

EROSIÓN HÍDRICA

Por Ing. Agr. Roberto O. Michelena

La erosión hídrica es el proceso mediante el cual el suelo y sus partículas son separados por el agua. El proceso de erosión incluye 3 etapas:

- 1.- Preparación del material (desprendimiento y remoción)**
- 2.- transporte**
- 3.- Sedimentación**

En las 3 etapas del proceso erosivo se producen daños importantes. En la etapa de preparación se produce la alteración de la estructura superficial del suelo, destrucción de agregados, formación de costras y sellos, alteración de la relación infiltración/escorrimento y pérdida de fertilidad del suelo (pérdida de materia orgánica y de nutrientes). El impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo desnudo aporta la energía para la realización de este trabajo.

En la etapa de transporte se completa la pérdida de las partículas del suelo (materiales coloidales como materia orgánica y humus, y nutrientes), iniciada en la etapa anterior, se genera el escurrimiento superficial del agua que produce distintas formas de erosión (laminar, digital y en cárcavas) y daños a la infraestructura.

En la etapa de sedimentación, por una disminución de la energía del escurrimiento (disminución de la pendiente, obstáculos que reducen la velocidad) se produce el depósito de las partículas del suelo. Este depósito puede destruir cultivos, dañar la infraestructura (camino, vías férreas, etc.) y colmatar y reducir la capacidad de represas y embalses.

La erosión hídrica de las tierras altas es la fuente de muchos de los sedimentos transportados por los cursos de agua hacia el mar. En nuestro país esto ocurre en las regiones del NOA, Cuyo y del Centro (Córdoba y San Luis), entre otras, donde gran cantidad de sedimentos son transportados por los grandes ríos (Pilcomayo, Bermejo, Paraná, Uruguay) y sus afluentes, hacia el río de La Plata y el mar. Esto produce a lo largo del recorrido la colmatación de embalses y del puerto de Buenos Aires, y la necesidad de grandes gastos para el dragado periódico.

La erosión no es solamente un fenómeno físico sino también un problema socio económico. En muchos países en vías de desarrollo la tenencia de la tierra, los precios de los productos y el exceso y concentración de la población, producen una mayor presión sobre los recursos naturales, destrucción de bosques y cultivos en tierras de altas pendientes.

Mecánica de la erosión

La erosión hídrica es un proceso complejo de preparación y separación del material en partículas individuales (arcilla, limo y arena) y pequeños agregados, el transporte de estas partículas desde las áreas mas altas a las bajas, mediante la acción combinada del impacto de las gotas de lluvia y el escurrimiento superficial del agua.

El Tipo y Grado de erosión depende de la erodabilidad del suelo, grado y longitud de la pendiente, prácticas culturales, estado de la cubierta vegetal, aplicación de prácticas conservacionistas, y energía de las gotas de lluvia (duración, cantidad, intensidad, tamaño de gotas).

Erosión Total: Está integrada por la Erosión por Salpicadura y la Erosión por Escurrimiento

La erosión por salpicadura se produce por el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo, destrucción de agregados, separación de partículas individuales, sellado de poros superficiales por partículas finas.

En la erosión por escurrimiento se produce al arrastre de las partículas individuales ó pequeños agregados, debido a la energía cinética del escurrimiento superficial.

$$E_c = \frac{1}{2} m V^2$$

La intensidad de la lluvia es muy importante porque determina el tamaño y la masa de la gota, y por lo tanto su velocidad y energía.

El potencial erosivo de la lluvia depende de las velocidades de caída de las gotas, distribución por tamaño de gotas y masa total del agua en el impacto contra la superficie del suelo. Según Meyer (1970) para una lluvia anual de 760 mm, la cantidad de energía equivale a 30 billones de pié-libra ó 10.000 Toneladas de TNT.

La mayor parte del suelo removido es llevado hacia debajo de la pendiente por el escurrimiento superficial. El valor de la erosión dependerá de la erodabilidad ó resistencia del suelo a la erosión, separación de agregados grandes en otros mas pequeños ó partículas individuales, y de velocidad-volumen del flujo de agua.

Fórmula de Manning para canales con flujo laminar

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

Donde:

V: Velocidad del agua en el canal

n : Coeficiente de rugosidad de Manning

R: Radio hidráulico (relación entre área y perímetro mojado)

S: Pendiente del terreno

Meyer y Wischmeier (1969) señalan que:

$$V = \frac{S^{1/3} \cdot Q^{1/3} N^{1/3}}{N^{1/3}}$$

Donde:

V. Velocidad del flujo

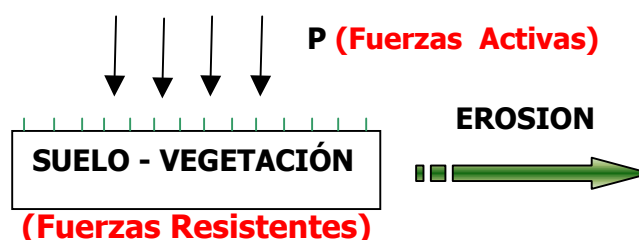
S: Pendiente del terreno

Q: Volumen del escurrimiento

N: Rugosidad hidráulica

Debido a que la fuerza tractiva y la capacidad de transporte del agua de escurrimiento son aproximadamente proporcionales a V^2 y V^5 , respectivamente, cualquier cambio en la pendiente, volumen de esorrentía ó rugosidad del canal puede afectar considerablemente la erosión.

La erosión es el resultado de fuerzas activas y fuerzas resistentes. Las fuerzas activas son las que tienden a producir la erosión (lluvia) y fuerzas resistentes las que se oponen al proceso (sistema suelo/vegetación).



La resistencia del suelo a las fuerzas erosivas de la lluvia y el escurrimiento superficial depende de características del suelo: tamaño, forma y densidad de las partículas, cohesión de las partículas, estructura, estabilidad de los agregados al agua, y de la vegetación: especie, altura, densidad y cobertura, entre otras. Se incluyen todos los factores que puedan afectar la capacidad de infiltración y el balance infiltración/escurrimiento.

Tipos de Erosión

En general se diferencian los procesos donde el agua es el principal factor como la erosión superficial y subsuperficial, y aquéllos en los cuales el agente erosivo es principalmente la fuerza de la gravedad como los movimientos en masa (Zinck, 1981).

Según la acción preponderante del agua y/ó la gravedad existen diferentes tipos de erosión:

- 1.- Erosión superficial (agua)
- 2.- Erosión subsuperficial (agua)
- 3.- Movimientos en masa (gravedad)

Producción de sedimentos en una cuenca

La producción de sedimentos por erosión hídrica en una cuenca puede ocurrir en las laderas y/ó en los cursos de agua.

- | | |
|------------------------|--|
| 1.- En Laderas | 1.1 Erosión superficial: Laminar, digital, cárcavas. |
| | 1.2 Movimientos en masa: Derrumbes, coladas de barro, deslizamientos. |
| 2.- En el Cauce | 2.1 Erosión de márgenes |
| | 2.2 Erosión de fondo |

Formas de transporte de los sedimentos

- ❖ **En Suspensión:** Partículas pequeñas y livianas: arcillas, limos, materia orgánica

- ❖ **Acarreo de fondo: Partículas mas grandes y pesadas: arenas gravas y piedras (hasta grandes bloques).**

Las formas de transporte de los materiales varían según la energía y turbulencia de la corriente. En cauces y flujos pequeños y de tipo laminar, gran parte de los sedimentos se moverán en suspensión y el acarreo de fondo puede ser insignificante (arenas ó gravas pequeñas). En cursos caudalosos y flujo turbulento el acarreo de fondo puede ser importante.

Según el régimen del curso, que es variable en cada tramo , cada partícula puede cambiar de movimiento en suspensión a acarreo de fondo y viceversa.

En el movimiento en suspensión, las partículas se mueven con una velocidad similar a la velocidad de la corriente. En el acarreo de fondo las partículas se mueven por saltación y rodamiento con velocidad menor a la del flujo.

Según Satterlund (1972) existen 3 "tipos" de erosión:

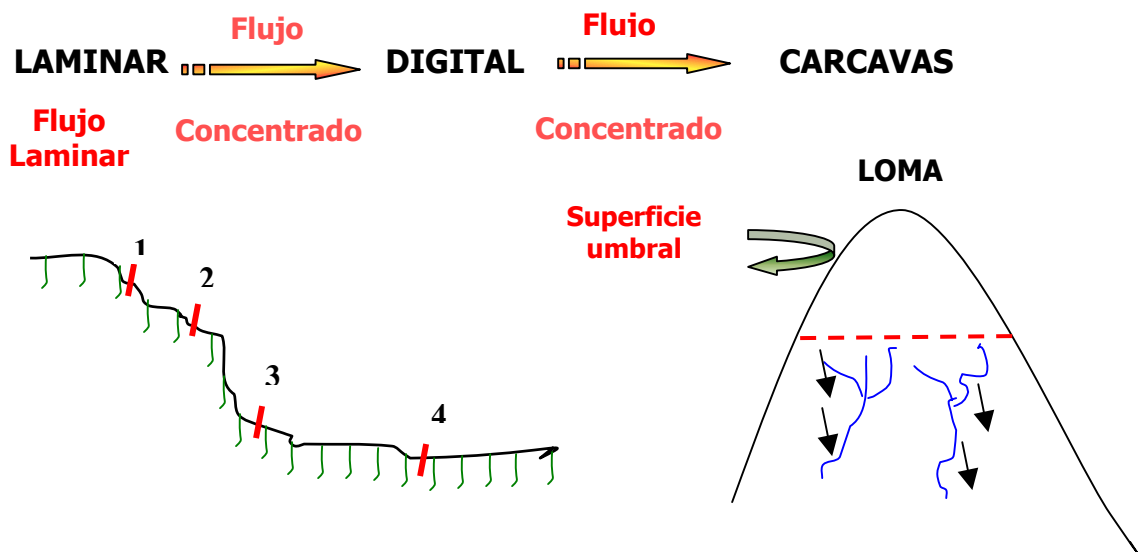
- 1.- Superficial (laminar, digital, cárcavas.
- 2.- Movimientos en masa
- 3.- Socavación de cauces (lateral y de fondo)

Erosión Superficial

La erosión superficial es la separación y transporte de los materiales por el escurrimiento superficial del agua y su posterior sedimentación. Erosión por salpicadura (golpeteo de gotas de lluvia) y por escurrimiento.

Según la distribución espacial del escurrimiento superficial y de su energía, se diferencian distintas formas de erosión:

- 1.- Laminar. El escurrimiento es laminar (filetes de agua paralelos) y es capaz de separar materiales en forma de capas. En realidad por el microrelieve la erosión es en pequeños surcos, que al integrarse en el tiempo y el espacio, se ve como erosión en capas.
- 2.- Digital. El escurrimiento superficial puede aumentar su caudal su velocidad y su energía, siendo capaz de formar surcos pequeños (menores de 20-30 cm de profundidad), que pueden ser borrados con las herramientas comunes de los productores.
- 3.- Cárcavas. El escurrimiento superficial es grande, con alta energía erosiva y se concentra formando surcos grandes ó cárcavas, que pueden alcanzar varios metros de profundidad y de ancho.



- 1.- Erosión laminar
- 2.- Erosión digital
- 3.- Erosión cárcavas
- 4.- Sedimentación

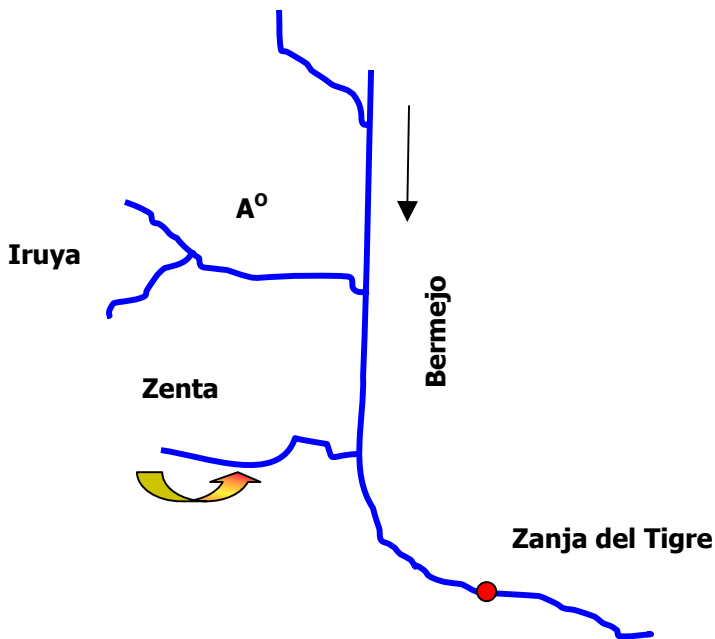
BAJO

La secuencia mostrada anteriormente no siempre se encuentra en el campo. A través del manejo conservacionista se trata de reducir la erosión y mantenerla en forma laminar en toda la pendiente, con una tasa de erosión inferior a 5 Tn/ha.año.

Superficie Umbral(SU): Es la superficie necesaria para la concentración del escurrimiento y la formación de canales ó surcos. En esta superficie se encuentra la erosión laminar. Cuanto mayor es la SU mayor es la degradación del suelo en la cuenca.

Producción de Sedimentos en Argentina

Según datos del Ex Ministerio de Agua y Energía de la Nación, los ríos principales del norte y centro del país aportan grandes cantidades de sedimentos, que llegan al Río de la Plata.



- En la cuenca del río Zenta (Salta) se tiene:
 Superficie: 1.800 Km²
 Q líquido promedio: 44 m³/seg
 Aporte de sedimentos: 6.500.000 Tn/año
 Erosión específica: $6.500.000/1.800 = 3.611$ Tn/Km².año
- Río Bermejo (Zanja del Tigre)
 Superficie cuenca: 25.000 Km²
 Aporte de sedimentos : 65.700.000 Tn/año
- Río Pilcomayo; 78.500.000 Tn/año de material en suspensión
- Río Pilcomayo y Bermejo: 16.000 millones Tn de sedimentos en 100 años

Colmatación de embalses: 3/5 partes Dique Nihuil (Mendoza) está colmatado. Algo similar en Diques De Piedra y La Florida (San Luis), El Cadillal (Tucumán), entre otros.

Clasificación de los Movimientos en Masa

Existen distintas clasificaciones de movimientos en masa en base a:

- 1.- Tipo de movimiento
- 2.- Tipo de materiales
- 3.- Velocidad del movimiento

Según Velocidad { - Muy rápidos: Derrumbes, coladas de barro.

**Según Tipo de
Movimiento
(Leopold, 1664)**

- Rápidos (Ej. Deslizamientos, V prom. 1 m/día)
 - Lentos
 - Muy lentos: Reptación
-
- Caídas (Falls): derrumbes (acción de la gravedad)
 - Deslizamientos (Slides) (acción gravedad y agua)
 - Flujos (acción del agua)

Algunos autores consideran los deslizamientos como un movimiento a una velocidad perceptible por la vista humana, debidos a la acción del agua y la gravedad.

Estabilidad de las laderas

En laderas si el balance Fuerzas de corte/ Resistencias al corte es menor que 1, el peligro de movimiento es eminente. Este sistema de fuerzas activas y resistentes es dinámico en el tiempo y en el espacio. La acción del hombre puede cambiar este balance

**Causa de
Movimiento
en Masa**

- 1.- Pasivas: Favorecen la ocurrencia del movimiento: litológicas, estructurales, topográficas, hidrológicas
- 2.- Activas: Inician el movimiento: Acción antrópica (desmonte, carreteras, etc.).

Si bien el origen de los movimientos en masa es "natural" de acuerdo a condiciones ambientales predisponentes la acción antrópica es importante en desencadenar estos fenómenos.

Los cambios en las fuerzas de corte ó de resistencia pueden ser irreversibles (socavación de cursos) ó reversibles (cambios humedad del suelo, deforestación.

El agua es el principal elemento que afecta la estabilidad de las laderas:

- Aumentando el peso de la masa suelo/vegetación
- Aumentando la plasticidad de materiales con alto contenido de arcillas
- Reduciendo las fuerzas resistentes: reducción de cementantes del suelo(óxidos de hierro) y disolviendo uniones solubles.

Producción de sedimentos

El aporte de sedimentos en suspensión de los continentes al océano es en promedio de 201 Tn/Km²/año y se considera que una cantidad similar de materiales disueltos son transportados por los cursos de agua.

Langbein y Schumm (1958) analizaron datos de numerosas cuencas de EE.UU. con vegetación natural, para elaborar la curva de relación entre producción media anual de sedimentos por unidad de superficie y precipitación media anual. Según esta curva la máxima producción de sedimentos se produce con una precipitación de alrededor de 12 pulgadas (305 mm), correspondiendo a regiones áridas/semiáridas, donde existen lluvias y escasa protección vegetal.

La producción de sedimentos en la cuenca depende de sus características morfológicas (forma, pendiente, etc.), climáticas (precipitación, temperatura), geológicas-geomorfológicas y suelos, uso de la tierra y vegetación, entre otras.

Formas de medición de Erosión Hídrica

Hay diferentes formas de medición y estimación de las pérdidas de suelo por erosión hídrica. Algunas son útiles y aplicables a parcelas ó lotes y otras en superficies mayores, locales ó regionales (subcuencas, microcuencas).

- 1.- Mediciones en parcelas de erosión a campo con lluvia natural (mediano a gran tamaño)**
 - 2.- Mediciones en parcelas a campo pequeñas con lluvia artificial ó simuladores de lluvia (por presión, goteo).**
 - 3.- Mediciones en bandejas con suelo disturbado ó no y lluvia simulada en laboratorio.**
 - 4.- Mediciones en cuencas con aforos y registros automáticos (par de cuencas)**
 - 5.- Estimaciones a través de modelos ó ecuaciones empíricas. Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE).**
 - 6.- Estimaciones de modelos de simulación. Gran cantidad de modelos en todo el mundo. Algunos aplicables a parcelas ó cuencas. Modelos empíricos ó físicos: Musle, Epic, Wepp.**
- Lo importante de los modelos es la calibración para que sea extrapolable la información.**