

AGENTES EROSIVOS Y TIPOS DE EROSION

José María Peralta Alba.
Ingeniero Agrónomo, Ph.D.
INIA - Carillanca
Temuco, Chile
jperalta@carillanca.inia.cl

La erosión puede ser provocada principalmente por tres factores fundamentales, a saber:

- El agua
- El viento
- El hielo

Las manifestaciones particulares de cada uno de estos agentes erosivos son diferentes, dependiendo de la magnitud de su contribución al fenómeno, de si estos agentes actúan solos o en combinación y, del entorno natural en el cual están actuando (llámese fragilidad de los ecosistemas).

En el caso de la IX Región, parece ser que el agente erosivo más importante es y ha sido el agua, por lo tanto la orientación fundamental de esta capacitación será el conocer la mecánica de la erosión provocada por dicho elemento, factores que la condicionan y el cómo medirla.

La erosión por agua provoca tipos de erosión bien características, atribuible por un lado al impacto de la gota de lluvia y, a la acción del escurrimiento, elementos detonantes del proceso.

1. TIPOS DE EROSION HIDRICA

1.1 Erosión de Manto

A esta clase de erosión se le denomina también erosión laminar, porque las gotas de lluvia actúan en forma pareja sobre la superficie del suelo, removiendo una delgada capa del suelo superficial que es transportada por la corriente producida, dejando la superficie del suelo nuevamente expuesta a la acción de sucesivas gotas de lluvia y, el fenómeno se repite.

Generalmente la acción de la gota de lluvia y el escurrimiento es conjunta, pero en las partes más altas de la pendiente, el impacto de la gota juega un rol fundamental, pues a medida que el escurrimiento mueve las partículas hacia abajo, la lluvia desplaza primero las partículas ya transportadas, antes de seguir transportando las demás.

Esta es la razón que explica por qué, en la erosión de manto, el daño mayor se produce en las partes altas de la pendiente, situación inversa a la erosión por zanjas.

1.2 Erosión de Fertilidad

Cuando sucede el impacto de la gota sobre el suelo, éstas explotan provocando principalmente el desplazamiento de partículas de suelo de un tamaño inferior a los 2 mm de diámetro. Estas partículas corresponden a la fracción fina del suelo, entre las cuales se cuentan la arcilla, el limo y la materia orgánica, quedando una predominancia de la fracción más gruesa del suelo, lo que finalmente puede conducir a la formación de un "pavimento de erosión".

La pérdida de la fracción fina del suelo, o complejo coloidal, reviste una gravedad extrema desde el punto de vista de la calidad del suelo, debido a que en ésta se concentran las propiedades de intercambio catiónico, es responsable de la fertilidad del suelo; de su vida microbiana; de la retención de humedad, otros. Por lo tanto, el suelo se afecta notablemente y comienzan a producirse bajas de rendimientos y, en cultivos más permanentes o en praderas naturales, aumentan los "claros o pérdida de cobertura", lo que origina, a su vez, más posibilidades de erosión y, el ciclo se repite acelerándose.

1.3 Erosión de Encharcamiento

El golpe de la gota de lluvia provoca una acción de "batido" en el suelo, destruyendo los agregados y compactando la superficie del suelo, convirtiéndola en un charco. Esta superficie se irá impermeabilizando a medida que las partículas finas del suelo, en suspensión, llenen los poros y canalículos de éste.

Esto produce una disminución paulatina de la Velocidad de Infiltración y de la Permeabilidad, provocando como efecto que el agua escurra sobre el suelo, cuando éste tiene la suficiente pendiente. Si por el contrario, el suelo es plano, se producen encharcamientos superficiales de agua con partículas coloidales en suspensión, los que al secarse, se "encostran".

1.4 Erosión de Zanjas

El agua que no puede infiltrarse en el suelo, corre por su superficie, produciéndose este proceso en forma reiterada lo que induce, que la velocidad del flujo y su cantidad aumenten y, por lo tanto, se incrementa la carga sólida que transporta en suspensión, lo que le da un mayor poder abrasivo.

Este fenómeno se manifiesta con mayor intensidad en la parte baja de la pendiente, que es el lugar donde se conjugan los tres factores en su grado máximo, velocidad, cantidad y carga de materiales.

Esto provoca que el suelo se socave con mayor rapidez en este sector, produciéndose una zona aún de mayor pendiente que aumenta más la velocidad del flujo y su poder erosivo, provocándose un mayor desprendimiento de material y la zanja comience a "caminar hacia atrás". Esto origina una acción retrógrada, creándose así niveles base distintos e inestables, los cuales se estabilizan cuando la acción del agua se encuentra con el material duro de base, como roca u otro substrato que impide que el socavamiento continúe y la zanja adquiere el nivel de base o terminal.

1.5 Erosión de Sedimentación

Los materiales desplazados por la acción de la gota de lluvia o llevados por el agua de escurrimiento son transportados por un período variable de tiempo, para finalmente ser depositados en las partes más bajas.

Esta depositación sigue un régimen de selección o gradación, donde los materiales más gruesos son depositados primero y los más finos después, tanto en el sentido horizontal como vertical.

En Chile la mayoría de los elementos finos son depositados en el mar, debido a la característica de este país de ser angosto y con una fuerte diferencia de nivel entre la fuente de agua y el mar.

En términos generales la depositación es un problema que afecta a las tierras de cultivo, deteriorándolas fuertemente, especialmente con la depositación de materiales gruesos (arenas) sobre las tierras fértiles; así también genera problemas de polución de ríos, esteros y depósitos de agua, ocasionándose embancamientos, para finalmente generar dunas litorales que, posteriormente, avanzan hacia el interior del continente por medio del viento.

2. MECANICA DE LA EROSION HIDRICA

El proceso de erosión es complejo y múltiples son los factores que lo condicionan, cabe destacar entre ellos, la cantidad, intensidad y duración de la lluvia, la naturaleza del flujo superficial y del suelo, la pendiente, la cobertura, etc., pero se reconocen siempre tres elementos secuenciales que generan el fenómeno. El material debe ser “soltado” primero antes de ser transportado y el movimiento es el resultado de la acción del impacto de la gota de lluvia, de la turbulencia provocada por ellas y el agua de escurrimiento, para finalmente ser depositado.

Por lo tanto en la secuencia erosiva se reconocen tres procesos claros y definidos:

- Las partículas se sueltan de la masa del suelo
- Las partículas son transportadas
- El material es depositado y,

los agentes erosivos que actúan conjuntamente son las gotas de lluvia y el escurrimiento superficial.

2.1 Agentes erosivos

2.1.1 Gotas de lluvia

Las gotas de lluvia varían en tamaño desde las muy finas (nieblas), hasta las más gruesas que pueden alcanzar diámetros de hasta 7 mm. La relación entre el tamaño de la gota y la intensidad de la lluvia es que, mientras mayor es su intensidad, mayor es el tamaño de gota.

Esto está relacionado directamente con la velocidad de caída, ya que mientras mayor es el diámetro de gota, mayor es la velocidad de caída (Figura I).

Las gotas, mientras más pequeñas son, tienden a ser de forma esférica y, a medida que aumentan su diámetro se aplanan, presentando una menor curvatura de la superficie, lo que provoca que, al disminuir la tensión superficial, las gotas se rompen, siendo el límite máximo de unos 7 mm.

La gota de lluvia expresa una acción sobre el suelo que puede ser estimada a través de su energía cinética, la que puede calcularse según la siguiente expresión:

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

Esto determina la fuerza del impacto que es absorbido por la superficie del suelo, mientras que, el área de la gota indica la superficie afectada por el choque.

La energía cinética contenida en una gota de 2,5 mm de radio es suficiente para levantar del suelo un cuerpo de 46 gramos a una altura de 1 cm y a medida que aumenta, la energía cinética aumenta en 1,2 veces la intensidad.

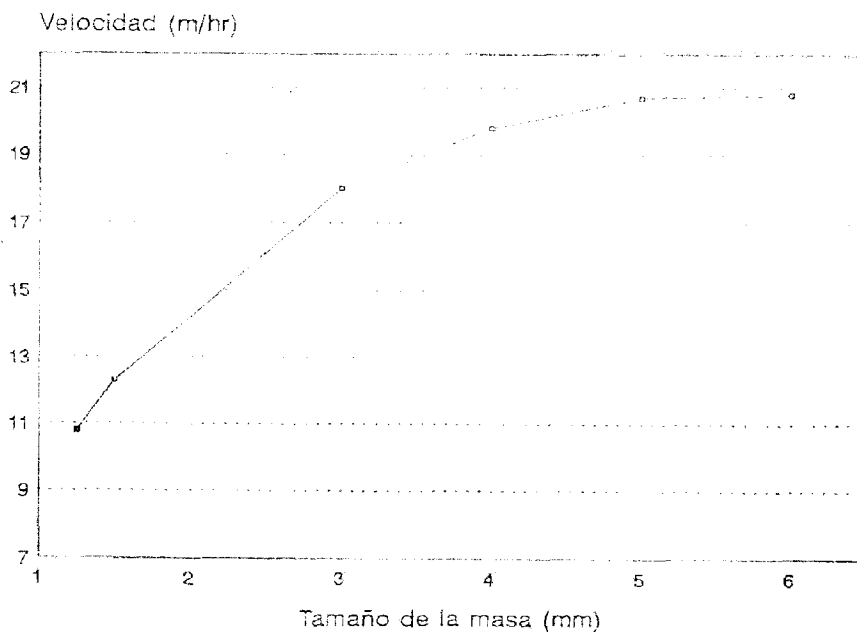


Gráfico 1 Velocidad de caída de gotas de distinto tamaño. Altura de caída: 20 metros

El movimiento del suelo que provoca la gota es ejercido hacia los lados, hacia arriba y hacia abajo, y como el golpe de la gota suelta y desprende las partículas del suelo, ellas son conducidas por la corriente hacia abajo.

En superficies planas, el golpe de la lluvia dispersa el suelo uniformemente, y las partículas que vuelven a caer casi en el mismo lugar, pero, si el golpe es inclinado por la acción del viento o, cae verticalmente en una superficie inclinada, la mayor proporción del desplazamiento será hacia abajo aunque no haya escurrimiento (Figura 2).

Las gotas de lluvia tienen además un fuerte efecto sellante y compactador, lo que provoca la disminución súbita de la velocidad de infiltración. Esto conlleva rápidamente a la concentración del agua en superficie y su escurrimiento con lluvias de moderada a alta intensidad.

Como ejemplo de esta situación, mediante el empleo de simuladores de lluvia se constató que, haciendo variar el tamaño de la gota de 1 a 5 mm de diámetro, la infiltración decreció en un 70% y, la concentración de partículas de suelo arrastradas por erosión se incremento cerca de un 1.200%.

Ahora bien, los suelos tienen características de infiltración diferentes de acuerdo a su naturaleza y es necesario conocerlas de forma tal de estimar el escurrimiento potencial. La siguiente tabla indica a modo orientativo algunos valores:

TABLA. Velocidad de Infiltración de suelos

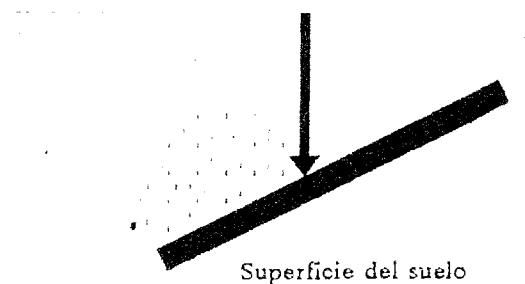
Textura	Vi (cm/hora)
	25.4 – 5.08
Areno francosa	1,27 – 2,54
Franca	0,762 – 1,524
Franco limosa	0,254 – 0,508
Franco arcillosa	

Conclusión: AUMENTO

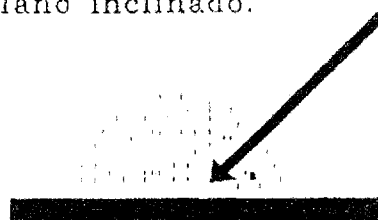
DISMINUCION

Tamaño de la gota
Erosión

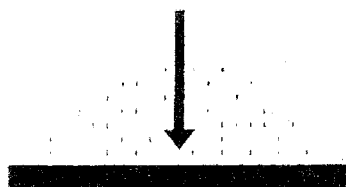
Velocidad de Infiltración



A. Caída de la gota al suelo verticalmente en un plano inclinado.



B. Gota inclinada por el viento que golpea un suelo plano.



C. Gota vertical en un suelo plano.

Figura 2. Diferentes tipos de impacto de la gota de lluvia.

2.1.2 Agua de escurrimiento

El agua de escurrimiento se mueve por la superficie del suelo en forma de una lámina más o menos pareja por toda la superficie o, concentrada o canalizada.

La relación entre la velocidad de las gotas de lluvia y la del escurrimiento es de 40 km/h a 2–3 km/h. Esto induce a pensar que la acción de la gota de lluvia es de mayor importancia en la erosión, sin embargo, el agua de escurrimiento tiende a concentrarse, aumentando su cantidad, la concentración de elementos en suspensión y su velocidad, en un ciclo creciente que produce un mayor potencial de erosión. A medida que el agua se carga de elementos en suspensión, su acción socavadora es mayor.

La acción socavadora está explicada en la erosión de zanjas, pero en síntesis es que con los aumentos de velocidad, de masa y de cantidad, la acción erosiva se concentra en la parte baja de la pendiente, donde desmorona material (efecto de cascada) y la zanja avanza retrógradamente, hasta alcanzar el nivel de base (Figura 3).

3. FACTORES QUE CONDICIONAN LA EROSION

Los factores condicionantes de la erosión se pueden dividir en tres grandes grupos:

- Factores del Clima;
- Factores del Suelo
- Tipo de Explotación o factores de manejo.

3.1 Factores del Clima

El clima es uno de los agentes principales en relación con la modificación de los paisajes naturales y, su acción modeladora, en general en equilibrio con el resto de los elementos ambientales, se ve potenciada y acelerada cuando la intervención humana o acción antropogénica es contraria a este equilibrio.

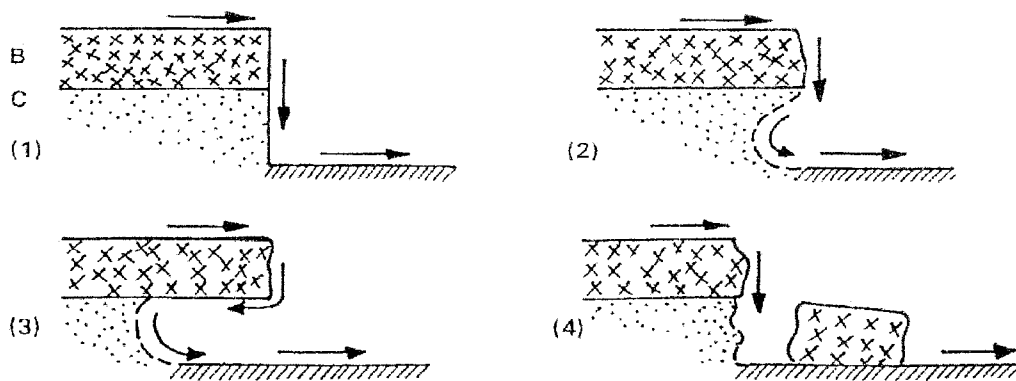
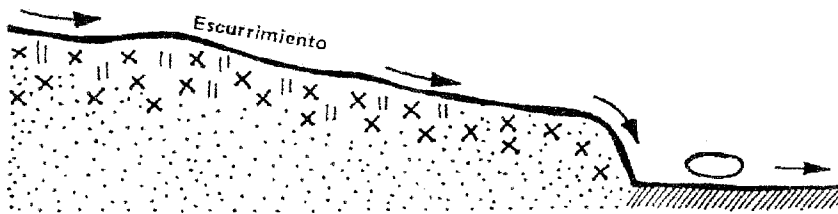
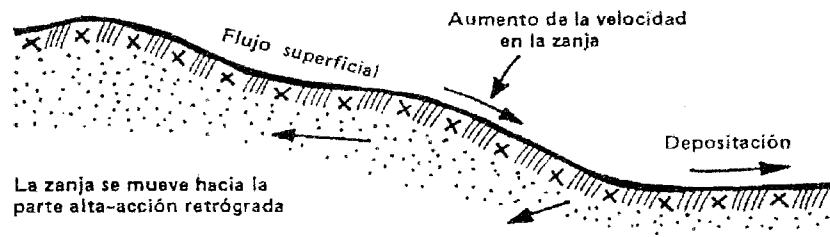
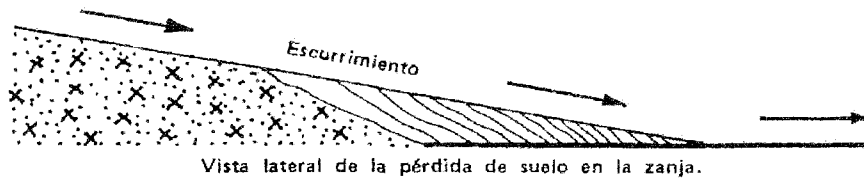


Figura 3. Acción erosiva concentrada en la parte baja de la pendiente, desmoronamiento de material (efecto cascada).

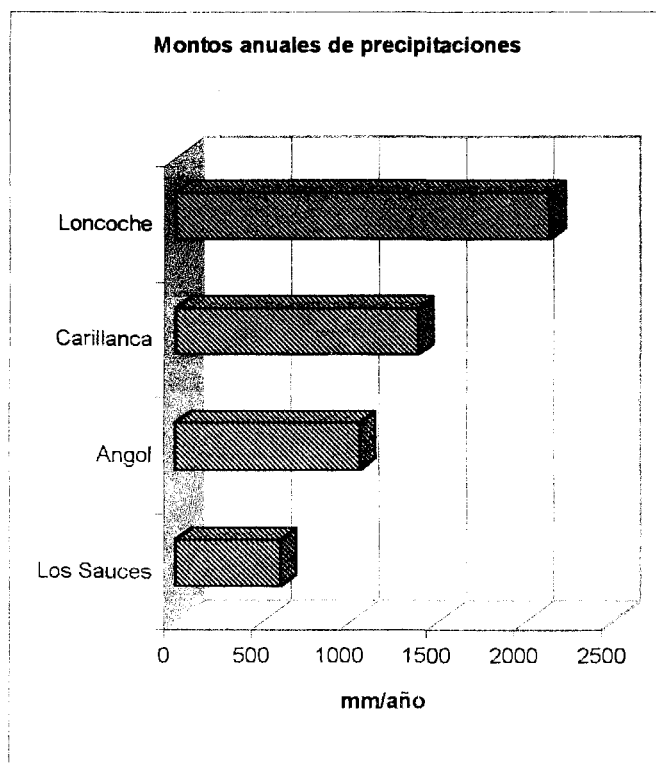
Esto se traduce en que, el clima y sus variables, per se, no son los agentes responsables de la problemática de la erosión, si no que su acción, cuando, el equilibrio ambiental está alterado, induce a que el proceso se manifieste y su conocimiento da las bases para el control de los procesos erosivos.

Las variables principales del clima que interesan desde el punto de vista de la erosión están referidas a la precipitación, en cuanto a cantidad de agua caída, época del año en que ésta cae, su intensidad y duración.

3.1.1. Cantidad de agua caída

La cantidad de agua caída depende principalmente en nuestro país de la latitud y la longitud del área considerada.

En la IX región, existe escasa información disponible de estaciones automáticas y de mediciones por un largo período. Sin embargo, existen para algunas localidades valores de precipitación promedio anual que se pueden observar en el cuadro a continuación. Se observa una gran variación, tanto en el sentido norte-sur como este-oeste, fluctuando entre valores cercanos a los 2000 mm hasta los 600 mm.

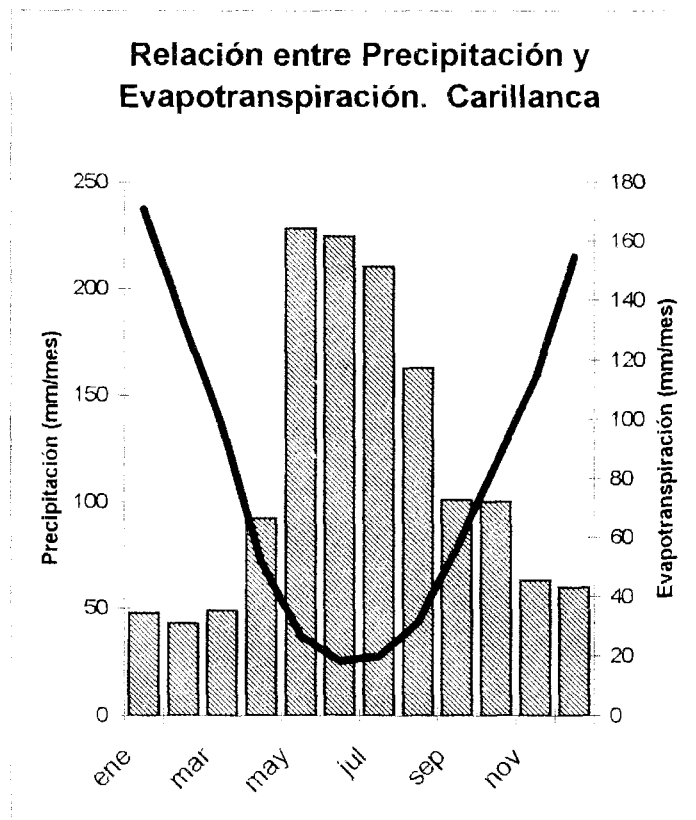


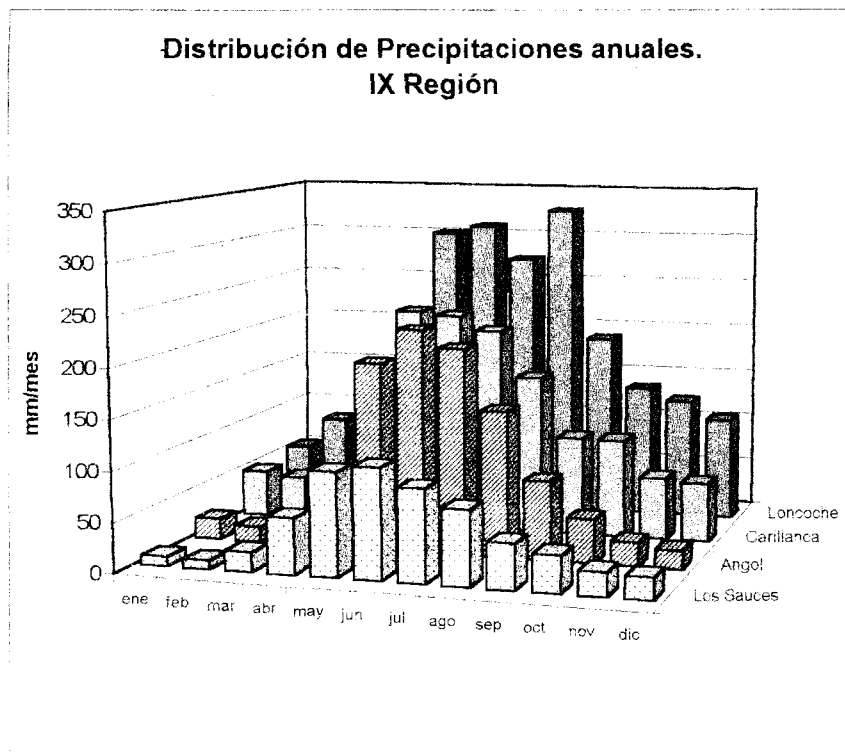
3.1.2. Época del año en que cae

A pesar de que conviven, entre otros, climas Mediterráneo fríos, con climas Marinos, la IX Región muestra, en promedio, concentración de lluvias invernales, dejando una cantidad variable entre los 0 a 4 meses secos. Generalmente los montos máximos se producen en Mayo, Junio y Julio, con una amplitud máxima entre Abril y Octubre, período donde se registra entre el 80 y el 90% de las precipitaciones totales anuales (Figura).

Esto genera como consecuencia que, en esta época, al estar el suelo cubierto con vegetación latente o en receso, con escasa cobertura debido a bajas tasas de crecimiento, recién sembrado o con barbecho, el suelo en general presenta un bajo nivel de cobertura y se encuentra altamente susceptible a los procesos erosivos, a través del golpe de la lluvia y la acción del escurrimiento superficial.

Esta distribución de precipitaciones conlleva a la conclusión de que, al coincidir el período de mínima cobertura del suelo con la máxima tasa de precipitación y las mínimas necesidades de agua por evapotranspiración (Figura), gran parte del agua pasa a ser, potencialmente, escurrimiento superficial y/o percolación profunda en la ecuación de balance hídrico, aumentando así severamente los riesgos de erosión del suelo.





3.1.3. Intensidad de la lluvia

Se define como intensidad de una lluvia a la cantidad de agua que precipita en un tiempo determinado, generalmente en intervalos de una hora. Desde el punto de vista de conservación, éste es el antecedente más importante a considerar, ya que, mientras mayor es la cantidad de agua caída en un mínimo tiempo, también el daño producido es mayor. Esto se debe a que la probabilidad de escurrimiento es máxima y a su vez, a mayor intensidad, el diámetro de las gotas es mayor, lo que conjuga los dos factores erosivos en su potencial máximo.

No obstante la importancia de este antecedente, en el país existe escasa información de lluvias horarias, a lo más referida ésta a lluvias cada 24 horas desde donde podría extraerse información promedio de la lluvia horaria. En la tabla siguiente se dan algunos valores orientativos para clasificar el tipo de lluvias de acuerdo a su intensidad:

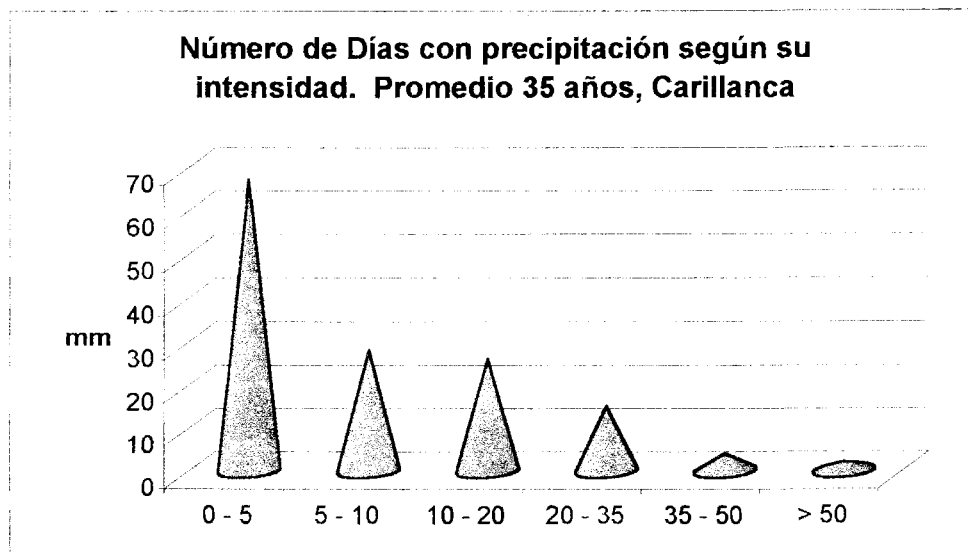
TABLA 2. Tipo de lluvia en relación a su intensidad

Denominación	Intensidad (mm/h)
Ligera	< de 6
Moderada	6 a 12
Fuerte	12 a 50
Muy fuerte	> a 50

La característica fundamental del clima Mediterráneo, en todos sus tipos, es la gran variabilidad de las precipitaciones, por lo cual estos valores extrapolados de información, medida para 24 horas, pueden no tener ninguna validez, aunque de forma práctica hay que prestar atención a aquellos días donde se presentan montos de agua caída superiores a los 10 mm. La siguiente figura ilustra el número de días por año, en promedio, donde se encuentra este tipo de precipitaciones, en Carillanca.

Esto es relevante en los sectores de lomajes y cerros, donde los datos serían de suma importancia para el diseño y ejecución de prácticas de conservación, con la información válida para el área, sin tener que extrapolarla.

En general se piensa que la aplicación de técnicas de conservación es independiente de esta información básica, o que pueden emplearse datos extrapolados desde otras regiones o países. Sin embargo, en muchos casos, esta simplificación teórica puede conducir al fracaso absoluto de las obras, con el consiguiente daño adicional a los recursos y, lo que es peor, la pérdida de credibilidad del agricultor hacia los técnicos involucrados.



3.1.4. Duración de la lluvia

La duración de la lluvia está directamente relacionada con la saturación del espacio poroso del suelo y con el escurrimiento. Períodos superiores a 24 horas de lluvia, o lluvias sucesivas separadas por intervalos de menos de un día, normalmente producirán la saturación del suelo, aumentando el escurrimiento. Si no existe la cobertura adecuada del suelo, el peligro latente de erosión se hará palpable rápidamente.

3.2 Factores del suelo

Los factores relacionados con el suelo están orientados directamente a las características intrínsecas de éstos, que les confieren aptitudes y limitaciones. De acuerdo a estas aptitudes y limitaciones el suelo debe utilizarse.

Esto se resume en la creación de unidades de suelo que pueden agruparse por aplicarse aspectos de manejo similares (Unidades de Manejo y Clases de Capacidad de Uso).

El conocimiento de las características de los suelos, en lo referente a conservación y susceptibilidad de los suelos a la erosión, no está relacionado con clasificaciones taxonómicas de éstos, sino que, lo más importante, es poder realizar clasificaciones interpretativas de uso de la tierra, derivadas del análisis crítico y profesional de sus características.

Por eso es necesario que el Agrónomo o Técnico aprenda a reconocer los suelos, con el criterio anteriormente descrito, realizando en terreno estos reconocimientos, indicando expresamente los factores que determinan el uso, manejo y tratamiento de éstos.

Este reconocimiento debe estar basado en estudios de terreno, específicos del predio, sistemas prediales o cuencas hidrográficas, aplicando sistemas de clasificación ajustados al sitio y al clima, con una cuota importante de experiencia y datos de productividad.

Se debe aprender a extraer también la información necesaria para los fines descritos, de estudios realizados en la zona con otra orientación. Se tienen que conocer las necesidades de información para definir lo faltante y lo sobrante. Este es el objetivo de esta publicación: conocer las características principales de los suelos necesarias para este tipo de análisis y su significado desde el punto de vista de la conservación, en un lenguaje común.

El objetivo final es poder realizar un catastro de los suelos, uso actual y potencial de la tierra con aplicación directa al área, con información de caracterización de suelos, topografía, grados de erosión, otros. A partir de estos antecedentes, se deben dar las recomendaciones precisas de manejo y prácticas y técnicas de conservación que ayuden al agricultor a ejecutarlas en el campo y, producir en forma permanente, sustentable y económica, manteniendo y mejorando los recursos naturales renovables.

3.2.1. Características de la tierra

Toda propiedad agrícola o un conjunto de ellas está constituida por un conjunto de tipos de suelos y, cualquier cambio de sus características tales como drenaje, topografía, erosión y otros, va a determinar usos agrícolas diferentes.

La clasificación de la Capacidad de Uso de la tierra se basa en sus limitaciones permanentes y ellas determinan su potencialidad de uso.

La primera actividad a realizar para definir la capacidad de la tierra es analizar el suelo. Esto se realiza a través de calicatas o mediante utilización del barreno agrológico, examinando las características del perfil y sus variaciones y similitudes. Para esto se emplean hojas especiales de descripción, observación estereoscópica de fotografías aéreas y fotomosaicos del área.

Una vez definidas las características de los suelos y de las tierras del lugar se procede a vaciar dicha información en planos donde se especifiquen las distintas unidades de condiciones especiales, significativamente distintas unas de otras, en lo que se refiere a suelos, al uso de la tierra y su tratamiento, dándole a cada una de las unidades una identificación particular.

La idea de estos estudios no es realizar levantamientos de suelos, donde cada una de sus características se observe separadamente, sino lograr, mediante el análisis crítico, que éstas aparezcan interrelacionadas y con la significación propia que el tipo de suelo le impone.

Un ejemplo de esto es la pendiente. No es lo mismo un 15% de pendiente en un suelo formado de materiales graníticos de la costa (Serie Cauquenes) respecto de otro clasificado como trumao (Serie Gorbea o Pemehue) ya que sus características intrínsecas, como textura, permeabilidad u otras son diferentes.

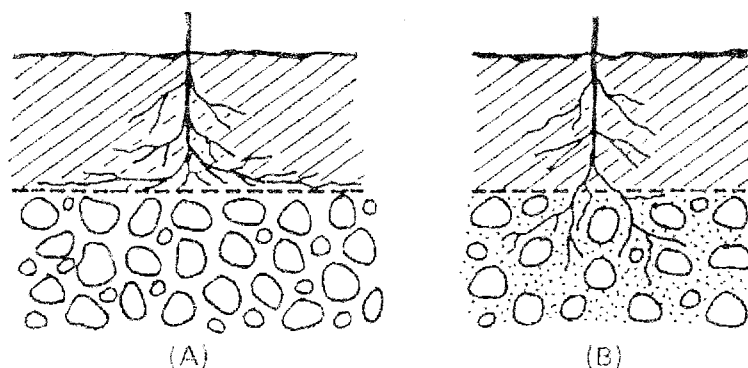


Figura 10 Diferentes tipos de substratos que limitan la profundidad radicular.

La clasificación más usual de la profundidad del suelo es la siguiente:

CUADRO 1. Clases de profundidad de suelos.

SIMBOLO	GRADO	VARIACION
1	Muy delgado	0 - 0,25 m.
2	Delgado	0,25 - 0,50 m.
3	Mediano a moderado	0,50 - 0,90 m.
4	Profundo	0,90 - 1,50 M.
5	Muy profundo	más de 1,50 m

Los rangos indicados no son absolutos y deben considerarse exclusivamente para los suelos de secano o rulo, ya que en éstos, los volúmenes de agua retenida dependen exclusivamente de la caída pluviométrica.

Textura

Comúnmente se habla de textura del suelo a la proporción relativa de tamaño de partículas en que se encuentran los diferentes constituyentes de la fracción mineral del suelo (arena, limo y arcilla), las cuales se pueden observar en el cuadro de clases texturales que se presenta a continuación y, en la figura 11, que da relaciones porcentuales entre los diferentes constituyentes:

La profundidad del suelo es otro ejemplo de esto, ya que tiene distinta significación dependiendo de si este posee una alta capacidad de retención de agua o no, si es de riego o de secano, etcétera.

Por lo tanto, cada característica tiene un significado particular en relación con las otras, conformando el "individuo suelo", con su individualidad característica.

3.2.1.1. Características de los suelos desde el punto de vista de la conservación

Profundidad efectiva del suelo

Se denomina profundidad efectiva del suelo, al sector del suelo hasta y donde las raíces de las plantas pueden penetrar con facilidad y que es lugar donde se almacenan el agua y los elementos nutritivos que las plantas pueden utilizar.

Cualquier tipo de roca, "tosca", pan de arcilla y otros, que limita la profundidad del suelo, impide el desarrollo de las raíces, con lo que los rendimientos disminuyen. El tipo de material que impide el arraigamiento también es sumamente importante en su relación con los atributos del suelo (Figura 10).

Por ejemplo, es diferente hablar de una estrata compactada, como es el caso del subsuelo de la serie Espinillo, que presenta una estrata cementada por sílice a los 20 cm, que un suelo aluvial, con presencia de material grueso en profundidad especialmente cuando estos bolones y ripio se encuentran mezclados con arena ("ripio sucio"), ya que las raíces pueden penetrar y la profundidad efectiva del suelo es diferente en el caso anterior.

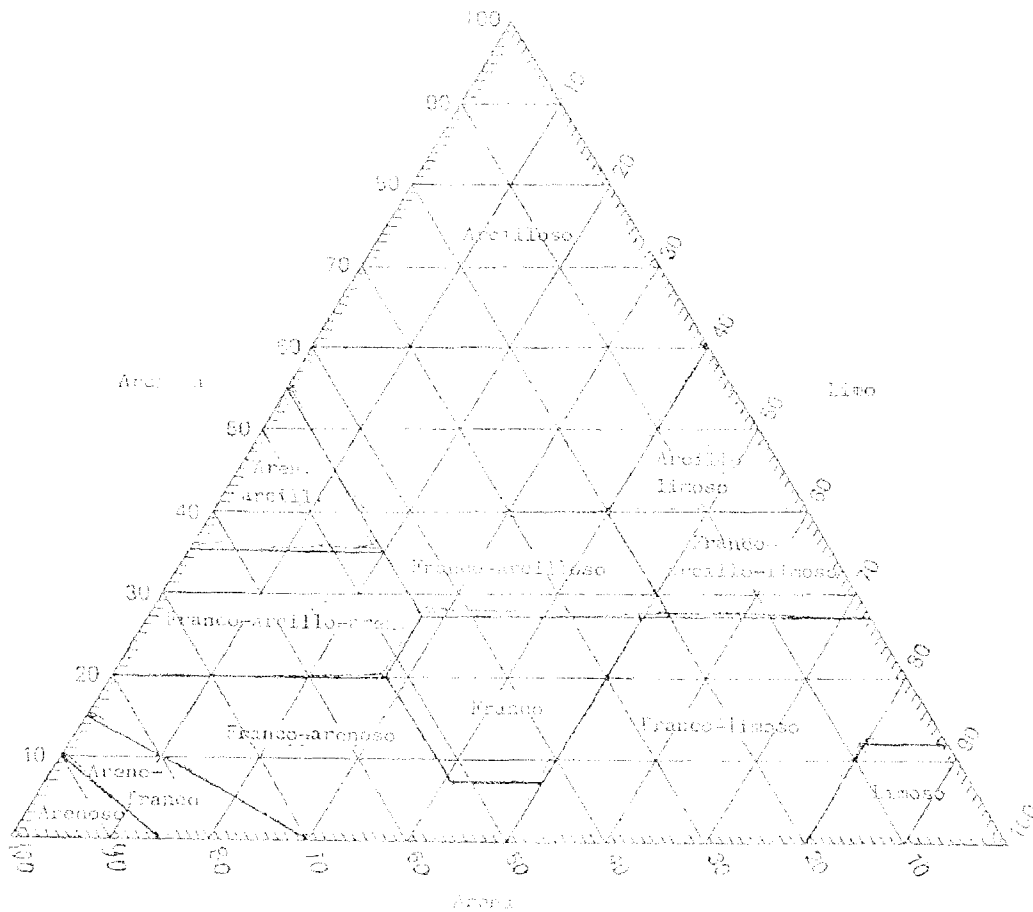


Figura 11. Textura del suelo

CUADRO 2. Clases texturales de suelo

TEXTURAS LIVIANAS	TEXTURAS MEDIAS	TEXTURAS PESADAS
Arenosa	Franco arenosa	Franco arcillo arenosa
Arenosa gruesa	muy fina	muy fina
Arenosa francosa	Franco	Arcillo arenosa
Areno francosa fina	Franco limosa	Arcillo limosa
Franco arenosa	Limosa	Arcillosa
Franco arenosa fina	Franco arcillo arenosa	Arcillosa densa
	Franco arcillo limosa	
	Franco arcillosa	

Los cambios abruptos de textura entre horizontes contiguos origina, generalmente, dificultades en el movimiento del agua y en el arraigamiento. Esto es común en algunos suelos aluviales donde estratas de texturas gruesas bloquean la penetración del agua, produciendo lo que comúnmente se llama "agua colgada". Esto mismo sucede en el caso de una estrata de arena bajo de una de arcilla (Figura 12). Estos quiebres texturales interrumpen la penetración de las raíces en la línea divisoria bien marcada entre las estratas contrastantes.

Estructura

Se le denomina Estructura del suelo a la forma como se agrupan las partículas individuales del suelo, y se clasifica en dos grandes grupos:

- a) Suelos no estructurados
- b) Suelos estructurados

Suelos no estructurados.

Pueden ser de grano simple y masivos.

Grano Simple. Cada partícula de suelo se presenta aislada de las demás y tienen muy poca ligazón entre ellas, siendo común en suelos arenosos. La presencia de este grado de "no estructura" tiene una influencia extraordinaria en los fenómenos erosivos eólicos ya que el suelo presenta un alto grado de "dispersabilidad" por el viento. Frente la erosión hídrica, debido al gran poder de infiltración que presenta y la excesiva permeabilidad, es de bajo riesgo, a excepción por el agua de escurrimiento ya canalizada, a la que son muy sensibles.

Suelos masivos. El suelo al estar seco, no presenta ningún tipo de agregación. En la observación del perfil sólo se observan caras lisas, y como generalmente tienen una permeabilidad lenta a muy lenta, son susceptibles a la erosión de manto. Es muy común en suelos arcillosos o franco arcillosos, como las terrazas marinas (Serie Rosario)

Suelos Estructurados

En estos suelos, las partículas presentan agregación de acuerdo a algún patrón particular. Se presentan cuatro tipos de estructuras bien diferenciados: laminar, prismático, de bloques y esferoidal.

Estructura laminar. El eje horizontal de los agregados es mayor que el eje vertical. Es una estructura no deseable desde el punto de vista de Conservación, pues tanto el agua, el aire, como las raíces penetran y se mueven lentamente entre las láminas, ya que usualmente éstas ocupan una posición parecida a un muro de albañilería (Figura 13).

Generalmente, esta estructura es de tipo antrópico como es el caso común del "pie de arado" en donde una labor, siempre ejecutada a la misma profundidad produce un horizonte antrópico de difícil penetración por el agua y las raíces, originando el crecimiento lateral de éstas y "colgando" el agua. Este fenómeno es muy frecuente en las viñas de secano.

Sobre la superficie del suelo también es muy frecuente encontrar este tipo de estructura producida por el excesivo pisoteo de los animales, en suelos húmedos y mojados, que es uno de los daños principales del sobrepastoreo en áreas frágiles, provocando un aumento del escurrimiento.

Estructura prismática. En esta estructura el eje vertical es más largo que el eje horizontal. Se presentan dos tipos bien diferenciados: la prismática propiamente tal y la prismática columnar (Figura 14).

La estructura prismática es común en suelos con un alto contenido de arcilla de tipo expandible y desde el punto de vista de conservación son estructuras no deseables por cuanto hacen muy dificultoso el laboreo del suelo.

La estructura columnar es propia de los suelos con alto contenido de Na. Son muy difíciles de trabajar, ya que con una mínima cantidad de agua, el suelo se dispersa totalmente y se transforma en lodo.

Estructura de bloques. Se les divide en dos tipos: bloques angulares y bloques subangulares. Generalmente sus dos ejes son semejantes. Siempre que los bloques no sean muy grandes y muy tenaces, son, generalmente, buenas estructuras (Figura 15).

Estructura esferoidal. Es la estructura de mejor calidad y a ella pertenece la granular. Esta estructura es la más deseable y la mejor, pues permite en buena forma, el paso del aire y del agua y el adecuado intercambio de nutrientes entre las partículas del suelo y las raíces.

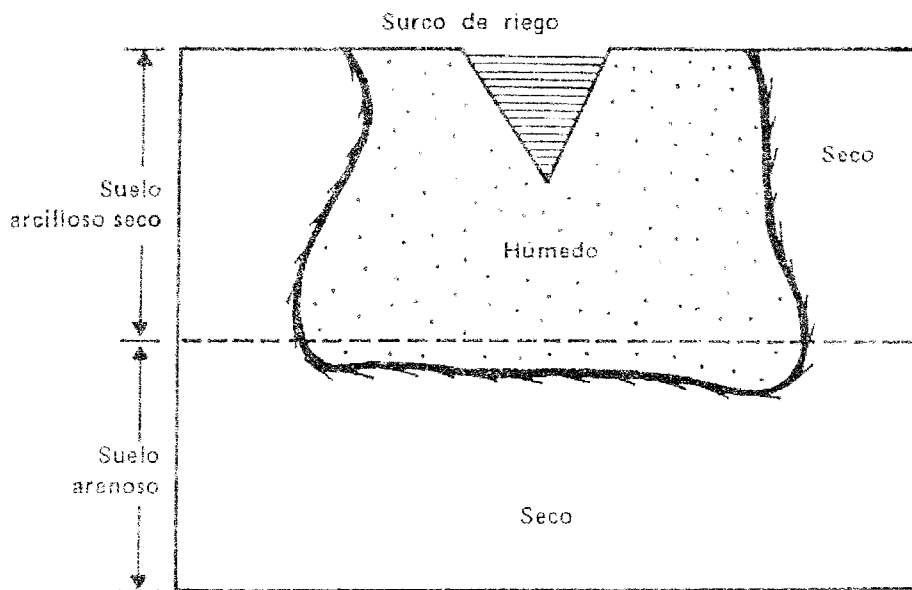


Figura 12. Agua colgada

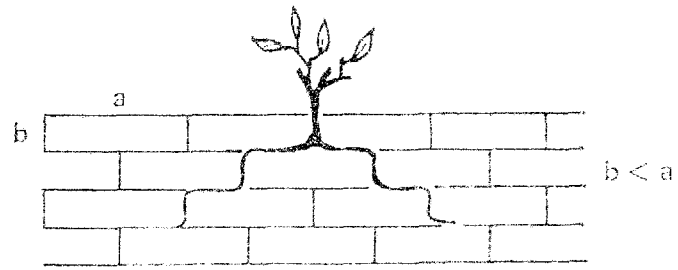


Figura 13. Estructura laminar

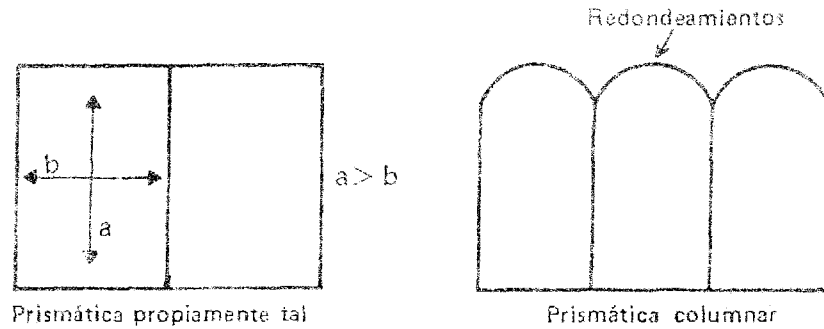


Figura 14. Diferentes tipos de estructura prismática.

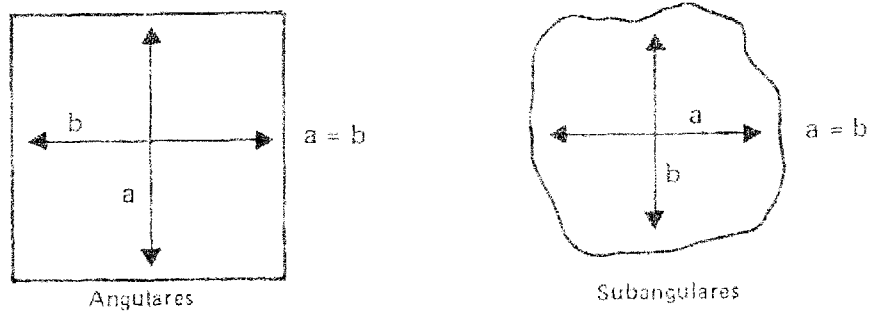


Figura 15. Diferentes tipos de estructura de bloques.

Ahora bien, hay que tener en consideración que, los agentes que permiten la estructuración del suelo, son de extrema importancia para la conservación de éste, debido a que la agregación en estructuras definidas, es la responsable de la mayor o menor estabilidad del suelo frente a los procesos erosivos.

Entre los agentes principales de agregación se encuentran la arcilla, los hidróxidos de Fe y la Materia Orgánica (Figura 16).

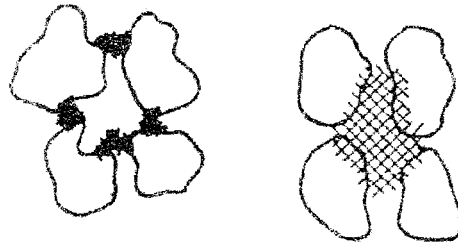


Figura 16. Diferentes grados de agregación de partículas.

CUADRO 3. Clases de Permeabilidad con respecto a la Textura y Estructura

Símbolo	Clases de permeabilidad	cm. de Percolación por hora	Textura probable	Estructura Probable
Lenta				
1	Muy lenta	Menos de 0,125	Muy pesada a pesada	Masiva, columnar.
2	Lenta	0,125-0,5	Pesada a media	Prismática
Moderada				
3	Moderadamente lenta	0,52-2	Pesada a media	Prismática
4	Moderada	2 - 6,25	Media a liviana	Bloques subangulares
5	Moderadamente rápida.	6,25 - 12,5	Media a liviana.	Bloques subangulares
Rápida				
6	Rápida	12,5 - 25	Liviana a gruesa	Grano simple
7	Muy rápida	Más de 25	Gruesa a gravosa.	Grano simple

Clase de material subyacente

La clase de materiales, consolidados o no, que pueden o no ser el material de origen del suelo, influye en la mayoría de los casos en las características del suelo, grado de fertilidad, comportamiento respecto a las constantes hídricas, etcétera, si están colocados a menos de 1,20 m. de profundidad. A cada tipo de material se le da una letra convencional cuya lista es la siguiente:

- G Rocas cristalinas ácidas
- H Rocas cristalinas básicas
- I Rocas cristalinas neutras
- J "trumaos"
- K Rocas metamórficas: pizarras de grano fino, esquistos y otros.
- L Areniscas, rocas sedimentarias de grano grueso, medio y fino
- M Rocas sedimentarias de origen orgánico, conglomerados calcáreos calizas y otros.
- N Materiales glaciales y fluvioglaciales
- O Turbas
- P Arenas
- Q Hard pan ("Toscas")
- R Materiales aluviales semi-consolidados
- S Terrazas marinas
- U Materiales lacustres
- V Materiales aluviales recientes
- W Claypan ("sebo de burro")
- X Materiales coluviales sueltos y consolidados

Exposición

Este es un aspecto que no se ha considerado con la debida importancia en el país y es un factor de enorme validez en relación a la erosión. La mayoría de los suelos

con exposición Norte, presentan mayor grado de erosión y son más delgados, existiendo muchas veces una marcada diferencia de evolución en los suelos y una distinta composición botánica de la flora del lugar.

La ladera Norte, tiene una mayor exposición al sol y se seca más rápido que la parte baja y las otras laderas. Consecuencialmente estos suelos tienen un nivel más bajo de materia orgánica, debido a una mayor mineralización y, cuando se secan, son más frágiles que los de la ladera Sur, frente a la lluvia y el escurrimiento. En el invierno, la acción de congelación y descongelación es más intensa que en la ladera Sur. Por otro lado, la evaporación es mayor en la ladera Norte.

La exposición de las pendientes tiene una relación estrechísima también con la cantidad de agua de precipitación, sobre todo entre las exposiciones Oriente y Poniente de la Cordillera de la Costa, en todos aquellos sectores en donde el eje longitudinal de las montañas está en ángulo recto con los vientos predominantes.

El efecto de las montañas al incrementar y disminuir las cantidades de precipitación, en las exposiciones Oriente y Poniente, es bien visible si se realiza un transecto en cualquier punto de Chile Central, desde el océano hasta la Cordillera de Los Andes. Se observa que las precipitaciones son más abundantes en la vertiente orientada hacia el mar, disminuyendo hacia la vertiente oriental, efecto denominado "sombra de lluvia" (Figura 17).

La simbología para señalar las exposiciones es la usual:

N	Norte
S	Sur
E	Este u Oriente
O	Oeste o Poniente

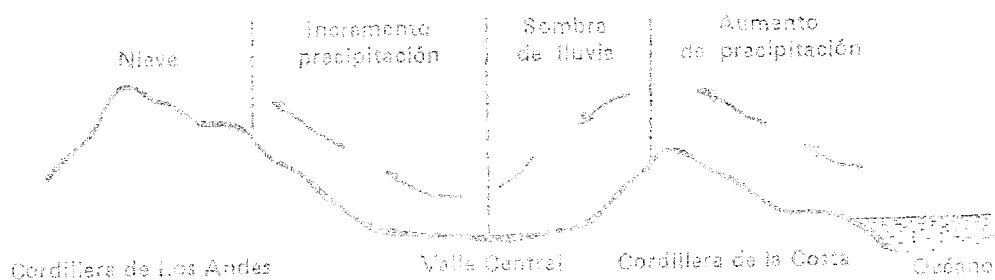


Figura 17. Efecto orográfico sobre las distribuciones de las precipitaciones.

Permeabilidad

Llámesese permeabilidad del suelo a su capacidad de transmitir agua o aire. Puede ser expresada en términos de cantidad de flujo de agua a través de una sección cuadrada de suelo saturado, en una unidad de tiempo y bajo condiciones hidráulicas específicas.

Los grupos de permeabilidad aplicables al suelo y al subsuelo o a cada uno de los horizontes, o a aquel que limita la efectiva profundidad del suelo, son los siguientes:

- Y Gravas y piedras
- PY Mezcla de arenas con gravas y piedras
- JP "Trumao" mezclado con arena
- JY "Trumao" mezclado con gravas y piedras

Pendiente

La pendiente no tiene la misma significación en todos los suelos. En aquellos relativamente estables, o sea poco susceptibles a la erosión, la pendiente debe ser considerada con un margen más amplio, lo que no sucede en los suelos altamente susceptibles. A veces en suelos fuertemente arcillosos, una pendiente suavemente ondulada, en vez de ser un factor en contra, es beneficiosa porque contribuye a un mejor drenaje superficial del suelo.

Es así porque en suelos planos arcillosos, al empezar las lluvias, las arcillas aumentan de volumen e impiden el paso del agua a través del perfil manteniéndose sobre el suelo gran parte del invierno, lo que determina su mal drenaje.

CUADRO 4. Clase y porcentaje de pendiente.

	A Casi plano	B Suavemente ondulado	C Moderadam ente ondulado	D Fuertemente ondulado	E Escarpado	F Muy escarpado
Clases de Suelos	%	%	%	%	%	%
Relativamente estables	0-2	2-8	8-15	15-30	30~50	+50
Altamente erosionables	0-1	1-4	4-8	8-15	15-30	+30

Muchas veces los suelos tienen lo que se llama una pendiente compuesta, es decir una pendiente general más la pendiente de microrrelieve, que es necesario indicar porque afecta el uso de la tierra.

De esta manera se debe tratar de dejar bien expresada la forma de la pendiente, si es en un sentido o en varios sentidos. (Figura 18).

La pendiente, en su relación con la erosión, no sólo tiene significación en cuanto a su grado, sino en cuanto a la forma y también respecto al largo de ella. Mientras más larga es una pendiente más cantidad de agua se concentra, adquiere mayor velocidad y tiene posibilidad de arrastrar más materiales en suspensión.

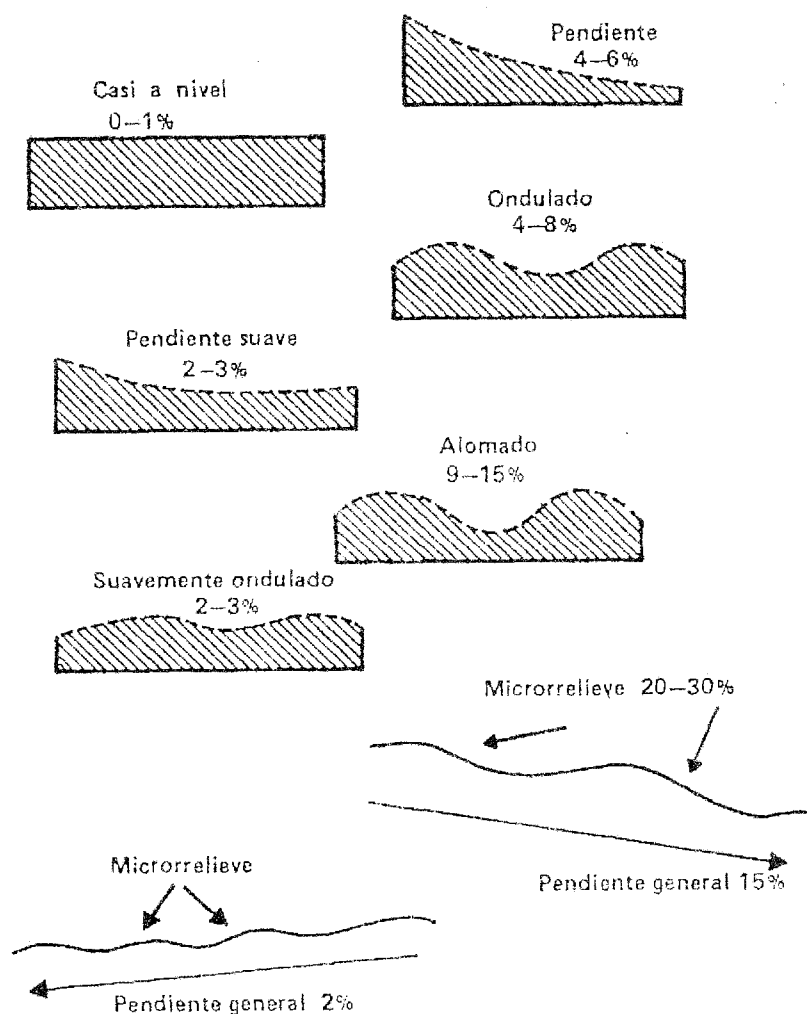


Figura 18. Clases y tipos de pendiente.

Hay fases del suelo que se definen principalmente en términos de la pendiente, pues implican diferencias significativas para el uso y manejo de éste y para su mayor o menor estabilidad. Pero jamás deben considerarse exclusivamente bajo este solo punto de vista, sino que la pendiente debe relacionarse con las demás características del suelo.

Existe la tendencia de considerar la pendiente en su valor absoluto, resultando con ello, la mayoría de las veces, clasificaciones de suelo que carecen de sentido práctico. Si consideramos como valor umbral para los cultivos 15% de pendiente,

esto puede ser válido para los suelos graníticos, pero para otros suelos, este umbral puede ser superior. Igual consideración hay que tener para los valores umbrales entre empastadas y forestales.

Es necesario insistir en que los rangos de pendiente del suelo deben ser colocados en cada unidad de mapas, pero no hay que concretarse a colocar sólo al porcentaje de ella, sino que también a sus características que, la mayoría de las veces, tienen más significación que la pendiente misma (pendientes compuestas-complejas-microrelieve, etcétera).

Materia Orgánica

El contenido de materia orgánica en los suelos es bastante variable, como así también su tipo y calidad, dependiendo del tipo de suelo y, del lugar climático en que se encuentra. Normalmente, la distribución es con un máximo en el horizonte superficial disminuyendo hacia abajo.

Desde el punto de vista de conservación, la materia orgánica es de suma importancia, ya que da cualidades al suelo que le permiten defenderse de la acción de los agentes erosivos. Es difícil discriminar por observación simple su calidad, pero como criterio para distinguirla, pueden tomarse como indicadores, el color del suelo, la mayor o menor tendencia a encostrarse, la dureza, la de mesofauna (principalmente lombrices), otros.

Un índice del contenido de materia orgánica en el suelo, que puede usarse en muchos suelos de la Zona Norte, Centro y Centro Sur, es el que se da a continuación:

Símbolos	Grados	Porcentaje
MO1	Alta	sobre 3,5%
MO2	Media	3,5 - 2
MO3	Baja	1 - 2
MO4	Muy Baja	menos del 1%

PLANIFICACIÓN Y EJECUCIÓN DE TRABAJOS DE CONSERVACIÓN EN LOS PREDIOS AGRÍCOLAS.

Un plan de Conservación en un predio agrícola es un proyecto a largo plazo, que establece el uso de los recursos del predio para que pueda producir en forma permanente y económica.

Un buen plan de conservación de suelos y aguas en un predio agrícola debe partir del análisis básico de los siguientes factores:

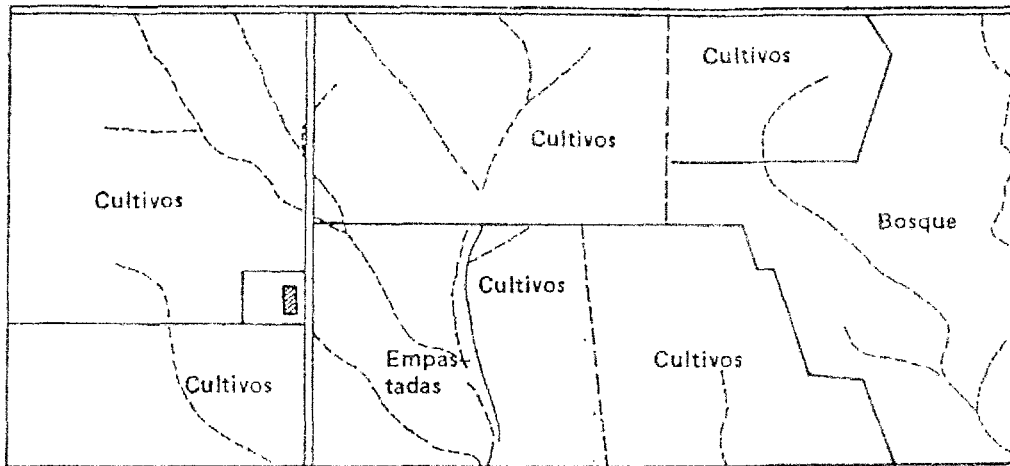
1. Conocimiento de los suelos del predio.
2. Conocimiento de los recursos del agricultor.
3. Conocimiento de los sistemas de labranza del agricultor y de sus implementos.
4. Conocimiento de las investigaciones y experiencias que puedan ser aplicadas al área.
5. Conocimiento del mercado de productos agropecuarios del lugar.

Conocimiento de los suelos del predio

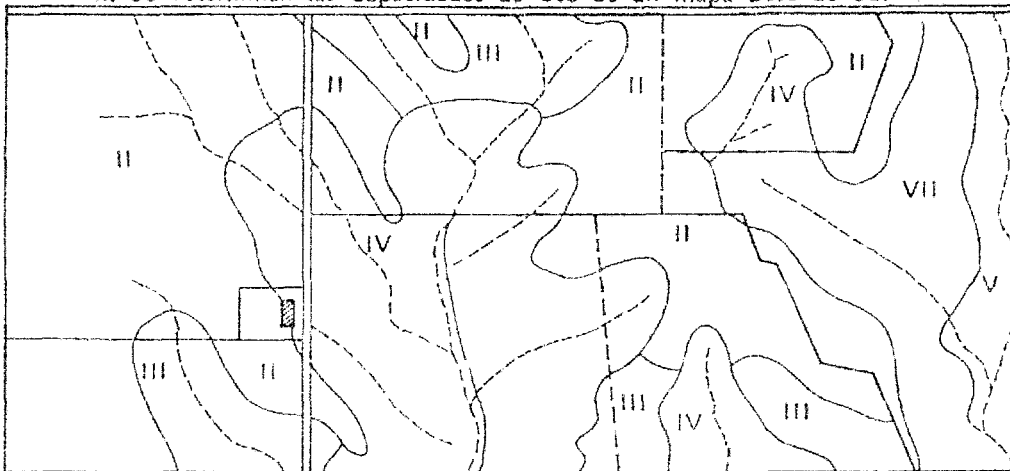
Es fundamental el conocimiento de los suelos, de modo tal establecer las clases de capacidad de uso, previo análisis de sus bondades y limitaciones (Figura 1).

Diferentes etapas de un Plan de Conservación de Suelos en un predio.

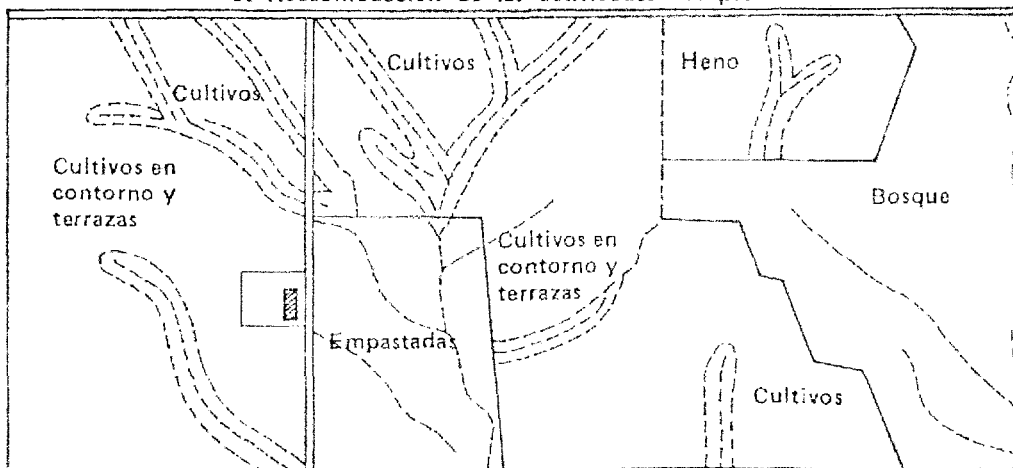
1. Uso actual de la tierra del predio



2. Se determinan las Capacidades de Uso de un Mapa Base de Suelos



3. Reacomodación de las actividades del predio



Desagües empastados

Figura 1.

Conocimiento de los recursos del agricultor

Es necesario conocer los recursos que dispone el agricultor para efectuar los trabajos pues aparecerán una serie de gastos no contemplados. Es necesario ajustar los trabajos a la capacidad económica del agricultor, o en su defecto, buscar algún medio a través de créditos especiales de conservación u otros.

Conocimiento de los sistemas de labranza y los implementos del agricultor.

Muchas prácticas de conservación de suelos y aguas, se efectúan con maquinarias e implementos especializados, pero hay también sistemas adecuados a cualquier tipo de implementos. Por esto, los sistemas e implementos de labranza deben relacionarse con las técnicas que se empleen, para que el probable cambio de técnicas no signifique un gasto oneroso para el propietario, salvo en casos muy excepcionales.

Conocimiento de las investigaciones y experiencias que puedan ser aplicadas al área.

El cambio o acomodación de los sistemas de uso de la tierra debe ir acompañado con un mejoramiento de las técnicas agrícolas relacionadas, como ser: semillas certificadas, mejores variedades, nuevos cultivos o empastadas, forestales apropiados, sistemas de fertilización económicos y productivos, técnicas de riego, otros. Lo mismo se dirá para nuevas experiencias que se lleven a efecto en Conservación de suelos y aguas.

Conocimiento del Mercado de Productos Agropecuarios del lugar.

El agricultor generalmente tiene un pleno conocimiento del mercado de sus productos, sabe cuáles productos puede vender, cuáles le serán de difícil venta y cuáles no tienen mercado. Sin embargo, el técnico, a veces con mayor conocimiento de las políticas generales de comercialización de productos y de nuevos mercados, puede sugerir un cambio futuro de las nuevas corrientes o productos nuevos que podrían ser comercializados por el agricultor. Sin embargo, es preferible que sea el propio agricultor quien escoja, entre alternativas, a qué desea dedicar su predio.

Generalmente la elaboración de un Plan de Conservación de Suelos y Aguas tiene tres etapas sucesivas:

- a) Obtención de Antecedentes, que se traduce posteriormente en mapas y que pueden ser los siguientes:

Mapa de suelos

Mapa de capacidad de uso de los suelos

Mapa de aptitud de los suelos para regadío

Mapa de aptitud de los suelos para los cultivos

Mapa de fertilidad de los suelos

Los fundamentales son los dos primeros porque constituyen la herramienta indispensable para la acomodación del uso del suelo en forma productiva, sin deteriorarlo (Figura 1).

- b) Preparación del Plan de Conservación de Suelos. En esta etapa se efectúa la acomodación del uso del suelo a través de cambios en los cultivos, empleo de rotaciones, fertilización, prácticas de conservación ya sea individuales o de sistemas completos.

Después de hacer una acomodación de todas estas cosas, ellas se traducen generalmente en recomendaciones que se dan en una tabla que el agricultor puede emplear para cada capacidad de uso. El plan debe ser hecho por el propio agricultor con la asesoría del personal técnico capacitado en conservación. Debe ser lo más simple posible, fácilmente comprensible y con la flexibilidad necesaria para hacerlo operable. Siempre hay que tratar de darle al agricultor varias alternativas (Figura 1).

Susceptibilidad a la erosión

No hay que confundir la erosión que es el resultado de las acciones erosivas ya señaladas del viento y del agua y que originan las pérdidas de suelos, con la susceptibilidad a la erosión que presentan los suelos. Así cada suelo presenta un tipo de erosión específica y también tiene su propia susceptibilidad a la erosión.

La diferencia puede ser simplemente el “tiempo”, ya que hay muchos suelos altamente susceptibles a la erosión que no la presentan. Ello se debe, sin duda, a que el uso que se le ha dado al suelo ha sido el apropiado. La susceptibilidad a la erosión no se puede establecer a priori y es necesario efectuar estudios cuidadosos del suelo, con distintas coberturas y con acción distinta del agua de lluvia y del escurrimiento.

Para ello son ideales los instrumentos llamados simuladores de lluvia, que permiten efectuar cultivos en el suelo y someterlos a distintas clases de intensidades de lluvias, por medio de mecanismos especiales. Conjuntamente con esto, se realizan mediciones en parcelas de escurrimiento, donde se evalúa la cantidad en volumen y en peso de sedimentos y agua. Para esto es indispensable contar, al menos con un pluviógrafo por estación de medición.

Analizando las características del suelo es posible también deducir la susceptibilidad de éstos a la erosión, principalmente por la estructura, pendiente, tipos de arcilla, otros. Por ejemplo, entre los suelos derivados de materiales graníticos, en posición de cerros y lomajes, se encuentra el suelo Cauquenes, que es altamente susceptible a la erosión, en forma especial en la manifestación de zanjas.

La razón del por qué se produce este fenómeno es simple. En este tipo de suelos, en los primeros 15 cm. se encuentra un horizonte suelto, de textura franco a franco arenosa; posteriormente se aprecia un horizonte franco arcilloso a arcilloso, de profundidad variable y, finalmente todo descansa en un horizonte de textura franco arcillo arenosa con gravas y casquijos.

Esto origina que, al ser muy deleznable este último horizonte, en las partes bajas de la pendiente, por erosión acelerada, comience el desplome del horizonte intermedio (fenómeno de cascada) proceso que rápidamente avanza hacia atrás, por reiterados socavamientos y desplomes.

Esto genera comúnmente zanjas en V o U, muy cerradas y de bastante desarrollo.

Sin embargo, otros suelos, como por ejemplo la serie Rosario, derivado de sedimentos marinos finos, en posición de terrazas marinas, con topografía plana a moderadamente ondulada, presenta manifestaciones diferentes frente a los procesos erosivos.

En primer lugar la posición limita fuertemente la intensidad de la erosión y, segundo, en los sectores de mayor pendiente, ésta se ve limitada por la textura más arcillosa de los horizontes superficiales y profundos, lo cual le da menos susceptibilidad al suelo frente a los procesos erosivos, presentando manifestaciones de erosión de manto moderada y, en algunos casos, canalículos de erosión con escaso desarrollo.

Medición de la Erosión

Indicadores de la erosión por viento y por agua

Los indicadores de erosión se conocen como las manifestaciones visibles que deja la erosión mientras se produce o cuando ya ha sido producida. El objetivo principal del conocimiento de estos indicadores radica en la necesidad de realizar comparaciones entre áreas con distinto grado de degradación y zonas inalteradas y, dan, en forma aproximada la magnitud del daño que se le ha infringido al suelo.

Es útil para realizar diagnósticos o inventarios de las áreas degradadas en una forma aproximada y, los de uso más común son:

- Disminución de los rendimientos
- Cambios de color en los suelos
- Pedestales de erosión
- Pavimento de erosión
- Línea de líquenes
- Zanjas activas (cantidad, forma y tamaño)

Disminución de los rendimientos

Este fenómeno es de fácil visualización y comienza desde el desmonte de áreas donde no se practicaba la agricultura. En términos generales, el poner una zona de vegetación virgen bajo cultivo, implica en las primeras temporadas, un nivel de productividad muy alto, el cual, a medida que transcurre el tiempo y, dependiente del grado de intensidad de uso, disminuye paulatinamente hasta ubicarse en un nivel base muy inferior, generalmente asociado a los aportes energéticos externos de origen antrópico, llámense fertilizantes, pesticidas y otros, que tienden a hacerlos más o menos estables.

Este proceso ha sido visible en muchas regiones del país y, su explicación está orientada hacia la rápida mineralización de la materia orgánica acumulada en el suelo, la liberación de los nutrientes que ésta contenía, su exportación por las cosechas y su lixiviación por el agua.

Por otra parte, en etapas posteriores, la erosión comienza a manifestarse en su modalidad de erosión de fertilidad, la cual elimina del suelo gran parte del complejo coloidal, responsable de la fertilidad del suelo. Esto finalmente se manifiesta silenciosamente en disminuciones de productividad, que son comunes en las áreas degradadas.

Cambio de color en los suelos

La parte inicial de la mecánica de erosión es la remoción del suelo superficial por erosión laminar o de manto. Esta modalidad de erosión puede en parte y en algunos casos ser totalmente responsable de la pérdida de los horizontes superficiales y subsuperficiales de los suelos.

Esta situación genera que, al ser el subsuelo de colores más claros o más brillantes o más rojizos, que su exposición por los fenómenos de denudación produzca la sensación visual de cambios de color en el suelo, fenómeno muy común en las áreas de barbecho de la región costera.

La observación de este proceso y una evaluación de su intensidad, dan la idea de la magnitud de las pérdidas de suelo que pueden haberse producido.

Pedestales de erosión

Los pedestales de erosión, como su nombre lo indica son relictos del suelo original o base superior, que se han mantenido inalterados frente a los procesos erosivos, protegidos por elementos como plantas, piedras o rocas. Este fenómeno, al observarlo y evaluarlo, da una idea de las pérdidas de suelo producidas, al realizar las comparaciones con el nivel del suelo original (Figura 2).

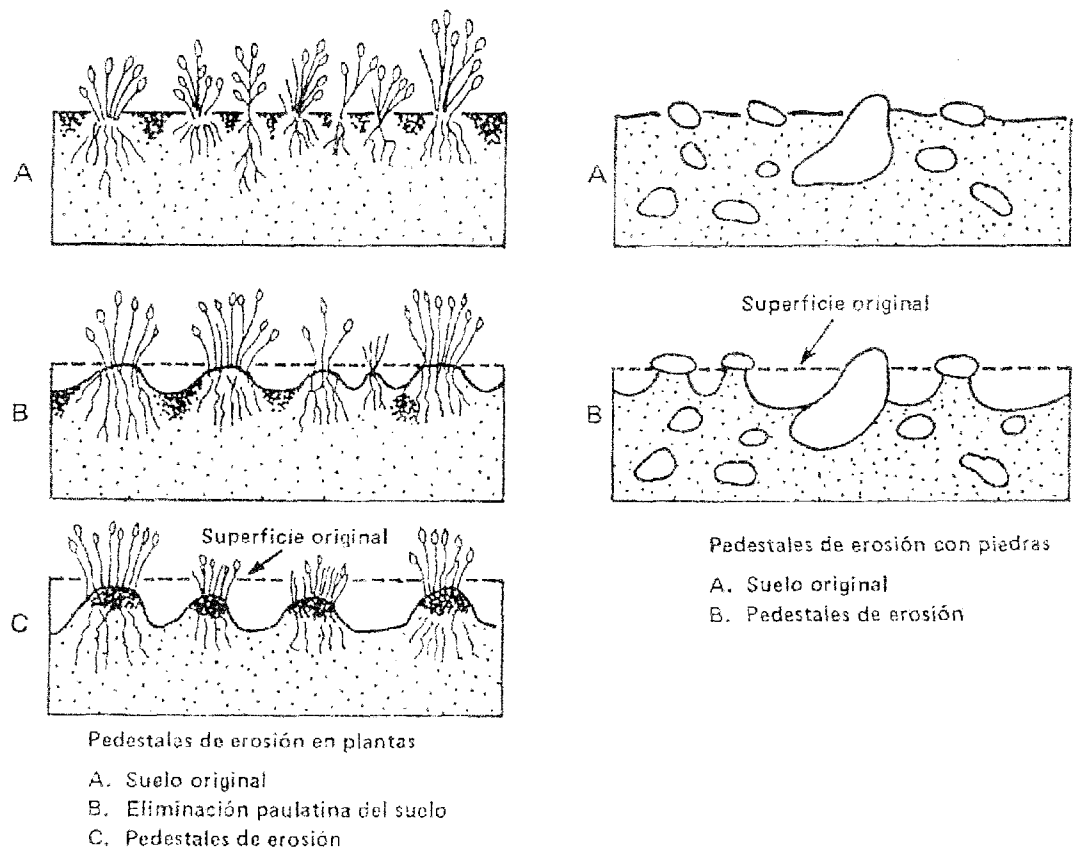


Figura 2. Pedestales de Erosión.

Pavimento de erosión

El pavimento de erosión es visible especialmente después de lluvias intensas en los taludes de las zanjas y es producido por el arrastre de la fracción fina del suelo, dejando en superficie el material más grueso como rocas y piedras, pero también casquijos y grava.

Este "pavimento de erosión" es común en suelos graníticos, donde se forma en la superficie, una capa delgada de grava de cuarzo.

Línea de líquenes

El crecimiento de los líquenes se expresa en las rocas que sobresalen del suelo en la exposición más húmeda, que generalmente coincide con la exposición sur, donde la humedad es mayor. Estos líquenes crecen desde la superficie del suelo hacia arriba.

Si el suelo sufre erosión, la línea de los líquenes quedará sobre el suelo a una distancia variable, que representará en forma cualitativa los montos de suelo perdidos (Figura 3).

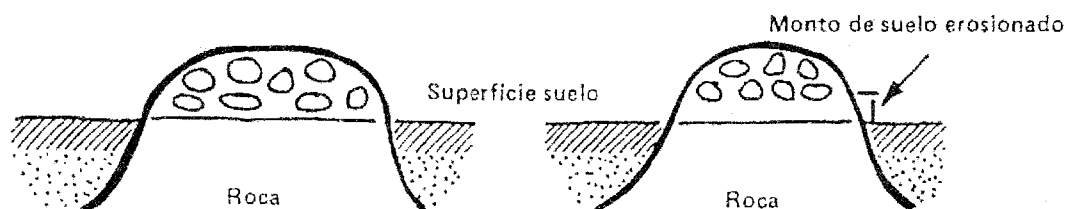


Figura 3. Líneas de líquenes.

Medidores de erosión

Con el objeto de realizar mediciones cuantitativas del monto físico de los materiales que se erosionan, se ha desarrollado un sistema que capta el agua de una parcela de escurrimiento, donde ésta es medida en cantidad y calidad.

Ahora bien, debido a que los volúmenes de escurrimiento pueden ser muy grandes se utilizan los llamados "multidivisores", los cuales cumplen la función de captar una alícuota del agua que escurre (20 al 15%), la cual transporta los materiales finos en suspensión.

Esta agua es medida y analizada en forma posterior y, permite hacer mediciones exactas del proceso, relacionándolo con distintos grados de cobertura, exposición, pendiente, intensidades de precipitación, otros (Figura 4).

El método, pese a ser de una gran exactitud, es largo y laborioso y necesita de un cierto número de repeticiones para validar adecuadamente los resultados.

Para realizar observaciones de los montos de erosión, también pueden ocuparse parcelas, donde se cuadriculan y entierran clavos de 10 a 15 cm. de largo, distribuidos uniformemente en ella. Si se conocen las alturas relativas de cada uno de ellos, es posible, con una observación topográfica posterior, calcular los volúmenes de material faltante. Si se desea aumentar la exactitud, pueden realizarse mediciones intermedias en el espacio que queda entre clavos (Figura 5).

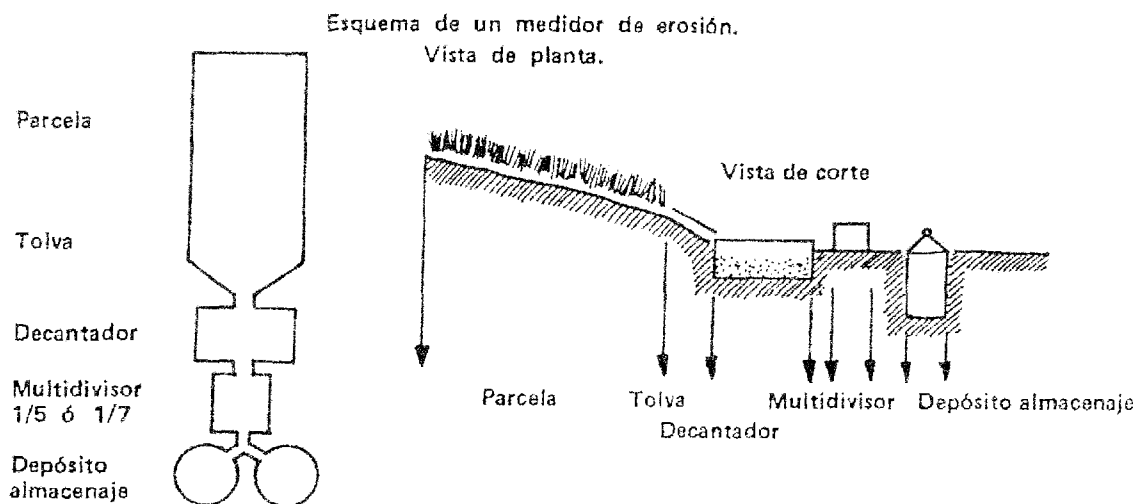


Figura 4. Medidor de erosión

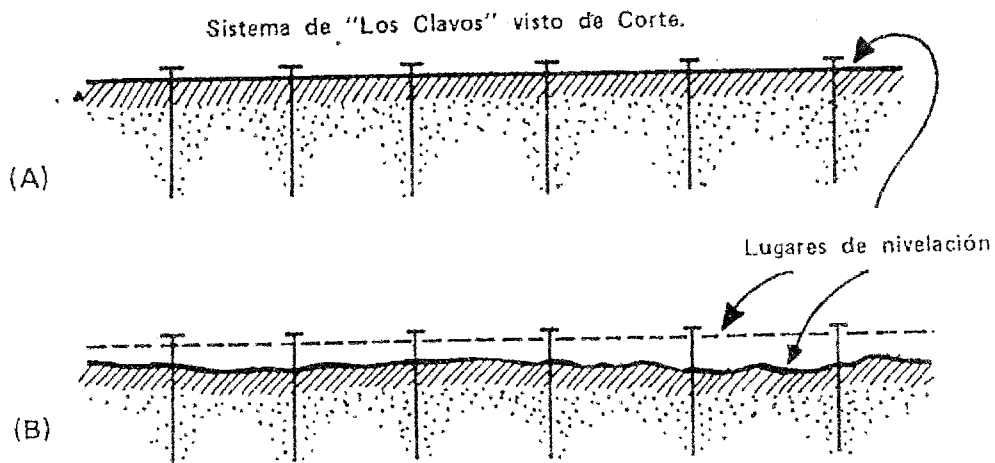


Figura 5. Medición de erosión. Sistema de "Los Clavos".

Se define la erosión como el movimiento y arrastre de las partículas del suelo por los agentes naturales, viento, agua, hielo y otros, fenómeno de origen natural, que se ve acelerado por la acción del hombre.

Las características que se señalan se refieren a la erosión producida por el hombre, o erosión acelerada que es la que de origen a la destrucción del suelo y su cambio de aptitud.