



ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA



## METODOS PARA EVALUAR ALGUNAS PROPIEDADES FISICAS DE LOS SUELOS

Miguel Murillo Illanes  
Unidad de Información Estudios y Políticas de Desarrollo Rural Sostenible  
La paz, Octubre, 2010

### 1. Introducción

La degradación es el proceso que rebaja la capacidad actual y potencial del suelo para producir, cuantitativa y cualitativamente, bienes y servicios. Sin embargo, este proceso es la consecuencia directa de la utilización del suelo por el hombre. Bien como resultado de actuaciones directas, como agrícola, forestal, ganadera, agroquímicos y riego, o por acciones indirectas, como son las actividades industriales, eliminación de residuos, transporte, etc.

Actualmente existe una fuerte tendencia que clama por una utilización racional del suelo. Sus principios se agrupan en lo que se conoce por "Conservación de Suelos". Las teorías conservacionistas persiguen obtener máximos rendimientos pero con mínima degradación. Más aún, por ahora ya se habla de calidad del suelo, considerándola a ésta, como la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, sostener la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana y el hábitat (Comité para la Salud del Suelo de la Soil Science Society of America; Karlen *et al.*, 1997).

Por lo anterior, el cuidado del suelo resulta ser esencial para la supervivencia de la raza humana. El suelo produce la mayor parte de los alimentos necesarios, fibras y madera. Y sin embargo, en muchas partes de nuestro país, este recurso está quedando tan dañado por un manejo abusivo y erróneo que nunca más podrá producir bienes.

El problema de la degradación del suelo no es un descubrimiento de nuestra civilización, pues ya quedaba registrado en los documentos de los romanos y de los griegos: Así ya Platón describió la destrucción del suelo como resultado de las deforestaciones. No obstante en un principio el problema no era acuciante debido a la escasa densidad de población y al hecho de que las civilizaciones primitivas se establecían en las llanuras próximas a los ríos (suelos fértiles, con abundante agua y fáciles comunicaciones). La espectacular explosión demográfica actual ha provocado la roturación de tierras en relieves cada vez con pendientes más fuertes, fuertemente degradables, y como consecuencia frenar la degradación del suelo se ha convertido en uno de los grandes retos de nuestra civilización.

Este aumento de la población, induce a producir más para satisfacer la demanda de alimentos, situación que crea un escenario de causa y efecto de los procesos de erosión, ya que con ese afán de producción, se aplican técnicas e insumos no adecuados a las capacidades productivas de los suelos, provocándoles mayores daños a sus condiciones y cualidades físicas, químicas y biológicas.

Este documento, tiene el objetivo de sistematizar información técnica y científica, sobre metodologías para la evaluación de las propiedades físicas de los suelos dedicados a la producción agrícola y pecuaria. Entendiendo que el estado de estas propiedades, dependen del tipo de uso y manejo que se haga al suelo; pudiendo utilizarse como parámetros, indicadores e índices de evaluación de los procesos de degradación.

### 2. Propiedades físicas - Análisis textural y estructural

La textura, estructura y el contenido de materia orgánica del suelo, influyen en las propiedades físicas del suelo, principalmente en los procesos de infiltración, almacenamiento y percolación del agua en el suelo (Gavande, 1982; Baver y Gardner, 1988). Por tanto, su caracterización, y análisis de su variación espacial y temporal, son importantes de conocer. Al mismo tiempo que analizar la secuencia litológica en el perfil,

permite proponer sistemas de uso y manejo especialmente a la hora de definir sistemas de labranza.

Baver L.D. y Gardner W. (1988), mencionan que la porosidad del suelo, está formada por la suma de los porcentajes de poros de diferente tamaño, que actúan de la manera siguiente: los poros grandes (no capilares) sirven para la aeración e infiltración; los poros medianos para la conducción de agua, y los poros pequeños (capilares) para el almacenamiento de agua.

Para Sampat A. Gavande (1982), el suelo superficial, de 0 a 20 o 30 cm, debe tener gran cantidad de poros no capilares –suelos arenosos- de manera que el agua pueda penetrar fácilmente (alto grado de infiltración). Mientras más cerca esté el suelo de la superficie, menos deseable es la presencia de un alto porcentaje de poros capilares, debido a que estos tienden a retener la humedad en la superficie haciendo posible una evaporación excesiva.

La siguiente capa a una profundidad de 30 a 150 cm también debe tener poros no capilares, pero en menor porcentaje que el suelo superficial. Estos poros grandes ayudan a eliminar el exceso de agua, pero debido a su pequeño número lo harán lentamente, permitiendo que el agua de lluvia, que se ha percolado de arriba, se distribuya en los poros pequeños de toda la capa. Es muy importante que esta segunda capa tenga una buena cantidad de poros de tamaño capilar. Estos ayudan al movimiento del agua en todas direcciones, especialmente a través de áreas donde las raíces están empleando el agua (ibíd.).

## **2.1. Análisis estructural**

Para evaluar el estado estructural superficial de los suelos se pueden aplicar métodos directos o indirectos. En función a las condiciones y a la información disponible, para el presente trabajo se aplicaron los métodos indirectos que consisten en desarrollar índices derivados de las características de suelo para la predicción de sellado y encostrado (Lobo y Pulido, 2006; Pulido, et. al 2009).

## **2.2. Encostramiento**

La costra del suelo puede ser formada en casi todas las texturas de suelo, excepto en suelos muy arenosos con poco contenido de limo y arcilla (Lemos y Lutz, 1957; Singer y Warrington, 1991). Siendo este proceso el causante de los siguientes efectos: a) germinación afectada, b) mayor escurrimiento superficial, c) mayor sequía edáfica, d) mayor riesgo de erosión hídrica.

Por supuesto, que en el caso (a), la magnitud del perjuicio dependerá de la planta considerada, el hipo cotiledón de la alfalfa es capaz de ejercer una fuerza elevadora de 15 gr, mientras que la del haba es de 400 gr (ver Williams, Agron.J. 48:273-274, 1956). Ver Figura N° 1.

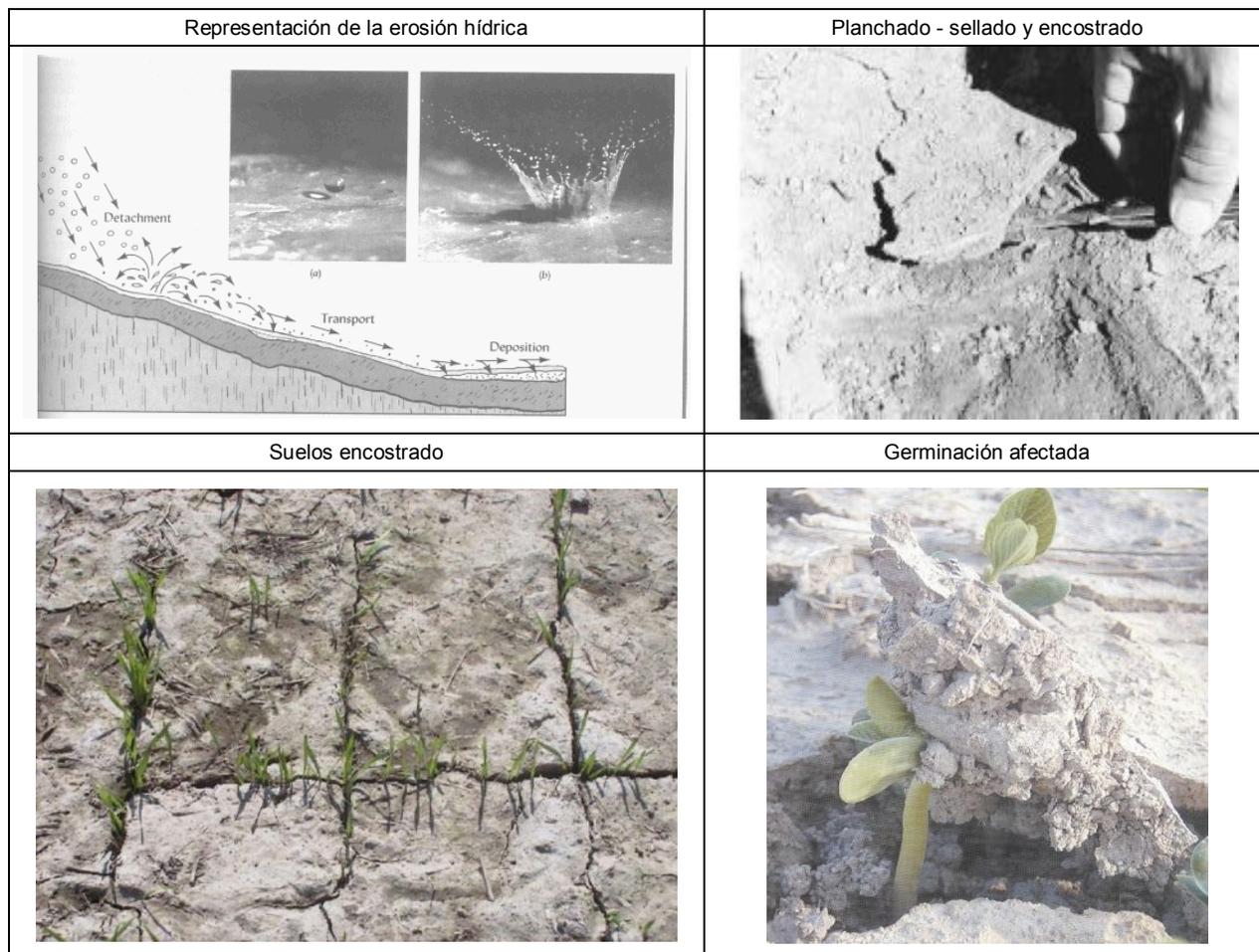
Las observaciones empíricas realizadas en suelos después de una lluvia (natural o artificial) tienden a señalar la aparición de una “capita” de unos pocos milímetros de espesor donde habrá dispersión y reorientación de las partículas, teniendo aquella mayor densidad aparente y menor porosidad que el material subyacente no alterado.

Trabajos de Chen et. al. (1980) reportan que en Israel utilizando microscopía electrónica, observaron una capa o “piel” sellada en superficie y otra región con aparente “migración” de partículas finas (arcillas), los espesores serían de 0,1 a 2 mm respectivamente. La capa de material migrado, se formaría en suelos fácilmente dispersibles; por el contrario, las capas más profundas de suelo -no afectadas por el encostramiento- tendrían una permeabilidad 800 veces mayor que la “migrada” y 2000 veces más alta que la “piel” superficial. Estas observaciones las hicieron en suelos loessicos arenosos, con 15 % de arcilla y 77,5 % de arena; con mucho  $\text{CO}_3\text{Ca}$  y algo de sales; que se sometió a lluvia artificial observándose encostramiento 32 minutos después de comenzada la lluvia. Inicialmente aparecieron cristales de arena en superficie, que luego desaparecieron (¿Esgurrimiento?); aparecen luego “costras” de material fino, con 0,1 mm de espesor formada por materiales finos. Pero no apareció el material “migrado” antes mencionado. El espesor total de la costra fue de 4 mm.

La dispersión de agregados de los suelos por factores físicos o químicos, durante el encostramiento del suelo, es el resultado de una alteración de la morfología de la superficie del suelo. La porosidad, distribución del tamaño de las partículas y su orientación son reportadas como las características morfológicas más

afectadas en la formación de costras (Chen *et al.*, 1980; Gal *et al.*, 1984; Onofiok y Singer, 1984; Ramley y Bradford, 1989; Bresson y Boiffin, 1990).

**Figura N° 1. Detalles del proceso de erosión, planchado, encostrado y problemas en la germinación**



Este endurecimiento ocurre como una consecuencia de la dispersión de las partículas edáficas (McIntyre, 1958; Morin *et al.*, 1981; Stern *et al.*, 1991). El uso de acondicionadores del suelo, tales como: yeso, yeso fosfórico y polímeros orgánicos, se ha evaluado en un intento para estabilizar los agregados y prevenir la destrucción de su estructura (Gal *et al.*, 1984; Shainberg *et al.*, 1989; Ben-Hur *et al.*, 1990). El uso de coberturas vegetales u orgánicas son también reportadas como un efectivo medio para prevenir la dispersión del suelo, causada por el impacto de las lluvias (Wilson *et al.*, 1982; McVay *et al.*, 1989; Bruce *et al.*, 1990; Smith *et al.*, 1990.).

El impacto de estas prácticas se ha evaluado en términos de parámetros de física del suelo, tales como: infiltración (Morin y Benjamini, 1977; Miller y Scifres, 1987; Smith *et al.*, 1990), dureza de la costra (Bradford y Grossman, 1982; Le Bissonnais *et al.*, 1989) y emergencia de plantas (Goyal *et al.*, 1981; Aujula *et al.*, 1986). Sin embargo, existe una marcada falta de información en el estudio del encostramiento del suelo, relacionado con el uso de diferentes prácticas de manejo. Al respecto, el uso del microscopio electrónico (SEM), para describir la morfología de las costras del suelo, se ha reportado como más efectiva en comparación al uso del microscopio petrográfico (Chen *et al.*, 1980; Onofiok y Singer, 1984).

Martínez-Gamiño y Walthall (2002 a), estudiaron comparativamente tres suelos loessicos lixiviados de Luisiana E.U. constituidos principalmente por partículas de Limo, depositadas por el viento de las riberas del Río Mississippi durante los periodos de glaciación, donde la precipitación promedio anual es de 1340 mm,

respecto de otros tres suelos del norte-centro de México formados a partir de depósitos aluviales y rocas sedimentarias de origen volcánico, donde la precipitación promedio anual es de 450 mm. A pesar de estos contrastes ambientales y de material parental, ambas áreas presentan tendencias al encostramiento de la superficie del suelo. El estudio encontró los siguientes resultados: 1) Que los suelos de México tienen una mayor probabilidad de encostramiento –o son más dispersables– que los de Louisiana; 2) Aunque el tipo de arcilla esmectita fue un componente principal en los seis suelos, los valores del índice de arcilla dispersada por agua (IADA) en los de México (0.79 a 0.83), comparados con los de Louisiana (0.18 a 0.5), son atribuidos a un mayor valor del RAS en los suelos de México; 3) En los suelos de Louisiana, el alto valor del IADA en Gigger (0.5), con respecto a el de Olivier y Coteau (0.18 y 0.21, respectivamente), es atribuido al bajo contenido de CO (0.27%); 4) El contenido y tipo de posibles agentes cementantes están relacionados a las condiciones contrastantes de clima, intemperismo y material parental en los suelos de México y Louisiana; y 5) La calcita, yeso y materiales amorfos de sílice y aluminio son los agentes cementantes en el encostramiento de los suelos de México, mientras que en Louisiana, EU, los óxidos de hierro son los principales agentes cementantes.

En los mismos suelos, Martínez-Gamiño y Walthall (2002 b), estudiaron las principales características morfológicas durante el proceso de encostramiento del suelo, bajo tres prácticas de manejo: suelo desnudo, suelo protegido y con adición de yeso agrícola. Habiendo logrado: 1) En el tratamiento con suelo protegido en las muestras de México y Louisiana, la energía cinética de la lluvia se redujo, al evitar el golpeteo directo de las gotas de lluvia en la superficie del suelo. Dicha protección previno la dispersión de los agregados en la superficie del suelo, la suspensión de las partículas y la consecuente segregación del material fino. Esta interpretación es basada en una morfología general consistente en una superficie sin disturbar y una matriz del suelo dominada por una homogénea distribución de las partículas; 2) Los agregados del suelo se destruyeron por el impacto de las gotas de lluvia en los tratamientos sin protección. La arcilla dispersada se perdió, tanto en el escurrimiento, como en la infiltración. En consecuencia, se formó una capa de 0.1 a 0.2 mm de espesor con granos libres de material fino. La adición de yeso incrementó la agregación de las partículas de este suelo; 3). La morfología de los suelos sin protección se distinguió por un sistema disperso y masivo. No se detectó ninguna capa compuesta de material fino en la superficie de la costra; y 4) En el tratamiento con suelo protegido, fue evidente el hecho de que partículas finas sellaron los poros superficiales. La adición de yeso promovió la agregación en la superficie del suelo.

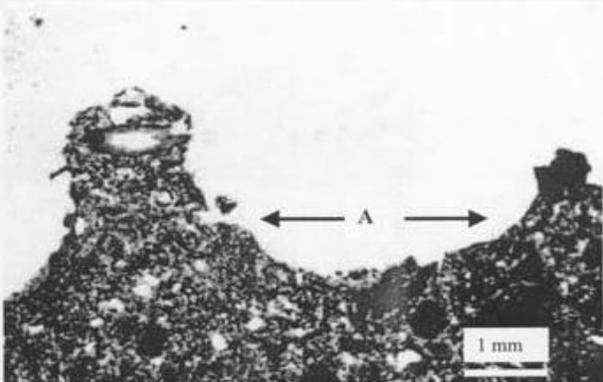
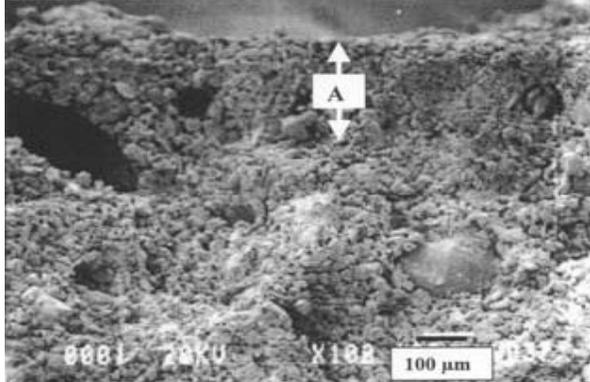
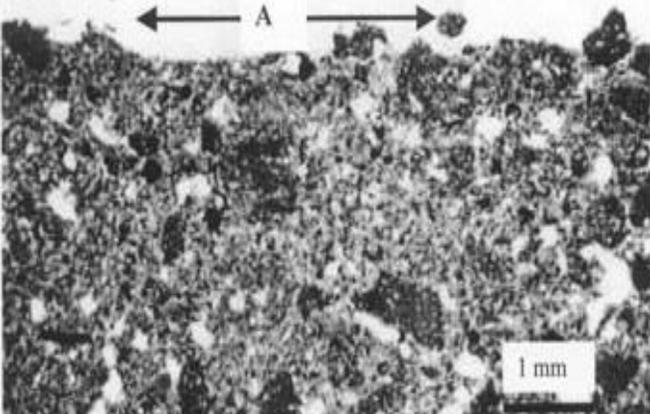
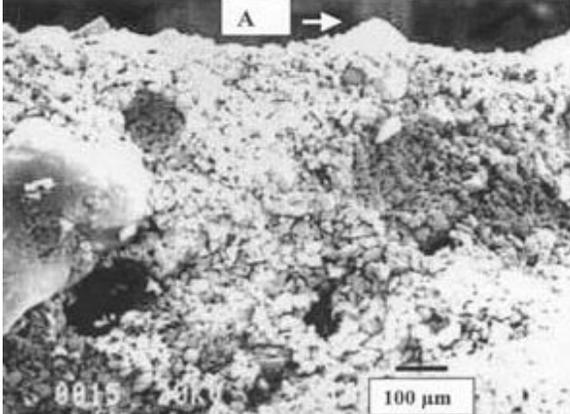
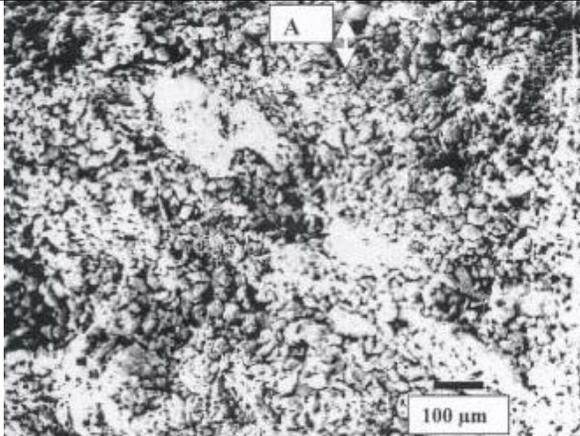
Martínez-Gamiño y Walthall (2002), estudiando un suelo de Louisiana, denominado Gigger (Fragiudalf típico: limoso fino, mixto y térmico) encontraron que durante la etapa de formación de la costra, la principal característica morfológica en el tratamiento con suelo desnudo fue la alteración en la superficie del suelo por el impacto directo de las gotas de lluvia (Figura N° 2 a). Esta modificación es un claro ejemplo de lo que ocurre en el campo, cuando el suelo no tiene ninguna protección contra el golpeteo de las gotas de lluvia, principalmente, después de la preparación del terreno para sembrar. Las gotas de agua actúan como pequeñas bombas que salpican las partículas del suelo, formando estructuras parecidas a pequeños cráteres.

Debido a la continua destrucción de la superficie, no hubo acumulación de material fino en los primeros milímetros. Cualitativamente, observaron que no se presentó compactación; en consecuencia, la porosidad fue similar en la superficie y en el resto del perfil de la costra. No distinguieron tampoco una orientación de partículas en la superficie de la costra en esta etapa antes del inicio de los escurrimientos (ibíd).

Al final del período de secado, la superficie del suelo no presentó la heterogeneidad observada antes del inicio de los escurrimientos. En esta etapa final, se formó una delgada capa compacta, compuesta de partículas de suelo sin material fino, tamaño uniforme, sin estructura y una moderada orientación de partículas. Esta delgada capa fue la principal característica observada al final del período de secado con relación al muestreo realizado antes del inicio de los escurrimientos. La formación de esta delgada capa durante el encostramiento reportaron McIntyre (1958), Onofriok y Singer (1984) y Tarchitzky *et al.* (1984), la cual, se asume, es el resultado del continuo golpeteo de las gotas de lluvia en la superficie del suelo, ocasionando la remoción de material fino del suelo en los escurrimientos e infiltración. Debajo de la superficie, el contenido aparente de partículas finas fue mayor que el observado en la capa superior (Figura N° 2 b). Debido a la compactación por las gotas de lluvia, la porosidad relativa en la superficie de la costra fue más reducida, en comparación con los macroporos observados debajo de ésta. La principal característica morfológica en el suelo protegido, antes del inicio del escurrimiento, fue una superficie plana y sin alteraciones por las gotas de lluvia (Figura N° 2 c). Al final del encostramiento, en este tratamiento no se presentó la capa superficial de granos gruesos como en el caso del suelo desnudo; en el estrato inmediato a

la superficie se apreció mayor porosidad que arriba de esta zona (Figura N° 2 d). Estas observaciones sugieren que la dispersión química es un factor de importancia en el encostramiento, dado que, en el suelo protegido, los agregados se destruyeron por la energía cinética de la lluvia, por lo que la dispersión ocurrida fue un resultado de las características químicas y mineralógicas del suelo (ibíd).

**Figura N° 2. Detalles del proceso de encostramiento de suelos Gigger**

<p><b>a.</b> Fotografía en microscopio petrográfico mostrando la alteración de la superficie del suelo (A) por el impacto directo de las gotas de lluvia antes del inicio del escurrimiento en el suelo desnudo Gigger</p>	<p><b>b.</b> Fotografía en microscopio electrónico mostrando la formación de una capa compacta de 0.1 mm en la superficie del suelo (A), formada por granos sin partículas finas de suelo al final del período de secado en el suelo desnudo Gigger</p>
	
<p><b>c.</b> Fotografía en microscopio petrográfico mostrando la superficie del suelo (A) sin disturbar por las gotas de lluvia antes del inicio de los escurrimientos en el suelo protegido Gigger.</p>	<p><b>d.</b> Fotografía en microscopio electrónico mostrando agregados del suelo en la superficie (A) antes del inicio del escurrimiento en el suelo protegido Gigger.</p>
	
<p><b>d.</b> Fotografía en microscopio electrónico mostrando el efecto de agregación del yeso (A) antes del escurrimiento en el suelo con adición de yeso agrícola Gigger.</p>	<p><b>e.</b> Fotografía en microscopio electrónico mostrando la capa superficial de 0.1 mm (A) formada por granos sin material fino de suelo y sin estructura al final del período de secado en el suelo con adición de yeso agrícola Gigger.</p>
	

La morfología de la costra en el suelo con adición de yeso presentó un incremento en la agregación de partículas en la etapa previa al inicio de los escurrimientos (Figura N° 2 e). Este efecto se atribuye a la cualidad floculante del calcio, proveniente del yeso agrícola aplicado al suelo. Aun cuando el suelo se expuso al golpeteo de la lluvia, se observó que la agregación redujo la acción dispersante de las gotas de lluvia. Como resultado, la superficie en este tratamiento no presentó la transformación observada en la capa superficial del suelo desnudo. La porosidad y tamaño de partículas fueron más uniformes en la capa superficial (0.4 mm) de la costra del suelo y la agregación se incrementó relativamente en relación con la observada en el suelo desnudo y protegido, respectivamente (ibíd).

Al final del período de secado, se detectó una capa de 0.1 mm de espesor, compuesta de granos gruesos y tamaño uniforme, sin estructura y moderada orientación de partículas (Figura N° 2 f). Debajo de esta capa libre de partículas finas, se observó una zona con mayor cantidad de material fino adherido a fragmentos gruesos, actuando como agregados del suelo. Como se discutió previamente, el material fino del suelo se removió por la acción dispersante de la lluvia y se desplazó por el escurrimiento (ibíd).

### 2.3. Susceptibilidad de los suelos al encostramiento

Sin considerar las características mineralógicas de los suelos, se puede estimar la susceptibilidad de estos a encostramiento, considerando la presencia de niveles altos de “limo” ya que este componente promueve la formación de costras, la arcilla y la materia orgánica tienden a controlarla. Se cuantifica esto, con los Índices de encostramiento propuestos por varios autores, que a continuación se detallan:

**Índice de susceptibilidad a la separación (ISP);** o índice de separabilidad de partículas, propuesto por Florentino (1998), refleja la tendencia que tiene un suelo, predominantemente mineral, con muy bajo contenido de materia orgánica, a la separación de sus partículas y como consecuencia a la formación de sello o costra superficial cuando el suelo se humedece o caen fuertes lluvias (1).

$$I.S. P. = \frac{\% A}{\% L + \% af + \% amf} \quad (1)$$

Donde: *A* es el porcentaje de arcilla (< 2 µm), *L* es el porcentaje de limo (2-50 µm), *af* es el porcentaje de arena fina (100-250 µm) y *amf* es el porcentaje de arena muy fina (50 – 100 µm);

Se calcula en base a la información extraída de las curvas de distribución de tamaño de partículas, determinada por el método del hidrómetro, mediante la relación entre el porcentaje de arcilla (partículas < 2 µm) y el porcentaje de limo más arena fina y muy fina (partículas 2 – 250 µm) (método de Gee y Bauder, 1986). Para la interpretación de los valores puede utilizarse los rangos que se presentan en el Cuadro N° 1.

**Cuadro N° 1. Susceptibilidad a la separación, de acuerdo al índice de separación de partículas**

I.S.P.	Separabilidad
>2	Muy Baja
1 – 2	Baja
0.5 – 1	Moderada
0.2 – 0.5	Alta
<0.2	Muy Alta

**Índice de sellado-encostrado de los suelos (ISE);** índice calculado con base en experimentos realizados por Florentino (1998), derivado de ecuaciones de regresión (2).

$$I.S. E. = \frac{6,7433 \times \% MO}{0,55001 \times (\% L + \% af + \% amf)} \quad (2)$$

Donde: *MO* es el porcentaje de materia orgánica, *L* es el porcentaje de limo (2-50 µm), *amf* es el porcentaje de arena muy fina

**Índices de encostramiento (IE);** la FAO (Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos; 1980) propone dos índices basados en los principales factores que afectan la estabilidad de los agregados, la distribución del tamaño de partículas y a los niveles de materiales cementantes (3).

$$1^{\circ} \text{ Índice I.E.}_{\text{FAO}} = \frac{Zf + Zc}{Y} \quad (3)$$

Donde: Zf = % limo fino (2 a 20  $\mu\text{m}$ ); Zc = % limo grueso (20 a 50  $\mu\text{m}$ ); Y = Arcilla % (< 2  $\mu\text{m}$ ).

La interpretación del 1º Índice podría ser: I =  $\leq 1,5$  : los suelos no se encostran, I =  $> 2,5$  : Los suelos si se encostran

El 2º Índice (8), varía entre valores menores a 0,2 para los suelos que no forman costra y valores mayores a 2 para los que están sujetos a una intensa formación de costras.

$$2^{\circ} \text{ Índice I.E.}_{\text{FAO}} = \frac{(1,5 \times Zf) + (0,75 \times Zc)}{Y + (10 \times \text{MO})} \quad (4)$$

Donde: 2º I.E.<sub>(FAO)</sub> = 2º Índice de encostramiento (FAO), Zc = % de Limo grueso (20 – 50  $\mu\text{m}$ ), Zf = % de Limo fino (2 – 20  $\mu\text{m}$ ), Y = % de arcilla (< 2  $\mu\text{m}$ ), MO = % de materia orgánica

La interpretación del 2º Índice podría ser: I.E. =  $\leq 1$  Índice de encostramiento leve; no impide la emergencia de plantas, aumenta ligeramente el escurrimiento superficial; El fenómeno de la arenilla se manifiesta moderadamente. I.E. = 1 a 1,5 Índice de encostramiento moderado; impide la emergencia de plantas, aumenta moderadamente el escurrimiento superficial; El fenómeno de la arenilla es grave con caída de plantas, exige resiembra y practicas superficiales para generar rugosidad para protección de plantas. I.E. =  $> 1,5$  Índice de encostramiento elevado, impide la emergencia de las plantas, aumenta fuertemente el escurrimiento superficial. El fenómeno de la arenilla es muy grave con caída de plantas, exige resiembra y practicas superficiales para generar rugosidad para protección de plantas.

El control del encostramiento en suelos susceptibles no es tecnológicamente factible vía adición masiva de materia orgánica; mucho más efectivo es el uso de la cobertura (Puricelli, C.A., 1999).

**Índice de encostramiento de FAO (1980) modificado para las condiciones de los Llanos Occidentales (Comerma et al., 1992);** este índice representa el índice propuesto por la FAO (1980) modificado en función de la información disponible por Comerma et al. (1992) en la zona de Turén - Venezuela. Los límites de clase se establecieron en base a un análisis realizado con datos de 25 suelos de Venezuela, comparando los valores del índice de encostramiento calculados y su estabilidad de agregados al agua por varias metodologías (5).

$$\text{I.E.} = \frac{1.125 \text{ L}}{A + 10 \text{ M. O.}} \quad (5)$$

Donde: I.E. = Índice de encostramiento, L = % de Limo (2 - 20  $\mu\text{m}$ ), A = % de arcilla (< 2  $\mu\text{m}$ ), MO = % de materia orgánica.

**Índice Estructural;** el índice estructural IE desarrollado por Pieri (1995), relaciona el contenido de MO y la fracción mineral fina del suelo (Álvarez, 1999; Ramírez, et al. 2008), de acuerdo con la siguiente ecuación (6):

$$\text{I.E.} = \frac{(\% \text{ MOS})}{(\% \text{ limo} + \% \text{ Arcilla})} \times 100 \quad (6)$$

Donde: MOS = % Materia orgánica del suelo.

Este índice puede ser interpretado de la siguiente forma: valores de IE inferiores a 5 indican suelos degradados, IE = 5 - 7 suelos con alto riesgo a la degradación física por encostramiento o compactación, IE = 7 - 9 suelos con moderado riesgo a la degradación y IE > 9 son suelos estructuralmente estables.

**Textura y otras propiedades físicas:** El análisis de la textura se realizó según el método de la Soil Survey Staff (1993). La consideración de la gradiente de las pendientes y la profundidad efectiva, fue realizada siguiendo las modificaciones de Murillo (2000 y 2003) a las metodologías de la FAO (1990) y de la Soil Survey Staff (1993). También se considero la información de Sánchez (1974), detalles que se muestran en los cuadros 2 al 5, siguientes:

**Cuadro Nº 2. Gradiente de pendientes**

Categoría	Valor
Plano	0 – 0,5%
Casi plano	0,5 – 1,0%
Muy suavemente inclinado	1,0 – 2,0 %
Suavemente inclinado	2,0 – 5,0 %
Inclinado	5,0 – 10 %
Fuertemente inclinado	10 – 15 %
Moderadamente empinado	15 – 30 %
Empinado	30 – 60 %
Muy empinado	> a 60 %

**Cuadro Nº 3. Profundidad efectiva**

Categoría	Valor
Excesivamente somero	< a 15 cm
Muy somero	15 - 25 cm
Somero	25 - 50 cm
Moderadamente profundo	50 - 100 cm
Profundo	100 - 150 cm
Muy profundo	> a 150 cm

**Cuadro Nº 4. Agrupaciones de suelos, según texturas (Soil Survey Division Staff, 1993)**

Términos generales	Clase textural
Texturas gruesas	Arenosos (arena gruesa, arena, arena fina, arena muy fina)
Texturas moderadamente gruesas	Franco arenosos grueso Franco arenoso Franco arenoso fino
Texturas medias	Franco arenoso muy fino Franco limoso Limoso
Texturas moderadamente finas	Franco arcilloso Franco arcillo arenoso Franco arcillo limoso
Texturas finas	Arcillo arenoso Arcillo limoso
Texturas muy finas	Arcilloso

**Cuadro Nº 5. Relación de la Textura con otras Propiedades del Suelo (Sánchez, 1974)**

Textura	Conductividad hidráulica en cm/h	Limite líquido	Indice de plasticidad	Capacidad de almacenaje de los suelos en cm/cm
Arcilloso – arcillo limoso	0.15 – 0.50	40 – 45	10 – 20	0.14 – 0.16
Franco arcillo limoso	0.50 – 1.60	40 – 50	10 – 20	0.18 – 0.20
Franco arcilloso	0.50 – 1.60	30 – 40	15 – 20	0.18 – 0.20
Franco	1.60 – 5.00	25 – 35	5 – 10	0.14 – 0.18
Franco limoso	1.60 – 5.00	30 – 40	5 – 10	0.15 – 0.20
Arcillo arenoso	0.15 – 0.50	25 – 40	5 – 20	0.12 – 0.16
Franco arcillo arenoso	0.50 – 1.60	25 – 35	5 – 15	0.10 – 0.16
Franco arenoso muy fino	1.60 – 5.00	25 – 30	5 – 10	0.16 – 0.18
Franco arenoso	5.00 – 16.00	-	-	0.11 – 0.13
Arenoso franco	16.0 – 50	-	-	0.08 – 0.10
Arenoso	50 - >	-	-	0.06 – 0.08

#### 4. Bibliografía

- **Álvarez Welchez Luís.** 1999. Estudio de Valorización del recurso suelo-agua En el área de Lempira Sur, Cuenca Río Mocal. FAO. Proyecto de Desarrollo Rural del sur de Lempira GCP/HON/018/NET. Honduras.
- **Álvarez, C; Cayssials, R y Molfino, J.H.** - Estimación del almacenaje de agua en las tierras de Uruguay - Primera aproximación - In II Seminario Nacional de Campo Natural, Tacuarembó, Uruguay, 1990. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria/Sociedad Uruguaya de Pasturas Naturales/Facultad de Agronomía/Plan Agropecuario. Ed. Hemisferio Sur.
- **Aujula, T.S., B. Singh y B.S. Sandhu.** 1986. Effect of pre-sowing and post-sowing irrigation treatment to wheat following rice in Punjab. *J. Ecology*. 13: 250-255.
- **Ben-Hur, M., J. Letey e I. Shainberg.** 1990. Effect of crust formation and polysaccharide on soil erodibility. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 1092-1095.
- **Ben-Hur, M., R. Stern, A. J. van der Merwe e I Shainberg.** 1992. Slope and gypsum effect on infiltration and erodibility of dispersive and nondispersive soils. *Soil Sci. Am. J.* 56: 1571- 1576.
- **Barthés, B & E Roose.** 2002. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion; validation at several levels. *Catena* 47: 133-149.
- **Baver L.D., Gardner W.** 1988. Física de suelos. Editorial unión topográfica. Primera edición. México.
- **Bernier Villarroel, R.** Análisis de Suelo Metodología e Interpretación; Centro Regional de Investigación Remehue, Instituto de Investigaciones Agropecuarias. INIA - Chile.
- **Bradford, J.M. y R.B. Grossman.** 1982. *In situ* measurement of near-surface soil strength by the fall-cone device. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 685-688.
- **Bresson, M.L. y J. Boiffin.** 1990. Morphological characterization of soil crust development on an experimental field. *Geoderma* 47: 301-325.
- **Bruce, R.R., G. W. Langdale y L.T. West.** 1990. Modifications on soil characteristics of degraded soil surfaces by biomass input and tillage affecting soil water regime. *Trans. 14th Intern. Congr. Soil Science*, Kyoto, Japan.
- **Chen, J., J. Tarchitzky, J. Morin y A. Banin.** 1980. Scanning electron microscope observations on soil crust and their formation. *Soil Sci.* 130: 49-55.
- **Ciampitti, I. A. y Garcia, F. O.** Requerimientos nutricionales, absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. IPNI. <http://www.ipni.net>.
- **Comerma, J., S. Torres, D. Lobo, N. Fernández, R. Delgado; L. Madero.** 1992. Aplicación del sistema de evaluación de tierras de la F.A.O. 1985 en la zona de Turén, Venezuela. Cuadernos de Agronomía, año 1 (1). 24p.
- **Elliot, JW; AM Liebenow; JM Laflen & KD Kohl.** 1989. A Compendium of Soil Erodibility Data from WEPP Cropland Soil Field Erodibility Experiments 1987 and 1988. NSERL Report N° 3, The Ohio State University, and USDA Agricultural Research Service.
- **FAO-UNESCO.** 1979. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. FAO, Roma.
- **FAO,** 1992. Erosión de suelos en América Latina, Proyecto GCP/RLA/107/JPN, Santiago de Chile.
- **F.A.O.** 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Roma-Italia. 86p.
- **Florentino, A.** 1998. Guía para la evaluación de la degradación del suelo y de la sostenibilidad del uso de la tierra: selección de indicadores físicos. Valores críticos. En: Manejo Sostenible de los Suelos, Manual de Prácticas. Facultad de Agronomía UCV. Maracay- Venezuela. p 68-77.
- **Gal, M., L. Arcan, I. Shainberg y R. Keren.** 1984. The effect of exchangeable Na and phosphogypsum on the structure of soil crust-SEM observations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 872-878.
- **Gardner, W.R.** 1983. Soil properties and efficient water use: an overview. Pp: 45-64. En Taylor, H.M, Jordan W.R., y Sinclair T.R (ed). *Limitations to efficient water use in crop production*. ASA, CSSA, SSSA, Publ., Madison, Wisconsin.
- **Gavande Sampat A.** 1982. Física de Suelos, principios y aplicaciones. Editorial Limusa México. p. 97 - 104.
- **Goyal, M.R., G.L. Nelson y L.O Drew.** 1981. Moisture and soybean seedling emergence. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 24: 1432-1435.
- **Hanks R.J. y Ashcroft G.L,** 1980. Water quantities. In *Applied soil physics*. Ed. Springer - Verlag, Berlin Heidelberg, New York.
- **Hillel D.,** 1980. *Fundamentals of soil physics*. Academic Press-New York.

- **Hudson, Norma W.** 1982. Conservación del suelo, Barcelona España.
- **Irania, C.B., Muslo, J.C. y Culot, J.P.** 1981. Evaluación a nivel nacional del potencial de degradación y riesgo de erosión de los suelos. n. Publicación N 174. CIRN - Instituto de Suelos, Castelar.
- **Laws, J.O.** 1941. Measurements of fall-velocity of water-drops and raindrops. Trans. Am. Geog. Union 22: 709.
- **Le Bissonnais, Y., A. Bruand y M. Jamagne.** 1989. Laboratory experimental study of soil crusting: relation between aggregate breakdown mechanisms and crust structure. Catena 16: 377-392.
- **Lemos, P. y J.F. Lutz.** 1957. Soil and some factors affecting it. Soil Sci. Soc. Am. J. 21: 485-491.
- **Lobo L. Deyanira y Mansonia Pulido M.** 2006. Métodos e índices para evaluar la estabilidad estructural de los suelos. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Instituto de Edafología VENESUELOS. Revista de la Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo y del Instituto de Edafología de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela Enero-Diciembre 2006 Vol. 14, 2006
- **López Ritas, J. y J. López Melida.** 1990. El diagnóstico de suelos y plantas: métodos de campo y laboratorio. 4ª ed., Madrid: Ed. Mundi-Prensa. 363 p.
- **Martínez-Gamiño M.A. y P.M. Walthall.** 2002. (a) Propiedades Físicas, Químicas y Mineralógicas en el Encostramiento de Suelos de México y Louisiana, E.U. TERRA Latinoamericana, julio-septiembre, año/vol. 18, número 003 Universidad Autónoma Chapingo Chapingo, México pp. 179-185.
- **Martínez-Gamiño M.A. y P.M. Walthall.** 2002. (b) Cambios Morfológicos durante el Encostramiento de la Superficie en Suelos de México y Louisiana, E.U. TERRA Latinoamericana, julio-septiembre, año/vol. 18, número 003 Universidad Autónoma Chapingo Chapingo, México pp. 187-197.
- **McIntyre, D.S.** 1958. Soil splash and the formation of surface crusts by raindrop impact. Soil Sci. 85: 261-266.
- **McVay, D.E. Radcliffe y W.L. Hargrove.** 1989. Winter legume effects on soil properties and nitrogen fertilizer requirements. Soil Sci. Soc. Am. J. 53: 1856-1862.
- **Mitchell, J.K. y Bubeenzer, G.D.,** 1980. Soil loss estimation. In Soil erosion, Edited by M.J. Kirkby y R.P.C. Morgan. John Wiley, Chichester.
- **Miller, W.P. y J. Scifres.** 1987. Effect of sodium nitrate and gypsum on infiltration and erosion of a highly weathered soil. Soil Sci. 148: 304-309.
- **Morin, J. y Y. Benjamini.** 1977. Rainfall infiltration into bare soils. Water Resour. Res. 13: 813-817.
- **Morin, J., S. Goldberg e I. Seniger.** 1966. A rainfall simulator with a rotating disk. Trans. Am. Soc. Agric. Eng. 10: 74-79.
- **Morin, J., Y. Benjamini y A. Michaeli.** 1981. The dynamics of soil crusting by rainfall impact and the water movement in the soil profile. J. Hydrology 52: 321-335.
- **Murillo, M,** 2005. Efectos de las prácticas culturales sobre algunas propiedades edáficas de los suelos. Viceministerio de Asuntos Agropecuarios y Riego, Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios. La Paz, Octubre, 2005. Depósito Legal 4-1-93-07 P.O. La Paz.
- **Onofiok, O. y M.J. Singer.** 1984. Scanning electron microscope studies of surface crusts formed by simulated rainfall. Soil Sci. Soc. Am J. 48: 1137-1143.
- **Pieri C.** 1995. Long-term soil management experiments in semi-arid Francophone Africa. In: soil Management: experimental basis for sustainability and environmental quality. R. Lal and B. Steward (eds). Lewis Publishers/CRC. Florida, USA. 266 p.
- **Pulido-Moncada, Mansonia A.; Lobo-Luján, Deyanira; Lozano-Pérez, Zenaida.** 2009. Asociación entre Indicadores de Estabilidad Estructural y la Materia Orgánica en suelos Agrícolas de Venezuela. Agrociencia, Vol. 43, Núm. 3, Abril-Mayo, 2009, pp. 221-230. Colegio de Postgraduados. Texcoco, México.
- **Puricelli, C.A.** 1999. Cuadernos: Materia Degradación y Recuperación de Tierras. Maestría Ciencias Agronómicas. Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca - Argentina.
- **Ramírez Laura, Alfredo Alvarado, Rosendo Pujlo, Antonio McHugh, Luis Guillermo Brenes-**, 2008. Indicadores para Estimar la Sostenibilidad Agrícola de la Cuenca Media del Río Reventado, Cartago, Costa Rica. Agronomía Costarricense 32(2): 93-118. ISSN:0377-9424/2008. [www.mag.go.cr/revagr/inicio.htm](http://www.mag.go.cr/revagr/inicio.htm) [www.cia.ucr.ac.cr](http://www.cia.ucr.ac.cr).
- **Ramley, P.A. y J.M. Bradford.** 1989. Relationship of soil crust morphology to inter-rill erosion parameters. Soil Sci. Soc. Am. J. 53: 1215-1221.
- **Richards, L.A.** - Pressure membrane apparatus construction and use Agric. Engineering. 28:451-454, 1947.
- **Salgado, Y, J.** 1960. Estudio sobre método y medidas de la humedad aprovechable a las plantas en diferentes texturas de suelos. Tesis de Grado Chillan Chile.

- **Shainberg, I., M.E. Sumner, W.P. Miller, M.P.W. Farina, M.A. Pavan y M.V. Fey.** 1989. Use of gypsum on soils: a review. *Adv. Soil Sci.* 9: 1-111.
- **Singer, M.J. y D.N. Warrington.** 1991. Crusting in the Western United States. pp. 179-204. *In:* M.E. Sumner y B.A. Stewart (eds.). *Soil crusting-chemical and physical processes.* Lewis Publishers, Boca Raton, FL.
- **Smith, H.J.C., G.J. Levy e I. Shainberg.** 1990. Water-droplet energy and soil amendments: effect on infiltration and erosion. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 1084-1087.
- **Stern, R., M. Ben-Hur e I. Shainberg.** 1991. Clay mineralogy effect on rain infiltration, seal formation and soil losses. *Soil Sci.* 152: 455-462.
- **Tarchitzky, J., A. Bannin, J. Morin y Y. Chen.** 1984. Nature, formation and effects of soil crusts formed by water drop impact. *Geoderma* 33: 135-155.
- **Tisdall, JM & JM Oades.** 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33:141-163.
- **Wilson, G.F., R. Lal y B.N. Okigbo.** 1982. Effects of cover crops on soil structure and yield of subsequent arable crops grown under strip tillage on an eroded Alfisol. *Soil Tillage Res.* 2: 233-250.
- **Wischmeier, W.H. y D.D. Smith.** 1978. Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning. US Department of Agriculture, *Agricultural Handbook* 537.
- **Wischmeier, WH & JV Mannering.** 1969. Relation of Soil Properties to its Erodibility. *Soil Sci. Soc. Proc.*, Vol. 33, pag 131-136.
- **Woodruff, W.P. y Sidoway, F.H.** 1965. A wind erosion equation. *Soil Science Society of America Proceedings* 29 (5):602-608. USA.