
Diferencia fractal en superficies de tierra vertida con suelo de Tamaulipas

*Edgardo Jonathan Suárez-Dominguez*¹
*Yolanda Guadalupe Aranda-Jimenez*²

Recibido: 14/05/2013

Aceptado: 01/08/2013

Resumen

La tierra vertida es una técnica constructiva sustentable y económicamente viable para desarrollarse en Tamaulipas, por la disponibilidad de materiales y procedimientos de fabricación similares a los tradicionales. Son diversas las variables que deben estudiarse en estos elementos para conocer sus propiedades, entre las que se encuentran la rugosidad y la porosidad, las cuales son importantes debido a su estrecha relación con la resistencia mecánica y durabilidad del material estudiado. El presente trabajo tuvo por objetivo caracterizar superficies sólidas a partir de la dimensión fractal para conocer su uniformidad y porosidad, comparándola con una superficie de concreto. Los sólidos fueron obtenidos a partir de tierra vertida conformada de dos combinaciones de suelos estabilizadas con cemento provenientes del estado de Tamaulipas. Se encontró que una superficie de tierra vertida es menos irregular que una superficie de concreto además de tener una menor porosidad reflejada en una menor dimensión fractal; los resultados sugieren que esto es debido a la presencia de arcilla en las mezclas de tierra vertida.

Palabras clave: Tierra vertida, superficie fractal, porosidad

Abstract:

Poured earth is a sustainable construction and economically feasible technique to develop in Tamaulipas, by the materials availability and traditional manufacturing procedures uses. There are several variables to be considered in these elements for their properties, among them it can be found roughness and porosity analysis which are important because they are related to material mechanical resistance and durability. This study aimed to characterize solid surfaces using fractal dimension to know its uniformity and porosity, compared with a concrete surface. Solids were obtained from poured earth of two combinations of soils stabilized with cement from the state of Tamaulipas. We found that a surface of a sample, obtained with ground, is more uniform than poured concrete surface, and that fractal dimension is higher while porosity increases; results suggest that this is because of the presence of clay in the poured earth mixtures.

Keywords: Poured earth, fractal surface, porosity

1 Investigador del Mexican Institute of Complex Systems. Tlaxcala 111 esq. Av. Jalisco, col. Unidad Nacional. Ciudad Madero, Tamaulipas. (México). jsd@mics.edu.mx

2 Dra. en Arquitectura por la Universidad Autónoma de Tamaulipas (México) y profesora-investigadora de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, Campus Tampico-Madero, Tampico, Tamaulipas (México). yaranda@uat.edu.mx

INTRODUCCIÓN



La edificación utilizando tierra es conocida desde la antigüedad por ser el material predominante cercano a las viviendas construidas. Actualmente Houben, G. y colaboradores (2004) reconoce 12 técnicas de construcción con tierra entre las que se encuentra el de tierra vertida. Una de las ventajas de la construcción con tierra es un bajo coeficiente de transferencia de calor (Hall M.R. y Allinson D. 2010)

La tierra vertida se define como suelo en forma de fluido plástico, que contiene agregados finos y gruesos, incluso hasta el punto de grava, y puede desempeñar la misma función que el concreto magro (Doat P. et.al. 1990; Cid, J. et.al. 2011).

En la actualidad este tipo de construcción se presenta como una alternativa viable para ser aplicada en ciertas regiones del país. En Tamaulipas se han presentado iniciativas para elaboración de viviendas con estas técnicas principalmente el de tierra vertida debido a la problemática actual de vivienda (Ponce Sernicharo, G. et. al. 2010); debido al bajo nivel normativo en el mundo (Cid, J. et. al. 2011) es fundamental ahondar sobre las propiedades de esta técnica, de ahí la pertinencia de nuestro estudio. La principal aportación del documento es que la porosidad es distinta en tierra vertida en comparación con el concreto y que mientras más alto sea su valor es mayor la irregularidad presentada, lo que se correlaciona con el área superficial, la cual se incrementa con la porosidad; la porosidad por otro lado implica además una mayor absorción de agua y se encuentra relacionada con fallas estructurales debidas al material, los cuales son los principales detractores de la arquitectura de tierra (Chiappero R. O. & Supisiche M.C. 2006).

La dimensión fractal es una herramienta de los sistemas dinámicos que brinda información de acuerdo al enfoque en el que se utilice (Mandelbrot, B.B. 1998). Algunas propiedades de los elementos, como la rugosidad, pueden ser determinados a partir de esta herramienta (Vargas L.W. 2006); en efecto se han desarrollado modelos al respecto describiendo el perfil granulométrico de suelos (Atman, A.P.F. et.al. 2001). Se ha demostrado que un suelo se aglomera comúnmente de forma fractal (Valdez-Cepeda R.D. Olivares-Sáenz E. 1998) por lo que su distribución de partículas también lo es (Filgueira R.R. et.al. 2002)

Por otro lado, la porosidad es un parámetro que debe conocerse bien en los elementos arquitectónicos verticales, en efecto es conocido que se encuentra relacionada con la resistencia mecánica a la compresión y a la durabilidad de tal manera que a valores más altos de porosidad menor resistencia mecánica; simultáneamente por tanto, se tiene una vulnerabilidad mayor ante la agresividad del medioambiente (Mehta y Monteiro, 1998). Una mayor durabilidad implica un menor deterioro ocasionado por procesos físico como la abrasión o estrés producto (Morris, H. et.al. 2010). Se han realizado estudios para descripción de superficies durante su interacción con las gotas de lluvia a partir de herramientas de los sistemas dinámicos (Vivas Miranda, J.G. & Paz González, A. 2001), el nivel de daño ocasionado por la humedad es dependiente de la interacción entre los componentes siendo menor en los casos donde se encuentran estabilizantes de menor volumen, en efecto, los niveles de abrasión al suelo se ha relacionado con la dimensión fractal por conteo de cajas puesto que su disposición espacial depende de la morfología y tamaño de los componentes individuales (Duhour A. et.al. 2004).

Considerando que en México es nula la normatividad existente para análisis de estructuras de tierra (Cid, J. et.al. 2011), el método del coeficiente de rugosidad a partir de la dimensión fractal se propone como un método experimental que utilizado como primera aproximación brinda un soporte cuantitativo de la estructura estudiada.

PARTE EXPERIMENTAL

Se tomaron dos suelos de la región de Tampico, Tamaulipas. Se realizaron elementos de tierra vertida de acuerdo a las proporciones señaladas en la Tabla 1. Como muestra control se tuvo una mezcla de arena, grava y cemento denominada "Mezcla 1". Las proporciones señaladas fueron seleccionadas de acuerdo a los resultados obtenidos por Aranda y colaboradores (2012) en donde encontraron la mejor proporción costo-beneficio en cuanto a la resistencia a la compresión. Los moldes utilizados fueron de 40 cm de largo, 25 cm de ancho y 50 cm de altura.

Componente	Proporciones %(P/P)		
	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3
Cemento	10.8	10.8	10.8
Arena	39.2	0	0
Grava	39.0	39.0	0
Suelo arcilloso	0	7.9	0
Medrano	0	31.3	0
Champayán	0	0	78.2
Agua	11	11	11

Tabla 1.- Proporciones en peso para la elaboración de tierra vertida estabilizada con cemento. Proporciones volumétricas tal como se emplean en la preparación de mezclas en la construcción

Se tomaron muestras de sólido obtenidas, después de 28 días, de la parte superior de los elementos verticales fabricados. A dichas muestras se determinó la porosidad y se caracterizó la superficie por el método de la dimensión fractal. Para la determinación de la porosidad se utilizó la norma técnica brasileña NBR 13555.

Las superficies se observaron con un microscopio *Konus College #5302*, ocular *WF 15x*, con aumento 10X. Los patrones fueron fotografiados con una cámara *SONY DSC-W530 Cyber Shot* 14.1 megapíxeles, lente *Carl Zeiss* y zoom óptico 4X con una resolución de 7 megapíxeles. A los patrones formados se les determinó la dimensión fractal por conteo de caja mediante el programa *Image J v1.40g*. Cada imagen a color se convierte en una imagen de 8 bits, a partir de la cual se obtiene una imagen binaria del patrón a la cual se le determina la dimensión fractal vertical y horizontal de las imágenes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este sentido, los patrones que forman los sólido, como los aquí estudiados, se pueden caracterizar a través de la dimensión fractal de capacidad (G_c), definida como:

$$G_c = - \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\ln N_0(r)}{\ln(1/r)} \quad (1)$$

donde r es el tamaño de los N sitios en los cuales se divide la imagen en 2D y N_0 es el número de sitios en los cuales se detecta la presencia de sustancia (Gardiner, 2004).

El valor de la dimensión fractal en un sistema puede variar en dependencia de los procesos dinámicos que tienen lugar y de su naturaleza aleatoria por lo que puede describir un sistema a partir de su morfología. En este trabajo, las morfologías corresponden a las imágenes obtenidas de acuerdo a la parte experimental anteriormente descrita, los procesos dinámicos son referidos a las interacciones entre las partículas que conforman a la tierra vertida así como las características de las mismas, principalmente su tamaño, siendo mayor el de la grava que la arena y a su vez ésta que la arcilla.

Los resultados en cuanto a la porosidad fueron de 12.1 %, 8.3 % y 9.2% en volumen para las Mezclas 1, 2 y 3 respectivamente. Puede notarse una notable diferencia en este valor; posiblemente debida a la presencia de la arcilla que se encuentra totalmente ausente en la mezcla de concreto y que ofrece una mayor estabilización en las mezclas de tierra.

Los resultados de análisis de la dimensión son presentadas a continuación.

Determinación de la dimensión fractal de la superficie de las muestras.

La dimensión fractal de la superficie (G) de cada muestra se estima como:

$$G = f_h + f_v$$

Donde f_h es la dimensión fractal del perfil horizontal, f_v es la dimensión fractal del perfil vertical. La tabla 2 muestra los resultados obtenidos a partir del análisis de la dimensión fractal de cada uno de las superficies de las muestras. σ_f es la desviación estándar de G .

muestra	G_{pro}	σ_f
Mezcla 1	1. 2237	0.0109
Mezcla 2	1. 1964	0.0005
Mezcla 3	1. 2111	0.0123

Tabla 2. - Resultados de la dimensión fractal promedio G_{pro} y σ_f desviación estándar de G .

Puede observarse que la dimensión fractal más alta se tiene para la muestra de concreto mientras que la que corresponde a la de tierra vertida preparada con un solo suelo (Champayán) y dos distintos (suelo arcilloso y medrano) son menores. Como la dimensión fractal tiene un valor de 1 para las superficies lisas y 2 para las más rugosas (Gadelmawla, E.S. et.al. 2002) podemos notar que las superficies de sólidos obtenidos a partir de tierra son menos porosas que la de concreto lo cual concuerda con los resultados experimentales de porosidad.

Es evidente que las mezclas de concreto contienen principalmente agregado fino (arena), grueso (grava) y cemento mientras que en las de tierra vertida se sustituye parte de ella con limo y arcilla, cuyos tamaños de partícula se encuentran por debajo de las de arena.

En las Figura 1, 2 y 3 pueden observarse las microfotografías obtenidas de las muestras. De ellas se desprende que la correspondiente a la mezcla 1 tiene menor uniformidad en su superficie. De lado derecho en cada una de las figuras aparece el perfil de imagen encontrando una menor anisotropía en la mezcla 2 y 3.

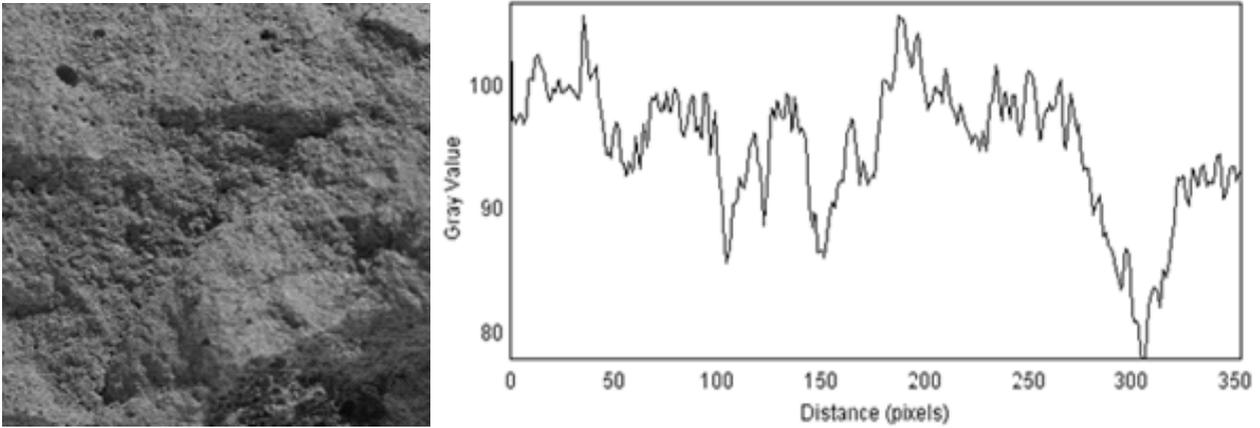


Figura 1.- (izquierda) micrografía de la muestra obtenida de la muestra 1. (derecha) patrón de superficie

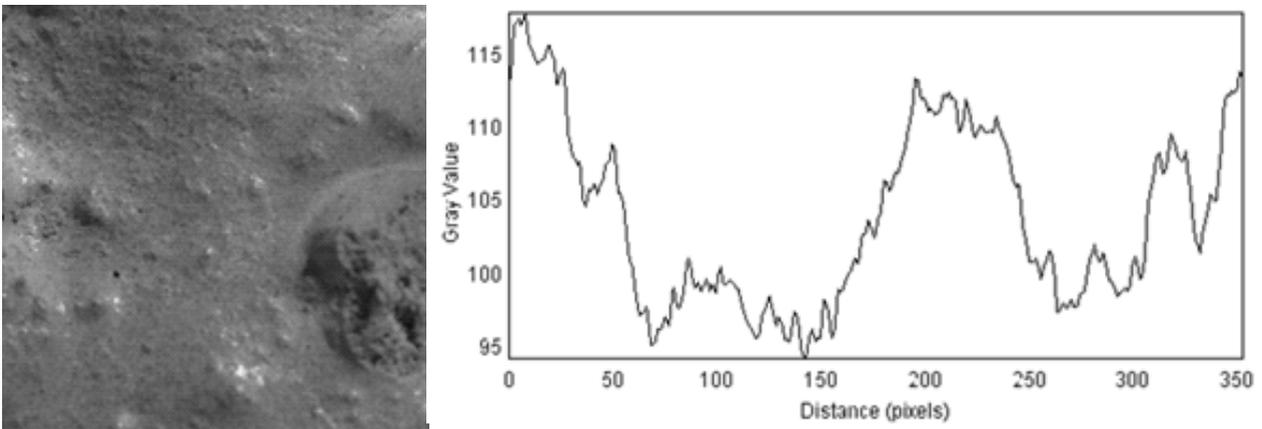


Figura 2.- (izquierda) micrografía de la muestra obtenida de la muestra 2. (derecha) patrón de superficie de la misma micrografía.

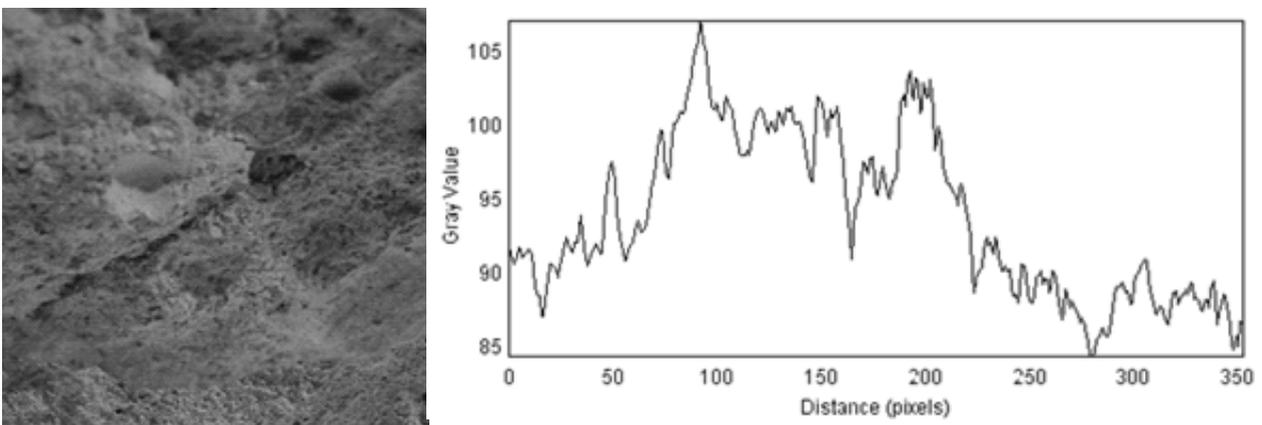


Figura 3.- (izquierda) micrografía de la muestra obtenida de la muestra 3. (derecha) patrón de superficie.

La disminución de la uniformidad de la Mezcla 1 debe relacionarse con la ausencia de partículas de menor tamaño quienes ofrecen una mayor estabilización (Valdez-Cepeda R.D. Olivares-Sáenz E. 1998)

Determinación del coeficiente de rugosidad de los perfiles de cada muestra

Para saber qué tan uniforme es una superficie, cuantitativamente, se estudió el coeficiente de rugosidad local (a) del perfil, determinado por:

$$a = 2 - f$$

Donde f corresponde a la dimensión fractal, horizontal o vertical, del espécimen estudiado. El coeficiente de rugosidad por tanto, nos sirve para cuantificar el nivel de anisotropía de la superficie, esto es cómo varía la altura de la superficie con respecto a la distancia estudiada, por otro lado mientras menor es el coeficiente de rugosidad, la rugosidad de la superficie es mayor.

En la tabla 3 se muestran los resultados de los coeficientes de rugosidad del perfil horizontal (a_h), del perfil vertical (a_v), promedio (a_{pro}) y la desviación estándar de J (s_a).

muestra	a_h	a_v	a_{pro}	s_a
Mezcla 1	0.7841	0.7686	0.77635	0.0109
Mezcla 2	0.8040	0.8032	0.8036	0.0005
Mezcla 3	0.7976	0.7802	0.7889	0.0123

Tabla 3.- Resultados para los diversos coeficientes de rugosidad.

Los datos mostrados corroboran un coeficiente de rugosidad menor para la Mezcla 1 incrementándose para la Mezcla 2 y 3 hasta un 4.6%.

Estimación del comportamiento del área fractal de cada muestra

El área fractal correspondiente a una muestra de longitud característica L se estima como:

$$A_f \propto L^f$$

donde para una superficie lisa $f = 1$.

Los comportamientos estimados a partir de los resultados experimentales de la dimensión fractal en cada caso se muestran en la figura 4.

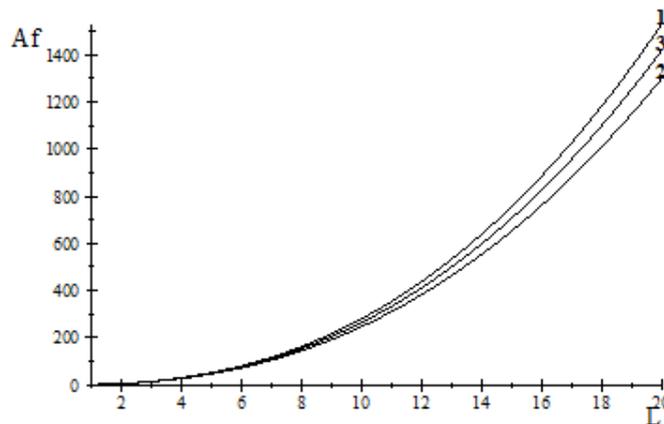


Figura 4.- Área fractal según los resultados experimentales obtenidos

Se encuentra que el área fractal es mayor para el caso de concreto mientras que para los casos de muestras de tierra es más baja. Este resultado se corresponde con el obtenido en la irregularidades de la superficie puesto que, mientras mayor sea la anisotropía, mayor será el área observada, consecuentemente el área superficial es mayor para las superficies con porosidad más alta.

El incremento del área superficial deberá permitir una interacción mayor entre el material y el medio ambiente lo que repercutirá en la reacción posible entre el aire y los compuestos químicos que compongan el material, así como otros compuestos principalmente el agua. En investigaciones futuras podrían hacerse estudios entre la regularidad de la superficie y su efecto ante la abrasión y verificar otros efectos en elementos de tierra vertida.

CONCLUSIONES

Los resultados de la caracterización de dos suelos a partir de la dimensión fractal objetivo de este trabajo se describen a continuación:

La porosidad de la mezcla de dos suelos estabilizada con cemento y la de un solo suelo que cuenta con todos los componentes para tierra vertida (pues incluye agregados finos y gruesos simultáneamente) fueron 31.4% y 23.9% más baja, respectivamente, que la de concreto.

Se encontró que las superficies de muestras obtenidas a partir de mezclas de concreto son más irregulares (hasta un 4.6%) que las de Champayán o mezclas de un suelo arcilloso con medrano. Esta anisotropía pudo cuantificarse a partir de la dimensión fractal.

Los resultados sugieren que el cambio de la rugosidad en la superficie puede deberse a la presencia de arcilla cuyo tamaño de partícula es mucho menor que el de la arena y que se encuentran presente en la Mezcla 2 y 3 pero no en la 1 lo cual es común para el concreto magro.

Es necesario ampliar los estudios para observar la relación de la irregularidad de la superficie y porosidad con otras variables como la permeabilidad o la resistencia mecánica a la compresión.

Referencias bibliográficas

- Aranda-Jiménez Y.G., González-Defelice A.A., Roux-Gutierrez R., Espuna-Mujica J.A., Arvizu-Sánchez E. (2012) Tierra Vertida. Hormigón Verde. Estudio de los materiales componentes, su dosificación, interacción y puesta en obra de dos contextos. Informe Técnico. Programa de cooperación bilateral México- Argentina. CONACYT-MINCYT
- Atman, A. P. F., Vivas Miranda, J. G., Paz Gonzalez, A., & Moreira, J. G. (2001). Lattice model for approximate self-affine soil profiles. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 295(1), 64-70.
- Cid Falceto, J., Ruiz Mazarron, F., & Cañas Guerrero, I. (2011). Las normativas de construcción con tierra en el mundo. *Informes de la construcción revista de información técnica*, 63(523), 159-169.
- Chiappero, R. O., & Supisiche, M. C. (2003). Arquitectura en tierra cruda: *Breves consideraciones sobre la conservación y la restauración*. Nobuko Sa.
- Doat, P., Hays, A., Houben, H., Matuk, S., & Vitoux, F. (1990). Construir con tierra. Fondo Rotario Editorial. Bogotá, Colombia
- Duhour, A., Costa, C., Momo, F., & Falco, L. (2004). Estructura fractal del suelo bajo distintos sistemas de manejo. *Ciencia del Suelo*, 22(1), 36-39.

- Filgueira, R. R., García, M. G., Roggiero, M. F., Cerisola, C. I., Aragón, A., & Sarli, G. O. (2002). Us del modelo fractal para caracterizar la distribución de tamaño de partículas en suelos. *Ciencia del suelo, Santa Rosa*, 20(2), 114-117.
- Gadelmawla, E. S., Koura, M. M., Maksoud, T. M. A., Elewa, I. M., & Soliman, H. H. (2002). *Roughness parameters. Journal of Materials Processing Technology*, 123(1), 133-145.
- Gardiner, C. W. (2004). *Handbook of stochastic methods* (Vol. 3). Springer Verlag
- Hadjri, K., Osmani, M., Baiche, B., & Chifunda, C. (2007). Attitudes towards earth building for Zambian housing provision.
- Hall, M. R., & Allinson, D. (2010). Transient numerical and physical modelling of temperature profile evolution in stabilised rammed earth walls. *Applied Thermal Engineering*, 30(5), 433-441.
- Hall, M., & Djerbib, Y. (2004). Rammed earth sample production: context, recommendations and consistency. *Construction and Building Materials*, 18(4), 281-286.
- Houben, H., & Guillaud, H. (1994). *Earth construction: A comprehensive guide*. Intermediate Technology Publications.
- Maniatidis, V., & Walker, P. (2008). Structural capacity of rammed earth in compression. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 20(3), 230-238.
- Mehta, P. K. (1998). *Concreto: estructura, propiedades y materiales*. IMCYC.
- Morris, H., Walker, R., & Drupsteen, T. (2010). Observations of the performance of earth buildings following the September 2010 Darfield earthquake. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 43(4), 393.
- Ponce-Sernicharo, G. Esquivel Hernández, M.I. Flores Arenales, R. (2010) CESOP: Situación de vivienda en el Estado de Tamaulipas. 2005-2030. Publicación del Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública de la Cámara de Diputados, LX Legislatura, 89.
- Valdez-Cepeda, R. D., & Olivares-Sáenz, E. (1998). Geometría fractal en la ciencia del suelo. *Terra*, 16(3) 277-288.
- Vargas, W. L., Pineda, L. M., & Santaella, L. E. (2007). Rugosidad y textura de superficies: experimentos y simulaciones. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 16(2), 5.
- Vivas-Miranda, J. G., & Paz González, A. (1998). Influencia de las características iniciales de la superficie y la precipitación en la dimensión fractal del microrrelieve del suelo. *Cadernos Lab. Xeológico de Laxe* (23) 121-136