

1) EROSIÓN DE SUELOS ✓

2) ESCORRENTÍA ✓

## EROSIÓN HÍDRICA Y DEGRADACIÓN DE SUELOS EN LADERAS ANDINAS

Jesús A. Castillo F.<sup>1</sup>  
Edgar Amézquita C.

### RESUMEN

Este estudio se realizó en zonas de ladera al norte del departamento del Cauca, en suelos clasificados como inceptisoles para lo cual se establecieron parcelas de escorrentía que permanecieron bajo rotaciones con diferentes cultivos y manejo durante ocho años y finalmente los sedimentos captados durante los tres (3) últimos años fueron evaluados para determinar cantidades de nutrimentos y materia orgánica.

La disminución de la productividad de las tierras, es el resultado del aumento de la erosión y degradación de los suelos en los sistemas convencionales de manejo. la erosión es un proceso selectivo, tanto materia orgánica como nutrientes son frecuentemente más altos en los sedimentos movilizados que en los suelos originales.

En general se usaron 4 sistemas de manejo básico: A) Condición de máxima erosión; B) Monocultivo de Yuca C) Rotación e intercalado de cultivos; D) Rotación con barrera vegetal. Se observó que tanto las pérdidas de suelo como de materia orgánica y nutrimentos presentaron magnitudes diferentes según el sistema aplicado. Ellos siguieron el patrón conforme se produjo la pérdida de suelo aunque también es una función de la composición original del suelo.

**Palabras claves:** Erosión, degradación, parcelas escorrentía, suelos.

<sup>1</sup> Ph.D. Profesor Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.

<sup>2</sup> Ph.D. Físico de Suelos. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia

## ABSTRACT

This study was executed in hillside areas in north of the Department of Cauca in soils classified as inceptisols to which were established some plots to avoid runoff water and which stayed under rotations with different cultivations and management during eight years. Finally, sediments captured during three last years were tested to determine nutrients and organic matter quantities. The decrease of productivity of soils is the result of an increase of erosion and degradation of soils in traditional systems of management. Erosion is a selective process, both organic matter and nutrients are frequently higher in mobilized sediments than in original soils. In general, four – basic management systems were used: A) Condition of maximal erosion, B) Monocultivation of cassava, C) Rotation and insertion of cultivations, D) Rotation with plant barrier. It was possible to determine soil and organic matter and nutrients losses showed different magnitudes relative to applied system. They followed the pattern in agreement to loss of soil was produced, although it is also a function of original composition of soil.

**Key words:** Erosion, degradation, drainage water plots, soils.

## INTRODUCCIÓN

Las pérdidas de materia orgánica, nutrientes y con ellos agregados del suelo tienen efectos drásticos que implican descenso de la productividad hasta contaminación de los recursos hídricos. La erosión es un fenómeno muy preocupante puesto que afecta a uno de los elementos básicos para la vida, la fertilidad de los suelos.

La disminución de nutrientes del suelo es una situación que inicialmente los agricultores no perciben directamente y los suelos inician una carrera de agotamiento hasta cuando el agricultor percibe el problema, en este momento ya no está en capacidad de reponer lo perdido.

Una problemática muy común en las laderas, es que los agricultores se esfuerzan por alimentar sus familias hoy, y muchas veces se ven obligados a elegir entre la supervivencia inmediata y la sostenibilidad económica y ambiental a largo plazo.

La actividad realizada por el hombre en estas tierras es drástica induciendo degradación de los suelos y disminución de la calidad del ambiente, traducido por la pérdida de suelo superficial donde se concentra la mayor parte de su fertilidad.

Los factores que por dicha actividad de mal manejo participan en la degradación de los suelos son la pérdida de materia orgánica, nutrientes básicos como calcio, magnesio, potasio, fósforo y nitrógeno, pérdida de suelo por erosión, mecanización en exceso y procesos de salinización. La erosión del suelo se trata de un problema físico que lleva consigo grandes cantidades de nutrientes que tiene repercusiones económicas y ambientales.

La disminución de productividad de las tierras, es el resultado del aumento de la erosión y degradación de los suelos en los sistemas convencionales de manejo y hoy alcanza proporciones mayores. Los agricultores ante esta situación no sostenible que genera disminución de sus ingresos, deben abandonar las fincas.

Como una respuesta a esto se han desarrollado en Colombia otros sistemas sostenibles, (Reining, 1992). Y también en otras regiones del mundo (Anderson, J.R., and Thampapillai, F., 1990).

La degradación del suelo, como una consecuencia de la erosión, disminuye la fertilidad y finalmente la producción de los cultivos. Degradación quiere decir cambio de una o más de las propiedades originales del suelo a estados inferiores que ocurren por medio de procesos físicos, químicos y/o biológicos.

Por medio de este fenómeno las tierras agrícolas pierden el nivel de fertilidad y se vuelven menos productivas. La erosión es un proceso selectivo, materia orgánica y el contenido de nutrientes en los sedimentos son frecuentemente más altos que aquellos en el suelo original (Young *et al.*, 1986).

La degradación del suelo presenta básicamente las siguientes etapas, según (Mielniczuk and Schneider, 1984), en la etapa 1, las características originales (materia orgánica y estructura) son destruidas gradualmente y no se percibe por el agricultor, el rendimiento de los cultivos se mantiene estable por aplicación de fertilizantes. En la etapa 2, la materia orgánica alcanza valores bajos y el suelo pierde estructura, se inicia la aparición de una capa compactada que

impide la infiltración del agua y exploración de las raíces. La erosión aumenta y el rendimiento de los cultivos se reduce. En la etapa 3, el proceso es fuerte y la tierra puede ser abandonada por el agricultor debido a la baja productividad y a la presencia de cárcavas en el campo.

La fertilidad química del suelo puede ser parcialmente restaurada por la fertilización mineral o enmiendas orgánicas, mientras la pérdida de materia orgánica y la degradación física es difícilmente restaurada. En los andes tropicales especialmente la yuca crece en laderas degradadas y es poco fertilizada, en estas condiciones se reportan pérdidas de suelo por el orden de 100 t/ha por periodo de crecimiento del cultivo (Howeler, 1985).

El proyecto internacional "Global Assessment of Soil Degradation", 1991, (GLASOD) ha puesto de manifiesto el grave estado de degradación en que se encuentran actualmente los suelos en todo el mundo (Mapa Mundial de Degradación 1:10 millones) los resultados referentes a los distintos tipos de degradaciones provocadas por el hombre se presentan en este informe. Se destaca la erosión del suelo como el proceso que afecta el mayor número de hectáreas, representando el 83.6% de toda la degradación (1.642 millones de ha).

Según Baker y Laflen, 1983 la pérdida de nutrientes puede ocurrir por percolación en el perfil del suelo; en solución en el agua de escorrentía; y absorbidos en los sedimentos arrastrados por el agua de escorrentía. Fósforo disponible y potasio fueron los elementos asociados preferiblemente a los sedimentos (Munn *et al.*, 1973; Reddy *et al.*, 1978).

En los andes del sur de Colombia, Reining (1992) encontró una alta proporción de nutrientes en el agua de escorrentía, cuando las pérdidas de suelo fueron bajas. La siembra continua de yuca por años, tuvo el mayor efecto en las propiedades químicas de los suelos, disminución de materia orgánica y el aumento de la acidez fue relevante en suelos bajo pasturas (Santander de Quilichao) y en suelos bajo barbecho comparados al original en Mondomo Ruppenthal, (1995).

Estudios en predios de escorrentía en Colombia (Cauca) demostraron que los niveles de nutrientes disponibles en la superficie del suelo, removidos por las cosechas y las pérdidas por erosión, fueron restauradas para el (K disponible) o firmemente mejoradas (P- Bray II, Ca y Mg intercambiable) por

la fertilización anual y no se encontraron diferencias significativas entre los sistemas de cultivo. Ruppenthal, 1995.

Stocking (1984) demostró que el suelo movilizado por erosión suele ser la fracción más rica del perfil con relación al contenido de nutrientes. Chischester y Richardson (1992) en tratamientos de suelo descubierto (laboreo convencional) versus siembra directa, encontraron pérdidas de N de 3.8 kg/ha, P de 0.8 kg/ha en siembra directa y de 8.1 y 1.5 kg/ha respectivamente con laboreo convencional.

Finalmente, es importante recordar que uno de los retos más urgentes de la humanidad, es la degradación del medio ambiente en general y concretamente la degradación de los suelos cultivados. La deforestación masiva que han sufrido los suelos en todo el mundo como resultado de una presión socioeconómica cada vez más asfixiante, unida a un desconocimiento absoluto de los graves problemas que conlleva la utilización indiscriminada del suelo ha desembocado en la dramática situación actual.

Sin embargo no debemos ser tan pesimistas y pensar más bien en que desarrollando técnicas sencillas conservacionistas podemos controlar la situación.

## METODOLOGÍA

**Descripción de los sitios.** La zona está dominada por la formación Popayán, constituida por tres zonas bien diferenciadas que son: zona aluvial, altiplanicie diséptada y colinas. Santander de Quilichao (Estación CIAT) pertenece a la formación aluvial que es una prolongación del valle geográfico del Río Cauca.

La precipitación promedio anual en el área varía entre 1600 mm y 2400 mm y es de carácter bimodal. Los suelos de ladera de la región son ácidos o muy ácidos con pH de 4.3 Santander y 4.8 Mondomo, con niveles muy bajos de fósforo disponible (1.5 - 4 ppm P Bray II). Estudios recientes clasifican el suelo de Santander como *amorphous, isohyperthermic oxic dystropept*; en Mondomo como *Kaolinitic-amorphous, isohyperthermic oxic humitropept*.

Para este estudio se utilizaron ocho tratamientos en dos localidades, en rotaciones con diferentes cultivos. Establecidos bajo un diseño de bloques randomizados descritos en la Tabla 1.

Las parcelas fueron adecuadamente delimitadas y orientadas por su longitud en el sentido de la pendiente. Un colector en el borde inferior de cada parcela permitió captar los sedimentos durante tres (3) años como se presenta en la Tabla 1 la cantidad de nutrimentos y materia orgánica fueron determinadas en el laboratorio.

Tabla 1. Registro histórico de los tratamientos en Santander de Quilichao y Mondomo (Departamento del Cauca)

Sistema	1995	1996	1997-A	1998-B
1	Suelo descubierto	Suelo descubierto	Suelo descubierto	Suelo descubierto
2	Maíz (G)	Yuca (G)	Frijol (G)	Maíz (G)
3	Yuca (Tradicional)	Yuca (Tradicional)	Frijol	Yuca (Tradicional)
4	Maíz (LM)	Yuca (LM)	Frijol (LM)	Maíz (LM)
5	Maíz	Yuca	Frijol	Barbecho
6	Maíz + vetiver (G)	Yuca + vetiver (G)	Frijol + vetiver (G)	Maíz + vetiver (G)
7	Maíz + leguminosa	Yuca + caupí	Frijol	Maíz + leguminosa
8	Maíz (Labranza)	B.decumbens + Cm.	B.decumbens + Cm.	Maíz (Labranza)

**Descripción del experimento.** El estudio se realizó en lotes de la estación experimental en Santander de Quilichao y en lotes de agricultores de la región en Mondomo. Las medidas de erosión hídrica del suelo se realizó utilizando parcelas de escorrentía de 22 m de largo por 8 m de ancho para las parcelas estándar o sistemas de suelo descubierto (Wischmeier y Smith, 1978), libres de vegetación desde 1992 y para los demás tratamientos se usaron parcelas de 16 m de largo, predios instalados sobre pendientes uniformes entre 10 y 16% en Santander y Mondomo respectivamente. Los predios de escorrentía se pueden utilizar para medir pérdida de suelo, pérdida de nutrimentos o para determinar otros parámetros hidrográficos.

En general los tratamientos (sistemas) aplicados a las parcelas corresponden a los presentados en la Tabla 2.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La erosión es un proceso de desagregación y transporte de materiales del suelo por agentes erosivos como la lluvia. Como producto de la separación

de las partículas por las gotas de lluvia se produce un sello superficial que disminuye la capacidad de infiltración del suelo, cuando la precipitación es mayor que la infiltración se produce el fenómeno de escorrentía o sea el agua que no infiltra escurre superficialmente llevando consigo partículas del suelo de diferentes tamaño.

Tabla 2. Diferentes sistemas productivos de manejo del suelo establecidos en predios de escorrentía en Santander de Quilichao y Mondomo - Cauca

Sistema	Manejo
1	Parcelas descubiertas
2	Rotación de cultivos + abono + labranza
3	Yuca monocultivo (tradicional)
4	Rotación de cultivos a partir de pasto + leguminosa (labranza mínima + abono químico)
5	Rotación convencional (partiendo de barbecho)
6	Rotación con barreras + abono orgánico (barreras de Vetiver)
7	Rotación de cultivos + leguminosa
8	Rotación de cultivos a partir de pasto + leguminosa (labranza + abono químico)

En la tabla 3 y 4 se presentan los datos de pérdida de suelo, materia orgánica y nutrimentos obtenidos en los diferentes sistemas de manejo en las dos localidades.

Como se puede observar, tanto las pérdidas de suelo como de materia orgánica (MO) y nutrimentos presentan magnitudes diferentes según el sistema aplicado. El sistema 1 (suelo desnudo) en ambos sitios presenta la expresión máxima de pérdida de suelo (A. max).

Si asumimos 4 grupos de manejo básico dentro de los ocho (8) sistemas propuestos tenemos: **A)** Condición de máxima erosión (Amax). Sistema 1 (suelo descubierto); **B)** Monocultivo de Yuca tradicional todo el tiempo. Sistema 3; **C)** Rotación e intercalado de cultivos. Sistemas 2, 4, 5, 7, 8; **D)** Rotación con barrera vegetal (*Vetiveria zizanioides*). Sistema 6.

La cantidad de suelo perdido se obtuvo expresado en valores reales, sin ajustes según los factores LS de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) se observa que en Mondomo, todos los sistemas (tratamientos), excepto el sistema 1 (grupo A) perdieron menos suelo que en Santander donde las pendientes son menores. Probablemente factores como la erosividad, erodabilidad y la cobertura han propiciado esta situación.

**Tabla 3. Pérdidas de suelo, materia orgánica y nutrientes (kg/ha/año) por erosión en diferentes sistemas de manejo en Santander de Quilichao – Cauca.**

Sistema	Suelo perdido t/ha/año	M.O.	Pérdidas de elemento (kg/ha/año)				
			Ca	Mg	K	P	Nt
1	196.2	11380.70	25.51	3.77	6.89	78.17	426.11
2	27.2	1726.17	22.05	4.38	3.50	17.21	68.69
3	57.6	3525.46	29.61	5.81	6.29	31.08	140.44
4	12.7	922.67	8.05	1.64	1.58	8.71	36.27
5	16.6	1082.11	6.86	1.40	1.56	9.15	42.74
6	0.1	11.79	0.10	0.02	0.03	0.09	0.42
7	22.0	1440.79	10.15	2.32	2.06	19.77	59.37
8	17.7	1230.99	7.99	1.46	1.59	11.71	50.04

**Tabla 4. Pérdidas de suelo, materia orgánica y nutrientes (kg/ha/año) por erosión en diferentes sistemas de manejo en Mondomo – Cauca.**

Sistema	Suelo perdido t/ha/año	M.O.	Pérdidas de elemento (kg/ha/año)				
			Ca	Mg	K	P	Nt
1	201.4	6565.86	24.57	2.90	5.50	77.69	334.08
2	4.2	266.27	3.71	0.82	0.68	3.31	11.20
3	32.5	1822.24	11.97	2.66	3.55	20.53	81.85
4	1.8	112.71	0.94	0.23	0.25	1.32	4.71
5	11.6	749.19	4.56	1.06	1.22	7.83	32.64
6	0.5	36.67	0.24	0.06	0.04	0.21	1.33
7	13.6	787.25	4.65	1.04	1.22	8.73	35.19
8	8.1	573.64	3.30	0.61	0.83	5.93	23.40

El sistema 3. grupo B, (Yuca monocultivo tradicional), presenta la mayor pérdida de suelo, MO y nutriente en las 2 localidades. Este sistema es el que ocupa la mayor parte del área agrícola de la región.

Dentro del grupo C el sistema 2, (rotación y abonado con Gallinaza), presenta las mayores pérdidas de suelo, MO y nutrientes en la localidad de Santander. Mientras los sistemas 5 (rotación convencional) y 7 (cultivos intercalado con leguminosas) lo son en Mondomo.

En el grupo C, sistema 4 (rotación en labranza mínima) se presentan las más bajas pérdidas de suelo, MO y nutrientes en Mondomo. En Santander aunque las pérdidas de suelo fueron las más bajas, no así ocurrió con los nutrientes.

El sistema 6. (rotación con barrera vegetal) presenta pérdidas no significantes de suelo y al mismo tiempo valores bajos en pérdida de MO y nutrientes.

Las pérdidas de materia orgánica y nutrientes en general siguieron el mismo patrón conforme se produjo la pérdida de suelo, también es una función en gran medida de la composición original del suelo, determinado básicamente por su manejo. Un análisis más profundo de las relaciones de pérdida de nutrientes para los diferentes sistemas se escapa a los objetivos del presente trabajo.

## CONCLUSIONES

Las pérdidas de materia orgánica, nutrientes están en función del manejo particular de cada suelo, asociadas a las cantidades de suelo perdidas. También pueden estar influyendo características como la textura y la fertilidad natural.

Las pérdidas de suelo son altas en condiciones de suelo descubierto, que se ven reducidas drásticamente cuando medidas de manejo son aplicadas, las cuales temperan el efecto de agentes erosivos como la lluvia y la escorrentía.

El sistema tradicional (yuca monocultivo) genera pérdidas altas de suelo lo cual hace que en poco tiempo se noten los procesos degradativos provocando reducción de la productividad reflejada en baja producción de los cultivos.

Los resultados sugieren que en estas condiciones de suelos pobres el efecto protector de la cobertura vegetal no siempre produce los mejores resultados de reducir las pérdidas de suelo debido a la dificultad para su establecimiento.

En este sentido, prácticas agrícolas como las barreras con pastos bien adaptados, producen los mejores resultados en disminuir la carga de sedimentos en las aguas de escorrentía. Por otro lado, actualmente acciones desarrolladas por los agricultores afectan el medio ambiente tanto rural como urbano, producto de ejercer una fuerte presión sobre los recursos naturales como consecuencia de que muchas de sus prácticas locales han dejado de ser sostenibles.

## BIBLIOGRAFÍA

ANDERSON, J;R., AND F. THAMPAPILLAI. 1990. Soil conservation in developing countries: project and policy intervention. Policy and research series 8. the World bank.

BAKER, J.L. Y LAFLEN, J.M. 1983. Water quality consequences of conservation tillage, *Journal of Soil & Water Conservation*, Ankey, 38(3): 186-93

CHICHESTER, F.W. Y RICHARDSON, C.W. 1992. Sediment and nutrient loss from clay soils as affected by tillage. *J. Environ. Qual.*, 21: 587-590.

HOWELER, R.H. 1985. Potassium nutrition of cassava. In: R. O. Munson (ed.) *Potassium in Agriculture*, pp. 819-841. American Society of Agronomy-Crop Science Society of America-Soil Science Society of America. Madison, WI, USA.

MIELNICZUK, I. Y SCHNEIDER, P. 1984. Aspectos socio-economicos do manejo de solo no Sul do Brasil, In: *Simposio de manejo do solo e plantio direto no Sul do Brasil e Simposio de Conservação de Solo do Planalto*. Passo Fundo, RS. 1983.

MUNN, D.A., E.O. MC LEAN, A. RAMIREZ, AND T.J. LOGAN. 1973. Effect of soil, cover, slope, and rainfall factors on soil and phosphorus movement under simulated rainfall conditions. *Soil Science Society of America. Proceeding* 37: 428-431.

OLDEMAN, L.R.; HAKKELING, R.T.A. Y SOMBROEK, W.G. (1991). World Map of the status of humaninduced soil degradation, an explanatory note (second revised edition), *Global Assessment of Soil Degradation (GLASOD)*, ISRIC, Wageningen; UNEP, Nairobi.

REDDY, G.Y, E. O. MC LEAN, G.D. HOYT, AND T.J. LOGAN. 1978. Effects of soil, cover crop, and nutrient source on amounts and of formas of phosphorus movement under simulated rainfall conditions, *Journal of Environmental Quality* 7: 50-54.

REINING, L. 1992. Erosión in Andean Hillside Farming: characterization and reduction of soil erosion by water in small scale cassava cropping systems in the southern central cordillera of Colombia. Weikersheim, Margraf. 219.p.

RUPPENTHAL, M. 1995. Soil conservation in Andean cropping systems. Hohenheim Tropical Agricultural Series No.3. Verlag Josef Margraf, Weikersheim, Germany. 110 pp.

STOCKING, M. 1984. Erosion and soil productivity: a review. Consultants Working Paper No. 4. Land and Water Development Division, UN Food and Agriculture Organisation, Rome.

WISCHMEIER, W.H. Y D.D. SMITH. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. USDA Agric. Handbook No. 537. Washington, D.C.

YOUNG, R.A., A.E: OLNES, C.K. MUTCHLER, AND W.C. MOLDENHAUER. 1986. Chemical and physical enrichments of sediments from croplan. *Transactions. American Society of Agricultural Engineers* 29: 165- 169.