Dpto. Ing. Agrícola. UCLV, Santa Clara, Villa Clara. CP 54830. Correo electrónico: maykelcd@uclv.edu.cu
Miguel Herrera Suárez, UCLV, Correo electrónico: miguelhs2000@yahoo.com
Alberto Taboada Crispi, Dpto. CEETI, UCLV, Correo electrónico: ataboada@uclv.edu.cu
Laura García Pedraza, Dpto. Matemática, UCLV, Correo electrónico: lgpedraza@uclv.edu.cu