



Factores y mecanismos de formación de costras calcáreas estructurales en suelos

Factors and mechanisms of structural calcareous crust formation in soils

Angela Pinzon Pinto¹✉, Jorge Alberto Sánchez Espinosa²✉

¹ Lic. en Biología. Agróloga. Magister.

² Antropólogo. Agrólogo. Magister, PhD.



Vol. 54 (1 y 2) de 2024 | pp. 40 - 47 | ISSN 0562-5351 E-ISSN 2665-6558 | REC.: 25/02/2026 - ACEP.: 23/03/2026

RESUMEN

La formación de una costra superficial en el suelo es un proceso dinámico; es el resultado de varios factores principalmente del tipo de suelo y sus propiedades físicas, químicas y mineralógicas, como también, características de la precipitación, manejo del suelo y uso de fertilizantes. Existen dos tipos fundamentales de costras: estructurales y sedimentarias, según su proceso de formación. Las costras estructurales: son aquellas cuya estructura es generada por el desplazamiento y redistribución vertical in situ de las partículas tras la destrucción de las propiedades de los agregados y de la reorganización de diversos componentes en el seno de esta. En muchas de las descripciones de las costras estructurales se han podido identificar uno o incluso más microhorizontes, que se han interpretado como niveles que permiten dilucidar procesos importantes para su formación. Los microhorizontes más frecuentemente descritos en esta investigación presentan niveles de 1-10 mm, con porosidad muy poco desarrollada y diámetro medio de poro inferior al del material subyacente. En la parte más superficial de una costra estructural se aprecia un nivel más fino "microhorizonte" de sellado superficial, de 0,02 a 0,1 mm, formado por rotura y posterior compactación de los agregados o por depositación directa a partir de materiales en suspensión. El objetivo de esta investigación es el de conocer los factores y mecanismos que ocasionan las costras estructurales en un suelo clasificado como Fluvaquenthic Endoaquolls, localizado en el Valle del Cauca, como también identificar la interrelación que hay entre las propiedades físicas, químicas y mineralógicas.

Palabras clave: Costras calcáreas, microhorizontes, estructuras, suelo, agregados.

ABSTRACT

The formation of a crust surface on the soil is a dynamic process; it results from several factors, primarily the soil type and its physical, chemical, and mineralogical properties, as well as precipitation characteristics, soil management, and fertilizer use. There are two fundamental types of crusts: structural and sedimentary, based on their formation process. Structural crusts are those whose structure is generated by the displacement and in-situ vertical redistribution of particles after the destruction of aggregate properties and the reorganization of various components within the crust. In many descriptions of structural crusts, one or more microhorizons have been identified, which have been interpreted as layers that help elucidate important processes in their formation. The microhorizons most frequently described in this research are 1–10 mm thick, with very little porosity and a mean pore diameter smaller than of the underlying material. In the uppermost part of a structural crust, a finer layer, the "microhorizons" of surface sealing, ranging from 0.02 to 0.1 mm, is observed, this layer is formed by the fracturing and subsequent compaction of aggregates or by direct deposition from suspended materials. The objective of this research is to understand the factors and mechanisms that cause structural crusts in a soil classified as Fluvaquenthic Endoaquolls, located in the Valle del Cauca, as well as to identify the interrelationship between its physical, chemical, and mineralogical properties.

Keywords: Calcareous crusts, microhorizons, structures, soil, aggregates.

INTRODUCCION

La formación de costras superficiales está muy presente en los suelos del mundo y Colombia no ha sido ajeno a este tipo de formaciones. Mullins (1987) propuso algunos factores y mecanismos de la formación del encostramiento y consideró dos tipos de costras: *estructurales* y *endurecidas*; constató que para que se formen dichas costras se necesita: que el humedecimiento del sistema moviliza parte o la totalidad del limo y la arcilla; durante las primeras etapas de secado del material movilizado es transportado detrás del menisco de agua para ocupar concavidades en la superficie de los granos de arena formando puentes anulares entre ellos. A medida que avanza el secado, a pesar de la entrada de aire en el suelo, el material movilizado permanece saturado hasta alcanzar un potencial muy bajo, en consecuencia, la contribución del potencial matricial al esfuerzo efectivo proporciona un componente principal de la resistencia del suelo. La formación de costras en todas sus formas implica la destrucción inicial de los agregados del suelo, por lo tanto, es importante revisar los materiales y factores que afectan las fuerzas que unen los agregados del suelo, estos se mantienen unidos principalmente por fuerzas electroquímicas que unen las partículas del mineral arcilloso (J Morin) La estabilidad de los agregados depende de: la disposición de las partículas reales del suelo y el tipo de mineral arcilloso de sus características electroquímicas y de la concentración eléctrica de la solución del suelo. Las costras del suelo son una preocupación para los agricultores puesto que: a) evitan que el agua se infiltre porque llenan el espacio del poro cerca de la superficie, b) las costras restringen la emergencia de las plántulas, c) reducen la difusión de oxígeno a las plántulas; la germinación depende de la difusión de oxígeno desde el aire a través del suelo, si las costras del suelo están húmedas, el oxígeno

se reduce hasta en un 50 por ciento; d) la reflectancia de una superficie con costra es mayor que la de una superficie sin costra, una mayor reflectancia da como resultado menos absorción de energía del sol, d) las costras aumentan la erosión eólica en aquellos suelos que tienen una cantidad apreciable de arena. La lluvia produce granos de arena limpios que no están unidos a la superficie del suelo, estos granos de arena limpios son sujetos al movimiento del aire a lo largo de la superficie lisa de la corteza. Adicionalmente incluimos la respiración del suelo debido a que está ligada a muchos aspectos entre ellas variaciones pedoclimáticas a la diversidad biológica a las propiedades como es la física, la química la mineralogía.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio. El estudio se llevó a cabo en la zona rural del municipio de Obando departamento del Valle del Cauca, Colombia; geomorfológicamente corresponde al plano de inundación del río Cauca de carácter meándrico activo, específicamente en la cubeta de desborde, el material de origen es de aluviones moderadamente gruesos y finos, el suelo se clasifica como Fluvaquentic Endoaquolls, franca gruesa, isohipertermica. (Figura 1)

METODOLOGÍA

Se colectaron muestras de la capa superficial de las costras del suelo con el fin de conocer sus propiedades físicas, químicas, mineralógicas y micromorfológicas, (Métodos del IGAC, 2016). Desde el punto físico, se analizó la textura por el método de la pipeta; la estabilidad de la estructura por el método de desleimiento (USDA, 1999), para la infiltración se utilizó el miniinfiltrómetro, los límites de Atterberg por el método de la cazuela de Casagrande y la compactación con el penetrómetro de bolsillo. En cuanto a las propiedades químicas se

midió el pH, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y cuantificación de las bases (métodos del laboratorio de suelos del IGAC). Para el estudio mineralógico se emplearon las técnicas de microscopía óptica y difracción de rayos-X, a fin de establecer la composición mineral de las arenas y las arcillas. Para la descripción micromorfológica se utilizaron los conceptos y términos técnicos descritos en el Handbook (1985). Las mediciones de respiración de las costras por el método de de Soil Field Test – Solvita, el cual consiste en tomar el suelo a una humedad cercana a la capacidad de campo se inserta la punta de la paleta en el suelo, se ajusta la tapa y se mantiene a una temperatura ambiente (apartado de la luz solar) durante 24 horas, después de este tiempo se compara el color de la paleta con la clave de colores de la prueba.



Figura 1. Costras del área de estudio (foto A. Pinzón)

RESULTADOS

Con el fin de determinar los procesos y mecanismos de la formación de la costra estructural en estudio, se discuten los efectos de las propiedades físicas, químicas y mineralógicas; y la relación que hay entre ellas en la formación de dicho proceso.

Propiedades físicas:

Textura: franco-limosa. En el estereomicroscopio se observan tres

capas (fig. 2a) con diferente distribución de partículas. Una capa de arena suelta (fig.2b) que se superpone a una capa delgada de material más fina (Figura 3) con muy baja porosidad y es la que impide el movimiento del agua y restringe la entrada del aire.

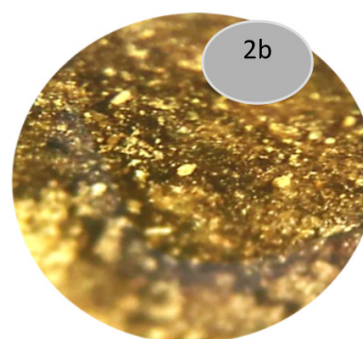
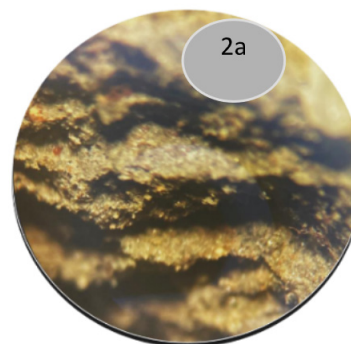


Figura 2a. Microhorizontes de la costra estructural
Fig. 2b. Capa de arena suelta muy fina vistas mediante el estereomicroscopio. (Fotos: Angela Pinzón)

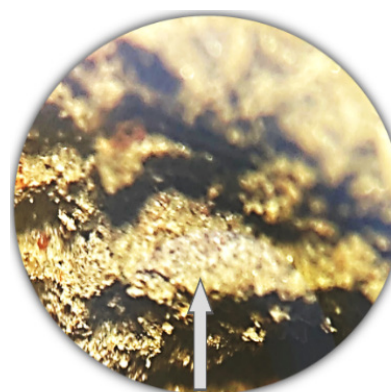


Figura 3. Capa de arena que se superpone a una capa delgada de material más fina (Foto A. Pinzón)

Estructura: el desarrollo de las costras está muy relacionada con la estabilidad de los agregados; se considera que el alto porcentaje de limos es uno de los componentes desfavorables para generar agregados, por lo tanto, no hay un tipo de agregados que se puedan definir en estas costras. Las costras reducen notablemente la entrada del agua al suelo, debido a la baja porosidad, agotando su posible almacenamiento y e impidiendo la germinación de la semilla.

El control de la distribución de los tamaños de los agregados juega un papel muy importante en el proceso de formación de costras, agregados de menor tamaño originan poros muy pequeños favoreciendo su formación,

mientras que agregados más grandes son más resistentes a la degradación y originan un tamaño de poro mayor.

Índice de plasticidad: la prueba de Índice de Plasticidad (IP) es menor de 30, resultado muy bajo, lo cual indica la baja presencia de arcilla.

Resistencia a la penetración: La medición de resistencia a la penetración fue de 0.5 kg.cm⁻² es decir que la costra es muy frágil y se puede fragmentar fácilmente, al final dejan un suelo sobre la superficie sin estructura. La tabla 1 muestra las propiedades físicas realizadas a las costras.

Tabla 1. Propiedades físicas de la costra

Textura	Estabilidad estructural	Índice de plasticidad	Resistencia penetración kg.cm ⁻²	Infiltración cm/t
FL	Muy baja	<30	0.5	0.001

Infiltración: para la infiltración se utilizaron dos métodos, uno mediante la prueba de penetración de gotas (WDPT, Water Drop Penetration Time), que consiste en cuantificar el tiempo que tarda en penetrar una gota de agua en una muestra de suelo: en la costra no penetró el agua. La segunda medición se hizo con el miniinfiltrómetro y el resultado fue de 0.001 cm en 10 minutos.

Respiración: de llevo a cabo mediante el método de Soil Field Test – Solvita y se comparó el color de la paleta introducida en el suelo (durante 24 horas) con la escala de respiración de la prueba; no se encontró cambio de color en la paleta, esto permite inferir que no hay actividad de edafofauna, fig. 4.



Figura 4. Equipo de Soil Field Test – Solvita (foto de: Angela Pinzón)

Propiedades químicas: los análisis químicos de la costra del suelo evidencian reacción básica, la capacidad de intercambio catiónico es media, las bases totales son medias, la saturación de bases es alta; los valores de calcio y magnesio son altos, mientras que sodio, potasio y fósforo son bajos; finalmente el carbono orgánico es muy bajo.

MINERALOGÍA

Para el estudio mineralógico se emplearon las técnicas de microscopía óptica y difracción de rayos-X, a fin de establecer la composición mineral de las arenas y las arcillas respectivamente y determinar cuál es la especie o especies característica(s) de las costras.

Mineralogía de arcillas: los minerales más abundantes en las costras estudiadas se relacionan a continuación: clorita (14,0

Å – 7,1 Å), compuesta por capas alternas, mezcladas y ordenadas de diferentes tipos; esta es producto de la alteración de silicatos de Mg-Fe; los suelos en donde se presenta este mineral son susceptibles a la dispersión de arcilla.

Caolinita (7,21 Å – 3,58 Å) es también un mineral arcilloso abundante, cuya relación es 1:1, tetraedro-octaedro significa que se encuentra formada por láminas de tetraedros de silicio con fórmula Si_2O_3 y de octaedros de aluminio con fórmula $Al_2O_2(OH)_4$. Tabla 2. Illita (10,0 Å – 5,0 Å) está presente, compuesta por tres capas, dos de Si-tetraedro y una central de octaedro no expandible, es una arcilla micácea diferenciándose por tener menos silicio sustituido por aluminio, más agua y la propiedad de fijar el potasio y el nitrógeno en forma de amonio en los suelos.

Tabla 2. Composición mineralógica de la fracción arcilla en relación con el análisis de difracción de rayos X.

Clorita	Illita	Hornblenda	Caolinita	Cuarzo
'+++	'+	Tr	'+++	'+
'++++ Dominant (>50%); +++ Abundant (30-50%); ++ Common (15-30%); + Presence (5-15%); Tr: Traces (<5%).				

Mineralogía de arenas: la fracción arenosa está dominada por cuarzo subangular y subredondeado y se constituye en el mineral más abundante seguido por la hornblenda. Los granos alterados son especialmente cuarzo, biotita y hornblenda, y algunos productos ferruginosos. Los feldespatos son especialmente plagioclasa y feldespato

potásico, los minerales pesados son de circón, opacos y tienen tamaño y forma variable (redondeado e irregular) de color rojo amarillento en luz reflejada probablemente de hematita y se registra también la presencia de magnetita (Figura 5). Los fragmentos líticos son de origen ígneo metamórfico y se distribuyen de manera irregular sin sorteamiento. Tabla 3.

Tabla 3. Composición de la mineralogía de arenas

Qz	P	Hr	Op	GrA	Zr	B	He	Cl	Gr	Fp	Fl	Mt
25	6	16	12	9	3	5	3	3	Tr	4	8	6
Qz: quartz; P: piroxeno; Hr: hornblenda; Op: opacos; GrA: granos alterados; Zr: Zircon; B: biotita; He: hematita; Cl: clorita; Gr: granate; Fp: feldespatos; Fl: fragmentos líticos; Mt: magnetita.												

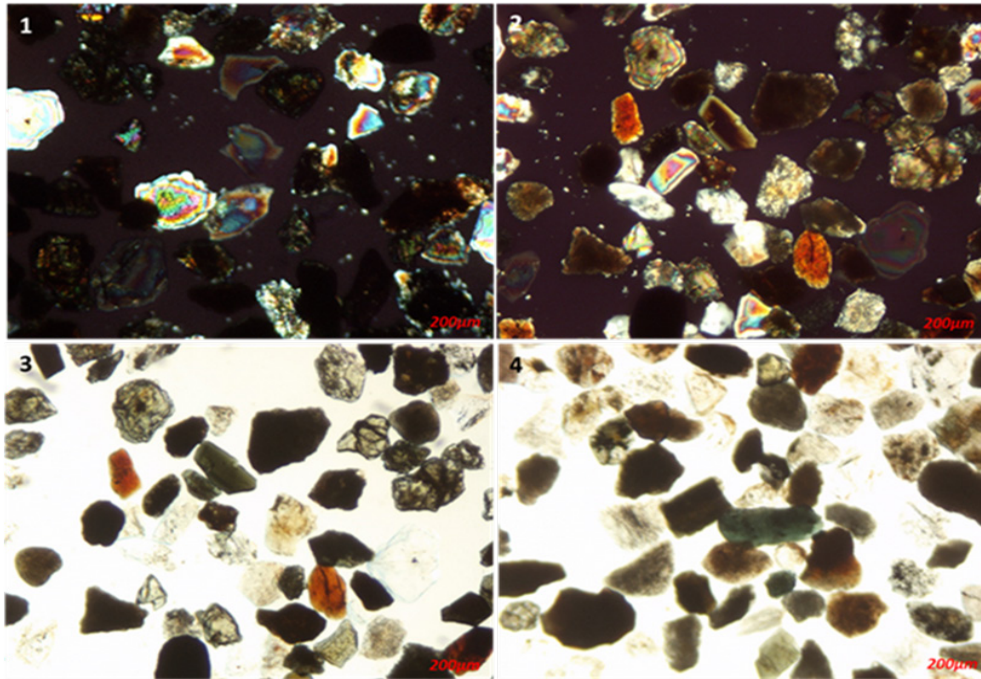


Figura 5. Microfotografías de las arenas 1 y 2 con NX (Foto Jorge Sánchez)

MICROMORFOLOGÍA

El uso de la microscopía óptica permite analizar las características de la desagregación desde los primeros estadios y su evolución a lo largo del tiempo. Entre las características observadas, cabe destacar el desarrollo de microhorizontes por segregación de partículas de diferentes tamaños. La caracterización micromorfología de costras estructurales desarrolladas en suelos agrícolas del Valle del Cauca (Colombia) tienen la ventaja de que permiten visualizar y comprender los rasgos específicos del material de este tipo de costra. Las características de estas son las siguientes: espesor milimétrico, porosidad no conectada y muy escasa, caos de los agregados destruidos *in situ* por el impacto de las gotas de lluvia o del riego de alta intensidad en esta zona. Se ha establecido una relación directa entre la estabilidad de los agregados y la susceptibilidad del suelo a los cambios fuertes de humedad. Las observaciones con microscopio óptico en láminas delgadas de la muestra (fig. 5) permitieron diferenciar

con claridad discontinuidades; al menos tres capas o bandas que hemos denominado microhorizontes y en estos se aprecia con frecuencia una selección de granos de diferente tamaño.

El microhorizonte más próximo a la superficie (5) está formado por partículas relativamente grandes, con tamaños que oscilan aproximadamente entre 0.1 a 0.2mm., pueden alcanzar hasta 0.5mm a lo largo del eje mayor. Se aprecia cierta selección por diámetros de partículas frecuentemente angulares o subangulares, de modo que se diferencian de las bandas vecinas por la menor abundancia de materiales laminares. El segundo microhorizonte (6) es de un color un poco más oscuro que el primero, está formado por partículas de menor tamaño y mejor clasificadas que el microhorizonte de superficie. No se aprecia una zona de transición brusca con un límite claro entre las microestructuras; aunque está separada de la tercera por una capa de partículas similares en aspecto y tamaño a las de la

primera. El aspecto de las partículas de este microhorizonte a mayores aumentos (x121) se puede observar en dos microfotografías (fig. 6), apreciándose partículas con diferentes aspectos que contrastan entre sí, subredondeados y laminares se encuentran superpuestas unas a otras; el contraste es mayor dado que las formas laminares tienden a presentar una orientación preferencial. Por tanto, el segundo microhorizonte se presenta como una formación aproximadamente simétrica. El tercer microhorizonte (7) es de color más oscuro, se puede atribuir a que el plasma es más abundante en él y no alcanzó a ser afectado por el agua.

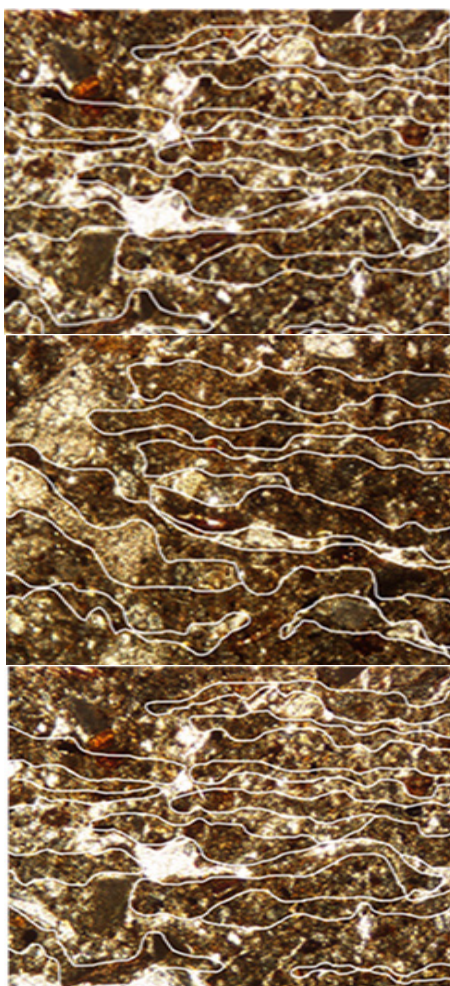


Figura 6. Microfotografías de secciones delgadas con microestructura laminar con NP y aumento 5X.

Al observar la costra en conjunto, se aprecian discontinuidades y oscilaciones en cuanto al tamaño de grano y la distribución granulométrica, que deben estar relacionadas con los episodios de precipitación y riego, y con las características del suelo, especialmente con la estabilidad de la estructura, el uso y el manejo del suelo.

CONCLUSIONES

La revisión bibliográfica realizada ha puesto de manifiesto que se pueden utilizar criterios morfológicos sencillos para caracterizar diversos tipos de costras formadas en la superficie del suelo. Entre los principales criterios considerados se incluye la porosidad (abundancia y tipo) y la orientación y distribución de partículas gruesas y elementos finos. La identificación del tipo y grado de superficies encostradas y del estudio de degradación del suelo asociado al mismo proporciona información de primer orden para predecir la evolución de la infiltrabilidad del suelo y la susceptibilidad a la erosión. La descripción morfológica de microhorizontes también es posible utilizando las técnicas habituales en microscopía óptica y electrónica de barrido, en ellas, se pueden distinguir diferentes tipos de costras y analizar la relación con las condiciones edáficas y medioambientales, así como la interacción entre la dinámica de la evolución de los diferentes tipos descritos, como también fenómenos como la desagregación, la infiltrabilidad, inhibición de la entrada del agua al suelo por la ausencia de macro y mesoporos y una muy baja microporosidad, restricción de la emergencia de las plántulas, aumento de la erosión eólica o hídrica, reducción de la edafofauna del suelo, disminución de la difusión del oxígeno a las plantas, y una ausencia de respiración del suelo, proceso del suelo esencial para la edafofauna, a la cual se le ha dado muy poca importancia.

Sin duda, el único método recomendable contra la formación de costras es el mantenimiento de una buena estructura del suelo, esto requiere mantener un nivel adecuado de materia orgánica y un laboreo apropiado, de acuerdo con los requerimientos de cultivo, con las herramientas y con la maquinaria adaptada al tipo de suelo. La intensidad y la energía cinética del riego, especialmente por aspersión, pueden causar encostramiento del suelo.

BIBLIOGRAFÍA

ANGULO, J.R. 2020. Protección del suelo frente a dos fenómenos físicos que reducen su calidad estructural. *Fitoser Agro*

BRESSON, L. M. and CADOT, L. 1992. Illuviation and structural crust formation on loamy temperate soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*

BULLOCK, P.; FEDOROFF, N; JONGERIUS, A. 1985. Handbook for soil thin section description. Prepared under the auspices of the International Society of Soil Science.

CHAMIZO, S. et al. 2010. Características de las costras físicas y biológicas del suelo con mayor influencia sobre la infiltración y la erosión en ecosistemas semiáridos. *Revista de Ecología de Montaña*, Vol. 165, 69-96

CHEN, J., J, TARCHITZKY, J. MORIN, A, BANIN, 1980. Scanning electron microscope observations on soil crust and their formation. *Soil Sci*,

CONCONSTRINA, Z; I MARTINEZ; HUBERS, A. ESCUDERO. 2013. Efectos y respuestas de la costra biológica del suelo en ecosistemas áridos. *Revista de ecosistemas y medio ambiente*.

FAO. Boletín número 9 de La FAO. Encostramiento del suelo

FITOSER AGRO. 2020. Sellado y encostramiento del suelo.

IGAC 2016. Métodos Analíticos de laboratorio.

MARTINEZ, M.A; P, M, Walthall. 2000. Cambios morfológicos durante el encostramiento de la superficie en suelos de México y Louisiana. *Terra Latinoamericana*

MORIN, J. 2009. Boletín de la FAO No.9.

MUALEM, Y., ASSOULINE, S. and ROHDENBURG, R. H. 1990. Rainfall induced soil sea! (A) *A Catena*, 17.

PINZON, A. 2006. Apuntes sobre física de suelos. 206 págs.

PINZÓN, A. 2020. Apuntes sobre física de suelos II. 123 págs.

PINZON, A; A. Muñoz 2022, Estimación de la tasa de respiración del suelo en tres cultivos en Funza

SÁNCHEZ, J.A. 2022. Mineralogía y micromorfología de suelos, conceptos y aplicaciones. Primera Edición. Bogotá, Colombia.

TABOADA, C. M. Genesis y clasificación de costras superficiales en suelos de cultivo. Universidad de A, Coruña.

USDA, 1999. Natural Resources Conservation Service.