

MANEJO Y CONSERVACION DE SUELOS

**CALCULO DE
ECUACIONES
USLE-RUSLE**

Por : Fernández Camacho Freddy

2019

COINFERDEZ. Consultora Internacional de Fundación en Entrenamiento sobre Riesgos y desastres naturales. Ciencia para la ayuda. Para resolver un gran número de problemas de los cultivos por pérdida de suelos y manejo de cuencas, hacer estimaciones de la erosión (RUSLE) en campos de cultivo o cuencas. Para responder a necesidades, en base a los numerosos modelos de predicción de la erosión. Estos modelos son simples ecuaciones que calculan el promedio anual de erosión en la desembocadura de la cuenca y en parcelas de producción, garantizando la sustentabilidad y la soberanía alimentaria.

Citación Correcta: Fernández. C. F. 4°. Edición. 2019. Perspective in conservation of soil Manejo y Conservación de Suelos COINFERDEZ.SRL [www.http://fcanuto.wixsite.com/ingagricola](http://fcanuto.wixsite.com/ingagricola). Bolivia city.

ISBN 968-6127-39-18

INDICE

CAPITULO I HUMANIDAD Y LOS RECURSOS NATURALES	Pág.
1.1 Recursos Naturales: Estado de equilibrio	6
1.2 Degradación de los suelos en Bolivia y el Mundo	18
1.3 Salinización y sodificación de los suelos en el Altiplano	19
1.4 Los antecedentes de la erosión de suelos	20
1.5 Necesidad de generación de datos confiables sobre erosión	20
1.6 <i>Determinación cuantitativa y cualitativa de la erosión</i>	21
CAPITULO II DINAMICA Y LOS MECANISMOS DE EROSIÓN DE SUELOS	
2.1 Introducción	22
2.2 Que es suelo	22
2.3 La Meteorización	23
2.4 Que es erosión	26
2.5 Clase de erosión	29
2.6 Formas de erosión	20
2.7 Tipos de erosión	30
2.8 Estimación de la erosión eólica	32
2.9 Grado de erosión	36
CAPITULO III LA LLUVIA: FACTOR PRINCIPAL DE EROSIÓN	
3.1 Medición de la cantidad de lluvia caída en una región	37
3.2 Intensidad de las lluvias	37
3.3 Tamaño de las gotas de lluvia: Características y determinación	38
3.4 Distribución del tamaño de las gotas de lluvia: Medición	40
3.5 Velocidad terminal de las gotas de lluvia	40
3.6 Energía cinética de las gotas de la lluvia	41
CAPITULO IV EROSIVIDAD DE LA LLUVIA	
4.1 Antecedentes	43
4.2 Procesos de erosión Versus acción erosiva de la lluvia	43
4.3 Relación de la energía y la pérdida de suelo	44
CAPITULO V ERODABILIDAD	
5.1 Relación entre erodabilidad del suelo y erosión	48
5.2 Factores de erodabilidad del suelo	48
5.3 ERODABILIDAD del suelo= k	50
5.4 Medidas de control, prevención y reducción de la erosión	52
CAPITULO VI ESTIMACIÓN Y PREDICCIÓN DE LA PERDIDA DEL SUELO	
6.1 Introducción.	54
6.2 USLE Ecuación universal perdida de suelo	55
6.3 Longitud de la pendiente L	56
6.4 Gradiente de la pendiente G	56
6.5 Manejo del cultivo MC	57
6.6 Manejo del suelo MS	58
CAPITULO VII ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL	
7.1 Concepto	60
7.2 Factores asociados con la precipitación	60
7.3 Factores asociados con las características de la cuenca.	60
7.4 Calculo del coeficiente de escurrimiento	63
7.5 Otros Experimentos del escurrimiento superficial	73
CAPITULO VIII EROSIÓN EN CARCAVAS	
8.1 Control de cárcavas	78
8.2 Formación y origen de la cárcava	78
8.3 Panorama de las cárcavas	79
8.4 Reparación y conservación de cárcavas	79

8.5	Causas principales para la inestabilidad de las laderas	80
8.6	Manejo de áreas degradadas	81
8.7	Componentes del Manejo y Control de Áreas Degradadas	82
	CAPITULO IX PRACTICAS MECANICAS - TERRAZAS	
9.1	Diversos métodos de cubicación	88
9.2	Determinación de anchura de terrazas	90
9.3	Métodos de conservación de la capa laborable	90
9.4	Prácticas mecánicas en terrazas	92
	CAPITULO X LABRANZA DE CONSERVACION-PRACTICA AGRICOLAS	
10.1	Antecedentes	98
10.2	Cultivo en Contorno	99
10.3	Labranza en contorno	99
10.4	Siembra en contorno	99
10.5	Limitaciones del cultivo en contorno	99
	CAPITULO XI AGROFORESTERIA	
11.1	Plantación de especies forestales	101
11.2	Ubicación del terreno	101
11.3	Donde plantar	102
11.4	Determinación del área a plantar	102
11.5	Que especies se va a plantar	102
	CAPITULO XII FACTORES SOCIALES Y ECONOMICOS QUE INFLUYEN SOBRE LA EROSION DE LOS SUELOS	
12.1	Introducción	103
12.2	El exceso de población	103
12.3	Tamaño de las parcelas y distribución de la propiedad	104
12.4	La tenencia de la tierra	104
12.5	Precios en los mercados	104
12.6	Las tradiciones y costumbres	105
12.7	La ignorancia	105
12.8	Encuesta socioeconómica	105
	Referencias bibliográficas	110
	BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA	111

Prologo

Se requiere hacer estimaciones de la erosión de los suelos y la degradación paulatina sobre desastres naturales asimismo la cuantificación de sedimentos que son depositados en campos de cultivo o cuencas muchas ocasiones con problemas de contaminación. Para responder a esta necesidad, se han desarrollado numerosos modelos para predecir la erosión. Algunos de estos modelos son simples ecuaciones que calculan el promedio anual de erosión en la desembocadura de una cuenca. Otros son modelos complejos que simulan la erosión diaria en lugar anualmente, y pueden aplicarse continuamente en parcelas de experimentación para calcular la erosión promedio en el largo plazo y el uso de las probabilidades de sus distribuciones. Las metodologías más elaboradas permiten subdivisiones de cuencas y encauzamiento de aguas, sedimento, y contaminantes tales como nitrógeno, fósforo y plaguicidas. Finalmente, el suelo puede ser removido por el viento tanto como por el agua, y se han desarrollado modelos para cuantificar los efectos del clima, suelo y manejo sobre la erosión eólica. Nuestro objetivo es describir varios de los métodos más importantes disponibles para estimar la erosión hídrica y eólica del suelo para predios desde menos de una hectárea hasta cuencas de varios cientos de kilómetros cuadrados.

La erosión laminar y en surcos son una muestra latente en nuestro medio por la mala praxis de los pobladores rurales que necesariamente debe corresponder a su pronta recuperación y tratamiento, pueden usarse varios métodos empíricos para calcular la erosión total laminar y en surcos en un segmento de pendiente. Aquí se describen tres de ellos: la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (Universal Soil Loss Equation) (USLE, Wischmeier y Smith, 1978); la Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelos por Mannaerts 1999 (Revisada Universal Soil Loss Equation - RUSLE), y el Método OnstadFoster (AOF), (Onstad y Foster, 1975), Renard et.al, C.A. Jones R.H. Griggs, J.R. Williams y R. Srinivasan (1991). Todos son modelos de parámetros "agrupados" que utilizan información promedio sobre suelos, cultivos, pendiente y manejo para un segmento de pendiente. El Método también permite varios segmentos con diferentes características que se combinan en una pendiente compleja con el fin de calcular no sólo la erosión total sino también el rendimiento de sedimento. En la presente edición solo veremos los primeros métodos para la cuantificación cualitativa y cuantitativa de la pérdida de los suelos.

El autor.

CAPITULO I HUMANIDAD Y LOS RECURSOS NATURALES

❖ **Ing. Freddy Fernández Camacho**

La degradación de suelos es como una crisis silenciosa que está avanzando tan rápidamente en América Latina (AL) que pocos países tienen la esperanza de alcanzar una agricultura sostenible en un futuro próximo. Es un problema que, a pesar de estar amenazando la subsistencia de millones de personas en la región, tiende a ser ignorado por los gobiernos y la población en general. (J.R. Benites, D. Saintraint y K. Morimoto. 2005)

Aunque existe una creciente preocupación sobre el problema de la degradación de tierras en América latina (AL) por parte de varias organizaciones internacionales de investigación, agencias de planificación agrícola y desarrollo (Conservation Foundation, FAO, 1954a, b, c; CEPAL, 1989; UNEP, 1990; FAO, 1991; Oldeman et al., ISRIC/UNEP, 1991) la solución del problema depende, sin embargo, de los gobiernos.

Los Gobiernos departamentales, y municipios, tienen la responsabilidad urgente de crear una mayor conciencia en la población acerca del deterioro de los recursos de tierras y de su efecto negativo sobre la producción agrícola y la economía de su región.

Las causas de la degradación de suelos tienen su origen en factores socioeconómicos, en el sobre-explotación de la capacidad de uso de las tierras y en prácticas de manejo de suelo y agua contaminadas por proceso mineralógico y desechos urbanos en la actualidad está dañando y acelerando la fragilidad de los suelos y el medio natural.

La información disponible de investigación sobre los tipos, causas, grado y severidad de la degradación de tierras es todavía insuficiente en la mayoría de los países a nivel Latinoamericano, aun en nuestro país, la falta la información y métodos adecuados, dificulta enormemente la identificación y la puesta en práctica de estrategias efectivas de conservación y rehabilitación de tierras.

Este libro tiene por objeto revisar brevemente la información disponible sobre los diferentes tipos, causas, grado y severidad de la degradación de tierras en nuestro medio. También sugiere algunas medidas correctivas y estrategias para los programas de conservación de tierras basados en experiencias anteriores y actuales de proyectos FAO en manejo y conservación de suelos para nuestra región.

1.1 Recursos naturales: estado de equilibrio

Cuando se compara la humanidad versus RRNN surge gran preocupación que compromete la estabilidad de la vida y lo seres humanos para comenzar, no existe un equilibrio estático entre la demanda y la provisión de alimentos en el mundo. Este balance no estable origina grandes desastres en un ecosistema. Por ejemplo la proliferación de animales silvestres y vegetales está limitada por factores naturales de regulación. En caso de los humanos en tiempos pasados muchos indicaban que los factores naturales regulaban a una sociedad y eran las guerras, el hambre, las enfermedades y otros las cuales mantienen un balance adecuado entre la producción y la demanda. Sin embargo surge un gran problema cuando los seres humanos empiezan a controlar los factores limitantes y la población aumenta en una curva exponencial lo que otros indican como una relación geométrica. Este es un problema muy serio cuando se toma en cuenta que a medida que la población aumenta existe mayor cantidad de gente para la próxima generación. Por tanto, se origina un crecimiento acelerado con una retroalimentación constante. Esta consecuencia natural de crecimiento poblacional es mucho mayor en el incremento de la producción de alimentos, lo que causa en muchas partes del mundo y mucho probable en la futura la escasez de alimentos

Cuando se compara la humanidad con la disponibilidad de RRNN surge entonces la gran preocupación que compromete la estabilidad de la vida y lo seres humanos para comenzar, no existe un equilibrio estático entre la demanda y la provisión de alimentos en el mundo. Este balance no estable origina grandes desastres en un ecosistema.

En los años 60, los geólogos estaban seguros de que la Tierra atravesaba por una inversión así, periódicamente. Lo sabían por muestras subterráneas, de hielo y fósiles, así como por las partículas magnetizadas que quedaban encerradas en ciertas posiciones en el interior de las rocas terrestres.

Los geólogos estaban tan seguros de ese fenómeno, que de hecho tenían mapeados los últimos cuatro millones y medio de años, y los registros resultantes sugerían que la tierra había pasado por 14 de dichas inversiones de los polos.

En aquella época 1961-1962, los científicos pensaban que la última inversión polar se produjo hacia la época de la última glaciación, hace de 10.000 a 12.000 años.

También estaban seguros de que iba a volver a suceder, pero no antes de varios milenios, por lo que no había nada de lo que preocuparse.

Ahora sabemos que en la actualidad los polos se están moviendo. Lo estamos viviendo ahora mismo. No sabemos con exactitud el significado de esto porque, aunque haya pasado catorce veces, en los últimos cuatro millones y medio de años, nunca había sucedido con más de seis mil millones de personas viviendo en la tierra.

El cambio en los campos también podría explicar en las aves y los animales migran siguiendo las líneas de esos campos magnéticos, ballenas, delfines, se están varando. Las líneas de navegación que siempre siguieron estos animales han cambiado y ahora los conducen a la playa.

Por otro lado, hay tradiciones nativas y antiguas tradiciones bíblicas hebreas que sugieren que, puede haberse producido un cambio magnético más reciente que durante la última glaciación. Eso fue hace 10.000 a 12.000 años, pero dichas tradiciones sugieren que el último cambio puede haber pasado, tan recientemente, como hace solo 3.600 años.

Las tradiciones hebreas, también cuentan este suceso, añadiendo que sucedió durante una batalla. Los antiguos hebreos lo tomaron como una señal de que uno de los bandos recibió ayuda celestial, porque estuvo en la luz lo suficiente para completar la batalla a su favor.

De manera similar, tanto investigadores como descendientes de pueblos indígenas creen que, cuando la Tierra pase por lo que la ciencia considera una inversión magnética, también atravesará por un enorme cambio y limpieza de su conciencia.

Los recursos naturales son los elementos y fuerzas de la naturaleza que el hombre puede utilizar y aprovechar.

Estos recursos naturales representan, además, fuentes de riqueza para la explotación económica. Por ejemplo, los minerales, el suelo, los animales y las plantas constituyen recursos naturales que el hombre puede utilizar directamente como fuentes para esta explotación. De igual forma, los combustibles, el viento y el agua pueden ser utilizados como recursos naturales para la producción de energía. Pero la mejor utilización de un recurso natural depende del conocimiento que el hombre tenga al respecto, y de las leyes que rigen la conservación de aquel.

La conservación del medio ambiente debe considerarse como un sistema de medidas sociales, socioeconómicas y técnico-productivas dirigidas a la utilización racional de los recursos naturales, la conservación de los complejos naturales típicos, escasos o en vías de extinción, así como la defensa del medio ante la contaminación y la degradación.

Las comunidades primitivas no ejercieron un gran impacto sobre los recursos naturales que explotaban, pero cuando se formaron las primeras concentraciones de población, el medio ambiente empezó a sufrir los primeros daños de consideración.

En la época feudal aumentó el número de áreas de cultivo, se incrementó la explotación de los bosques, y se desarrollaron la ganadería, la pesca y otras actividades humanas. No obstante, la revolución industrial y el surgimiento del capitalismo fueron los factores que más drásticamente incidieron en el deterioro del medio ambiente, al acelerar los procesos de contaminación del suelo por el auge del desarrollo de la industria, la explotación desmedida de los recursos naturales y el crecimiento demográfico. De ahí que el hombre tenga que aplicar medidas urgentes para proteger los recursos naturales y garantizar, al mismo tiempo, la propia supervivencia.

Los recursos naturales son de dos tipos: **renovables** y **no renovables**. La diferencia entre unos y otros está determinada por la posibilidad que tienen los renovables de ser usados una y otra vez, siempre que el hombre cuide de la regeneración.

Las plantas, los animales, el agua, el suelo, entre otros, constituyen recursos renovables siempre que exista una verdadera preocupación por explotarlos en forma tal que se permita su regeneración natural o inducida por el hombre.

Sin embargo, los minerales y el petróleo constituyen recursos no renovables porque se necesitó de complejos procesos que demoraron miles de años para que se formaran. Esto implica que al ser utilizados, no puedan ser regenerados.

Todo esto nos hace pensar en el cuidado que debe tener el hombre al explotar los recursos que le brinda la naturaleza.

El Agua

El agua, al mismo tiempo que constituye el líquido más abundante en la Tierra, representa el recurso natural más importante y la base de toda forma de vida.

No es usual encontrar el agua pura en forma natural, aunque en el laboratorio puede llegar a obtenerse o separarse en sus elementos constituyentes, que son el hidrógeno (H) y el oxígeno (O). Cada molécula de agua está formada por un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno, unidos fuertemente en la forma H-O-H.

En nuestro planeta las aguas ocupan una alta proporción en relación con las tierras emergidas, y se presentan en diferentes formas:

- **Mares, océanos**, que contienen una alta concentración de sales y que llegan a cubrir un 71% de la superficie terrestre;
- **aguas superficiales**, que comprenden ríos, lagos y lagunas;
- **aguas del subsuelo**, también llamadas *aguas subterráneas*, por fluir por debajo de la superficie terrestre.

Desde los mares, ríos, lagos, e incluso desde los seres vivos, se evapora agua constantemente hacia la atmósfera, hasta que llega un momento en que esa agua se precipita de nuevo hacia el suelo. De esta agua que cae, una parte se evapora, otra se escurre por la superficie del terreno hasta los ríos, lagos, lagunas y océanos, y el resto se infiltra en las capas de la tierra, y fluye también subterráneamente hacia ríos, lagos y océanos. Esta agua subterránea es la que utilizan los vegetales, los cuales la devuelven después de nuevo a la atmósfera.

Como observamos, al volver el agua a la atmósfera se completa un ciclo, que se denomina *ciclo hidrológico del agua*. De esta manera la naturaleza garantiza que el agua no se pierda y pueda volver siempre a ser utilizada por los seres vivos.

El agua que se obtiene en nuestro medio esta en base a las precipitaciones pluviales que almacenan en los acuíferos naturales de las Cuencas, subcuencas y microcuencas estas se infiltran drenan percolan en su ciclo hidrológico una gran parte y son utilizados de diversas formas de manejo hídrico.

Importancia del agua para la vida. La vida en la Tierra ha dependido siempre del agua. Las investigaciones han revelado que la vida se originó en el agua, y que los grupos zoológicos que han evolucionado hacia una existencia terrestre, siguen manteniendo dentro de ellos su propio medio acuático, encerrado, y protegido contra la evaporación excesiva.

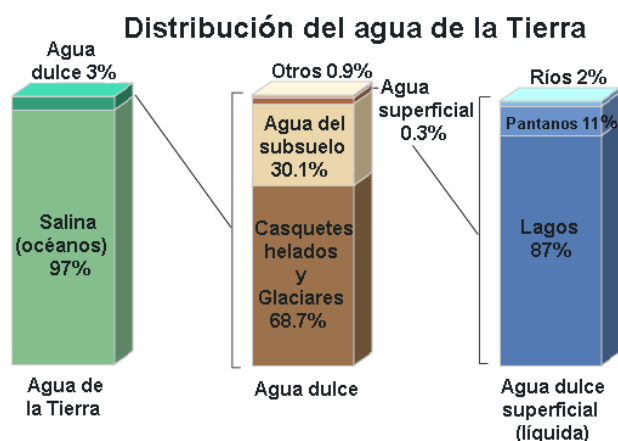
El agua constituye más del 80% del cuerpo de la mayoría de los organismos, e interviene en la mayor parte de los procesos metabólicos que se realizan en los seres vivos. Desempeña de forma especial un importante papel en la fotosíntesis de las plantas y, además, sirve de hábitat a una gran parte de los organismos.

Dada la importancia del agua para la vida de todos los seres vivos, y debido al aumento de las necesidades de ella por el continuo desarrollo de la humanidad, el hombre está en la obligación de proteger estos recursos y evitar toda influencia nociva sobre las fuentes del preciado líquido.

Es una práctica acostumbrada el ubicar industrias y asentamientos humanos a la orilla de las corrientes de agua, para utilizar dicho líquido y, al mismo tiempo, verter los residuos del proceso industrial y de la actividad humana. Esto trae como consecuencia la contaminación de las fuentes de agua y, por consiguiente, la pérdida de grandes volúmenes de este recurso.

Actualmente, muchos países que se preocupan por la conservación, prohíben esta práctica y exigen el tratamiento de los residuos hasta llevarlos a medidas admisibles para la salud humana.

Es un deber de todos cuidar nuestros recursos hidrológicos, así como crear la conciencia de que el agua es uno de los recursos más preciados de la naturaleza, por el papel que desempeña en la vida de todos los Seres vivos.



Atmósfera

La atmósfera es una capa gaseosa que rodea el globo terráqueo. Es transparente e impalpable, y no resulta fácil señalar exactamente su espesor, ya que no posee una superficie superior definida que la limite, sino que se va haciendo menos densa a medida que aumenta la altura, hasta ser imperceptible.

La atmósfera está formada por varias capas concéntricas:

- las capas bajas, que no mantienen una altura constante, y a las que se denomina **troposfera** y **estratosfera**;
- las capas altas, a las que se da el nombre de **ionosfera** y **exosfera**.

Los gases atmosféricos forman la mezcla que conocemos por **aire**. En las partes más inferiores de la troposfera, el aire está compuesto principalmente por nitrógeno y oxígeno, aunque también existen pequeñas cantidades de argón, dióxido de carbono, neón, helio, ozono y otros gases. También hay cantidades variables de polvo procedentes de la Tierra, y vapor de agua.

El oxígeno forma aproximadamente el 21% de la atmósfera, y es el gas más importante desde el punto de vista biológico. Es utilizado por los seres vivos en la respiración, mediante la cual obtienen la energía necesaria para todas las funciones vitales; también interviene en la absorción de las radiaciones ultravioleta del Sol que, de llegar a la Tierra en toda su magnitud, destruirían la vida animal y vegetal. La atmósfera es también la fuente principal de suministro de oxígeno al agua, y entre ambas se establece un intercambio gaseoso continuo.

Este proceso de intercambio de oxígeno en la biosfera recibe el nombre de **ciclo del oxígeno** y en él intervienen las plantas, como fuentes suministradoras de oxígeno a la atmósfera, y los seres vivos, incluyendo las propias plantas, como utilizadores de este gas.

No hay dudas de que la atmósfera constituye un recurso natural indispensable para la vida, y se clasifica como un recurso renovable. Sin embargo, su capacidad de renovación es limitada, ya que depende de la actividad fotosintética de las plantas, por la cual se devuelve el oxígeno a la atmósfera. Por esta razón, es lógico pensar que de resultar dañadas las plantas, por la contaminación del aire o por otras acciones de la actividad humana, es posible que se presente una reducción del contenido de oxígeno en la atmósfera, con consecuencias catastróficas para todos los seres vivos que lo utilizan.

El hombre, en su incesante avance científico-técnico, debe tomar las medidas adecuadas para que su propio desarrollo no haga a nuestra atmósfera víctima de la contaminación. Solamente con una política planificada y consecuente es posible reducir tan terrible mal, y evitar a las futuras generaciones las peligrosas consecuencias que este puede implicar.

El humo procedente de las industrias o de la combustión que se lleva a cabo en otros lugares, así como el polvo, son agentes contaminantes de la atmósfera, los cuales enrarecen el aire y afectan la salud del hombre y de los seres vivos en general.

Como puede verse, la contaminación del aire afecta varios factores del ambiente:

- Las plantas pueden ser dañadas por los agentes contaminantes, especialmente el dióxido de azufre (SO₂), el cual blanquea las hojas y afecta las cosechas.
- Existen evidencias de que la contaminación del aire está asociada con enfermedades de tipo respiratorio, incluyendo bronquitis crónica, asma bronquial, etc.
- El aire contaminado corroe los metales, las telas se debilitan y se destiñen, el cuero se hace más débil y más brillante, la pintura se decolora, las piezas de mármol y otras piedras se ennegrecen y se hacen más frágiles.

Otra forma de contaminación del aire son los olores en general, pues aun cuando sean agradables inicialmente, pueden convertirse en molestos e inconvenientes, ocasionando al hombre malestar y dolores de cabeza.

Dentro de las principales fuentes de producción de olores, aparte de la actividad industrial y el tráfico automotor, se encuentran:

- las aguas residuales y los desechos.
- los corrales de animales,
- las quemas de residuos industriales, domésticos, etc.,
- la descomposición de basuras por acumulación de residuos.

La Flora y la Fauna

La flora y la fauna representan los componentes vivos o *bióticos* de la naturaleza, los cuales, unidos a los componentes no vivos o *abióticos*, como el suelo, el agua, el aire, etc., conforman el medio natural.

Entre la flora y la fauna existe una dependencia muy estrecha, basada en leyes naturales que rigen la estructura y funciones de las asociaciones de seres vivos.

Las relaciones de alimentación, o **relaciones tróficas**, determinan las llamadas **cadena alimentarias**, en las cuales los animales **herbívoros** (los que se alimentan de plantas y otros organismos vegetales) constituyen el alimento básico de otros grupos de animales que, a su vez, servirán de alimento a otros.

Esto trae como consecuencia que la disminución en número o la desaparición de uno de estos eslabones de la cadena, por causas naturales o por la influencia del hombre, ponga en peligro todo el sistema, al romperse el equilibrio que caracteriza las relaciones entre el medio biótico y abiótico de la naturaleza.

Por esta razón, el hombre debe estudiar las relaciones y las leyes que determinan este equilibrio, y convertirse en su máximo protector, ya que, en sentido general, todas las afectaciones que sufre el medio natural repercuten de uno u otro modo sobre él.

La flora y la fauna representan recursos naturales renovables, de gran importancia para el hombre. De la flora proviene una gran parte de los alimentos y medicamentos, así como la materia prima para la industria textil, maderera y otras.

A través del tiempo, el hombre, en su lucha por dominar la naturaleza, aprendió a usar las plantas y los animales para subsistir; de ellos obtenía alimentos, vestidos y fuego para calentarse. Pero, a medida que las comunidades fueron creciendo, fueron aumentando de igual modo las necesidades de alimentos, y, por consiguiente, la utilización de la flora y la fauna se incrementó hasta niveles muy por encima de las capacidades de regeneración de la naturaleza.

Por este motivo, desaparecieron grandes mamíferos, que fueron exterminados por el hombre. Tal es el caso de los mamuts y de otras especies de animales.

Actualmente, el desarrollo de la sociedad atenta de igual forma contra las especies de animales y vegetales, en aquellos países sometidos a la explotación desmedida de los recursos naturales.

El desarrollo de la agricultura hace que se incrementen las áreas de cultivo, en detrimento de las áreas naturales, lo cual hace que desaparezca también un gran número de especies de plantas. La fauna, que encuentra en estas áreas naturales su **hábitat**, es decir, el lugar donde vive y se desarrolla una especie animal o vegetal, se ve cada vez más amenazada al tener que buscar otras áreas donde satisfacer las necesidades vitales.

El desarrollo de la industria, que con sus desechos contamina el medio, afecta de igual forma el medio natural y, por consiguiente, a los sistemas vivientes que en él habitan.

El ruido.

Con el desarrollo de la civilización industrial y urbana, el ruido, que se define como un *sonido inarticulado y confuso más o menos fuerte*, ha tomado gran importancia. Está incluido dentro de los elementos contaminantes que influyen desfavorablemente en el medio ambiente y, en algunos casos, resulta nocivo para la salud del hombre.

El ruido es un elemento común en zonas donde existen altas concentraciones de población, las cuales generan un denso tráfico automotor; también en terminales aéreas y de ferrocarriles, en zonas de alta industrialización, en conglomeraciones, etc.

Las afectaciones causadas al hombre por el ruido excesivo pueden ser de orden fisiológico o psicofisiológico, e inciden cada día más, sobre todo en los obreros industriales. Entre los efectos fisiológicos producidos por el ruido se encuentran la fatiga auditiva y los traumatismos acústicos, entre otros.

Otros efectos producidos a largo plazo pueden ser la alteración del ritmo cardíaco y de la tensión arterial, y hasta trastornos de orden psíquico.

Los niveles de ruido se miden en unidades llamadas **decibeles (dB)**, y en algunos países se han dictado regulaciones para establecer límites permisibles al respecto.

La intensidad de los ruidos fluctúa en una escala entre 0 y 160 decibeles; el nivel perjudicial para el oído humano se encuentra alrededor de los 90 decibeles.

A continuación brindamos el equivalente en dB de algunos ruidos comunes que se encuentran sobre el límite perjudicial para el oído humano:

1. Niveles de las Fuentes de Ruido

Fuentes de ruido	Decibeles
Fábrica ruidosa	100
Sonido considerado normal en una fiesta con música	110
Podadora motorizada	110
Motocicletas	120
Calle con mucho tráfico	130
Martillo neumático	130
Avión <i>jet</i> al despegar a 25 metros de altura	140
Cornetas de aire	150
Ruido captado por el oído al ser disparado un rifle de alto calibre	160

Estos ejemplos nos pueden dar una idea de cómo ruidos que oímos diariamente alcanzan niveles por encima del umbral permisible para el oído humano. Es por esta razón que debemos evitar los ruidos innecesarios y el hablar en voz alta, pues el conjunto de todos estos ruidos va afectando a largo plazo nuestros sistemas auditivo y nervioso.

El Calor.

El calor producido por hornos mal ubicados, por la actividad industrial, el transporte, las quemas forestales y, en general, todo proceso de combustión, ocasiona problemas ambientales debido al incremento de la temperatura.

Es de notar que la temperatura en las ciudades es 3 ó 4° C superior a la del campo. Este fenómeno, conocido con el nombre de "*isla de calor*", Cambio climático o Calentamiento Global; es provocado principalmente por el dióxido de carbono producido en las combustiones citadas anteriormente, el cual se acumula en las capas inferiores de la atmósfera, más cercanas a la superficie del suelo. Estas capas reciben la radiación solar reflejada por los suelos desnudos sin vegetación, suelos eriales, etc., y la devuelven de nuevo a la tierra; este fenómeno se repite varias veces.

Como hemos podido ver, los fenómenos de la contaminación son tan variados como sus efectos sobre la salud y el bienestar y la producción de alimentos por del hombre, lo cual debe tenerse en cuenta al planificar el desarrollo de la sociedad.

El Suelo

Uno de los principales recursos que brinda la naturaleza al hombre es el suelo, ya que en él crecen y se desarrollan las plantas, tanto las silvestres como las que se cultivan para servir de alimento al hombre y los animales.

La formación de los suelos depende de un largo y complejo proceso de descomposición de las rocas, en el cual intervienen factores físicos, químicos y biológicos. La interacción de estos, como factores ecológicos, provoca la desintegración de los minerales que, unidos a los restos de animales y plantas en forma de materia orgánica, originan el suelo.

Los seres vivos intervienen en la destrucción de la roca madre y, además de los agentes climáticos, toman parte en la mezcla de sustancias del suelo, en su distribución horizontal, y añaden a éste materia orgánica. Las sustancias de desecho de animales y vegetales, así como los propios cuerpos de estos al morir, son las únicas fuentes de materia orgánica del suelo, la cual proporciona a éste algunos componentes esenciales, lo modifica de diferentes modos, y hace posible el crecimiento de fauna y flora variadas, que de otra manera no podrían existir.

Además, la materia orgánica incorporada al suelo almacena mayor cantidad de energía, obtenida del Sol por la fotosíntesis, que la materia inorgánica a partir de la cual se sintetizó. Por consiguiente, los seres vivos contribuyen a la formación del suelo aportando no solo materiales, sino también energía, tanto potencial como cinética.

La presencia de distintos tipos de minerales, las variaciones climáticas, la altura sobre el nivel del mar, la latitud geográfica y otros factores, determinan una gran variabilidad de los suelos, la cual se manifiesta en las características físicas y químicas de estos.

Otros fenómenos que se presentan en los suelos son el exceso de acidez y salinidad, los cuales imposibilitan la utilización óptima de los suelos.

Para evitar la degradación de los suelos es necesario:

- Restituirles, por medio de la fertilización, los nutrientes que van siendo extraídos por las plantas o que son arrastrados por las aguas.
- Evitar las talas y los desmontes desmedidos, así como las quemas, fundamentalmente en las laderas.

- Preparar los surcos, en zonas de alta pendiente, en forma perpendicular a estas, de manera que el agua, al correr, no arrastre el suelo.
- Proporcionar al suelo la cobertura vegetal necesaria para evitar la erosión.
- Evitar la contaminación que provoca el uso indiscriminado de productos químicos en la actividad agrícola.

Dunas de arenas

Constituyen también un recurso de gran utilidad para la biodiversidad y sano esparcimiento, aunque, como todo recurso, su uso debe ser racional, ya que su explotación en lugares y cantidades inadecuados, puede afectar el flujo de arena presenta un 79 km² en zonas del altiplano alto andino son siendo saqueadas constantemente y trasladadas a playas privadas y, por lo tanto, debe dejarse de deteriorar estos lugares que son de recreación de la población y del turismo.

Recursos Marinos

El océano desempeña un papel de enorme importancia en la vida de la humanidad. Todo parece indicar que el medio marino primitivo fue el medio idóneo favorable al surgimiento de la vida, al ser éste donde se constituyeron las primeras células. El agua ocupa casi el 71% de la superficie de la Tierra.

Ya en la comunidad primitiva el hombre usaba los recursos biológicos del mar para el consumo. Actualmente, en la medida en que el desarrollo científico-técnico se hace más efectivo, las posibilidades de explotación del mar han aumentado, al contarse con nuevos recursos que hasta ahora eran desconocidos.

El océano mundial adquiere cada vez más importancia como fuente de recursos alimenticios. En sus aguas habitan cerca de 180,000 especies de animales; entre ellas, alrededor de 16,000 variedades de peces. También habitan aproximadamente 10,000 especies de plantas, que son indispensables en las cadenas alimentarias de los habitantes marinos.

Constituyen también un recurso valioso las algas marinas, las cuales son de utilidad en la elaboración de papel, cartón, cola, alcohol y levaduras. De ellas también se obtiene, gracias a la alta concentración de potasio que poseen, abonos muy valiosos.

Nuestros lagos lagunas y laguneras existe la presencia de gran variedad de peces, anfibios, acuáticos de origen marino que son alimentos importantes para el ser humano, que sufren contaminación minera, de la industria antrópica.

Situación ambiental y la erosión en Bolivia

Bolivia es un país con diversas características geográficas y ecológicas tanto en clima como en vegetación natural y suelos, ofreciendo una multiplicidad de paisajes naturales como las altas montañas glaciares, altiplanos, mesetas, valles y llanos con selvas y sabanas. Ello conduce a una gran diversidad de culturas, costumbres y condiciones agrarias económicas.

Bolivia, con una superficie de 1 098 581 km² La superficie territorial de la nación representada por 1 098 581 km², ocupa la parte centro occidental de América del Sur, situada entre los

meridianos 69°38' y 57°25' de longitud oeste y entre los paralelos 9°38' y 22°53' de latitud sur. La población se estima en 8 000 000 de habitantes (Censo 1986). Cuenta con alrededor del 82% de tierras de pastos y bosques, estando afectada por erosión eólica (35%) e hídrica (45%). En la llanura Chaco-Beniana, como en el altiplano sur, la causa principal de erosión es el viento. En el resto del territorio predomina la erosión hídrica. La erosión que afecta al país tiene gran impacto en la economía y es causada por la deforestación, sobre pastoreo y mal uso de la tierra. Este impacto causa problemas en las zonas donde se producen sedimentos y que luego afectan la fertilidad de los suelos. Entre los modelos de predicción de la erosión utilizados con mayor frecuencia está el USLE en inglés o EUPS en castellano.

Estrechamente aparejadas con esta multiplicidad de paisajes naturales existe una diversidad de regiones culturales, destacándose la presencia de un apreciable número de sociedades agrarias de carácter sedentario y nómada, muchas de las cuales han sobrevivido hasta el presente sin haber cambiado significativamente en sus características fundamentales. Otras fueron víctimas de los cambios introducidos por la colonización española que hoy repercuten en el deterioro del medio ambiente natural que las rodea.

Uno de los problemas del desarrollo actual es precisamente preservar todo lo que es ecológicamente racional en estos sistemas, sean ellos tradicionales ó primitivos, a condición de hacerlos más productivos y económicamente eficientes, permitiendo incorporar estos pueblos a la sociedad moderna.

De acuerdo a los datos proporcionados por el mapa de cobertura y uso actual de la tierra el 82,21% está cubierto por tierras con pastos y bosques susceptibles de ser usadas en forma más intensa, lo que comporta un riesgo potencial muy alto de erosión y/o degradación de estos ecosistemas (PLAN NDT, 2019 cuadro 2).

2. Cobertura y uso actual de la tierra

Categoría	Área Km²	%
Tierras con pastos y/o arbustos	338 307	30,81
Tierras con bosques	564 684	51,40
Tierras cultivadas	28 794	2,62
Tierras húmedas Y/o anegadas	24 201	2,20
Cuerpos de agua	14 197	1,29
Tierras eriales (sin cultivar)	126 101	11,47
Nieve y hielo permanentes	2 148	0,20
Rasgos culturales(*)	149	0,01
Total	1 098 581	100,00

Fuente: PLAN NDT (2019)

(*) caminos,

Economía y erosión en Bolivia

Como es sabido, a la erosión y/o la degradación de suelos se la relaciona con la economía de diferentes maneras. Se puede decir que todo hecho económico tiene su influencia (positiva o negativa) en el uso y manejo de los recursos naturales renovables y consecuentemente en el suelo,

y que el uso adecuado o no de los recursos, repercute en la vida económica de los individuos y de las sociedades humanas.

Uno de los cambios socioeconómicos que más impactó en la situación de los recursos naturales fue la colonización del continente. En la región andina boliviana, zona de *influencia del imperio incaico* cuyos rasgos culturales permitieron un uso cuidadoso de los recursos naturales, la colonización española impactó negativamente en la fragilidad de los recursos de la región.

La minería instalada en la zona produjo una serie de modificaciones como la concentración de las poblaciones, un mayor requerimiento de leña, madera y alimentos, a la par que se introducía un nuevo tipo de ganadería. Estas modificaciones desembocaron en el estado actual de deterioro, al punto que estos ecosistemas ya no pueden proporcionar los medios que satisfagan la vida de la población que los habita, ocasionando fuertes migraciones tanto a los centros urbanos como a la zona de tierras bajas del oriente.

Otro hecho socio-económico muy importante fue la promulgación de la Ley de Reforma Agraria iniciada en 1953, que modificó el régimen de tenencia de la tierra en todo el país, teniendo su mayor impacto en la zona de los valles y altiplano, donde se subdividieron las haciendas que eran empresas familiares. Así, pasaron a constituirse en propietarios los campesinos, que realizaron una explotación de los recursos sin asesoramiento técnico y en muchos casos en áreas no aptas para la agricultura. Este sistema de distribución de tierras comprende asignaciones colectivas de grandes extensiones, especialmente áreas montañosas, para el pastoreo del ganado, situación que provoca la destrucción de los campos naturales de pastoreo.

Durante los 500 años del proceso de deterioro, el ambiente se manifiesta mostrando una severa erosión hídrica y eólica de suelos, y consecuentemente una alteración muy grande del régimen hidrológico de las cuencas altas del río de la Plata y del Amazonas, de las que Bolivia forma parte.

En tanto que los países desarrollados tienen problemas de contaminación de sus tierras y aguas por agroquímicos debido a un precio alto de los productos agrícolas en relación a estos insumos, en los países en desarrollo como Bolivia se encuentra el problema opuesto, con precios bajos de los productos agrícolas en comparación con los precios de insumos de la agricultura y las mejoras como el riego. Este sistema con precios altos de los insumos y bajos de los productos, causa problemas como empobrecimiento sistemático del agricultor, falta de reinversión en la finca, emigración y abandono de las tierras ya erosionadas que raramente permiten una explotación rentable considerando prácticas conservacionistas sencillas y baratas.

Degradación de suelos y la economía en Bolivia

Si bien en el país no hay un estudio específico que cuantifique el efecto de la erosión en la economía a nivel nacional, existen varios estudios que dan información puntual sobre este tema.

Brockmann (1986), apoyándose en la revisión de varios documentos, estima que entre 35- 45 % de las tierras bolivianas están afectadas por erosión, por lo que no sería erróneo pensar que ésta tiene una influencia significativa en la economía del país.

Pero recientes investigaciones muestran en Bolivia casi un 65.57 % de los suelos están deteriorados. Esta situación es muy preocupante y no es ajeno en el Altiplano boliviano casi a un 45 % de los suelos deteriorados.

3. Superficies afectadas por la erosión por departamentos.

DEPARTAMENTO	SUPERFICIE AFECTADA POR EROSIÓN (Km ²)	%
Cochabamba	24.365	96
Chuquisaca	47.179	92
Potosí	84.081	71
La Paz	26.410	62
Oruro	30.787	57
Tarija	6.199	43
Santa Cruz	46.583	38
TOTAL / PROMEDIO	265.604	65.57

Fuente: Tesis de grado FCAN-UTO (2014)

Para analizar mejor este proceso se lo subdivide en impacto de la erosión donde se pierden sedimentos, y donde se reciben sedimentos.

1.2. *Degradación de suelos en el mundo y Bolivia*

La degradación de los suelos constituye un grave problema de los últimos tiempos y es un cáncer que compromete la estabilidad económica y el bienestar de toda la humanidad. Este problemas es una realidad del presente considerando que aproximadamente 22,5 millones/ton/anuales de capa arable de los suelos cultivables del mundo han sido perdidos alcanzando aproximadamente 6 millones de has. Y en Bolivia casi un 65.57 % de los suelos están deteriorados que alcanza aproximadamente a 418.000 has. Esta situación es muy preocupante y no es ajeno en el Altiplano boliviano casi a un 45 % de sus suelos están deteriorados.

Los grandes problemas que aquejan a los agricultores del altiplano son: erosión hídrica y erosión Eólica.

Erosión hídrica

Según PRONALDES (1996) la magnitud en la erosión de los suelos en Bolivia varía en función de la zona en las regiones o zonas tropicales y húmedas oscila entre 300 y 400 ton/ha abarcando un 41 % del territorio boliviano, en regiones áridas y semiáridas varia la erosión entre 1 a 180 ton/ha/ año cubriendo aproximadamente en un 10 % de superficie, estos datos indican que la cantidad de suelo erosionado está por encima de los límites permisibles para una buena producción. Estudios indican que un 45 % de los suelos están afectados en el Altiplano.

Erosión eólica

Este tipo de erosión en los suelos del Altiplano es considerable. La presencia de abundantes dunas en nuestro medio refleja la gravedad de este problema en la pérdida del suelo. En Bolivia alrededor del 30% de los suelos están afectados por la erosión eólica y existe alrededor de 70 Km² de arenales que estos ubicados en la zona del altiplano alto andino donde los vientos recorren grandes distancias. ¿Cómo se Determinara la medición y Velocidad de viento?

1.3. Salinización y sodificación de los suelos en el altiplano

Los suelos del altiplano presentan elevada salinidad debido a la acumulación de sales solubles en la capa arable resultante de la utilización de agua de riego con alto contenido de sales, elevación del nivel freático y la alta evapotranspiración. Estudios indican que aproximadamente más del 65% de los suelos del Altiplano presentan problemas de salinidad especialmente suelos bajo riego. La mayoría de los suelos presentan sales, pero cuando la concentración excede los límites permisibles los suelos exhiben problemas y los cultivos sufren daños. Muchas sales son altamente solubles y su alta concentración, tal el caso de los suelos salino y sódicos, pueden causar niveles tóxicos de sales Ca y Mg. y de Na.

El Programa de Satélite Tecnológico de RRNN (ERST- BOL, 1979) según mapeo de Oruro indica paisaje dominante constituido por la llanura fluvio lacustre con unidad fisiográfica plana a casi plana los suelos del altiplano de acuerdo a la categoría taxonómica pertenecen a *Aeric Halaquept*, *Duric Camborthid* y *Fluventic Ustochrept* incluyendo los asociados. *Typic*, *Natriargid* y *Vertic Camborthid*. El paisaje corresponde a las llanuras fluvio lacustre han sido formados por deposición lacustre y fluvial (señalar que la formación de los suelos data desde la aparición del Gran lago Taucá, Mataro, Cabana, Ballivián, Michin y ahora el Titicaca y el Poopó) y ocupa una gran parte del altiplano.

Ocasionando la desertización del Altiplano

En el altiplano se ha incrementado significativamente el desbosque a causa de la demanda de madera y leña. En algunas regiones se ha producido casi la destrucción total de la vegetación arbustiva y arbórea debido a las actividades mineras, domesticas, industriales y otros. Por otra parte el sobre pastoreo ha causado la degradación y destrucción de especies arbustivas y no se han planificado sistemas de regeneramiento y repoblamiento de la cobertura vegetal natural entre las actividades que desertifican y degradan la cubierta vegetal están:

- ✓ Deforestación, extracción de madera y arbustos, pajonales.
- ✓ Chaqueo, Incendios forestales.
- ✓ El sobre pastoreo, ramoneo constante.
- ✓ Labores culturales agrícolas extemporáneos
- ✓ Cultivación intensiva en áreas no específicas.
- ✓ Asentamientos inapropiados deslizamientos
- ✓ Actividades mineras, antrópicas y otros.

1.4. Los antecedentes de la erosión de suelos

Las primeras investigaciones científicas fue por el Alemán Wollny entre 1877 1895. Este pionero investigador utilizó parcelas pequeñas para medir un amplio rango de efectos tales como la vegetación y cubierta de residuos de la protección del suelo y las gotas de lluvia y en el deterioro de la estructura del suelo. Además, considero las clases de suelo y la influencia de la topografía en la magnitud de la erosión. En nuestro continente recién a principios del siglo XIX surgieron las primeras ideas acerca del problema de la erosión En varios países latinoamericanos se han conducido pruebas y mediciones.

En 1985 la galopante sequía del altiplano alto andino ha movido conciencia en los gobernantes para darle importancia a la agropecuaria por los desastres naturales que ocasiono erosión en los suelos y la escasez de alimentos.

1.5. Necesidad de generación de datos confiables sobre erosión

Los métodos de erosión aunque requieran de algún capital y labor no son muy caros comparados con otros trabajos de evaluación de suelos. Por tanto se debe dar mayor énfasis a la imperiosa necesidad de contar con datos confiables provenientes de experimentos bien diseñados y equipados. Estos datos pueden servir a la comunidad implicada para desarrollar e implementar políticas y estrategias adecuadas de manejo en localidades con considerables problemas de erosión, es necesario sentar bases para la solución de estos problemas que vienen siendo los cambios climáticos y el calentamiento global a consecuencias de la contaminación y degradación.

La erosión hídrica versus eólica

No se tiene a ciencia cierta cuál de los dos son los que erosiona más entre una y la otra se pueden predecir que cada una tienen una magnitud considerable de daño, si bien es cierto que la mayoría de los experimentos de simulación se han destinado para la erosión hídrica, mientras que para la erosión eólica se puede decir por los altos costo de inversión que representaría la instalación de equipos sofisticados no se tiene al alcance para un pequeño grupo de investigadores en este tema, pero de que si es dañino la erosión eólica si lo es se puede ver a través de los tiempos cuanto suelo se ha perdido.

Efectos de la erosión de suelos

1. La pérdida del suelo, agua y nutrientes
2. Contaminación de pozos, ríos, lagos. etc.
3. Reducción de la fertilidad y productividad de los suelos
4. La pérdida de la materia orgánica
5. Deterioro de las propiedades físicas y químicas del suelo.
6. Reducción de la actividad y muerte de macro y micro nutrientes del suelo.
7. El deterioro general del medio ambiente.
8. La desertización de los suelos.
9. La reducción de la producción agropecuaria
10. La baja calidad de vida de los pobladores.
11. Desempleo hambre y miseria

1.6. Determinación cuantitativa y cualitativa de la erosión

La estandarización de métodos y confiabilidad de los datos debe hacerse muy importante a la hora de la verdad de los resultados, hacerse la toma de información necesaria para asumir las respuestas de campo en lo posible en base al muestreo de campo con tres repeticiones para establecer el promedio de la misma.

1. Frecuencia de muestreo
2. Localización del punto de muestreo
3. Profundidad de muestreo
4. Cantidad de muestras
5. Forma de muestra
6. Técnicas de cálculo de datos y análisis.

Perspectivas

- ¿Cómo uno podría evaluar la magnitud de la erosión si no dispone datos cualitativos?
- ¿Cómo podría implementar planes y programas de conservación de suelos si no conoce datos sobre la degradación de los suelos.
- Como se puede determinar las consecuencias económicas del impacto de la erosión en la producción si ignora los resultados de campo.

Estas son algunas de las preguntas que deberíamos hacernos antes de empezar. Por tanto se debe generar una conciencia a nivel local regional, nacional y Latinoamericano, a cerca de los peligros de la erosión y sedimentación que posee la sostenibilidad de la agricultura, la estabilidad y calidad del medio ambiente. Es un desafío para nosotros en estos últimos tiempos debemos comprometernos a que salvemos el planeta tierra y como olvidar la última carta de la tierra.

CAPITULO II

DINAMICA Y LOS MECANISMOS DE EROSIÓN DE SUELOS

2.1. Introducción.

Las practicas sobre conservación de suelos y agua deberá reconocer que la explotación agrícola está haciendo algo más que limitar a utilizar una sola o varias prácticas de conservación. Los especialistas aprendieron desde hace mucho tiempo que cada explotación agrícola presenta una serie de problemas diferentes de las que se presentan otras explotaciones agrarias y necesita un plan de conservación adecuado a sus condiciones que consiste en la combinación de prácticas para distintas clases de tipos de suelos, clima, cultivos adaptados, hábitos del agricultor, los mercados y otros factores. Una combinación de prácticas de conservación del suelo que de buen resultado en una explotación agrícola.

Bolivia esta caracterizada por la presencia de gran variedad de formas fisio geográficas y geológicas , como condiciones climáticas, dando lugar a la formación de un gran gama de condiciones ecológicas, desde las hiper húmedas hasta las áridas, cuya diversidad fisio geográfica o medio ambiental condiciona las potencialidades o limitaciones para el aprovechamiento de los recursos naturales.

Dentro de esta diversificación de ecosistemas, se encuentra la Región del altiplano alto andino en proceso de desertización que presenta diferentes intensidades de degradación físico-biológica y socioeconómica, que inciden negativamente en el desarrollo sostenible.

La región se caracteriza por presentar una topografía muy accidentada con eventos de sequía muy marcados que se agudizaron en las últimas décadas, por esta condición se determinan que las tierras se han fragilizado a los procesos de degradación por efectos de la erosión hídrica y eólica principalmente.

2.2. Que es el suelo.

El suelo está constituido por materiales orgánicos y minerales que cubren la corteza terrestre, donde desarrollan las raíces de las plantas superiores como inferiores para formar su alimento, los procesos físicos , químicos y biológicos intervienen en su formación, de donde proviene los suelos comúnmente se hace esa pregunta y para responder diremos que provienen de las rocas que por los procesos anteriormente mencionados y estos por efecto medio ambientales a través de los años fueron desgarrándose para formar partículas de diferentes tamaños hasta formar diferentes capas llamadas pedones.

Los constituyentes principales del suelo comienza desde la historia del suelo ,por la acumulación de materiales rocosos meteorizados y son divididos, los organismos vivos aparecen luego que son los que comienzan con la fase constructiva de los procesos de formación y van diferenciándose en capas que descansan sobre el material original y varían de espesor de mm a m. El suelo está formado por sustancias de estado líquido, sólido y gaseoso. El estado sólido está constituida por los materiales orgánicos resultantes de las plantas, animales vivos y muertas (Roca madre). Los materiales inorgánicos o minerales varían de tamaño desde 0.002mm a 2.0 mm.

Respecto a los materiales gruesos y medianos son inactivos solo sirven como esqueleto del organismo total. La parte activa es aquella reducido de tamaño que se denomina arcilla la cuál es de naturaleza

coloidal y sirve como depósito de almacenamiento de nutrimentos, los cuales son utilizados lentamente por las plantas. La clase o cantidad de material coloidal determinan la cantidad de agua que el suelo puede detener (Regiones muy secas). Dentro la composición volumétrica constituye un 45 % del total del 100 %.

La parte líquida del suelo consiste en agua en cantidades variables, material anhídrido carbónico (CO_2) y oxígeno disueltos en su seno debido a ello los elementos nitrógeno, minerales y el agua constituyen la base de su alimentación y desarrollo, alcanza a 25 % dentro la composición volumétrica.

El aire está dentro el suelo gracias a las porosidades que dejan las raíces de las plantas y los diferentes tamaños de las partículas para formar los agregados coloidales y contiene un 25 % dentro la composición volumétrica.

La materia orgánica representa el 5% La parte orgánica formada de sustancias vivas y muertas (raíces de plantas, hongos, algas, bacterias, larvas de insectos, miriápodos, roedores, etc.)

La corteza terrestre cubierta de materiales no consolidados las cuales constituye del manto rocoso cuya composición es:

Elementos	%
Oxígeno	46.4
Sílice	27.6
Aluminio	8.1
Hierro	5.1
Calcio	3.6
Magnesio	2.1
Sodio	2.8
Potasio	2.6
Otros elementos (Ti, H, P, Mn)	1.7

Meteorización: Es el proceso de intemperización de la roca madre que produce el material original de los suelos en diferentes tamaños de partículas, etc.

Desarrollo del perfil: Proceso del desarrollo a partir del material original suelo se produce el perfil del suelo con sus diferentes horizontes presentes (O, A, B, C, R)

2.3 La meteorización.

Las rocas de la corteza terrestre se deterioran bajo la acción de los fenómenos meteorológicos para producir el material original del suelo también llamado regolito. Hay constante remoción de materiales deteriorados que permiten la aparición de nuevas capas de corteza (pedones). Existen tres tipos de meteorismo:

2.3.1. La meteorización o intemperismo físico

Son los cambios de temperatura, agua (glaciares), el viento. Las rocas se contraen al enfriarse y al calentarse se expanden, este fenómeno se conoce con el nombre de **expansión - contracción**. Independientemente de esta acción directa el agua que contiene el suelo al solidificarse en la tierra con el descenso de la temperatura las partículas aumentan de volumen y ejerce una presión causando rupturas. En forma singular, el viento aumenta su poder abrasivo. Las partículas de polvo y arena forman dunas y

médanos.

La meteorización física produce desintegración o ruptura en la roca, sin afectar a su composición química o mineralógica. En estos procesos la roca se va fracturando, es decir, se va disgregando en materiales de menor tamaño y ello facilita el proceso de erosión y transporte posterior. Las rocas no cambian sus características químicas pero sí las físicas. Está causada por las condiciones ambientales (agua, calor, sal, etc.). Los agentes que la provocan son:

- **La descompresión:** Es la expansión y el agrietamiento que se producen en rocas que se han formado a gran profundidad, al encontrarse en la superficie donde la presión es mucho menor. A causa de esta dilatación comienzan a experimentar la formación de grietas o *diaclasas* con lo que se forman losas horizontales.
- **Termoclastia** es la fisura de las rocas aflorantes como consecuencia de la diferencia de temperatura entre el interior y la superficie. La diferencia térmica día-noche es la causa: durante el día, al calentarse, la roca se dilata; sin embargo, por la noche, al enfriarse, se contrae.

La termoclastia da origen a una forma típica de meteorización mecánica en rocas *graníticas* que se denomina exfoliación en bolas, (meteorización en capas de cebolla) debido a que la radiación solar penetra muy superficialmente en el granito, calentando apenas uno o varios centímetros a partir de la superficie, que es la zona que se dilata, mientras que al enfriarse, se va separando del núcleo interno que conserva la misma temperatura más tiempo.

-
- **Gelifracción:** es la rotura de las rocas aflorantes a causa de la presión que ejercen sobre ellas los cristales de hielo. El agua, al congelarse, aumenta su volumen en un 9 %. Si se encuentra en el interior de las rocas, ejerce una gran presión sobre las paredes internas que acaba, tras la repetición, por fragmentarlas. Este tipo de meteorización es importante en climas húmedos y con repetidas alternancias hielo-deshielo ($+0\text{ }^{\circ}\text{C}/-0\text{ }^{\circ}\text{C}$), como los montañosos.
- **Haloclastia:** es la rotura de las rocas por la acción de la sal. En determinados ambientes hay una gran presencia de sal. Esto es en los ambientes áridos, ya que las lluvias lavan el suelo llevándose consigo la sal, la cual se precipita sobre el suelo al evaporarse el agua. La sal se incrusta en los poros y fisuras de las rocas y, al recrystalizar y aumentar de volumen, aumenta la presión que ejercen sobre las paredes internas (similar a la gelifracción) con lo que se puede ocasionar la ruptura. El resultado son rocas muy angulosas y de menor tamaño, lo que generalmente da lugar a los procesos de erosión.

2.3.2. La meteorización ó intemperismo químico

Son los procesos que ocasionan la descomposición de los compuestos químicos que forman las rocas son hidrólisis, carbonatación, oxidación, reducción, como resultado de la acción de ellos se provoca varias alteraciones en los constituyentes originales formándose materiales secundarios que se diferencian del material madre.

En la oxidación y reducción se presenta siempre simultáneamente, el número de electrones perdidos en la oxidación que al ser igual el número de electrones ganados da a la reducción correspondiente.

La oxidación es un cambio químico en el que un átomo o grupo de átomos, pierde electrones y la

reducción es el que gana electrones

El potencial responsable de que el metal se encuentre en estado oxidado o reducido los diagramas de Eh - pH Potencial de los electrodos y pH Potencial de hidrógeno.

Produce una transformación química de la roca provocando la pérdida de cohesión y alteración de la roca. Los procesos más importantes son los atmosféricos, *el vapor de agua, el oxígeno y el dióxido de carbono* que están implicados en:

- **Oxidación.** Se produce al reaccionar algunos minerales con el oxígeno atmosférico.
- **Disolución.** Es muy importante en minerales solubles como cloruros, nitratos, en rocas calcáreas y en el modelado kárstico.
- **Carbonatación.** Se produce al combinarse el dióxido de carbono con el agua formando ácido carbónico, el cual se combina con ciertos minerales como el carbonato de calcio que se transforma en bicarbonato: el primero es insoluble en el agua pero el segundo no lo es, por lo que es arrastrado por ella.
- **Hidratación.** En esta reacción, el agua es incorporada a la estructura de algunos minerales aumentando de volumen como sucede con el yeso o sulfato de calcio hidratado. Este proceso es fácil de ver, por ejemplo, mezclando anhidrita con agua, lo que produce una reacción exotérmica (desprende calor) al transformarse en yeso (sulfato de calcio hidratado).
- **Hidrólisis.** Es la rotura en la estructura de algunos minerales por la acción de los iones de H^+ y OH^- de agua, fundamentalmente en la meteorización del feldespato, que se transforma en arcillas y del granito que puede llegar a la caolinización (transformación en arcillas, especialmente en caolín).
- **Bioquímica.** La acción de los ácidos orgánicos procedentes de la descomposición de materiales biológicos en el suelo o por la acción física - química de los propios vegetales vivos.

Laterización

La laterización consiste en un proceso de meteorización química generalizada y profunda en la que el sílice y las bases son extraídas, por la lixiviación (lavado) de la roca madre, en la que se producen concreciones de hierro y aluminio. Son depósitos residuales de color rojo asociados a relieves de superficie plana. En realidad el proceso no se circunscribe solo a la formación de suelo (latosoles) sino que es un auténtico proceso morfogenético. Régimen de formación de un suelo (pedogenético) que se da en climas cálidos, con precipitaciones abundantes, tanto en las regiones de *selva* como en las *de sabana*, donde una gran actividad bacteriana hace que el humus se consuma con rapidez. Los minerales arcillosos se disuelven, mientras que el hierro y el aluminio se acumulan en forma de óxidos y dan lugar a la formación de una costra dura, llamada laterita (del latín later, ladrillo). No son suelos fértiles.

2.3.3. Meteorización o intemperismo biológico

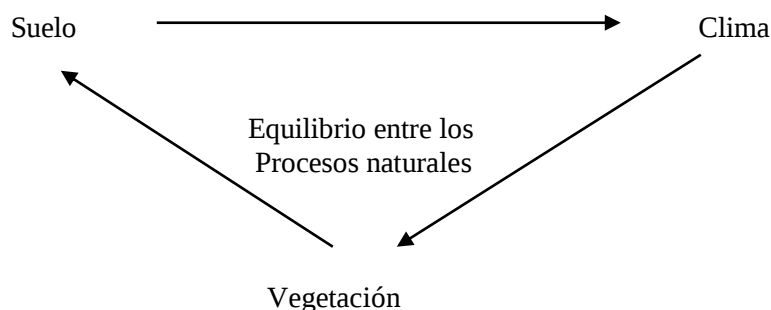
Los macro organismos (UAM), intermedios y los microorganismos (virus, bacterias, otros.) Contribuyen a fracturar con sus raíces cuando penetran en la masa rocosa en la intensa acción química de los microorganismos y plantas inferiores (Los estados de descomposición por medio de la acción química de los microorganismos que elaboran sustancias metabólicas son: ácido cítrico, tartárico, oxálico, málico, etc. Que afectan en su descomposición).

Algunos seres vivos contribuyen a transformar las rocas. Así, las raíces de las plantas se introducen entre las grietas actuando de cuñas. Al mismo tiempo segregan sustancias que alteran químicamente las rocas, como puede verse en la imagen: la decoloración de la pared por la acción de los ácidos (carbónico y de otros tipos) de las raíces nos muestra claramente este proceso. También algunos animales, como las lombrices de tierra, las hormigas, las termitas, los topes, etc., favorecen la alteración in situ de las rocas en la superficie.

2.4. Que es la erosión?

Erosión es la acción del desprendimiento y movimiento o arrastre de las partículas del suelo por el agua, el viento, los cambios de temperatura y la actividad biológica llamados también agentes de la erosión. Este proceso de movimiento del suelo es el resultado de los cambios continuos de la tierra. Cuando se produce los cambios naturales en el ambiente se llama erosión natural, normal o geológica.

La erosión natural se produce en largos periodos geológicos y contribuye a la formación de los suelos y su distribución en la tierra. También es responsable de la mayoría de las formaciones topográficas como cañones, valles, cauces de río y abanicos aluviales y coluviales. Se considera normal porque al haber una capa vegetal protectora existe un balance natural (Equilibrio dinámico)

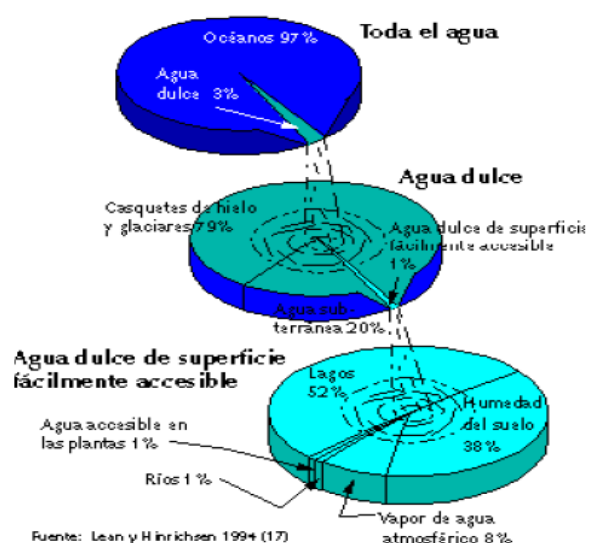


La erosión acelerada es uno de los problemas más serios. Además de causar la disminución en los rendimientos agrícolas y forestales la principal fuente de sedimentación que llenan las represas en todo el vaso reduciendo su capacidad de almacenamiento y su vida útil causando datos posteriores como inundaciones.

a) El agua

Constituye uno de los agentes más importantes en el proceso erosivo de los suelos, la energía con que cae las gotas de agua de lluvia, durante la precipitación pluvial, es usada tanto para desajustar los agregados del suelo arrastrarlos y transportarlas partículas de suelo.

Distribución del agua en el mundo



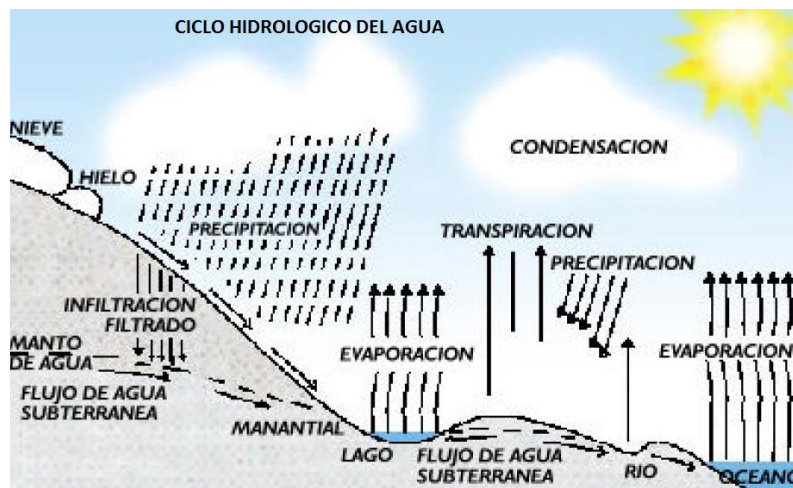
En cualquier lugar que se registre escurrimiento superficial sobre el suelo, ocurrirá la erosión del mismo.

i) La circulación natural del agua (Ciclo hidrológico)

Para entender mejor la acción de la erosión por el agua, es importante conocer primero la circulación natural del agua o ciclo hidrológico. , El sol evapora el agua de la superficie de la tierra, la vegetación, los ríos, lagos, océanos, etc. El agua evaporada se eleva y forma nubes que al enfriarse se condensan y se produce la lluvia o precipitación. Parte de la lluvia caída es interceptada por la vegetación y evaporada nuevamente. La otra parte se infiltra en el suelo y es aprovechada por las plantas que son tomadas por las raíces que absorben y transpiran por las hojas que son regresados a la atmósfera.

Del agua que se infiltra en el suelo, parte es retenida o almacenada en las capas superiores, mientras que la otra parte se percola profundamente y llega a la roca madre ahí forma parte de las aguas subterráneas que alimenta los pozos, lagos ríos y vuelve al océano.

Y el exceso del agua, es decir la lluvia que cae en un suelo saturado y no puede absorber más acumula y corre por la superficie como escorrentía aguas abajo como drenajes naturales formando quebradas, cárcavas y ríos.



b) El viento

Es también importante la erosión causada por el viento, porque dependiendo de la velocidad con que actúa este agente, desprende, transporta y deposita las partículas del suelo, la arena u otras partículas del suelo al ser arrastradas por el viento son muy abrasivas y causan gran erosión del suelo, desgastan y carcomen las rocas. Velocidades mayores a 40 Km. /hora causan problemas constantes de erosión.

La erosión eólica es frecuentemente ignorada. Por ejemplo, nos podemos quejar de la presencia de polvo en el aire sin preguntarnos sobre el origen del mismo. En general, la percepción que tenemos de los problemas derivados de la erosión eólica es baja, incluida la apreciación del propio agricultor. Esto es debido a que, a excepción de las grandes tormentas de polvo, la pérdida de suelo por la acción del viento no es tan perceptible a corto plazo como en el caso de la erosión hídrica. Mientras que el agua siempre produce un desplazamiento de suelo hacia abajo y, por tanto, cualquier episodio de erosión hídrica continuará con el trabajo hecho por el episodio anterior, en el caso de la erosión eólica no es así necesariamente debido a los cambios en la dirección del viento. Esto significa que los efectos a largo plazo causados por el viento son generalmente más difíciles de evaluar y predecir que en el caso del agua (Govers et al., 2004).

Otro factor que ha contribuido al menor conocimiento de la naturaleza y efectos de la erosión eólica ha sido la dificultad para poder medir y caracterizar los procesos involucrados en dicho proceso de degradación. De hecho, no fue hasta finales de los años 1980 y principios de los 1990 cuando se produjo un importante avance en el desarrollo de métodos y equipos que permiten cuantificar la erosión eólica in situ, en condiciones de campo y viento natural. Estas técnicas han progresado hasta tal punto que hoy en día es posible detectar el momento exacto en el que comienza un episodio de erosión y cuantificar la cantidad de partículas del suelo arrastradas y transportadas en suspensión por el viento.

Mecanismos y efectos de la erosión eólica

Para que la erosión eólica ocurra deben producirse necesariamente tres condiciones: viento fuerte, superficie del suelo erosionable, es decir, susceptible a la acción del viento, y suelo desprotegido, sin cubierta de cultivo, de rastrojo, etc. La susceptibilidad del suelo a la erosión eólica o *erosionabilidad* viene determinada por: la textura: suelos de textura gruesa (arenosos) son más erosionables por crear

estructuras edáficas inestables (débiles uniones entre partículas y agregados) y por secarse más rápidamente tras lluvia o riego, el contenido en materia orgánica: factor responsable de la agregación y régimen de humedad: influye en la tasa de desecación del suelo y, por tanto, en la duración de la susceptibilidad a la erosión.

El clima y las condiciones de la superficie del suelo influyen en la capacidad erosiva del viento o *erosividad*. Por encima de los 50 m de altura la velocidad del viento depende de las condiciones climáticas (temperatura y diferencias de presión atmosférica) pero cerca de la superficie el viento es frenado por la rugosidad del suelo. La rugosidad es función de tres factores: el estado de agregación del suelo: los grandes agregados protegen a los agregados erosionables ($<0,84$ mm de diámetro) de la acción erosiva del viento y atrapan las partículas en movimiento, el tipo y dirección de la labor: la estructura de caballones y surcos producida por el laboreo actúa como los agregados de suelo no erosionables siempre que la labor haya sido aplicada perpendicularmente a la dirección del viento dominante y la altura y densidad de la cubierta vegetal ofrecida por el cultivo o por restos vegetales.

El modo en el que las partículas de suelo son movidas y transportadas por el viento determina la naturaleza y la extensión del efecto erosivo. Las partículas de suelo más grandes (>500 μm de diámetro) ruedan o se deslizan sobre la superficie sin perder el contacto con el suelo en un proceso que se conoce como *reptación*. Partículas más pequeñas, entre 100 y 500 μm de diámetro, son transportadas por *saltación*: saltan y rebotan sobre la superficie alcanzando una altura máxima de 1 m. Estas partículas al caer se rompen y desintegran otras partículas y agregados de suelo contra los que chocan, generando partículas de polvo (<100 μm) que son dispersadas y transportadas por el aire en un proceso que se conoce como *suspensión*. Las partículas en suspensión más pequeñas (<20 -50 μm , aerosoles) pueden viajar durante semanas y recorrer miles de kilómetros, incluso distancias intercontinentales.

Desde el punto de vista tanto agronómico como medioambiental, la caracterización del proceso de suspensión (denominado técnicamente como *flujo vertical de aerosoles*) es esencial y, sin embargo, es el proceso menos conocido. Las pequeñas partículas en suspensión, que han sido preferentemente removidas del suelo por el viento, son responsables del proceso de degradación a largo plazo ya que, desproporcionalmente a su tamaño, estas partículas son las más ricas en materia orgánica y nutriente. Durante las labores, y especialmente si la superficie del suelo está muy seca, se pueden producir considerables cantidades de polvo. Por ejemplo, en suelos relativamente ricos en limos y arcillas las pérdidas de suelo por emisión de polvo debidas a las operaciones de laboreo pueden exceder las 50 T ha⁻¹ año⁻¹, cifra de similar orden de magnitud que la cantidad de suelo desplazado por laboreo en laderas con fuertes pendientes (Govers et al., 2004).

A medida que la fracción más fina de suelo se pierde por la acción del viento, aumenta de forma gradual el grosor del material que queda en la superficie. Este cambio en las condiciones de la superficie del suelo puede tener consecuencias muy negativas como, por ejemplo, una disminución de la capacidad del suelo para almacenar agua, la erosión eólica no sólo afecta al propio suelo (efectos *on-site*), también ocasiona serios problemas fuera del campo erosionado (efectos *off-site*) que pueden desembocar en costes económicos importantes.

c) Temperatura

Los cambios de temperatura, fenómeno físico de la meteorización señalados anteriormente, ocurren entre el día y la noche expansión y contracción, provocan cambios a muy largo plazo en la superficie de las rocas que se cuarteán y descostran formando partículas de diferentes tamaños. Los cambios de temperatura estacional de verano e invierno tienen gran efecto en la masa.

d) Organismos vivos

Son agentes biológicos macros, intermedios y micros como ser: Los animales mayores y está incluido el hombre; los insectos, gusanos, mariposas, arañas, termitas, ratones etc, los musgos, Líquenes, bacterias, hongos, etc. Son los que se desarrollan sobre las rocas. Todos de una u otra manera destruyen o disgregan el suelo y los exponen a la erosión ya sea por el agua o el viento.

2.5. Clases de erosión

Existen dos clases de erosión:

- Erosión geológica.*
- Erosión inducida.*
- Erosión antrópica*

2.5.1 Erosión geológica

Es ocasionada por la acción constante de los diversos fenómenos de intemperismo natural. Este proceso es muy lento y necesita mucho tiempo (eras completas) para producir cambios importantes en la configuración de la superficie.

La erosión natural es un proceso constante que seguirá desarrollándose, a pesar de todo cuanto el hombre haga para evitarla como los terremotos, maremotos, el niño la niña, tsunamis, etc.

Bajo condiciones naturales existe un equilibrio favorable entre la erosión y la formación de nuevas tierras.

Se considera que un centímetro de espesor de suelo es generado cerca de quinientos a mil años en su formación.

2.5.2. Erosión inducida

Es causada por la intervención del hombre, que modifica la erosión natural, acelerando el proceso de la pérdida del suelo. Las causas más importantes son:

- Emanación de gases tóxicos GEI Efecto de gas invernadero
- Excesiva carga animal al pastoreo
- Destrucción de la cubierta vegetal.
- Labores de cultivo extemporáneos.
- Uso irracional de bosques y pastizales por la tala desmedida
- Apertura de caminos vecinales sin protección adecuada.
- Deslizamientos por asentamientos

2.5.3. Erosión antrópica

- Derrames tóxicos, o petróleo,
- Emanación de gases contaminantes de industrias, fabricas.
- Desordenes sociales guerras por el agua y atentados, petardos dinamitas, explosivos.

2.6. Formas de Erosión:

- Erosión Forma de pedestal
- Erosión Forma de pináculos
- Erosión Forma de túneles
- Erosión en forma de masas y deslizamientos

2.6.1. Erosión forma pedestal

Cuando las partes del suelo cubiertas por una o varias piedras o por raíces de los árboles permanecen intactas quedando en forma de pedestales tomando en cuenta que el suelo alrededor de los pedestales a sido completamente erosionado a través del tiempo. La erosión del suelo para dar lugar a estas formas ocurre mayormente por salpicaduras de las gotas de lluvia y no así por el escurrimiento superficial lo que no afecta el moldeo del pedestal, Los materiales que componen los pedestales son algunas veces mas resistentes que el material circundante, El conocimiento de la altura de los pedestales permite estimar la cantidad de suelo perdido en un punto.

2.6.2. Erosión en forma de pináculos

Estas formas propias de suelos fácil y altamente erosionados. Se presentan mayormente en las laderas de las cárcavas y en canales profundos donde las corrientes cortan rápidamente y dejan los pináculos aislados. La parte superior de los pináculos puede constar de material mas resistente a la erosión como son las gravas y las piedras. Esta forma de erosión puede estar mezclada con la erosión en túneles. Los pináculos tienden a formarse en suelos donde existen concentraciones de sodio no balanceadas. La alta presencia de sodio causa la de floculación de los agregados y dificulta absorción de agua en las épocas secas, mientras que en épocas húmedas cuando el suelo está saturado por el agua, las masas de suelo mueven en forma de inmensas masas de barro. Estas formas son difíciles de recuperar mediante las prácticas agrícolas normales debido a las limitantes en la absorción de agua y de nutrientes.

2.6.3. Erosión en forma de túneles

Se presenta en suelos donde abundan los pináculos. El diámetro de los túneles es variable dependiendo de la clase de suelo. Esta forma se origina cuando el agua superficial infiltra en el suelo y encuentra capas más permeables que las superficiales. Una vez que el agua se encuentra en las capas permeables empieza el movimiento lateral, si la gradiente de presión es favorable, trasladando el material fino relativamente suelto por debajo de las capas superficiales para formar túneles o conductos horizontales. Algunas veces el flujo lateral causa el colapso de las capas superficiales formando cárcavas particularmente cuando los túneles aumentan de longitud. Esta forma de erosión se presenta mas en suelo no cultivados

2.6.4. Erosión en forma de masas y deslizamientos

Los deslizamientos son generalmente parte de la erosión natural que ocurre en las laderas de los suelos y en las cárcavas. Las laderas empiezan a deslizarse contribuyendo a la ampliación de las cárcavas. Por tanto, los deslizamientos constituyen los agentes de formación de cárcavas a partir de canales que se agrandan con el paso del tiempo. Los deslizamientos de masas ocurren también en los bancos de los ríos y en la erosión de las costas marinas y lacustres. Las laderas de las montañas, cerros y otras formas geológicas son también sujetos como efecto de las variaciones en pendiente y de presión

i) Formas de erosión hídrica

Las formas de erosión que provoca cada tipo son muy variables y señalaremos los más importantes:

- *Erosión por goteo*
- *Erosión laminar*
- *Erosión por surcos*
- *Erosión en cárcavas*

Erosión por goteo

La erosión por goteo, el resultado del impacto de las gotas de lluvia contra la superficie descubierta del suelo. La caída de las gotas desprenden las partículas del suelo, y estas partículas sueltas llenan y sellan los poros formando una delgada capa poco permeable.

Erosión laminar

Cuando la cantidad de agua que cae excede a la tasa de infiltración del suelo, se acumula el agua sobre la superficie el agua acumulada empieza a recorrer en favor de la pendiente como escorrentía transportando las partículas finas del suelo que fueron desprendidas por la caída de las gotas de lluvia, la velocidad de escorrentía aumenta, el agua empieza arrastrar partículas de suelo más grandes.

Se puede observar también cuando las raíces de las plantas quedan al descubierto sus raíces, se nota como el suelo y subsuelo tienen diferente coloración.

Erosión en surcos

En las pequeñas ondulaciones de la superficie del terreno se concentran el agua de escorrentía. Esta acumulación de escorrentía arrastra y transporta las partículas de suelo formando pequeñas zanjas o surcos en dirección a la pendiente. Los surcos se forman en dirección de la pendiente indicando zonas de mayor concentración de la escorrentía.

Consiste en el movimiento vertical de los materiales coloidales del suelo, hacia horizontes más profundos, ocurre en terrenos de llanura sin pendiente y en suelos de alta permeabilidad, también en terrenos arcillosos que al dilatarse y contraerse provocan agrietamientos y propician a la erosión en surcos que afecta los suelos, reduciendo la fertilidad de la capa arable y forma una capa restrictiva a la penetración del agua y raíces de las plantas.

En la aplicación del agua para riego, caudales máximos erosivos causan problemas en los suelos agrícolas, para ello es necesario conocer formas de cálculo empírico considerando la pendiente (p) en porcentaje (%) de los suelos garantice la aplicación de una forma sencilla en cálculo de dicha pérdida de suelo, pendientes mayores al 1(%) ya presentan problemas de erosión:

$$Q \text{ máx.} = \frac{2,25}{\%p} \text{ en m}^3/\text{hr. ó}$$

$$= \frac{0,63}{\%p} \text{ en litros / seg.}$$

Donde:

2,25 y 0,63 = Valores constantes;

p = Pendiente del surco.

Erosión en Cárcavas

En terrenos desprovistos de cubierta vegetal, el escurrimiento acanalado es el principio de la formación de las cárcavas, barrancos, o torrenteras, arroyos o ríos.

Lluvia tras lluvia, las pequeñas zanjas o surcos se van ampliando con el movimiento de las corrientes de la escorrentía. Estas acumulaciones y corrientes esporádicos e intermitentes de la escorrentía provocan arrastre hacia el lecho del río, desmoronando los taludes, formando zanjones cárcavas a medida que el caudal aumenta, asimismo el remojo de las paredes del zanjón son causantes del desmoronamiento.

Las cárcavas pueden también formarse por huellas de los caminos de herradura, senderos de ganado, zanjas, desagüe de terrazas mal construidas, etc. En general cuanto mayor sea la pendiente del terreno, mayor será el grado de erosión potencial del mismo.

2.7. Tipos de erosión

Existen dos tipos de erosión:

- *Erosión hídrica -producida por el agua.*
- *Erosión eólica-producida por el viento.*

2.7.1. Erosión hídrica

Factores que influyen en la erosión por el agua.

Causada por la lluvia, es más importante y se debe a la acción y el poder de transporte del agua que cae y escapa del suelo en forma de escurrimiento superficial y por la resistencia del suelo a la dispersión y al movimiento.

Estos factores que influyen son:

1) Clima. Entre los factores más importantes está la precipitación, la temperatura y el viento (Intensidad, duración y frecuencia). La temperatura y el viento son importantes en la evaporación.

2) Topografía. Las características topográficas que influyen la erosión son la inclinación a lo largo de la ladera del terreno la forma y tamaño del área de drenaje conocida como cuenca hidrográfica.

3) Cubierta vegetal.- Las especies vegetales actúan como alfombra protectora de los suelos ante el impacto de la lluvia o de la escorrentía.

4) Naturaleza del suelo.- Depende de las propiedades físicas del suelo (Textura, estructura consistencia, cantidad de materia orgánica contenido de humedad y densidad) que influyen en la capacidad de infiltración y resistencia del mismo desprendimiento y transporte por la escorrentía.

5) Permeabilidad del suelo.- Esta relacionado con la velocidad de infiltración del agua en el suelo. Cuando circula el agua por los espacios porosos del suelo y almacenan cantidades de humedad para el

sostenimiento de la planta y una buena oxigenación dentro las raíces de las plantas.

2.7.2. *Erosión eólica*

Producida por el viento, es especialmente importante en zonas semiáridas y desérticas, en algunos lugares la erosión eólica puede ser más importante debido a las tormentas de arena que constituyen un peligro para los habitantes.

Desprendimiento y traslado de las partículas del suelo por la fuerza del viento.

La erosión eólica es causada por el viento fuerte y turbulento que sopla a través de un campo cuya superficie esta desprotegida, libre de vegetación, lisa suelta, seca y finamente granulada (Woodruff, 1963)

Viento. Es una masa de aire debido a diferencia de presiones de un lugar a otro.

Causas.

- La Precipitación es menor a 300 mm. /año (zonas áridas y semiaridas)
- El suelo es mullido, seco y desmenuzado
- La vegetación está ausente o es escasa
- La superficie es llana y extensa (Erosión eólica mayor)
- El viento es suficientemente fuerte
- La explosiva expansión de las áreas agrícolas y la excesiva preparación mecánica del suelo en los meses de invierno.
- Falta de un organismo encargado de velar por la conservación del suelo.
- Ampliación de la frontera agrícola.

Factores que influyen en las tasas de erosión

1. Factores de erodabilidad
 - Agua “El agua que se encuentra entre las partículas y partículas se denomina moléculas de agua de cohesión”
 - Textura Los suelos arenosos y limosos son susceptibles a la erosión que los arcillosos. Sin embargo suelos arcillosos con menor cantidad de agua también son erosionables por el viento.
 - Concentración de materia orgánica. Factor agregante, los humus son menos erosionables.
 - Procesos disgregantes. Rompimiento de los agregados como ser carbonato de calcio que disgregan el suelo.(CaCO_3)
 - a. Congelamiento y descongelamiento
 - b. Barbecho, rompimiento de agregados por el tractor
2. Factores de erosividad. Esta en función de (Velocidad, dirección del viento)
Capacidad erosiva = $f(\text{viento})$
Fuerza del viento para erosionarse el suelo

a) Factores de flujo atmosférico

$$S = (V - V_0)^3 D^{0.5}$$

Donde:

S: Es la cantidad de suelo removido

V: Velocidad del viento

Vo: Velocidad mínima del viento que puede desplazar partículas de este tamaño

D: Diámetro de partículas

Frecuencia e intensidad de los vientos (a 30 cm. sobre el suelo)

CARACTERISTICAS	FRECUENCIA (%)
1. No erosivos Vientos en calma Vientos con velocidad menor a 18 Km./horas	82.0 67.8 – 76.0
2. Vientos levemente erosivos 18 a 21 Km./hora	10.9
3. Vientos erosivos 22 a 29 Km./hora 30 a 38 Km. /hora	6.6 - 11.9 5.3
4. Vientos altamente erosivos Mayores de 38 Km. /hora	1.2
Total	100

Tipos de erosión eólica

1. Corrosión: Desgaste de las rocas por partículas en suspensión
2. Abrasión: Desgaste de las partículas mayores en la superficie del suelo
3. Deflación (suspensión) Diámetro menor de 0.1 mm. (3 – 40 %)
4. Efluación (Saltamiento) Diámetro entre 0.1 – 0.5 mm. (55 – 72 %)
5. Extrusión (Desplazamiento) Diámetro entre 0.5 – 2 mm. (5 – 20%)

2.8. Estimación de la erosión eólica

$$E = F (I, C, K, L, V)$$

Donde

E = Pérdida de suelo

I = Vulnerabilidad del suelo

C = Condiciones eólicas del suelo

K = Rugosidad de la superficie del suelo

L = Anchura del campo en sentido del campo

V = Cobertura vegetal

Métodos de control de la erosión eólica

1. Manejo de las propiedades físicas
 - Estabilidad de agregados
 - Mantener la estructura
 - Mantener la humedad edáfica

2. Manejo de la cubierta vegetal
 - Planificación avícola
 - Ancho de fajas
 - Mantenimiento de residuos de cosechas
3. Métodos de labranzas
- Trazado de surcos profundos y perpendiculares a la dirección del viento
4. Reducción de la velocidad del Viento
 - Cortinas rompevientos
 - i. Tiene tres características Ejemplo de una flora arbórea
 1. Forma Trapezoidal
 2. Altura Diferencia en cada especie 8 m.
 3. Densidad De 2 – 3 m.

Requisitos

- Especies adaptadas al clima de la zona
- Resistentes a la sequía
- Especies de crecimiento rápido y morfológicamente uniforme
- Que sean bastante frondosos
- Especies no apetecibles por los animales
- Especies preferentemente perennifolias

Beneficios

- Reduce la velocidad del viento (14 horas)
- Detiene la carga del material acarreado
- Mayor Protección del suelo a la erosión

Desventajas

- Competencia de nutrimentos y agua
- Reducción del área cultivable
- Se requieren de muchos años su establecimiento protector
- Albergue de organismos perjudiciales a la agricultura.

Formas de Erosión eólica

Puede ocurrir de tres formas principales:

- Erosión superficial.
- Erosión Tolvaneras.
- Formación de dunas y médanos.

Erosión superficial

Tiene lugar principalmente en terrenos planos, sin cubierta vegetal, textura ligera, suelos sueltos y sujeto a las altas temperaturas y a la exposición prolongada de los rayos solares.

El acarreo superficial de las partículas, está relacionada directamente con la intensidad del viento.

Erosión tolváneras

Otra forma de erosión eólica conocida como tormentas de arena o tormentas de polvo, se produce como consecuencia del acarreo de partículas finísimas del suelo por el viento. La intensidad de las tolváneras,

depende de la cantidad y ligereza del material acarreado.

Formación de dunas y médanos

La formación de dunas y médanos o montículos de arena, es ocasionado por la acumulación de los materiales acarreados por el viento que al perder su velocidad son depositadas en grandes cantidades.

2.9. Grado de erosión

El grado de erosión es un factor determinante en la clasificación de los suelos, porque la clase de los suelos depende del grado de riqueza o pobreza de los nutrientes para los cultivos, y la mayor cantidad de estos se localizan en la capa superficial del suelo y que es más expuesta a la erosión. Además importante valor y factor de cálculo de la erodabilidad de la ecuación universal de la pérdida de suelo USLE. Para determinar el grado de erosión es necesario hacer pruebas preliminares utilizando la prueba del frasco por decantación en la que se observa de una muestra de suelo añadido en el frasco previamente agitado y decantado por lo menos 48-72 hrs. Posteriormente hacer lectura correspondiente en la que muestra las cantidades porcentuales diferenciadas de las clases texturales en la medición del frasco, existir menor % de arcilla con relación a los demás componentes (limo y arena), es indicador seguro que el suelo presenta erosión.

Métodos de reconocimiento de la erosión

La medición del grado de erosión a visión de observación de campo es un trabajo muy laborioso y requiere de un buen grado de observación y paciencia. Los métodos directos de reconocimiento se pueden tomar en cuenta:

- *Medición de pedestales.*
- *Marcaje de piedras.*

Medición de pedestales

Consiste en la medición directa de los pedestales formados naturalmente el afloramiento de las piedras, troncos y raíces, etc. La altura del pedestal indica el espesor de la capa del suelo perdido por erosión.

Marcaje de piedras

Consiste en marcar con pintura al contorno de algunas piedras grandes y fijas, señalando con ellas la fecha del año del nivel de la superficie del suelo presente. La medición periódica del nivel de referencia a la superficie del suelo dará idea de las pérdidas del suelo ocurridas a través del tiempo.

CAPITULO III

LA LLUVIA: FACTOR PRINCIPAL DE EROSIÓN

La correlación en términos estadísticos entre la cantidad de lluvia y la cantidad de suelo perdido es muy baja sabiendo que una lluvia fuerte e intensa no siempre causa una gran pérdida o erosión severa. Esto se debe a las diferencias en la erodabilidad del suelo y erosividad de la lluvia. Algunos suelos del Altiplano pueden perder mayor cantidad de suelo que los suelos húmedos o trópicos debido a las diferencias en la resistencia y la susceptibilidad a la erosión. La misma cantidad total puede causar diferentes grados de erosión en diferentes lugares y ocasiones. Los suelos desnudos o con una cubierta vegetal pobre fácilmente son erosionados que los suelos cubiertos con espesa vegetación o con residuos vegetales bajo la misma cantidad de lluvia. Por tanto es necesario estudiar las características de la lluvia referentes a la cantidad intensidad, tamaño y distribución de las gotas, velocidad terminal y la energía de las gotas de lluvia.

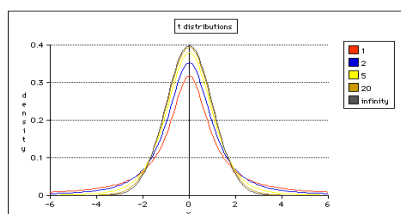
3.1. Medición de la cantidad de lluvia caída en una región

Las determinaciones de la cantidad de la lluvia que se realizan en las estaciones meteorológicas son sujetas a muchas discusiones debido a la poca representatividad de los resultados pluviométricos. Lo que se mide en el pluviómetro es simplemente una muestra que muchas veces puede que no represente las variables condiciones de la región y la heterogeneidad de la distribución de la lluvia en los puntos aledaños a la estación. En nuestro medio, las estaciones meteorológicas están muy alejadas y a veces inclusive no existen. Todo ello limita una evaluación real y confiable de la cantidad, intensidad y otras características de la lluvia en todas las regiones.

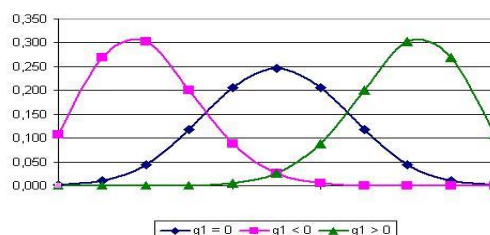
Cuando se realizan mediciones uno debe formularse algunas preguntas ¿Cómo se han realizado las mediciones? ¿Cuál confiables son los resultados obtenidos? ¿Quién realizó las lecturas o mediciones? ¿Cómo están instalados los pluviómetros? ¿Las dimensiones de los pluviómetros son estándares? ¿A que altura del suelo están ubicados estos aparatos?. Para un estudio científico el tamaño de las muestras es primordial. Considere que se han instalado una red de pluviómetros uno por cada 25 hectáreas, pero aun así la confiabilidad y representatividad de los resultados podría ser cuestionado considerando que la superficie medida en el pluviómetro alcanzaría apenas de 0.0123 m² comparado con las 250.000 m² (25 Has) de terreno. Esto en términos de un estudio avanzado no es adecuado. En los países muy avanzados en este tema se tiene un pluviómetro por cada 25 km² (2.500 Has) y en los países poco desarrollados es un pluviómetro por cada 2500 km² (250.000 Has.) como promedio. Averigüe el tamaño de la muestra en ambos casos.

Además existe otra limitante las estaciones meteorológicas se han instalado en la mayoría de los casos en lugares poco representativas de acuerdo a la conveniencia considerando, por ejemplo las vías de acceso, distancia, costo económico, etc. El otro problema consiste en la exactitud de los datos obtenidos debido a las variaciones en el tamaño y la forma de los pluviómetros (manuales, digitales, analógicos, computarizados, etc.) a esto se suma la diferencias en la altura de instalación y la dirección del viento. Todos estos problemas influyen en la confiabilidad y exactitud de los resultados de la cantidad de lluvia. Los mapas y tablas de precipitaciones pluviales representan igualmente falencias. Por ejemplo, si uno observa en un mapa una precipitación anual promedio de 250 mm/año en una región árida deduce esa altura a caído por metro cuadrado de terreno equivalente a 250 lt./m². Pero esa conclusión, en muchos casos, es errónea debido a la topografía accidentada y pendientes pronunciadas de un terreno. Otro factor que se debe tomar en cuenta es la distribución de la lluvia a través del año. La distribución puede ser uniforme o Unimodal, bi-modal o multimodal. La distribución uniforme ocurre mayormente en regiones templadas y se refiere uniforme y suave que caen en forma regular durante todos los meses del año que coincide al calendario agrícola de la región. Este tipo de distribución es la más adecuada para la

agricultura y además no causa mucha erosión de suelos. Entonces la unimodal se manifiesta cuando existe una sola estación de lluvia y es común en suelos del altiplano Andino. Este tipo posee un efecto muy significativo en la erosión. La bi-modal se refiere cuando la estación de lluvias se divide en dos partes durante del año y es propia en las zona subtropicales del país. Las distribuciones de lluvia se observa en la figura 3.1.



Distribución Uniforme ó Unimodal



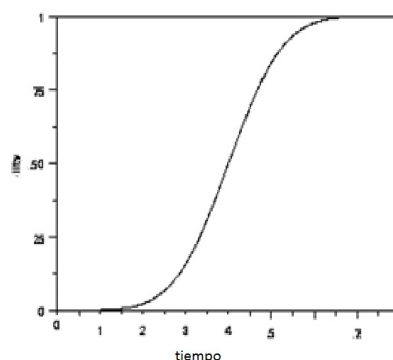
Distribución Bi-modal o multimodal

3.1 Graficas de diferentes distribuciones de lluvia

3.2. Intensidad de las lluvias

Existe una correlación aceptable entre la intensidad de lluvia y la cantidad de suelo perdido por erosión. Es uno de los parámetros potenciales para la determinación de la erosividad de la lluvia. Para establecer las correlaciones, las estaciones meteorológicas deben registrar la frecuencia de las ocurrencias de las intensidades.

Las mediciones de intensidad en las estaciones meteorológicas se realizan en los pluviométricos donde los incrementos sucesivos de lluvia son registrados en las hojas de registro conectados a un reloj cuya velocidad varía de acuerdo a la frecuencia con la cual las hojas de registro son cambiadas.



2. Registro pluviografico de un evento.

En algunas estaciones pluviométricas los cambios se realizan diariamente y en otros en forma semanal y mensual. La intensidad se computa a partir del cambio en la cantidad de lluvia registrada lo cual la gradiente de la línea registrada. Este método indirecto es apropiado para promediar las intensidades sobre largos periodos de tiempo, pero se requieren datos de intensidad para periodos cortos el método es poco exacto. En regiones templadas las intensidades raras veces sobrepasan los 75 mm/hora, mientras que en regiones tropicales alcanzan intensidades de 150 mm/hora y es normal. El record de

intensidad se ha registrado en África con 340 mm/hora. En el altiplano la intensidad varía bastante 12–15 mm/hora. ¿Averigüe cuánto es exactamente?

3.3. *Tamaño de las gotas de lluvia: Características y determinación.*

Uno de los primeros investigadores que midió el tamaño de las gotas de lluvia fue Lowe en 1892. Dicho autor, realizó las mediciones de las gotas en hojas planas de pizarra las cuales estuvieron cuadrículadas para medir el tamaño de las salpicaduras. Otro método consiste en la utilización de papel absorbente el cual previamente empolvado con tinte, en esta técnica las gotas de la lluvia recién caídas se presentan manchas circulares y en estado seco se observan círculos marcados los cuales se pueden estudiar más detenidamente. El tamaño de las gotas se calcula con una ecuación $D = aM^b$, donde D es el diámetro de las gotas, M es el diámetro de las manchas en el papel a y b son constantes de calibración del papel.

Los últimos avances en la determinación del tamaño de las gotas de lluvia recomiendan la utilización de scanner electrónicos y los analizadores de imágenes para la medición de los tamaños y el conteo de las gotas de lluvia.

Existen también otros métodos que consiste en atrapar las gotas de lluvia en bandejas de harina. En húmedo estas gotas forman glóbulos de harina. En seco se observa granos duros que pueden ser separados del resto para su estudio correspondiente. Este método requiere el establecimiento de una relación o calibración entre el tamaño de los granos de harina y el tamaño de las gotas de lluvia. La utilización de los anteriores y otros métodos más modernos es común en muchos países aunque en nuestro medio se ha avanzado muy poco en este aspecto. De acuerdo a mediciones realizadas en otras partes del mundo se sabe que el tamaño de las gotas es de 5 mm ya que los tamaños mayores al caer se rompen al caer. Las gotas de 4.5 mm son más estables mientras que aquellas con diámetros mayores de 5 mm son poco estables. En algunos casos se observan con diámetros mayores a 6 mm esto se debe a que las gotas al caer se unen con otras. Las tomas de video de alta resolución muestran a las gotas su forma y unión entre ellas. También las gotas de lluvia son aplanadas por el aire que sufren durante la caída.



3.2 Fotografía tamaño gotas de lluvia caída

3.4. *Distribución del tamaño de las gotas de lluvia: Medición*

Para conocer el tamaño de las gotas de lluvia y sus variaciones y diferencias de una clase de lluvia a otra es necesario estudiar la distribución de los tamaños y su clasificación que son grandes, medianos y pequeños. Las lluvias de menor intensidad que duran varias horas poseen gotas de menor tamaño mientras que las lluvias intensas o tormentas de lluvia lanzan gotas de mayor tamaño. Para la determinación de la distribución del tamaño se recurre a las técnicas de manchas de las gotas y de los granos de harina. La medición de la distribución en lluvias intensas es difícil debido a la poca frecuencia

de estas lluvias en regiones. La mayoría de los datos de distribución han sido recolectados en lluvias de poca intensidad.

El establecimiento de una distribución no es suficiente con un solo parámetro. Algunos indican que el promedio de los tamaños de las gotas pueden ser adecuados, pero estudios han demostrado que esa estimación del promedio de tamaño de todas las gotas es pobre. El mejor índice para la distribución es la medida del volumen acumulativo de la lluvia con respecto al diámetro de las gotas (D_{50}) este índice se calcula a partir del gráfico del volumen acumulativo de lluvia versus el diámetro de las gotas cuando la mitad del volumen de la lluvia donde la mitad de las gotas caen con diámetros menores y la otra mitad con diámetros mayores. Investigaciones han indicado que existe una relación entre el D_{50} y la intensidad I , para lluvias de baja intensidad como sigue: $D_{50} = a I^b$, donde a y b son constantes. Las mismas investigaciones han encontrado que existe un límite para el tamaño máximo de las gotas ya que a grandes intensidades la relación es inversa. Las curvas de distribución del tamaño de las gotas para el incremento de la intensidad indican que el extremo superior de la curva sube hasta cerca de 90 mm/hora y luego disminuye a más altas intensidades de lluvia. En otras palabras el tamaño de las gotas aumenta a medida que aumenta la intensidad pero esto solo es válido para bajas intensidades, ya que a altas intensidades esta correlación es lo contrario y es más compleja. Esta correlación varía para diferentes clases de lluvias que se presentan en todo el mundo y eso añade la complejidad la correlación se aprecia en la Fig. 2a.

3.5. Velocidad Terminal de las gotas de lluvia

Como es de conocimiento general, un cuerpo que cae libremente su velocidad acelera en función a su gravedad hasta que la fuerza de fricción o resistencia del aire es igual a la fuerza gravitacional y luego el cuerpo cae a esa velocidad. Este fenómeno conocido como la velocidad terminal está en función del tamaño y forma de cuerpo.

En el caso de las gotas de lluvia la velocidad de caída se incrementa a medida que aumenta el tamaño de las gotas. Las gotas más grandes con alrededor de 5 mm de diámetro ponen una velocidad Terminal de 8 a 10 m/s. Se han desarrollado varias investigaciones en otros países para determinar la velocidad terminal (Lawes, 1941, Gun y Kinzer, 1949). Uno de los métodos desarrollados consiste en introducir cargas eléctricas a las gotas de agua a nivel de laboratorio. Estas gotas cargadas de energía son lanzadas a través de anillos de amplificadores a los oscilógrafos de modo que el tiempo de recorrido entre dos anillos de inducción es fácilmente medido, Hinkle et.al.1987) confirmaron los trabajos de anteriores investigadores y determinaron que la velocidad Terminal de las gotas es afectada por el aire de la atmósfera en un 5 % durante la caída. El efecto del aire es mayor en las gotas pequeñas que en las grandes con velocidades más altas. Por supuesto esto está sujeto a variaciones significativas cuando existen vientos huracanados que poseen mayor fuerza de resistencia de los vientos suaves. La correlación entre la velocidad terminal y el diámetro de las gotas se aprecia en la Fig. 3b.

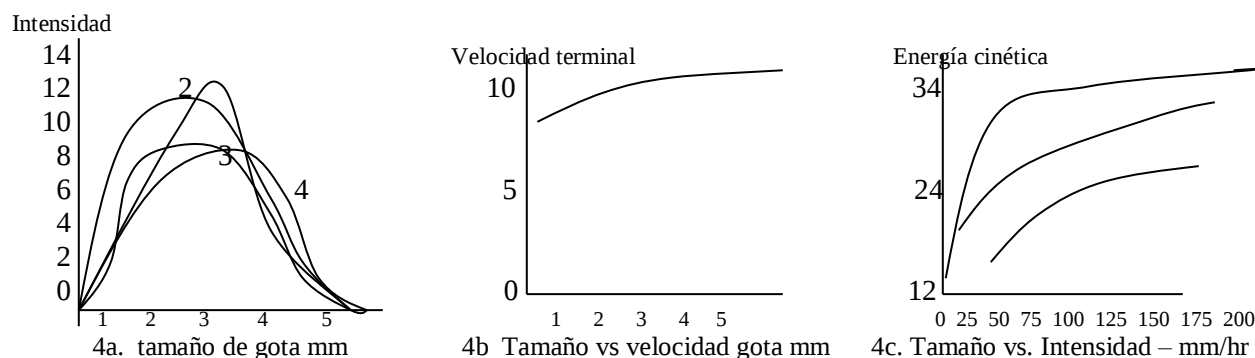
3.6. Energía cinética de las gotas de la lluvia

LECTURA PLUVIOMETRO		INCREMENTOS DEL EVENTO			ENERGIA CINETICA	
TIEMPO	AGUA CAIDA	DURACION	CANT(mm)	INTENS (mm)	P' INCREMENTO SUPERFICIE	P' INCREMENTO EVENTO
A	B	C	D	E	F	G
				$(D * 60) / C$	$0.119 + 0.0873 \log E$	$(F * D)$
04:00	0	0	0	0	0	0
04:20	1	20	1	3	0.161	0.161

04:27	3	7	2	17.1	0.227	0.454
04:36	9	9	6	40	0.259	1.554
04:50	27	14	18	77.1	0.284	5.112
04:57	30	7	3	25.7	0.242	0.726
05:05	32	8	2	15	0.222	0.444
05:15	32	10	0	0	0	0
05:30	33	15	1	4	0.172	0.172
TOTAL		90	33			8.623

Las gotas de lluvia poseen energía o fuerza como una propiedad inherente de erosividad en los suelos. La energía tiene una estrecha relación con el tamaño de las gotas y la velocidad Terminal, por lo que la energía cinética de la lluvia puede ser calculada por la sumatoria de los valores de cada una de las gotas. Los valores de la energía cinética de cada gota pueden calcularse tomando en cuenta el tamaño y la velocidad Terminal individual. Este método teórico de cálculos indirectos han sido utilizados bastante en el pasado, pero a la par han sido desarrollados métodos prácticos de medición de la energía cinética de la lluvia aunque con algunas dificultades sabiendo de que el viento o el aire afecta la sensibilidad de los equipos. Entre los métodos comunes están: Sensores acústicos, transductores de presión y sensores piezoeléctricos. Los métodos mencionados para la medición de la energía ofrecen algunas debilidades por ejemplo falta adecuación para lluvias altas intensidades. Muchos de los métodos fueron desarrollados por investigadores independientes por lo que no se pueden explicar las variaciones con otras técnicas y las variaciones de lluvia en diferentes partes del mundo.

Los métodos presentan diferencias en resultados al igual que ecuaciones planteadas. Sin embargo lo que se conoce en definitiva es que la energía de la lluvia posee un efecto directo en la erosión de los suelos. Las lluvias con altas energías causan mayor erosión y viceversa. Las muestra la correlación de la energía y la intensidad de las lluvias se ven a continuación graficadas.



PREGUNTAS DE DESARROLLO

1. Cuáles son los recursos naturales y las más importantes de estudio en la asignatura describa brevemente c/u de ellos.
- 2.Cuál es su taxonomía de los suelos de la cuenca endorreica hace cuantos años según antropólogos.
3. Diga que métodos y materiales que utiliza para medir el tamaño de las gotas de la lluvia?
4. Defina el concepto de erosión y cuáles son sus agentes principales.
5. Cuáles son los tipos de Erosión eólica describa cada uno de ellas.
6. Que es la meteorización y dígame cuantas clases existe y las diferencias entre ellas.
7. Distribuya 40 mm de lluvia y grafique con los datos la Intensidad real.

CAPITULO IV EROSIVIDAD DE LA LLUVIA

4.1. *Antecedentes.*

Para la ocurrencia de la erosión hídrica en los suelos se necesitan dos componentes imprescindibles como ser: suelo y lluvia. La interacción activa de ambos componentes causa el fenómeno de la erosión. Por tanto, se deben estudiar las características tanto de la lluvia como del suelo para determinar la magnitud de la erosión en un determinado terreno. Las lluvias poseen efectos diferentes en la erosión de los suelos de una región a otra. En muchos casos la misma cantidad de suelo es perdido en dos regiones distantes con grandes diferencias en la cantidad de lluvia caída. La resistencia del suelo a la erosión es función de muchos factores y entre ellos resaltan la clase de suelo, la topografía, la vegetación o la clase de cultivo, clima y otros. Por ejemplo un suelo con una clase textural con predominancia de arena fina es más susceptible a la erosión que un suelo arcilloso; un suelo escarpado es más fácilmente erosionado que un terreno plano y un suelo con vegetación abundante es más resistente a la erosión. La erosividad es la capacidad o potencial de lluvia para causar la erosión de un suelo y es dependiente en las características de lluvia. Mientras la resistencia del suelo a la erosión se denomina erodabilidad y es en función de las propiedades y el manejo del suelo.

Imagine un terreno con una misma clase de suelo, pendiente, prácticas de manejo y cubierta vegetal. En este caso la erosión del suelo es función solamente de la erosividad de la lluvia, imagine por otro lado que en un terreno cae la misma cantidad de lluvia ya sea en forma diaria, semanal o mensual. Bajo esta situación donde ocurren lluvias extremadamente ideales, la erosión es función de la erodabilidad del suelo. Tal como se ha anticipado en el anterior Capítulo, las gotas de lluvia poseen varias propiedades de erosividad: *Cantidad, intensidad, tamaño, distribución, velocidad terminal, energía cinética y otros.* Todas estas propiedades de la lluvia en interacción dinámica determinan la magnitud de erosión en función de las propiedades y manejo del suelo. La erodabilidad del suelo no solo comprende sus propiedades **físicas, químicas, biológicas y geológicas** sino también a las características de la topografía del terreno y las prácticas de manejo y uso del suelo incluyendo los cultivos del lugar. Las **características físicas son de erosividad** y las características **externas e internas** del suelo **son erodabilidad** y ambos lo definen la erosión.

4.2. *Procesos de erosión versus la acción erosiva de la lluvia*

La ocurrencia de los diferentes procesos de erosión requiere una determinada fuerza. La lluvia a través de su energía e intensidad en interacción con el tamaño de las gotas posee una fuerza suficiente para separar los agregados, trasladar las partículas sueltas y depositar los sedimentos. Se debe establecer claramente las diferencias en la fuerza erosiva o energía de la lluvia o del agua del escurrimiento. Para una mejor comprensión la energía de la lluvia puede ser calculada mediante la ecuación de **Einstein** que indica $E = \frac{1}{2} MV^2$, donde E = es la energía cinética, m = es la masa del cuerpo y v = es la velocidad del movimiento. El siguiente cuadro exhibe las diferencias entre la lluvia y el escurrimiento.

1. Tabla Demostración de las diferencia en energía entre la lluvia y el escurrimiento

COMPARACIÓN	MASA	VELOCIDAD	ENERGÍA
LLUVIA	Considere la masa de la lluvia igual a M	Considere que la velocidad es de 9 m/ seg.	$\frac{1}{2} M (9)^2 = 40.5 M$
ESCURRIMIENTO	Asuma que 20 % de la lluvia es perdida por escurrimiento, $M/5$ (5ta parte de 100)	Considere que la velocidad es 1.2 m/ seg.	$\frac{1}{2} \left(\frac{M}{5} \right) (1.2)^2 = 0.14M$

Esta comparación reporta que la energía de la lluvia es aproximadamente 300 veces mayor que la energía del escurrimiento. Esta diferencia es variable en función de las características físicas de la lluvia y del suelo. Sin embargo, es claro que la lluvia posee una gran energía lo que se refleja en la separación y destrucción de los agregados del suelo. Investigaciones en otros lugares por ejemplo en el Manual de Agricultura de los EE.UU. (1995) reporta que una lluvia de 25 mm/hr/ha es igual a casi 6 tractores de 40 caballos de potencia.

Se deben establecer diferencias entre los tipos de energía. La elevada energía de la lluvia es el agente principal de la floculación, separación y desintegración de los pedos o agregados del suelo; mientras la energía del escurrimiento es responsable del transporte y translocación de partículas individuales del suelo incluyendo la deposición de las mismas en algún lugar. Las gotas de lluvia un alto poder desintegrador de agregados, (Murillo 2009) observó en un estudio en parcelas de experimentación para la cuantificación de la erosión que los agregados de los suelos sin cubierta vegetal son más fácilmente destruidos comparados con los agregados de los suelos cubiertos por vegetación, En los suelos desnudos las gotas de lluvia golpean directamente a los agregados, mientras que en suelos con vegetación las gotas de lluvia son interceptadas por las hojas o el follaje de la vegetación lo que causa la disminución o pérdida de la energía y asimismo el efecto destructivo que sufren los agregados es mínimo.

Las gotas aparte de destruir los agregados del suelo, empiezan a obstruir los poros superficiales del suelo. La obstrucción se produce como resultado del movimiento de partículas las cuales empiezan a taponar especialmente los macro poros. Este fenómeno causa la reducción significativa de infiltración, percolación, eluviación, permeabilidad, conductividad hidráulica saturado y no saturada. Como consecuencia de ello se produce mayor escurrimiento superficial incluyendo el incremento de la energía del transporte de partículas y la formación de pequeños canales o surcos debido a la mayor fuerza erosiva de las corrientes de agua.

4.3. *Relación de la energía y la pérdida del suelo.*

Existe una correlación estadística entre la fuerza erosiva y la masa y la velocidad de las gotas de lluvia. Investigaciones en este campo han determinado que la erosión por chapoteo de las gotas es elevada. Para entender mejor este fenómeno se han desarrollado varias ecuaciones y una de ellas es:

$$CH = V^{1.33} \times D^{1.07} \times LL^{0.65} \quad (1)$$

Dónde: CH = Cantidad de suelo en gramos chapoteado en 30 minutos
V = Es la velocidad de las gotas de lluvia en pies/seg.
D = Es el diámetro de las gotas en mm
LL = Es la cantidad de lluvia en pulg./hr. Otra ecuación similar es:

$$S = K \times D \times V^{1.4} \quad (2)$$

Dónde: S = Es la cantidad de suelo chapoteado en gramos
K = Es la constante de erodabilidad del suelo

D = Es el diámetro de las gotas en mm

V = Es la velocidad de las gotas de lluvia en m/seg.



Pruebas de gotas caja de erosión

Estas ecuaciones muestran que existe una relación estrecha entre la fuerza erosiva de las gotas versus la energía cinética. Por tanto se han desarrollado relaciones como siguen:

Chapoteo de suelos francos = (Energía cinética)^{0.6}

Chapoteo de suelos arenosos = (Energía cinética)^{1.46}

La fuerza erosiva de la lluvia también está correlacionada estadísticamente con la intensidad. A mayor intensidad mayor erosividad y viceversa. Estas relaciones de la lluvia con la energía cinética, intensidad y cantidad pueden ser mejores definidas si se toman en cuenta otros factores como la humedad inicial del suelo. Por ejemplo, las lluvias que caen en un suelo mojado escurren más rápidamente debido a que los poros del suelo están casi completamente saturados por el agua. En cambio las gotas de lluvia que caen en un suelo seco tienden a infiltrar más al inicio del evento considerando que los poros están casi vacíos de agua. La magnitud de infiltración es función de varios factores:

- a) **La clase textural grado de agregación y porosidad del suelo.** La infiltración es mayor en los suelos arenosos con abundantes macroporos que en suelos arcillosos y con microporos. Asimismo, los suelos con una buena agregación poseen una alta infiltración que aquellos con horizontes compactos y poco permeables.
- b) **La intensidad de la lluvia.** Las lluvias suaves o lloviznas promueven una mayor infiltración comparado con las lluvias intensas que aceleran el escurrimiento antes que la infiltración.
- c) **La cubierta vegetal.** Los suelos cubiertos por una espesa vegetación o residuos orgánicos facilitan más la infiltración que los suelos desnudos los cuales son más susceptibles a la formación de capas superficiales de poca permeabilidad. Los suelos con vegetación absorben mayor cantidad de agua como resultado de la presencia de raíces lo que desarrolla una mayor agregación y porosidad.
- d) **La labranza.** Los suelos recientemente arados poseen aparentemente una mayor agregación y porosidad, sin embargo muchos suelos cultivados se compactan rápidamente semanas o meses del arado y pueden desarrollar una insuficiente agregación y formación de macro poros. La labranza destruye los macro poros naturales formados por los organismos y asimismo altera el hábitat natural de la flora y fauna. Todo esto conduce al deterioro de las propiedades físicas del suelo lo que se refleja en una baja infiltración.
- e) **La sodicidad del suelo.** Los suelos sódicos presentan una baja infiltración como resultado de la acción defloculante del sodio. La dispersión de las partículas causadas por los compuestos del

sodio reduce significativamente la permeabilidad y la conductividad hidráulica saturada y no saturada del suelo. Por tanto, en los suelos sódicos, la lluvia es sujeta a mayor escurrimiento y menor infiltración y conductividad eléctrica.

La fuerza destructiva de las gotas de lluvia sobre los agregados y el chapoteo de las partículas ha merecido mucha atención en los últimos tiempos para incrementar nuestros conocimientos y comprender mejor el fenómeno erosivo de la lluvia. Se han desarrollado ecuaciones o índices para estimar la fuerza destructiva del chapoteo y de la separación de agregados. Igualmente se han realizado investigaciones para determinar en forma práctica la acción erosiva de las gotas. Los experimentos han incluido el uso de muestras en potes y cajas con diferentes clase de suelo para observar el lavado, chapoteo y desintegración de agregados.

Las discusiones sobre la energía y las propiedades de la lluvia nos ayudan a incrementar los conocimientos respecto al fenómeno complejo de la erosión. Los conocimientos permiten el establecimiento de prácticas adecuadas de conservación de suelos. Para la implementación de medidas efectivas de solución es primordial el conocimiento del PROBLEMA INCLUYENDO sus CAUSAS Y CONSECUENCIAS. Hay muchas interrogantes sobre este tema y entre algunas están las siguientes:

- i. Como ocurre la desintegración de los agregados y el transporte de las partículas?
- ii. Cuáles son las propiedades de la lluvia y del escurrimiento?
- iii. Que interacciones ocurre entre la lluvia y el suelo durante la erosión?
- iv. Cuáles son los problemas que origina la erosión sobre la agricultura y el medio ambiente?

Para el control, reducción y prevención del problema de la erosión es necesario conocer la magnitud de la lluvia a través de la verificación de datos meteorológicos referentes a la precipitación pluvial, así como también los datos cuantitativos de la erosión. Las lluvias se presentan mayormente entre los meses de enero a marzo con posibles fluctuaciones tal como está ocurriendo en los últimos años debido al Fenómeno del niño y la niña, lo que dificulta un conocimiento real acerca de la cantidad e intensidad de la precipitación pluvial caída en todo el Departamento es la poca densidad de estaciones pluviometeorológicas en la región (SENAMHI, FORAL, ASAANA, CEAC) el otro problema consiste en la falta de datos cuantitativos confiables. Existe la carencia de información cuantitativa no solo de precipitación sino de erosión y esto puede conducir a interpretaciones equivocadas a cerca de la gravedad del problema.

Entonces el conocimiento de la distribución de las lluvias durante el año y en los meses de estación lluviosa es esencial estimar la erosión. La distribución de las lluvias no es uniforme ni aún dentro una misma estación lluviosa. Existen grandes fluctuaciones en la cantidad e intensidad de lluvia de un día a otro de un momento a otro lo que también se refleja en las fluctuaciones de la erosividad.

Las investigaciones sobre la erosión de suelos se han apoyado en dos fuentes: Experimentos de campo a largo plazo y uso de simulaciones de lluvia en condiciones controladas. Los experimentos a nivel de campo toman tiempo por lo que requieren para la obtención de resultados fiables y experimentos por varios gestiones (> 10 años). Por ejemplo una investigación referente a la cantidad de suelo perdido bajo una determinada cubierta vegetal requiere mínimo un año. Las rotaciones de cultivos y las repeticiones en los trabajos de erosión exigen varios años. Muchas veces ocurre que el suelo perdido bajo una misma cubierta vegetal presenta diferencias significativas estadísticamente de un año para otro, debido a diferencias de precipitaciones pluviales. A veces ocurre diferencias en la erosión de los suelos cuando se cambia el cultivo, pero surge una incógnita ¿ Que origina esta diferencia, el cultivo o las diferencias en la precipitación pluvial?

Por otro lado surgen preguntas relacionadas a las clases de lluvia que causan erosión. Muchos indican que las lluvias pocas intensas pero frecuentes causan grandes pérdidas en todo el mundo. Otros manifiestan que la ocurrencia de uno o dos eventos de lluvia de gran intensidad por año pueden causar mayores pérdidas que las lluvias suaves y frecuentes de todo el año. Investigaciones en este campo son variados sus opiniones, pero existe una tendencia que las lluvias intensas que ocurren pocas veces durante el año causan mayores pérdidas comparado con las poco intensas y frecuentes.

PREGUNTAS DE APLICACIÓN DE PROBLEMAS

1. Calcular los Grados de erosión de dos muestras en frasco cuyas texturas son: Arcillo limoso y Areno francoso.
2. Calcule el chapoteo a partir de los datos, sabiendo que se tiene la intensidad (lluvia) del problema distribuido de 40 mm con la velocidad terminal promedia.

CAPITULO V

ERODABILIDAD

Los suelos son sistemas naturales complejos, de gran variabilidad debido a la acción de agentes climáticos, geológicos y bióticos, que influyen en las características y propiedades de éstos, permitiendo el desarrollo y crecimiento de plantas y seres vivos (Crosara, 2007). El ser humano le ha dado diferentes usos al suelo a lo largo de la historia. Cuando dichos usos han estado asociados a prácticas no sustentables, los sistemas edáficos se hacen más susceptibles a la erosión, afectando entonces directamente la salud y productividad de los sistemas. La evaluación de los procesos erosivos, pasa por estimar las condiciones del suelo que hacen que éste sea más resistente o más propenso a la pérdida de material edáfico. Esto se puede lograr a través de indicadores que entreguen información relevante sobre las condiciones intrínsecas de este medio. En este sentido, una propiedad relevante a considerar es la erodabilidad del suelo (K), la cual es definida como una medida de la susceptibilidad del suelo a la disgregación o separación de las partículas y al transporte de éstas por agentes erosivos (Lal y Elliot, 1994).

Para nuestro país existe una relación directa entre las superficies afectadas por procesos erosivos y la fragilidad de los ecosistemas, siendo factores como la topografía del territorio y el mal manejo del suelo y el agua los principales causantes de dicho deterioro (Santibañez et al., 2000). La Cordillera de los Andes se ve afectada por acciones erosivas, que producen sedimentación hacia la Depresión Intermedia, presenta un alto grado de meteorización del basamento rocoso, que junto al relieve y tipo de suelo, facilitan la formación de cárcavas (Santibañez et al., 2000). Estos procesos erosivos se deben principalmente a que los terrenos de uso agrícola, de extracción de leña y madera, pastoreo y grandes industrias se encuentran insertos en ecosistemas frágiles, lo que acelera estos procesos (Estudios de Universidad de Chile, 1997). Consecuencia de lo anterior, actualmente la erosión en los suelos, resulta uno de los mayores problemas

Los factores que afectan el proceso de erosión Ritter (2012), menciona que para poder determinar el grado de erosión en los suelos, se deben considerar diversos factores que influyen en este proceso, siendo las precipitaciones uno de las principales causantes. El impacto que tiene la gota de lluvia sobre el suelo ocasiona rompimiento y dispersión de sus agregados, provocando que las partículas finas ya sea de arena, limo, arcilla y materia orgánica, sean rápidamente transportadas por el agua superficial. El efecto que tiene la gota de lluvia, depende tanto de la frecuencia como de la intensidad de las precipitaciones, siendo esta última la más influyente, puesto que a una mayor intensidad de lluvia, menor es la velocidad de penetración de agua al suelo (Horton, 1945). El impacto de la gota que tiene la frecuencia de las precipitaciones depende de las condiciones del terreno, así por ejemplo cuando existen períodos cortos entre lluvias, el suelo tiene un alto contenido de humedad, lo que implica que haya una mayor posibilidad de que se origine escorrentía, independientemente si la intensidad de esta es baja; caso contrario ocurre cuando los intervalos entre lluvias son mayores (Suárez, 1980). Otro factor influyente en la erosión del suelo es la pendiente y su longitud, puesto que entre más pronunciada y larga sea la gradiente, mayor es el riesgo de erosión. Lo anterior, se debe principalmente a la acción del agua, ya que ésta aumenta la velocidad de la escorrentía superficial, a través del largo de la pendiente, no siendo capaz de infiltrarse en el suelo, generando una mayor capacidad de carga de sedimentos transportados (Ritter, 2012). Menciona también que los están directamente relacionados con la cobertura vegetal, la cual es otro componente que interviene en los procesos de erosión, puesto que ésta protege al suelo del impacto de la gota de lluvia y de la dispersión de partículas que se genera, frenando la escorrentía superficial, y permitiendo que el agua infiltre en el suelo. Ciertamente, el nivel de resguardo que se produce depende del tipo de vegetación, la cobertura que presenta y el período en que se encuentre, pues si existe una cobertura de protección completa que involucre pastos y bosques, ésta será muy eficiente para evitar erosión, o bien, si se trata de una cobertura parcial, ésta permitirá que exista flujo de agua y a la vez se proteja al suelo. Por lo tanto, el grado de protección que genera la cobertura vegetal, está relacionado con el tipo de manejo que se le realice (FHIA, 2004; Stocking y Murnaghan, 2000).

Cabe destacar que la incidencia que tengan estos factores de erosión sobre el suelo, dependen del tipo y de las propiedades que éste presente, puesto que el daño que pueda afectar a un suelo, varía a lo largo de su perfil, ya que existe la posibilidad de que sus capas superficiales tengan propiedades distintas a las capas sub-superficiales, provocando que estas últimas sean menos erosionables, lo que ocasiona que las tasas de pérdida de suelo varíen a lo largo del tiempo (Lal y Elliot, 1994; United States Department of Agriculture, USDA, 2014). Un indicador que evalúe el efecto de varios factores causantes de erosión, y que permita medir la susceptibilidad que tiene el suelo a ser erosionado, a través del estudio de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, es por ende relevante para la interpretación de la fragilidad de un sistema y su manejo. Es en este sentido que nace el concepto de erodabilidad.

La erodabilidad del suelo, es una medida de la susceptibilidad de éste a la disgregación o separación de las partículas y al transporte de éstas por agentes erosivos (Lal y Elliot, 1994). La erodabilidad depende primeramente de las características físicas del suelo, de la naturaleza, cantidad y distribución de sus agregados, y del contenido de materia orgánica que presenta. Sin embargo, estas características físicas dependen, a su vez, del uso que se le da al suelo, y por tanto dichas propiedades también pueden variar (Singh y Khera, 2008). Ritter (2012) y O'geen et al. (2006) establecen que las propiedades más influyentes en el factor de erodabilidad son la textura (tamaño y distribución de partículas), estructura, contenido de materia orgánica y la permeabilidad, ya que suelos con tasas de infiltración elevadas, alto contenido de materia orgánica y mejor estructura, tienen mayor resistencia a la erosión. Estos autores señalan que la textura es un excelente indicador para la estimación de la erodabilidad, pues suelos con altos contenidos de limo y arenas muy finas (0.005 a 0.10 mm en diámetro), o la expansión de minerales de arcilla tienden a ser altamente erodables, mientras que suelos ricos en arcilla con una baja capacidad de contracción tienen una baja erodabilidad, debido a que estas partículas se encuentran en masa formando grandes agregados que resisten la separación y el transporte. La estructura es la unión de las partículas individuales del suelo que forman agregados más grandes, y su importancia radica en que suelos con una estructura bien desarrollada permiten, a través de sus grandes poros, una mayor capacidad de infiltración de agua, lo cual reduce la escorrentía y por lo tanto la erosión. La permeabilidad es una medición de la tasa de infiltración del agua en el suelo, donde suelos altamente permeables permiten el paso rápido del agua, disminuyendo la escorrentía, y por ende la erosión. Sin embargo en el caso que el horizonte sub-superficial del mismo suelo, tenga una permeabilidad muy lenta, se podría formar una capa de agua retenida, lo que se traduce a escorrentía superficial que produce erosión. Por lo tanto, la permeabilidad se puede asumir como una función de la textura, estructura y también de la densidad aparente de suelo.

Por último el contenido de materia orgánica, es un agente de agregación que une las partículas minerales para formar la estructura del suelo, donde los residuos orgánicos que aún no se descomponen protegen la superficie del suelo contra el impacto de las gotas de lluvia. Del mismo modo, la materia orgánica altamente descompuesta (humus) actúa como un “adhesivo” que une las partículas del suelo formando agregados, lo cual hace suponer que un gran contenido de materia orgánica, otorga mayor resistencia a la erosión. Existen muchas formas de poder evaluar la erodabilidad del suelo, como por ejemplo a través de técnicas de parcelas de campo directo, que es un buen método de estimación de erodabilidad (Wischmeier y Smith, 1978; Arab et al., 2013). Sin embargo, estas parcelas tienen ciertas dificultades de ser implementadas, ya que son costosas, requieren de mucho tiempo y no son factibles para todos los lugares (Singh y Khera, 2008). Por tal razón existen otras formas de estimar la erodabilidad de un suelo, como la que es utilizada en la fórmula empírica desarrollada por Weischmeier et al. (1971) para determinar pérdidas anuales de suelo, la cual es conocida como Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), que involucra componentes como el clima, topografía, prácticas de manejo y suelo y un índice de erodabilidad “K” (Ecuación 1). Este último índice, de tipo empírico, representa la vulnerabilidad que tiene el suelo a la erosión y que considera propiedades tales como la textura (T), el contenido de materia orgánica (a), grado de estructuración (e) y permeabilidad (p) (Rejman et al., 1999; Arab et al., 2013).

$$K = 2,8 T^{1.14} * 10^{-7} * (12 - a) + 4.3 * 10^{-3} (e - 2) + 3.3 * 10^{-3} (p - 3) \quad (1)$$

Existen otros métodos de estimación de erodabilidad de suelo que se basan en la medición de las propiedades de éste a través de análisis en laboratorio y que permiten generar índices de erodabilidad que se basan en las propiedades que gobiernan la agregación o estabilidad de agregados. Dentro de estos índices encontramos la relación de dispersión desarrollada por Middelton (1930), la cual mide el grado de agregación de un suelo a través de la dispersión de sus partículas, donde un suelo que tiene facilidad de dispersarse, presenta un mayor riesgo de erosión. Otro índice es el propuesto por Bouyoucos (1935) que mide la relación de arcilla, basado en la velocidad de sedimentación de las partículas del suelo, permitiendo determinar el porcentaje de éstas. También existen índices que miden la estabilidad de agregados, los cuales miden la fuerza de cohesión entre las partículas de suelos, mediante la aplicación de una fuerza disruptiva (Kemper y Rosenau, 1986). Asimismo Florentino (1998) propuso índices que miden la susceptibilidad que tiene el suelo a la separabilidad de sus partículas, como consecuencia de la formación de sello superficial o encostramiento del suelo, cuando éste es humedecido o por la acción de fuertes lluvias. Todos estos índices son detallados en la sección 2.2.2.4 de este estudio. Se debe considerar que todos los métodos e índices que estiman la erodabilidad del suelo son relativos, y no tienen por qué reflejar el comportamiento del suelo en respuesta a la lluvia o a prácticas de manejo, pues son aproximaciones a lo que puede suceder frente a dichos eventos. Los métodos de campo, que miden la pérdida de suelo a través de la escorrentía generada por lluvia natural, entregan resultados más cercanos a la realidad que los índices mencionados (Arab et al., 2013).

El valor de K de la USLE es un valor cuantitativo determinado experimentalmente obtiene por medición directa en campo durante un año de las pérdidas ocasionadas por las lluvias en las condiciones normalizadas establecidas para las parcelas tipo USLE (22 m de longitud, 9% de pendiente y suelo en barbecho labrado a favor de la pendiente). Se corresponde con las pérdidas anuales medias de suelo por unidad del factor R:

En la práctica, para las estimar de gabinete su valor se determina a partir de un nomograma desarrollado por Wischmeier y Smith (1979), o aplicando directamente la ecuación de regresión, a partir de los datos experimentales obtenidos con lluvias simuladas. Los parámetros físicos significativos en la erosionabilidad de los suelos son:

- ☐ Textura
- ☐ Materia orgánica
- ☐ Estructura
- ☐ Permeabilidad

En ocasiones no se dispone de información de alguno de estos parámetros pues su obtención exige realizar análisis de laboratorio y/o experiencias de campo en puntos representativos de las condiciones del entorno. Una alternativa es recurrir a la información litológica aprovechando que existe una estrecha relación entre el tipo de suelo de una zona y el material parental subyacente, y más importante todavía, no es difícil encontrar cartografía geológica a una escala medianamente aceptable.

5.1. *Relación entre erodabilidad del suelo y erosión.*

La capacidad de un suelo para resistir la erosión se denomina ERODABILIDAD = K. Esta característica expresa la resistencia relativa del suelo a la erosión o sea se refiere a la vulnerabilidad o susceptibilidad de un suelo hacia la acción erosiva de la lluvia. La erodabilidad varía de un suelo a otro en función a sus propiedades y manejo. Una misma cantidad de lluvia puede causar diferentes grados de erosión en dos suelos debido a las diferencias que existe. La erodabilidad se clasifica en muy alto, alto, medio, bajo, muy bajo. Los suelos con una baja erodabilidad son menos erosionados comparados con un suelo de alta erodabilidad. En la Ecuación Universal de la pérdida de suelos (EUPS) la erodabilidad es simbolizada con la letra K, la cual adquiere un valor cuantitativo para fines de cálculo de pérdida de suelo. Al igual que en el caso de la erosividad de la lluvia, la erodabilidad posee muchos componente o variables complejos difíciles de ser descritos completamente con los valores de K.

1. Tabla de valores Cuantitativos y cualitativos de erodabilidad

Clase de erosionabilidad	Valor de K	Materia Orgánica
Muy bajo	0.00 – 0.14	0
Bajo	0.14 – 0.28	1
Moderado	0.28 – 0.40	2
Alto	0.40 – 0.56	3
Muy alto	0.56 – 0.80	4

5.2. *Factores de erodabilidad del suelo*

Los factores que determinan la erodabilidad de un suelo son varias y se pueden agrupar en cuatros grandes grupos:

- Propiedades físicas, químicas, biológicas y geológicas del suelo.
- Topografía del suelo que incluye la gradiente de la pendiente y su longitud.
- Prácticas de conservación o manejo y uso del suelo.
- Manejo del cultivo.

5.2. *Factores de erodabilidad del suelo*

Los factores que determinan la erodabilidad de un suelo son varias y se pueden agrupar en cuatros grandes grupos:

- Propiedades físicas, químicas, biológicas y geológicas del suelo.
- Topografía del suelo que incluye la gradiente de la pendiente y su longitud.
- Prácticas de conservación o manejo y uso del suelo.
- Manejo del cultivo.

Propiedades físicas, químicas, biológicas y geológicas del suelo.

Muchos investigadores a través del tiempo han intentado explicar la influencia de las propiedades del suelo en la erosión. Se han conducido un sin número de experimentos en laboratorio y a nivel de campo. Las conclusiones de estas investigaciones muestran que la erosión es dependiente de las propiedades del suelo. Entre estas propiedades sobresalientes están la textura, estructura, tamaño de los poros, grado de

agregación, estabilidad de los agregados, cantidad, tipo y estado de la materia orgánica, permeabilidad, infiltración, conductividad hidráulica y otros.

Es así que la estabilidad de los agregados en el agua es un parámetro fundamental para estimar el efecto de las gotas de lluvia en la separación de agregados. Se conoce que existen agregados débiles, moderadamente firmes, muy firmes. El grado de agregación de los suelos define el grado de erosión. Los agregados firmes son más resistentes a la erosión que los débiles o friables. La textura del suelo es otra propiedad determina el grado de erosión. Investigaciones han demostrado la relación siguiente:

$$\text{Grado de erosión} = \frac{(\% \text{Arena fina} + \% \text{limo})}{\% \text{Arcilla}} \quad > \text{arcilla} < \text{erosión}$$

Esta relación indica que a mayor proporción de arena y limo, el suelo es más susceptible a la erosión. La predominancia de arcilla en un suelo reduce significativamente la erosión como resultado de la formación de agregados duros y firmes.

Existen métodos de laboratorio para estimar la resistencia de agregados a la desintegración y la distribución del tamaño de las partículas. Entre los métodos más comunes de laboratorio están: El tamizado de los agregados en húmedo y en seco, Dispersión de agregados con agentes defloculantes, Uso de la pipeta para la simulación de la lluvia, análisis textural y otros. Los resultados han demostrado que las determinaciones en laboratorio no son muy representativas y realmente no reflejan lo que ocurre en condiciones de campo. Por ejemplo el efecto de las gotas de lluvia en condiciones naturales posee un efecto más destructivo en los agregados que las gotas simuladas por la pipeta. Es por esta razón que se han desarrollado varios métodos de campo para comprender mejor el efecto de la lluvia y de la escorrentía en la separación de agregados y en el transporte de partículas. Uno de los métodos de campo más aceptados consiste en la utilización de parcelas de experimentación en terrenos cultivados y no cultivados bajo diferentes condiciones cubiertas de vegetación.

El uso de métodos y ecuaciones de estimación y predicción de la erosión a partir de alguna propiedad del suelo continúan en avance y se ha recurrido últimamente a los modelos computarizados que simulan el comportamiento de un suelo bajo diferentes fuerzas erosivas de la lluvia. Sin embargo la cuantificación exacta de la erosión sigue siendo un desafío sabiendo que los suelos son individuos complejos que difieren del uno del otro en lo que se refiere a su génesis, formación, edad, manejo, etc. Por ejemplo los suelos del Altiplano y alto andino son muy diferentes de los suelos de las zonas templadas, peri chaqueñas, valles y llanos orientales. Esta diferencia se refleja en el grado y la magnitud de erosión. Los mismos ocurren con el factor de erodabilidad K que varía de un suelo a otro en términos cuantitativos. Los valores de K oscilan entre 0 – 0,7. Valores altos de K indican mayor vulnerabilidad del suelo a la erosión

El factor erodabilidad es dinámico y no solo con los procesos de erosión y las interacciones con la erosividad de la lluvia sino también con el espacio, manejo del suelo y del cultivo. La erodabilidad es influenciado por los cambios estaciones de lluvia, temperatura y por los ciclos de vegetación y otros. Por un lado la siembra de cultivos por ejemplo tiene efecto negativo en el arar y poner suelto el suelo y la erosión actúa a través de la destrucción de los agregados naturales y la aceleración de la descomposición de la materia orgánica. Por otro lado las prácticas agrícolas que promueven la acumulación de residuos o restos vegetales en la superficie del suelo, reducen la erosión. En algunas regiones se han utilizado métodos químicos para incrementar la estabilidad de los agregados a la erosión. Esto es posible en pequeña escala pero en grandes extensiones es poco imposible del suelo que incluye la gradiente de la pendiente y su longitud.

La configuración externa del terreno posee un gran efecto en la erosión del suelo. Los suelos inclinados son más susceptibles a la erosión que los suelos planos o casi planos. La susceptibilidad de los suelos dependen de a gradiente y longitud de pendiente. Las variaciones de la topografía influyen e el chapoteo, transporte, formación de surcos y cárcavas, acumulación de materiales y otros. Las laderas de las montañas y cerros con escasa vegetación son más erosionados geológicamente y a veces aceleradamente por la

intervención de los agricultores comparado con las partes bajas. La fuerza erosiva del escurrimiento posee un mayor efecto en pendiente inclinadas debido a la mayor velocidad y volumen de las escorrentías de las crecidas, las cuales al acumularse y tomar cursos de agua localizado. Estudios han aseverado que la erosión es directamente proporcional a la gradiente de la pendiente y sus características de erodabilidad. Los suelos con pendientes uniformemente inclinados son más erosionados que aquellos con pendientes convexas y cóncavas que reducen y alteran la velocidad y el volumen de la escorrentía.

5.3. **ERODABILIDAD del suelo= k**

Es la pérdida par a un suelo específico medido en una parcela de experimentación de 22,13 m de longitud con una pendiente no mayor del 9 % y cultivado sin mulch en forma continua. El grado de erodabilidad varia de un suelo a otro. Este factor K toma en cuenta esta variabilidad. Generalmente los valores de K oscilan entre 0.1 y 0.6 toneladas por acre. (1 Has = 2.471 acres; 1 Acre = 0.4047 has.). Los valores para K se obtienen de la nomografía del factor erodabilidad. Para determinar el valor de K se toma en cuenta las siguientes propiedades del suelo: textura, materia orgánica, estructura y permeabilidad. El significado del término erodabilidad del suelo es distinto del término erosión de suelos. La magnitud de erosión en la EUPS puede ser más influenciado por la pendiente del terreno, características de la lluvia, cubierta y manejo que por propiedades inherentes del suelo. Sin embargo algunos suelos se erosionan más rápidamente que otros cuando todos los factores son lo mismo. Esta diferencia causado por las propiedades en si, es referido como la erodabilidad del suelo.



a) Fotografías de sondeo



b) Registro de información de sondeo

Las diferencias en las susceptibilidades naturales del suelo a la erosión son difíciles de cuantificar de las observaciones de campo. Aun un suelo con una relativa baja de erodabilidad puede mostrar signos de seria erosión cuando esto ocurre en pendientes pronunciadas o en las localidades con precipitaciones intensas. Un suelo con una lata erodabilidad natural, por otro lado, puede mostrar una baja evidencia en la erosión real baja en pendientes suevas y lluvias poco intensas o cuando se maneja adecuadamente. Este efecto de las diferencias de lluvia, pendiente, cubierta y manejo son tomados en cuenta para la predicción de la ecuación por los símbolos R K, L, G, MC, MP. Por tanto la erodabilidad del suelo puede ser evaluado independiente de os efectos de los otros factores. El factor K en la EUPS es un valor cuantitativo que se determina experimentalmente. Para un suelo en particular se utilizan las siguientes ecuaciones para el cálculo de la K o en su caso se puede utilizar el nomografía de K.

$$K = (1/7,594) * [2,1 * T^{1.14} * 10^{-4} (12 - m) + 3.25 (e-2) + 2.5 (p-3)] / 100 \quad (1)$$

$$K = 2,8 T^{1.14} * 10^{-7} * (12 - a) + 4.3 * 10^{-3} (e - 2) + 3.3 * 10^{-3} (p-3) \quad (2)$$

Donde:

T = Parámetro del tamaño de las partículas y es igual al porcentaje de limo más porcentaje de la arena dividido por el porcentaje de la arcilla

(Razonamiento lógico: menor porcentaje de arcilla en relación a los Otros componentes causan mayor erosión en los suelos)
 m = Porcentaje de la materia orgánica asumir los valores; 0, 1, 2, 3, y 4
 e = La estructura del suelo usado en la clasificación; 1= granular muy fino, 2= granular fino, 3= granular medio o grueso y 4=, bloques, laminar y macizo.
 P = La clase de permeabilidad del perfil del suelo; 1= rápido (>36cm/hr), 2= moderado a rápido, 3= moderado, 4= lento a moderado, 5= lento, y 6 =muy lento (<0.0036cm/hr).

Cuando un suelo está cubierto parcialmente por piedras o rocas no se considera dentro la determinación del factor K pero si se considera para el factor como cubierta del suelo.

Respecto a la estructura es necesario realizar pruebas de permeabilidad (conductividad hidráulica K) para asumir los valores, para ello es necesario aplicar los métodos directos de infiltración y recorrido del agua a través del subsuelos mediante el sondeo y encontrar las condiciones hidrológicas de los suelos el elemento, el espacio poroso drenable o porosidad efectiva (μ). Con este método no se trata de obtener valores muy exactos sino obtener un valor medio que muestre la precisión de la tendencia a la permeabilidad de cierta capa de suelo a partir de varias medidas de forma que evite el efecto de la variación espacial. Se describe en la Tabla 1. Valores de **K** y μ en relación con la textura y la estructura. Muy utilizada en la USBR método que lo veremos en el capítulo posterior.

2. Tabla de valores de K y μ en relación a la textura y estructura

TEXTURA	ESTRUCTURA	μ %	K m/día
Arcillosa	Masiva columnar	1-2	< 0.05
Franco arcillosa pesada	Fina o muy fina		
Arcillosa	Prismática, bloques	1-3	0.05-0.1
Franco arcillosa	Angulares y laminar		
Arcillo limosa	Muy fina y fina		
Franco arcillo arenosa			
Arcillosa	Prismática, bloques	3-8	0.1-0.5
Arcillo arenosa	Angulares y laminar		
Franco arcillosa	Fina y media		
Franco arcillo arenosa			
Franco limosa			
Limosa			
Franco arcillo arenosa			
Franco arcillosa ligera	Prismática y bloques	6-12	0.5-1.5
Limosa	Sub. angulares media		
Franco limosa			
Franco arenosa muy fina			
Franca			
Franco arenosa fina	Bloque sub. angulares	12-	1.5-3.0
Franco arenosa	Y granular gruesa	18	
	Migajosa fina		
Arenosa franca	Migajosa media granos		3.0-6.0
Arenosa fina	suelos	15-	
Arenosa media	Granos sueltos	22	>6
Arenosa gruesa	Granos sueltos		>6
Grava		22-	
		26	
		26-	

		35	
--	--	----	--

Fuente: Manual Técnico N°5 Martínez B.J. (1998)

Movimiento de aire y agua en el suelo Permeabilidad k

	cm / hr	Valor c
1) <i>Muy lenta:</i>	< 0.15	6
2) <i>Lenta:</i>	0.10 -0.5	5
3) <i>Moderada lenta</i>	0.5- 0.25	4
4 <i>Moderada</i>	0.25-5.0	3
5) <i>Moderado rápida</i>	5.0 - 15	2
6) <i>Rápido:</i>	15 - 25	1
7) <i>Muy rápido</i>	> 25	0

Los valores de Permeabilidad se asumen en cm/hr a partir de la tabla.

Erodabilidad del suelo (Factor K)

El factor K representa el efecto de las propiedades del suelo y de las características del perfil del suelo en la pérdida de suelo. Los valores de K son asignados usando el nomograma de erodabilidad del suelo, que combina el efecto del tamaño de las partículas, %MO, código de la estructura del suelo y la clase de permeabilidad del perfil.

Suelos de textura fina con alto contenido de arcilla tienen bajos valores de K (0.05-0.15), porque ellos son resistentes al desprendimiento.

Suelos de textura gruesa tales como suelos arenosos, tiene valores bajos de K (0.05-0.2), debido al bajo escurrimiento, aunque estos suelos son fácilmente desprendibles.

Suelos de textura mediana (franco limoso) tienen valores de K moderados (0.25-0.4), porque son moderadamente susceptibles al desprendimiento y producen moderados escurrimientos. (Mannaerts, 1999)

El factor de erodabilidad del suelo se calcula con la ecuación del nomograma de Wischmeier citado por Mannaerts (1999)

A continuación se presenta la tabla con los datos de agua del suelo para las clases principales de textura de suelo: (Mannaerts, 1999)

3. Tabla de Códigos de permeabilidad y estructura del suelo en función de su textura

Textura clase	Permeabilidad código	Conductividad hidráulica saturada [mm/hr]	SCS Grupo Hidrológico de suelo
Arcilla, franco arcilloso	6	<1	D
Arcillo arenoso, franco arcillo limoso	5	1-2	C-D
Franco arcillo arenoso, franco arcilloso	4	2-5	C
Franco limoso, franco	3	5-10	B
Areno francoso, franco arenoso.	2	10-60	A
Arena	1	>60	A

5.4. *Medidas de control, prevención y reducción de la erosión*

Los factores que definen la erosión; erosividad (lluvia) y erodabilidad (suelo) varían en lo que se refiere al control que puede ejercer el ser humano. La erosividad de la lluvia es un fenómeno difícil de controlar, en cambio la erodabilidad puede ser controlada en algún grado. Las propiedades del suelo que son parte de la erodabilidad son más difíciles de controlar que el manejo del suelo y del cultivo.

El control de la erosión engloba el control de cada uno de los factores de la USLE que son:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot G \cdot Ms \cdot Mc$$

Donde:

A = Erosión ton/ha/año

R = Precipitación (lluvia), energía cinética

K = Erodabilidad (características físicas)

LG = Topografía longitud del suelo y gradiente del suelo

Ms = Prácticas de manejo del suelo

Mc = Prácticas de manejo del cultivo.

PREGUNTAS DE CUESTIONARIO

1. Wischmeier Smith (1979) ha desarrollado en factores que proporciona datos de validación para la USLE. Subraye el inciso que vea correcta.
 - a. Predecir el promedio anual de los suelos en pendientes específicos
 - b. Orientar la selección de prácticas de conservación en localidades
 - c. Estima la reducción de pérdidas de suelos por erosión en base al manejo
 - d. Determinar el largo máximo de pendiente tolerable para los sistemas de cultivo
 - e. Todos los anteriores
- 2.Cuál es el método, que permite hacer estimaciones de caudales máximos de escorrentía superficial causada por la precipitación, por grupos hidrológicos y condición del suelo y forma de la cuenca.

a) $Q = A \cdot V$ b) $0.0028 \cdot CIA$ c) Gravelius d) SCS e) Cual.....
3. Que método se utiliza para obtener la permeabilidad y la estructura del suelo en la MUSLE

a) USDA b) FAO c) SCS d) USAID e) Ninguno cual.....
4. La elevada gradiente de la pendiente es determinante en el grado de erosión y además es el agente principal de la floculación, separación y desintegración de los pedos del suelo

F V

CAPITULO VI

ESTIMACIÓN Y PREDICCIÓN DE LA PERDIDA DEL SUELO

6.1. *Introducción.*

La magnitud de la erosión en un lugar es el resultado de la interacción de factores físicos, químicos y biológicos, incluyendo el manejo del suelo y de los cultivos. En los últimos tiempos se han desarrollado modelos, ecuaciones y fórmulas para estimar y predecir la erosión de los suelos agrícolas y no agrícolas. Estos modelos se han intentado extrapolar los escasos datos de campo para poder representar las variables condiciones de los diferentes suelos. Uno de los modelos más utilizados es la EUPS y su aplicación es común en muchos países del mundo. Esta Ecuación es para predecir la pérdida promedio del suelo a largo plazo de determinados terrenos con sistemas específicos de manejo del suelo y de cultivo. Esto quiere decir que si las condiciones de lluvia, manejo de suelo y de los cultivos permanecen constantes la pérdida del suelo puede ser estimada por la EUPS por muchos años. Sin embargo se sabe que los factores que intervienen en el modelo no son estables sino varían a través del tiempo.

USLE es un método que utiliza seis factores: erosividad de la lluvia (R), susceptibilidad de erosión del suelo (K), largo de la pendiente (L), magnitud de la pendiente (S), cubierta y manejo de cultivos y residuos (C), y prácticas de conservación (P), para estimar la pérdida de suelos promedio (A) por el período de tiempo representado por R, generalmente un año.

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

A	Es la pérdida de suelos calculada por unidad de superficie, expresada en las unidades seleccionadas para K y el período seleccionado para R, generalmente toneladas (t) hectárea (ha) ⁻¹ año ⁻¹ .
R	El factor lluvia y escurrimiento, es el número de unidades de índice de erosión pluvial (EI), más un factor para escurrimiento por derretimiento de nieve o aplicación de agua. El EI para una tormenta es el producto de la energía total de la tormenta (E) y su máxima intensidad en 30 minutos (I).
K	El factor susceptibilidad de erosión del suelo, es la tasa de pérdida de suelos por unidad EI para un suelo específico, medido en una porción de terreno estándar (22.13 m de largo, 9% pendiente, en barbecho y labranza continua).
L	El factor de largo de la pendiente, es la proporción de pérdida de suelos en el largo de la pendiente específica con respecto a un largo de pendiente estándar (22,13 m).
S	El factor de magnitud de la pendiente (Gradiente), es la proporción de pérdida de suelos de una superficie con una pendiente específica con respecto a aquella en la pendiente estándar de 9%, con todos los otros factores idénticos.

- C** El factor cubierto y manejo, es la proporción de pérdida de suelo en una superficie con cubierta y manejo específico con respecto a una superficie idéntica en barbecho, con labranza continua.
- P** El factor de prácticas de apoyo de conservación, es la proporción de pérdida de suelo con una práctica de apoyo como cultivo en contorno, barreras vivas, o cultivo en terrazas, con respecto a aquella labranza en el sentido de la pendiente.

Wischmeier y Smith (1978) describen cada uno de estos factores y proporcionan métodos para evaluarlos. El USLE fue desarrollado para:

- Predecir el movimiento promedio anual de suelos desde una pendiente específica, bajo condiciones de uso y manejo específicos.
- Orientar la selección de prácticas de conservación para localidades específicas.
- Estimar la reducción de pérdida de suelos que se puede lograr con cambios de manejo efectuados por el agricultor.
- Determinar el largo máximo de pendiente tolerable para un sistema de cultivo determinado.

Las ventajas del USLE incluyen facilidad de uso, simplicidad, y una base de datos amplia sobre la cual fue desarrollado. Sin embargo, tiene varias limitaciones. Los métodos para estimar los seis factores no se encuentran disponibles en muchos lugares del continente y fuera del país así como en los Estados Unidos de Norteamérica. Su aplicación en praderas es limitada. Está basado sobre el supuesto de pendiente de terreno, suelos, cultivo y manejo uniformes. Es un procedimiento estadístico (empírico o "agrupado") que no contempla los procesos físicos de separación, transporte y sedimentación en forma mecánica. Finalmente, no fue diseñado para estimar rendimientos de sedimentación en cuencas complejas.

La USLE estima la pérdida promedio para un suelo como producto de seis factores mayores cuyos valores son expresados para un sitio en forma cuantitativa. La variabilidad de la erosión en un suelo refleja las variaciones de los factores de un sistema a otro. Las fluctuaciones periódicas de los factores reducen la efectividad de la ecuación. La USLE es mas apropiado para la estimación de pérdidas a largo plazo que a corto plazo, la USLE es adecuada para estimar y predecir la erosión sobre surcos y en surcos y no así la erosión en cárcavas. La pérdida del suelo se obtiene multiplicando los seis factores citados. Los valores para los diferentes factores son proporcionados de figuras, tablas, datos y observaciones de campo la USLE se expresa así:

6.2. USLE Ecuación universal perdida de suelo

$$A = R \times K \times L \times G \times MS \times MC \quad Tn/Ha/año$$

Donde:

1. **A** = Es la cantidad de suelo perdido por unidad de área expresado en unidades seleccionada por K y por un periodo elegido para Lluvia. Se expresa en Ton/Ha/año
2. **R** = **Factor lluvia**. Es el número de unidades de índices de la lluvia de erosión + un factor para el escurrimiento proveniente del deshielo o riego. El factor R se calcula utilizando la ecuación siguiente:

a) Factor R = { (Energía cinética (E) e Intensidad de la lluvia (R)) }

$$\text{Factor R} = E \times I_{30} = \{ \sum (0.119 + 0.0873 \log_{10} (I_j T_j) \} I_{30}$$

Donde:

R = Factor de erosividad

I_j = Intensidad de lluvia para un aumento de intensidad mm/hr

T_j = Tiempo de incremento de la lluvia hr.

I_{30} = Intensidad máxima de lluvia en 30 minutos, mm/hr.

b) Erosividad = Energía cinética por Intensidad

$$R = E \cdot I \times 2$$

Donde: R = Factor de erosividad

I = Intensidad mm/ hr en 30 minutos

E = Energía cinética.

6.3. Longitud de la pendiente = L

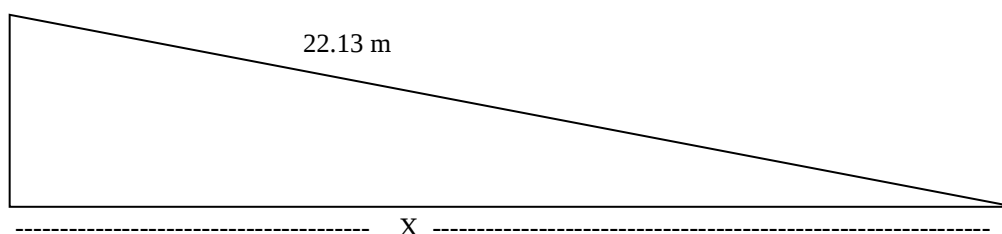
Es la relación que expresa la pérdida del suelo de una pendiente de terreno comparado con 22.1 m de longitud de 9 % de pendiente bajo condiciones idénticas. La erosión hídrica aumenta a medida que aumenta la longitud de la pendiente. Sin embargo hay un límite práctico de la máxima longitud que se puede encontrar en un terreno. La longitud de la pendiente es definido como la distancia del origen del escurrimiento hasta el punto donde la gradiente de la pendiente disminuye y empieza la acumulación o deposición del material transportado.

$$L = (x / 22.13)^m$$

Donde:

X = Longitud del talud en m.

m = Exponente según Wischmeier y Smith. (1978)



1. Tabla de valores m.

Pendiente (%)	m.
< 1	0.2
1 –3	0.3
3 –5	0.4
> 5	0.5

6.4. Gradiente de la pendiente = G

Es la pérdida del suelo de un gradiente de terreno comparado a un gradiente de 9 % bajo condiciones idénticas. El factor gradiente refleja la influencia de la inclinación del terreno en términos de porcentaje. La pendiente no es uniforme cóncavo o convexo.

$$G = (0.065 + 0.045 * s + 0.0065 * s^2)$$

Donde:

S = en base a la pendiente del suelo

Aplicando Ecuación PROMIC (2004) se tiene:

$$S = 16.8 * \sin \alpha - 0.5 \text{ (si, } P > 9 \% \text{) (1)}$$

$$S = 10.8 * \sin \alpha + 0.03 \text{ (si, } P < 9 \% \text{) (2)}$$

6.4.1. Gradiente de la pendiente (otra forma)

$$G = \frac{0.43 + 0.30 S + 0.043 S^2}{6.613}$$

Donde

G = Factor de gradiente de la pendiente

S = Gradiente en porcentaje

6.5. Manejo del cultivo. (MC)

Se refiere al factor de cubierta y manejo y es la magnitud de pérdida del suelo de un área con una cubierta y manejo específico comparado a un suelo cultivado continuamente sin mulch. La tala de árboles, fuego, sobre pastoreo, manipulación mecánica y otras actividades desfavorecen al suelo exponiendo al suelo a la energía erosiva de la lluvia y el escurrimiento. Un suelo completamente cubierto con la vegetación no produce escurrimiento significativo y no existe erosión en sobre suelos y en surcos. Los valores de c para la mayoría de los cultivos andinos oscila entre 0.5 a 1. El factor de manejo de los cultivos se basa en las observaciones de campo para ocho sub factores, cantidad de suelo desnudo, follaje, de consolidación del suelo, Contenido de materia orgánica, resistencia de raíces finas, efecto residual, acumulación o deposición del material edáfico, formación de huellas o escalones. Véase Tabla 2.

2. Tabla de Manejo del cultivo a partir de la cobertura vegetal

COBERTURA VEGETAL	MC
Bosque no intervenido	0.001
Bosque intervenido	0.34
Tierras erosionadas con escasa vegetación	0.8
Suelo desnudo	1
Cultivos extensivos en hileras	0.2 – 0.8
Pastos	0.3

La manera y forma de manejo de los cultivos en una región determina la gravedad de la erosión. El manejo de un cultivo es mucho más importante que la especie. Un cultivo bien manejado puede reducir la erosión significativamente. Investigaciones han determinado que las especies de plantas que crecen cerca de la superficie como las hierbas cubren y protegen mejor el suelo que las especies altas y dispersas. Los cultivos que crecen en hileras sembrados en surcos poseen menor efecto en el control de la erosión que cultivos sembrados al voleo. Los experimentos han reportado que la erosión de las parcelas de cebada sembradas al voleo es menor que las que las parcelas de cebada en hileras.

Un mismo cultivo sembrado en parcelas adyacentes puede causar diferentes grados de erosión en función de las prácticas de manejo. Por otro lado, la rotación de cultivos también contribuye en cierta manera la reducción de la erosión. Comparado con los cultivos, la vegetación natural protege al suelo a través del reciclaje de nutrientes y la agregación del suelo. Los cultivos e su mayoría alteran el reciclaje natural de nutrientes como efecto de la absorción por las plantas siendo menor comparado con la erosión.

Otro factor en la erosión es la presencia de materia orgánica en la superficie. Las cosechas promueven la acumulación de residuos en la superficie no permiten la generación de escorrentía rápidamente debido a que la cubierta de residuos favorece la agregación y formación de macro poros. Es por ello que los residuos de cosechas se deben dejar en los terrenos de cultivo para proteger el suelo no solo de la erosión sino también de la excesiva evapotranspiración. .

Para fines de control de la erosión no interesa mucho que cultivo o vegetación esté presente sino como se maneja esa especie.

6.6. Manejo del suelo (MS).

Se refiere las prácticas de manejo del suelo. Es la cantidad de suelo perdido por ejemplo, bajo labranza de conservación con surcos en contorno comparado con una práctica de surcos paralelos a la pendiente. Las prácticas de manejo varían en su efectividad en función de la pendiente. Los factores protegen el suelo de la erosión que los cultivos en contorno y en fajas. Los valores cuantitativos aproximados para **p** se encuentran en Tabla. 3.

3. Tabla de Manejo del suelo a partir de la Pendiente

PENDIENTE %	CONTORNO	FAJAS	TERRAZAS
1 a 2	0.4	0.15	0.05 - 0.03
2 a 7	0.5	0.25	0.10 - 0.05
7 a 12	0.6	0.3	0.12 – 0.05
12 a 18	0.8	0.4	0.16 – 0.05
18 a 24	0.9	0.45	0.15 - 0.06

6.6.1. Prácticas de conservación o manejo y uso del suelo.

El manejo del suelo es primordial e influye directamente en la magnitud de la erosión de un suelo al igual que las propiedades del suelo. Por ejemplo la erosión es reducida significativamente cuando los surcos están ubicados en sentido perpendicular a la pendiente. Si los surcos están mal orientados en forma paralela a la pendiente, los surcos se convierten en canales de escurrimiento incrementando la erosión. Entonces la construcción y el establecimiento de terrazas, diques, trampas de infiltración, barreras de sedimentación y otras prácticas que reducen la erosión. La efectividad de las prácticas de manejo del suelo varía de un suelo a otro. Por tanto es necesario identificar y diseñar las prácticas mas apropiadas para un determinado suelo. La erosión es influenciado más por el manejo que se le impone que por otro factor.

La elección de las prácticas más adecuadas para el control, prevención y reducción de la erosión requiere el estudio y diagnóstico de las condiciones externas e internas e un terreno. Para ello se recomienda la realización de la Clasificación de suelos con fines de Capacidad de Uso que clasifica en ocho clases. Esta clasificación permite conocer la susceptibilidad de los suelos a la erosión e indica las prácticas que se

deben implementar para conservar el suelo dentro el marco de sostenibilidad y productividad. Sin embargo surgen varias incógnitas en la utilidad práctica de esta clasificación para superficies pequeñas. Los agricultores muchas veces no tienen suficientes hectáreas de terreno para escoger. Existen casos donde la propiedad agrícola es muy inclinada y pedregosa lo que no permite la selección de sitios apropiados para los cultivos. En estos casos se deben sugerir a través de la clasificación de prácticas que se acomoden para optimizar y adecuar tales suelos para su uso de siembra.

Esta clasificación de suelos según su aptitud para uso ayuda más a los agricultores con propiedades superiores a 500 hectáreas que aquellos con uno o dos hectáreas.

Las prácticas de manejo del suelo incluyendo la pendiente y el manejo del cultivo son dependientes del agricultor. Las numerosas investigaciones han demostrado que la erosión se puede reducir mediante un manejo adecuado de la topografía del terreno y la implementación de prácticas de manejo de suelos y de los cultivos.

Para desarrollar un programa efectivo para el control de la erosión se debe estudiar y evaluar los factores de que afectan la erosión y las prácticas para su control. Para una planificación agrícola se tienen que seleccionar las combinaciones de prácticas agronómicas y mecánicas que mejor puedan conservar el suelo. No es posible evitar la erosión, pero es posible reducir un punto donde sea suficientemente pequeño que la producción de los cultivos no es alterado y que la productividad del suelo se mantiene o es incrementado a través de los años.

La erosión varía de un suelo a otro. Por tanto se tiene que desarrollar métodos para cada caso. Las técnicas de control deben tomar en cuenta las variabilidades en las condiciones de lluvia, clase de suelo, rotación de cultivos, antecedentes de uso y manejo, fertilidad y cantidad de materia orgánica, prácticas de conservación, topografía y otros.

PREGUNTAS DE PROBLEMAS

1. Calcular la USLE de una parcela de experimentación media bajo cubierta de escasa cultivo tierra erosionada en terrazas de parcela Standard (cotas lado A = 4.05, B = 4.12 ; lado C = 2.05, D = 2.1 m.) tipo de suelo es: (migajon arcillo limoso), porcentaje de M.O. 0.5. la Estructura véase en base al resultado de la permeabilidad a partir del sondeo (Diámetro = 8 cm., $t_o = 0$, $t_1 = 55$ minutos, $H = 140$ cm.; $h_o = 30$ cm., $h_1 = 105$ cm.). intensidad de 40 mm/hr.
2. Calcular la erodabilidad de una parcela de experimentación media bajo cubierta de escasa cultivo tierra erosionada cuyas cotas lado $A_1 = 1.6$ m, $A_2 = 0.95$ m; lado $B_1 = 1.9$ m, $B_2 = 0.83$ m, porcentaje de M.O. 2, la Estructura y textura del suelo en base al resultado de permeabilidad a partir de los datos del sondeo (Diámetro = 10 cm., $t_o = 0$, $t_n = 45$ minutos, $H = 110$ cm.; $h_o = 8$ cm., $h_n = 85$ cm.).
3. Calcular la gradiente y la pendiente para el problema 2.

CAPITULO VII ESCURRIMIENTO SUPERFICIALES

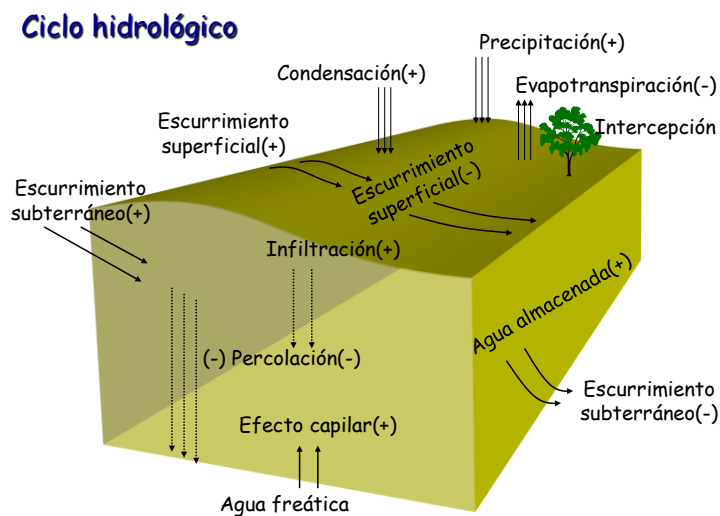
7.1. Concepto.

Escorrentía superficial es un componente del ciclo hidrológico del agua, “Es la porción de la precipitación que fluye hacia los arroyos, canales, lagos, océanos como corriente superficial”.

Llamado también drenaje superficial, flujo de superficie con sus componentes:

- ❖ Precipitación
- ❖ Pendiente
- ❖ Características físicas del suelo.

Fig. 7.1. Ciclo hidrológico del agua



$$q = p - \text{Infiltración}$$

$$Q_x = \int_0^x q \cdot dx$$

Factores que determinan los escurrimientos se agrupan en dos referentes:

- ❖ Lluvias
- ❖ Cuencas

7.2. Factores asociados con la precipitación

Intensidad

Es la fuerza con que es medido por la energía cinética, la intensidad se mide con pluviógrafos y de acuerdo al grado de lluvias.

- ❖ Ligera diámetro gotas < 2.5 mm
- ❖ Moderada diámetro gotas fluctúa 2.5 - 7.5 mm
- ❖ Intensa diámetro gotas > 7.5 mm.

¿Cómo se puede medir el diámetro de las gotas de lluvia?

Se puede medir mediante las membranas sensibles a mayor duración de lluvias, mayor escurrimiento (Pruebas en yeso, harina en bandeja)

Duración.

Se determina el tiempo exacto que dura un evento pluviométrico graficado en la hoja milimétrica de la base de datos, tiempo en el cual dura una lluvia máxima durante el día, mes y año correspondiente medición en mm, minutos u horas de caída de lluvia.

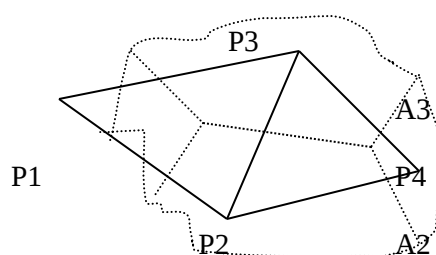
Precipitación media. (Formas de obtención de datos)

Media aritmética

Es la sumatoria de las lluvias durante los meses y los años sobre el número total n correspondiente para ellos utilizar los cálculos estadísticos.

$$X = \frac{\sum X_i}{n}$$

Polígonos de Thiessen



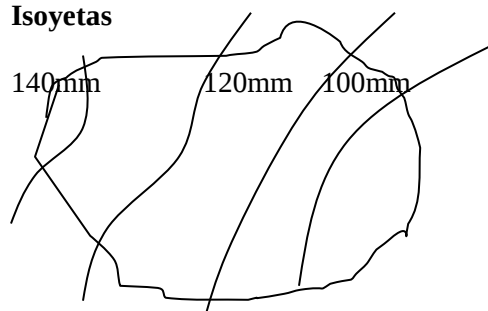
$$PM = \frac{A1P1 + A2P2 + A3P3 + A4P4}{A1+A2+A3+A4}$$

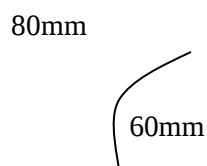
Donde:

PM = Precipitación media
A = Área de cada polígono

P = Lamina de lluvia del pluviómetro
Correspondiente.

Isoyetas





PP(mm)	Area (Has.)	X PP	PP total
60 - 80	5	70	350
80 - 100	40	90	3600
100- 120	50	110	5500
120- 140	45	130	5850
	140		15300

$$X = \frac{\text{Precipitación total}}{\text{Superficie total}} = \frac{15300}{140} = 109.29$$

Frecuencia o periodo de Retorno.

Es la cantidad de lluvia que puede retornar un determinado ciclo, se trata del periodo de retorno en un año de un determinado evento pluviométrico.

$$FR = \frac{n}{M}$$

Donde:

FR = Frecuencia o periodo de retorno

n = Número total de años de precipitación.

M = Número de orden de la precipitación.

1. Tabla de Periodo de retorno y probabilidades de lluvia

FRECUENCIAS DE RETORNO (FR) Y PROBABILIDADES DE LLUVIA

AÑOS	PRECIPITACION (mm)	PRECIPITACION Ordenada > a <.	Número Orden M	F.R. n/M	% Probabilidades de lluvia (M/n+1)*100
2009	571,5	612,7	1	10	9,09
2010	481,7	597,0	2	5	18,18
2011	488,3	571,5	3	3,3	27,27
2012	549,9	549,9	4	2,5	36,36
2013	612,7	521,9	5	2,0	45,45
2014	597,0	503,2	6	1,5	54,54
2015	521,9	488,3	7	1,43	63,64
2016	264,1	481,7	8	1,25	72,72

2017	380,3	380.3	9	1,11	81,82
2018	503,2	264,1	10	1,00	90,91

N	10
n+1	11

Estos cálculos nos sirven para dimensionamiento:

- ❖ Frecuencia de retorno de la máxima lluvia registrada
- ❖ Captación de aguas en cosecha de lluvias
- ❖ Periodos de inundación
- ❖ Construcción de Canales (aducción, desviación)

La utilidad:

- ❖ Calculo el escurrimiento
- ❖ Cálculos de obras hidráulicas estructuras civiles
- ❖ Cálculos del canal de agua de almacenamiento (Estanques, represas, etc.)

7.3. Factores asociados con las características de la cuenca.

Tamaño de la cuenca.

A mayor tamaño mayor escurrimiento. El escurrimiento es la cantidad de agua concurrida en la cuenca, está en función del tamaño a mayor tamaño mayor será el escurrimiento de la cuenca.

El concepto de cuenca de recepción es eminentemente topográfico: Área divisoria de aguas continua, pero abierta en su zona más baja y con laderas o declives más o menos pronunciados que vierten a la vaguada principal (c-d figura 2ª,2b) o a una varias de orden inferior tributarias de aquellas (líneas t de la figura 2). El punto más bajo de la vaguada principal E, coincide con el de menos cota de la parte abierta AB.

El estudio de cuencas de recepción necesita apoyo cartográfico topográfico adecuado. Para estudios hidrológicos serán suficientes las escalas 1:25.000 o 1: 50.000, para estudios detallados, se deberá utilizar escalas 1: 2.000 a 1: 5.000 con suficientes curvas de nivel (cada 5 m. Como máximo).

El primer dato que se necesita conocer es la superficie S, de la cuenca que se expresa normalmente en kilómetros cuadrados, y en hectárea. Se entiende solamente pequeñas cuencas a las inferiores de 50 Km.²

Cuenca	50.000 - 800.000
Subcuenca	5.000 - 50.000
Microcuenca	> 5.000

Fuente: fferdez.com (2010)

Si : 1 Km.² es igual 1000.000m²
 : 1 Km.² es igual a 100 Has
 : 50 Km.² es igual a 5000 has.

Forma de la cuenca

Las cuencas redondeadas captan mayor cantidad de agua que la alargadas i esta en función al Índice de forma

Índice de forma = largo / ancho.

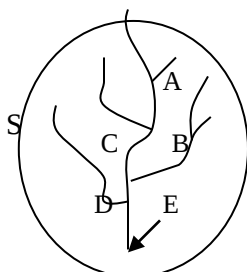


Fig. 2a. Cuenca circular



Fig. 2b Cuenca Ovoide

La forma y relieve de la cuenca, influyen apreciablemente en su comportamiento hidrológico, por lo que se suele considerar, entre otros los datos siguientes:

a) **Índice de compacidad o de GRAVELIUS:** es la relación entre el perímetro, **P**; de la cuenca y el un círculo que tuviera la misma superficie, **S**.

Si **R** es el radio del círculo equivalente, se tendrá.

$$S = \pi R^2 \quad P = 2\pi R ; = 2\sqrt{\pi S}$$

Y el índice de gravelius es, por tanto:

$$G = \frac{P}{2\sqrt{\pi S}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

Este índice da una idea de la forma de la cuenca, ya que cuanto más se aproxime a la unidad es más compacta siendo en este caso más fiables los resultados meteorológicos o hidrológicos que se obtengan. Una cuenca como la figura 2a tiene una compacidad aceptable en tanto la figura 2b con una superficie análoga y un índice de Gravelius mayor los resultados tendrían menos fiabilidad.

Pendiente de la cuenca

Determina la velocidad del escurrimiento y es directamente proporcional a la pendiente.

$$S = H / L * 100$$

Donde:

S = Pendiente media en %

H = Desnivel (m) cotas B -A

L = Longitud (m)

Pendiente media = $P_m = (H_{\max} - H_{\min} / L) 1000$ Donde: L = Long. Vaguada

7.4 Cálculo del coeficiente de escurrimiento.

7.4.1. Cálculo de Coeficientes de escurrimiento por Fórmula de Turc.

Proporciona empíricamente el coeficiente de escurrimiento media anual sobre datos de precipitación media en mm y la temperatura media en grados centígrados de la cuenca.

El déficit de Turc. viene expresado por la fórmula:

$$D = \frac{PP \text{ mm.}}{\sqrt{0.9 + (PP \text{ mm.} / L)^2}}$$

El coeficiente de escurrimiento vendrá expresado por la fórmula:

$$C = \frac{P \text{ mm.} - D}{P \text{ mm.}}$$

Donde:

PP mm. = Precipitación promedia en milímetros:

$L = 300 + 25 T + 0.05 T^3$

0,9 = valor constante

T = Temperatura media en grados centígrados

D = Déficit hidrológico

C = Coeficiente de escurrimiento

Con estos datos se puede obtener la aportación de la cuenca del embalse.

Aplicación de cálculo de escurrimiento:

Año	Temperatura Media (°C.)	Precipitación (mm/año)
2009	18,0	571,5
2010	16,4	481,7
2011	17,1	488,3
2012	17,5	549,9
2013	16,5	612,7
2014	17,8	597,0
2015	16,8	521,9
2016	17,2	264,1
2017	18,5	380,3
2018	18,7	503,2

Promedio 10 años	17,45	497,06
-----------------------------	--------------	---------------

Tomando los datos de la tabla tenemos:

$$L = 300 + 25 \cdot 17.45 + 0.05 \cdot (17.45)^3 = 1001,93$$

$$D = \frac{372,52 \text{ mm.}}{\sqrt{0.9 + (372,52 \text{ mm.} / 1001,93)^2}}$$

$$D = 464,29 \text{ mm.}$$

$$C = \frac{497,06 \text{ mm.} - 464,29 \text{ mm}}{497,06 \text{ mm.}}$$

$$C = 0.066 = 6,6 \%$$

7.4.2. Coeficiente de escurrimiento por TABLAS.

Está relacionado entre el escurrimiento y la intensidad de las lluvias

CE = Esta en función (Pendiente y la textura, cobertura y vegetación)

2. Tabla de valores de coeficiente de escurrimiento

TOPOGRAFIA	TEXTURA DEL SUELO		
VEGETACIÓN	F - A (Gruesa liviana)	Y -FL (Medio)	Y (Fino pesados)
BOSQUE			
Plano (0- 5 % pendiente)	0.10	0.30	0.40
Ondulado (5 – 10 %)	0.25	0.35	0.50
Escarpado (10 – 30 %)	0.30	0.50	0.60
PASTIZALES			
Plano (0- 5 % pendiente)	0.10	0.30	0.40
Ondulado (5 – 10 %)	0.16	0.36	0.55
Escarpado (10 – 30 %)	0.22	0.42	0.60
TERRENOS CULTIVADOS			
Plano (0- 5 % pendiente)	0.30	0.50	0.60
Ondulado (5 – 10 %)	0.40	0.60	0.70
Escarpado (10 – 30 %)	0.52	0.72	0.82

$$CE = \frac{\text{sumatoria (Áreas)(coeficientes escurrimientos)}}{\text{Áreas totales}}$$

Ejemplo 1. Calcular el coeficiente del escurrimiento de 40 Has, donde 25 Has están cubiertos con bosque, con perímetro escarpado y una textura gruesa, 10 Has, están cubiertas con pastizales en una pendiente ondulada y la textura es franco limoso, 5 Has cultivados un una pendiente de 2 % y una textura fina.

Solución:

$$CE = \frac{25 \times 0.30 + 10 \times 0.36 + 5 \times 0.60}{40}$$

$$CE = 0.35 \text{ Coeficiente escurrimiento}$$

Ejemplo 2. Calcular el CE de 85 Has donde 20 has están cultivados y tienen una pendiente del 3 % con una textura fina, 40 has son pastizales con pendiente ondulada textura media, 25 has con bosques con una pendiente escarpado y una textura suelta.

Solución:

$$CE = \frac{20 \times 0.60 + 40 \times 0.36 + 25 \times 0.30}{85}$$

$$CE = 0.40 \text{ Coeficiente de escurrimiento}$$

$$Q_{\max} = 0.028 \times C \times I \times A \quad (2)$$

Donde:

Q_x = Caudal máximo o Escurrimiento crítico m^3/seg

C = Coeficiente de escurrimiento

I = Intensidad Máxima de lluvia (mm/hr)

A = Superficie (Has)

Formula de Ramser

El método de la formula racional permite hacer estimaciones de los caudales máximos de escorrentía usando las estimaciones máximas de precipitación. Básicamente se formula que el caudal máximo de escorrentía es directamente proporcional a la intensidad máxima de la lluvia para un periodo de duración igual al tiempo de concentración y al área de la cuenca. El tiempo de concentración representa el tiempo de demora una partícula de agua para trasladarse del punto más remoto de la cuenca hasta el punto de desagüe. Cuando haya transcurrido este tiempo toda la cuenca estará contribuyendo a formar el caudal de la escorrentía que tendrá en consecuencia un valor máximo. La fórmula es:

$$Q = \frac{C I A}{360}$$

Donde:

Q = Caudal máximo de escorrentía (m^3/seg)

C = Coeficiente de escorrentía (Tabla 1 y 2)

I = Intensidad máxima de lluvia para un periodo de duración igual al tiempo de concentración y para (mm/Hr)

Frecuencia deseada en el diseño.

A = Área de la cuenca. (Has)

Ejercicio 3. Calcular el caudal máximo y el tiempo de concentración de lluvia con los datos siguientes:

Superficie total 75 Has

30 Has cubiertas con bosque (Textura liviana y una pendiente ondulada)

35 Has cubierta con pasturas (Textura mediana con una pendiente 18 %)

10 Has con cubierta con cultivos (Textura pesada con una pendiente 3 %)

$C = 0.376$

Longitud de Escurrimiento 850 m.

Grado de pendiente 25 %

7.4.3. Coeficiente de escurrimiento método curvas numéricas (SCS)

Cubierta vegetal

Este factor se considera las condiciones que presentan la cubierta del suelo, es decir la parte superficial del terreno en relación con su mayor o menor capacidad de infiltración, que dependen de la clase y densidad de vegetación y de la forma y tipo de labores realizadas.

Se establecen las distintas clases de cubierta con degradaciones de pobres a buenas de cubierta para la infiltración en sus condiciones hidrológicas. Cuanto más denso es el cultivo, mejor es la condición hidrológica para la infiltración y menor es el valor del número (N) representativo de la escorrentía.

Suelos

Para la determinación del complejo hidrológico “suelo cubierta” los suelos se clasifican en cuatro grupos siguientes:

Grupo I

Es el que ofrece menor escorrentía. Incluye los suelos que presentan gran permeabilidad, incluso, cuando están saturados comprendiendo los terrenos profundos, sueltos, con predominio de arena o grava y con muy poco limo o arcilla.

Grupo II

Incluye los suelos de moderada permeabilidad cuando están saturados, comprendidos los terrenos arenosos menos profundos que los del grupo I, aquello de textura franco arenosa de mediana profundidad y los francos profundos.

Grupo III

Incluye los suelos que ofrecen poca permeabilidad cuando están saturados, porque presentan un estrato impermeable que dificulta la infiltración o porque en conjunto su textura es franco arcilloso o arcilloso.

Grupo IV

Es el que ofrece mayor escorrentía. Incluye los suelos que presentan gran permeabilidad, tales como los terrenos muy arcillosos profundos con alto grado de tumefacción, los terrenos que presentan en la superficie o cerca de la misma una capa de arcilla muy impermeable y aquellos otros con subsuelo muy impermeable próximo a la superficie.

El valor de K_c del coeficiente de escorrentía correspondiente a la precipitación I_c a considerar en la fórmula del método racional, se determinará una vez conocidas las características hidrológicas de la cuenca, calculando la escorrentía Q_c (mm) relativa a la precipitación P_c (mm) por el procedimiento método analítico por los grupos hidrológicos (N_B). Que clasifican en:

Este factor se considera las condiciones que presentan la cubierta del suelo, es decir la parte superficial del terreno en relación con su mayor o menor capacidad de infiltración, que dependen de la clase y densidad de vegetación y de la forma y tipo de labores realizadas.

Calculando previamente el valor N_B de la cuenca para la condición B y el valor S_B obtenido de

la relación:

$$S_B = 254 \left[\frac{100}{N_B} - 1 \right]$$

La aplicación de la formula

$$Q_c = \frac{(P_c - 0.2 S_B)^2}{P_c + 0.8 S_B}$$

Permite obtener la esorrentía Q_c de la precipitación correspondiente a la lluvia máxima en estudio por otro lado

$$P_c \text{ (mm)} = T_c \text{ (h)} * I_c \text{ (mm/h)}$$

Tiempo de concentración

Se denomina tiempo de concentración de una cuenca el que invierte el agua de esorrentía superficial de una lluvia en recorrer el trayecto que existe ente el punto hidráulicamente más distante y el punto que nos interesa estudiar; su valor depende, fundamentalmente, de la pendiente del terreno.

Evidentemente, es el tiempo más corto necesario para que el agua de todos los puntos de una cuenca afluya simultáneamente la corriente que pasa por el punto de salida de la cuenca.

El tiempo de concentración T_c es prácticamente independiente del volumen, duración e intensidad de las lluvias, así como la capacidad y velocidad de infiltración en un suelo, si bien formulas tienen en cuenta estos factores.

Podría determinarse T_c utilizando testigos que fueran fácilmente arrastrados por el agua mientras llueve, desde la cabecera de la cuenca hasta el emplazamiento del embalse, pero la dificultad que entraña este tipo de experiencias hace que el cálculo del tiempo de concentración se haga mediante fórmulas muy simples que dan resultados contrastados y exactitud suficiente. La fórmula de Kirpich conocida como la fórmula de “California Culverts Practice”

$$T_c = \left\{ \frac{0.870 L^3}{H} \right\}^{0.385}$$

Donde:

T_c 0 Tiempo de concentración.

L = longitud en km desde el punto más alto del tributario hasta la vaguada abajo.

H = Diferencias de altitud

0,870 = Valor constante.

0.385 = Coeficiente de ajuste.

3. Tabla de Números (N_B) de las curvas de escorrentía para los complejos hidrológicos suelo-cubierta SCS (Según U.S. Soil Conservación Service)

Cubierta del suelo			Números N_B correspondientes a los grupos hidrológicos del suelo			
Clase	Laboreo	Condiciones hidrológicas para la infiltración	I	II	III	IV
Barbecho Cultivos alineados		-	77	86	91	94
	R	POBRES	72	81	88	91
	R	BUENAS	67	78	85	89
	C	POBRES	70	79	84	88
	C	BUENAS	65	75	82	86
	C-T	POBRES	66	74	80	82
	C-T	BUENAS	62	71	78	81
Cultivos no alineados o con surcos pequeños o mal definidos						
	R	POBRES	65	76	84	88
	R	BUENAS	63	75	83	87
	C	POBRES	63	74	82	85
	C	BUENAS	61	73	81	84
	C-T	POBRES	61	72	79	82
	C-T	BUENAS	59	70	78	81
Cultivos densos de leguminosas o prados con alternativa alfalfa						
	R	POBRES	66	77	85	89
	R	BUENAS	58	72	81	85
	C	POBRES	64	75	83	85
	C	BUENAS	55	69	78	83
	C-T	POBRES	63	73	80	83
	C-T	BUENAS	51	67	76	80
Pastizales (Pastos nativos)						
	-	POBRES	68	79	86	89
	-	REGULARES	49	69	79	84
	-	BUENAS	39	61	74	80
	C	POBRES	47	67	81	88
	C	REGULARES	25	59	75	83
	C	BUENAS	6	35	70	79
Prados permanentes Montes con pastos (ganadero-agrosilvoforestal)			30	58	71	78
	-	POBRES	45	66	77	83
	-	REGULARES	36	60	73	79
	-	BUENAS	25	55	70	77
Bosques (forestales)						
	-	MUY POBRES	56	75	86	91
	-	POBRES	46	68	78	84
	-	REGULARES	36	60	70	76

	-	BUENAS	26	52	63	69
	-	MUY BUENAS	15	44	54	61
Caseríos	-	-	59	74	82	86
Caminos de tierra	-	-	72	82	87	89
caminos con pavimento	-	-	74	84	90	92

Fuente: Conservation Service Soil USDA (2010)

7.4.4. Cálculo del escurrimiento Método tablas Cuenca - Área drenaje.

La cantidad del escurrimiento se mide en **metros cúbicos por segundo (m³/seg.)** Esta expresión se empleará al determinar la capacidad de los conductos para el agua y las estructuras de riego. El método que se describe constituye una forma sencilla para obtener una estimación razonable y aproximada del escurrimiento y se emplean también otros métodos, pero en este caso se ha usado con mucho éxito este método en el pasado, lo reafirman los técnicos del Servicio de Conservación de suelos de los EE.UU. Y al utilizarlo en nuestro país puede ayudar en gran manera en vista de lo sencillo que resulta este método principalmente para aquellos que tengan bastante experiencia del uso de algunos parámetros de conservación y con su experiencia y juicio afrontarán los retos de la naturaleza en favor de la agricultura sostenible.

Para el cálculo en m³/seg. En un punto dado se recurrirá una Tabla 7.4. Preparada para dar a conocer las características de las cuencas en relación con las que producen el escurrimiento. La tabla reúne y describe las características de las cuencas en base a cuatro parámetros importantes tales que son:

Relieve, la infiltración del suelo, la cubierta vegetal y el almacenamiento en la superficie.

A estos factores se les asignan valores de la tabla y suma de estos valores es la llamada suma de las características de la cuenca y se indican con la simbología **W**.

a) Uso de las tablas de escurrimiento

Para calcular el escurrimiento necesario para el diseño de una estructura de embalse con materiales permanentes se requiere de un caso práctico y se requiere de la tabla 10 siguiendo un ejemplo para el presente proceso se tiene superficie de drenaje de 37.2 has de las cuales 24 has son de tierra de cultivo en fajas y 13.2 has son de pastizales, la media es del 6% y el suelo es migajón del tipo promedio, los cauces están bien definidos, no hay en los que el agua detengan tales como lagunas o ckochas, luego las características de la suma de la vertiente es de acuerdo al siguiente detalle:

Relieve :	Con promedio de pendiente 6 %	12
Infiltración:	Para migajón Promedio.	10
Cubierta vegetal:		
	Para cultivos en fajas	10
	Para pastizales	= 5
Haciendo interpolación cruzada:		
	$\frac{(10 \times 24) + (5 \times 13.2)}{37.2}$	= 8

Almacenamiento: Bien definido

15

Suma de las características de
la vertiente (**W**)

45

Se necesita hacer una cuidadosa estimación para determinar los valores que figuren en la columna de la tabla 7.4 el valor 12 que aparece en el relieve es el promedio del 6% de pendiente y exige una experiencia en el cálculo también pueden realizar levantamientos agrológicos del suelo para conocer las pendientes y sacar los promedio y asignar los valores correspondientes. En nuestro caso solo se hace interpolación para hallar el valor de 12.

Una vez encontrado el valor de 45 se recurre a la tabla de frecuencia de precipitación de 50 años y localizando la superficie de drenaje en has. se toma la aproximación viene a ser 36 has y luego se avanza a las características de cuenca que vienen dados por valores ya asumidos y se detiene en 45 y los dos valores que se entrecruzan tanto vertical y horizontal es el valor que se asume y viene a ser 4.273 m³/seg., consultando con el mapa de la ciudad de Oruro donde se crea los factores coeficiente de escorrentía por método Turc a partir de la temperatura media y la precipitación promedio se asume el valor = 0.14

$$Q = 4273 \times 0.14 = 598.22 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Como se emplea los chubascos de 50 años es la cifra final para el proyecto de la estructura de riego.

Si se diseña un cauce o canal revestido para que se traslade la cantidad de agua necesariamente se recurrirá a la tabla de Frecuencia de 10 años, valiéndose esa forma se tendrá por la misma operación del cálculo se tendrá 3.028 m³/seg.

$$Q = 3.028 \times 0.14 = 423.92 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

4. Tabla Características de las cuencas y áreas de drenaje que producen escurrimiento

DENOMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA	100 EXTREMO	75 ALTO	50 NORMAL	25 BAJO
RELIEVE	(40) Terreno escarpado y abrupto con pendientes medias superiores a 30 %	(30) Montañoso, con un promedio de pendiente del 10 al 30 %	(20) Ondulante, con un promedio de pendiente de 10 al 30 %	(10) Terreno relativamente plano con promedio del 0 al 5 % de pendiente.
INFILTRACION DEL SUELO	(20) Cubierta del suelo sin eficacia ya sea rocosa con una delgada cubierta de suelo vegetal, capacidad de infiltración pésima.	(15) Lento en absorber el agua, suelo arcilloso con infiltración lenta, gumbo pesado.	(10) Normal: Franco suelo profundo con infiltración aproximadamente igual a la del tipo de suelo de pradera.	(5) Alta: suelo arenoso profundo, o algún otro tipo de suelo que absorbe el agua rápidamente.
CUBIERTA VEGETAL	(20)	(15)	(10)	(5)

	Cubierta vegetal sin eficacia, suelo desnudo o con cubierta mala.	De mala a regular: cultivos de escarda o cubierta natural pobre, menos del 10% de la superficie de drenaje con buena cubierta	De regular a buena: el 50 % aproximadamente de la superficie de drenaje cubierta con buenos pastos o árboles y el 50 % de la extensión con cultivos de escarda.	De buena a excelente el 90 % aproximadamente de superficie con drenaje y con buenos pastos árboles o alguna cubierta equivalente.
ALMACENAMIENTO EN LA SUPERFICIE	(20) Despreciable: depresiones superficiales escasas y poco profundas: arroyos y cauces de drenaje empinados y pequeños no existe lagunas arroyos y charcas.	(15) Poco: sistema bien definido de pequeños arroyos y cauces de drenaje no hay presencia de lagunas ni arroyos.	(10) Normal: considerable almacenamiento en las depresiones o hundimientos superficiales, sistema de drenaje similar al de praderas; hay presencia de lagos, lagunitas y arroyos entre el 2 % de extensión en la superficie	(5) Alto: alto almacenamiento, sistema de drenaje no bien definido, de las tierras planas existe gran cantidad de lagunas y arroyos ciénegas.

Fuente: Manual núm. 135 del Dpto. de Agr. De los EE.UU. (1992)

A partir de este dato se diseña el tipo de canal en base a la ecuación de **MANNING**. **g**

$$Q = A \cdot V.$$

5. Tabla VALORES DE RUGOSIDAD PARA LA FORMULA DE MANNING (**n**)

SUPERFICIE	CONDICIONES DE LAS PARCELAS			
	PERFECTOS	BUENOS	MEDIOS	MALOS
1. Limpios bordes rectos, llenos de hendiduras ni charcos profundos	0.025	0.0275	0.030	0.033
2. Igual de 1 pero con algo de hierba y piedra	0.030	0.033	0.035	0.040
3. Sinuoso, algunos charcos y escollos, limpio	0.033	0.035	0.040	0.045
4. Igual a 3 de poco tirante, con pendiente y sección menos eficiente.	0.040	0.045	0.050	0.055
5. Igual a 3, algo de hierba y piedra	0.035	0.040	0.045	0.050
6. Igual a 4, secciones pedregosos	0.045	0.050	0.055	0.060
7. Ríos profundos, cauce con hierba o con charcos profundos	0.050	0.060	0.070	0.080
8. Planta muy enyerbados.	0.075	0.100	0.125	0.150

Fuente: Trueba Coronel 1989.

7.5. *Otros Experimentos del escurrimiento superficial*

7.5.1. *Experimentos con parcelas de escurrimiento*

Las parcelas de escurrimiento son las más usadas para la cuantificación de la erosión hídrica. Sin embargo posee algunas debilidades que deben ser analizadas.

1. Los resultados obtenidos de áreas pequeñas no son suficientes para la extrapolación de toda el área.
2. Los resultados pueden ser poco fiables si es que no se han tenido réplicas o repeticiones.
3. La distribución de las parcelas puede ser una adecuada al menos que exista randomización.
4. Los resultados obtenidos pueden ser el producto de una investigación a muy corto plazo.
5. Deficiente instalación para el reporte de resultados correctos.
6. Errores en la medición por parte del operador en los diferentes eventos de lluvia.
7. Representatividad de las parcelas de escurrimiento.
8. Condiciones de acceso a la zona de estudio para el seguimiento correspondiente.
9. Costos de instalación y operación a largo plazo.
10. Disponibilidad de un laboratorio para los análisis de muestras.
11. Dificultades en la evaluación y monitoreo de la efectividad de las prácticas de conservación en el control y reducción como ser terrazas, diques, agroforestería, cultivos en contorno, etc. Al menos que se usen parcelas grandes.
12. Dificultades en el control de movimientos laterales y en las borduras alrededor de las parcelas.

El uso mayor se le da a las parcelas de escurrimiento es para fines de demostración a los agricultores. En la demostración puede observarse claramente las diferencias de erosión, por ejemplo entre un suelo cubierto y otro sin cubierta. Cuando el objetivo es obtener la cantidad de suelo perdido con mucha exactitud se debe conducir experimentos a largo plazo con varias réplicas bajo diferentes tratamientos en diferentes suelos con parcelas de escurrimiento equipadas adecuadamente.

7.5.2. *Tamaño de las parcelas de escurrimiento.*

a) Parcelas pequeñas.

Este tipo de parcelas se utilizan mayormente para la simulación de la erosión hídrica en condiciones de laboratorio. Estos experimentos se adecuan para trabajos intensivos para observar o simular la formación de sobre surcos y canales como efecto de erosión. En estas parcelas se pueden tener varios tratamientos, así por ejemplo suelos con y sin cobertura, suelos de diferente clase textural, terrenos con pendientes diferentes y otros, pero la **escala no es lo mismo** que en condiciones de campo.

Los investigadores utilizan este tipo para investigar procesos o fases de erosión que no se pueden estudiar en detalle en parcelas grandes tales como el efecto de las gotas de lluvia bajo simulación sobre la estabilidad, desintegración y separación de agregados, así como también el efecto de la lluvia en el transporte de las partículas y la deposición de sedimentos. Otro objetivo de las parcelas pequeñas es para completar y contribuir a una mejor comprensión del fenómeno de la erosión hídrica y la Erodabilidad del suelo en condiciones de campos sabiendo que los resultados logrados con estas parcelas deben ser verificadas y replicadas en parcelas más grandes a nivel de campo. Otra utilidad de estos experimentos en ambientes controlados sirva para generar y verificar modelos matemáticos y ecuaciones de erosión de suelos, los cuales se usan en la evaluación, estimación y predicción de la erosión. Con estos experimentos se pueden estudiar todos los detalles de la erosión más de cerca que en las parcelas a nivel de campo.

Además proporciona información básica para desarrollar investigaciones en la erosión.

Para la simulación de la erosión en parcelas pequeñas se recomienda tomar muestras no disturbadas del campo tales como los tepes para luego confinarlos en cajas de madera o metal (Cajas de erosión) Una de las desventajas en estas parcelas es el efecto de bordura para la salida y entrada del agua de escurrimiento. Por lo que se recomienda trasladar con sumo cuidado la muestra para disminuir el efecto. La dimensión de las cajas no sobrepasa 1x 1 m Muchos investigadores utilizan cajas de 0,5 x0,5 m debido a su dificultad de obtener muestras no disturbadas. Las cajas deben tener en la parte baja tubos de salida y un recolector para la recolección del escurrimiento y muestreo de los sedimentos respectivamente. El fondo de la caja puede ser abierto o cerrado, donde a veces se coloca grava o arena gruesa para estudiar la erosión en los suelos con estratificación. La boquilla de los aspersores para la simulación de la lluvia se debe colocar aproximadamente a 3 m de distancia, el tiempo de simulación deber ser de 30 a 60 minutos para permitir una adecuada saturación previa a la ocurrencia o generación del escurrimiento. Es necesario tomar en cuenta la capacidad de infiltración del suelo considerando que hay suelos que se saturan más rápidamente que otros.

b) Parcelas medianas o EUPS.

Estas parcelas son más representativas y completas para estudiar en sobresurcos y surcos. El tamaño de estas parcelas ha sido utilizado como base para desarrollar la EUPS. Minimizan el efecto de bordura y miden el escurrimiento desde la parte más alta de la pendiente y es suficientemente grande para observar la formación de surcos y sobresurcos como resultado de la erosión. Es posible evaluar el efecto de la rugosidad del terreno, orientación de surcos, cubierta vegetal, tipo de labranza, presencia de mulch, altura de plantas, cultivos específicos y otros tipos de manejo y de cultivos en la erosión. Los resultados de la EUPS se han comparado con aquellos obtenidos de las parcelas medianas estándares de 22,1 m de largo y 4 m de ancho y 9 % de pendiente.

Estas parcelas medianas se han usado para desarrollar la ecuación de predicción de la pérdida del suelo que se basa en la estimación promedio de la pérdida anual del suelo en condiciones de campo. Estas parcelas generan las bases estándares para la calibración y revalidación de la EUPS. Muchos investigadores recomiendan el diseño e implementación de planes de conservación en base a los datos generados por estas parcelas.

Las diferencias en la erosión entre suelos (cultivado y no cultivado, bajo labranza tradicional y labranza de conservación, etc.) han dado lugar al desarrollo de la EUPS para que los técnicos y agricultores puedan evaluar la pérdida de suelo. Los agricultores comprenden mejor la magnitud y gravedad del problema de la erosión si se muestran datos cuantitativos de su propiedad. Por ejemplo si se indica que las pérdidas de suelo en su terreno alcanzan a 5 ton/ha, ayuda mucho a despertar el interés en la necesidad del uso de prácticas de conservación que si uno pretende imponer el establecimiento de terrazas indicando simplemente que son efectivos en el control de la erosión. La cantidad de suelo perdido computado por el EUPS debería de ser igual a la cantidad de suelo recolectado de las parcelas medianas.

Las parcelas medianas deben ser de 22.13 m x 4 m con una pendiente inferior a 9 %. Para estimaciones valederas de la pérdida del suelo con la EUPS los resultados obtenidos se deben comparar con aquellos medidos en las parcelas medianas en diferentes condiciones de manejo de suelo y de los cultivos. En esta comparación se requiere de parcelas estándares con tratamientos adecuados para correlacionar los datos de diferentes lugares y para establecer una relación entre la erosividad de la lluvia y la Erodabilidad del suelo. No existe un camino corto para la recolección de datos confiables a nivel de campo y estos datos sirven de base fundamental para adaptar la EUPS a una determinada área geográfica o para el desarrollo de otra ecuación de erosión. Las investigaciones para la generación de datos de los factores

longitud y gradiente de la pendiente, LG, manejo del suelo, MS, y de los cultivos, MC no requieren tanto tiempo como establecer las correlaciones entre el factor lluvia, LL y el factor erodabilidad del suelo K.

Recuerde que una parcela de escurrimiento en un determinado lugar representa solamente a un sitio y es el reflejo del clima y las condiciones en ese medio en particular. Por tanto los datos obtenidos de ese sitio deben ser comparados con datos de otros lugares de la zona para la realización de predicciones de erosión en toda la región. Nunca los recursos económicos serán suficientes para muestrear cada combinación específica de suelo y condiciones peculiares por lo cual, las ecuaciones y modelos teóricos sirven para estimar y predecir la erosión mediante las extrapolaciones de datos.

En las parcelas medianas, las mediciones de escurrimiento y sedimentos se realizan después de cada evento de lluvia. En la instalación, las parcelas son confinadas con láminas de aluminio u otro material que evite la entrada o salida del agua de lluvia de la parcela. En la parte más baja las parcelas tienen instalados tubos de salida las cuales están conectados a los recolectores de sedimentos. Para la cuantificación de los sedimentos y nutrientes que han sido acumulados se toman alícuotas de muestras de los recolectores en un volumen inferior a 25 cc. Estas muestras son secadas para determinar el peso del suelo en ese volumen para luego relacionar el volumen del escurrimiento en el recolector. Tome en cuenta que el volumen total de escurrimiento en un recolector corresponde a una parcela de 88.4 m^2 . Los sedimentos y la suspensión acumulados en el recolector deben ser agitados fuertemente con un dispositivo de manera que la muestra (alícuota) a tomarse sea representativa. Se recomienda tomar al menos tres muestras de cada parcela. Las parcelas pueden estar bajo diferentes tratamientos concernientes al manejo del suelo y de los cultivos. Después de cada evento, los recolectores deben ser limpiados para la recolección del próximo.

c) Parcelas grandes

El tercer tipo de medición de erosión en parcelas es la medición de escurrimiento de cuencas pequeñas donde se puede observar los drenajes incluyendo la erosión en sobresurcos y surcos y canales en suelos cultivados o no cultivados. Estas parcelas por ser grandes se adecuan para la evaluación de la efectividad de las prácticas de conservación como ser terrazas, barreras de contención, bancales, etc. Algunas prácticas de conservación como ser los cultivos e contorno y en fajas requieren bastante espacio y son difíciles de ser evaluados en parcelas menores a 3 ó 4 has, pero con un diseño y manejo adecuado de parcelas grandes podrían evaluarse. Los agricultores tienden a confiar más en resultados obtenidos de los experimentos conducidos a escalas grandes. La ventaja de este método es que se puede combinar los resultados de todos los procesos de erosión y las medidas de conservación en una medición directa.

Además estas parcelas no permiten el estudio minucioso cerca de las diferentes partes del proceso de erosión. Además estas parcelas no son fácilmente replicadas para el incremento de la confiabilidad de los resultados. Por otro lado los resultados de escurrimiento en una cuenca particular no pueden ser usados para otra cuenca. Se adecuan muchas veces para una propiedad agrícola en particular donde se evalúa la erosión y la efectividad de las prácticas de conservación en la reducción y control de la erosión.

Al igual en el caso de otros métodos, la selección del sitio de experimentación para las parcelas grandes es el más crítico ya que debe ser representativo de un área significativo de un terreno aunque en contraste con las parcelas medianas, permiten el estudio de un proceso entero afectado por la topografía y clima. En la experimentación se tienen que establecer límites alrededor de la cuenca con borduras como por ejemplo, diques de tierra o promontorios de tierra. A veces el escurrimiento y los sedimentos son muy grandes y eso dificulta el muestreo adecuado. Se utilizan muestreadores para la extracción de sedimentos de la corriente de agua en el punto de salida de la cuenca. Los muestreos se realizan cada 5 minutos

dependiendo de la intensidad y el caudal de agua. En estas mediciones se deben anotar todos los detalles de prácticas de manejo del suelo y de los cultivos incluyendo las estimaciones sobre la presencia de rastrojos de pastos, de malezas y otros. Es necesario tomar en cuenta la altura, edad y el tipo de vegetación.

Sabiendo que las parcelas grandes facilitan la medición de la erosión en canales o surcos a mayor escala los investigadores deben prestar particular atención a todas las características como ser la forma y el tamaño de canales, drenaje y la orientación de los canales formados por la erosión. En las muestras recolectadas no solamente se deben analizar la cantidad de sedimentos sino también el tamaño de las partículas considerando su gran importancia en el transporte y deposición de sedimentos. Muchos problemas en la recolección de muestras se deben a que los equipos no están listos o están mal instalados para el muestreo durante el evento. Por tanto es necesario inspeccionar los recolectores, verificar la bordura, examinar los materiales de muestreo y los equipos de análisis en el laboratorio.

Muchos investigadores usan las parcelas grandes para evaluación de las prácticas de conservación. La cuenca puede estar bajo una determinada práctica de conservación y luego el investigador puede introducir otra práctica de conservación para estudiar las diferencias. Estas parcelas ofrecen muchas facilidades cuando se miden el efecto de uno o varios tratamientos. Este método es único aconsejable para estudiar y analizar el comportamiento y la efectividad de las estructuras y prácticas de conservación, siendo difícil su replicación, ellos más útiles para la verificación de los modelos de escurrimiento y la acumulación de sedimentos.

PREGUNTAS DE PROBLEMAS

1. Determine el Caudal crítico, para una cuenca de 25000 has con los datos de cobertura vegetal de **Hortalizas 2%** en suelo franco arenoso y pendiente ondulada, **cebada 8 %** ha, en suelo muy arcilloso pendiente escarpada; **alfalfa** el 15 % de ha en suelo franco arenoso en pendiente ondulada; **Pastizales nativos** un 5% de has suelo arcilloso pendiente escarpado; y **praderas permanentes 20 %** son de carácter pastoreo de suelo arcilloso pendiente escarpado, la intensidad de 22 mm/en 30 minutos.
2. Calcular el coeficiente de esorrentía aplicando la Ecuación Turc, de la Tabla 1. Utilice datos requeridos de temperaturas y precipitaciones promedias de la región.
3. Determine por las curvas numéricas el escurrimiento superficial, a partir del tiempo de concentración para 25500 has de una cuenca, cuya longitud del cauce principal de 50150 m con desnivel 5750 msnm parte alta la cima (H) y 3715 msnm aguas abajo, cuyos grupos hidrológicos son: Cultivos en barbecho para Hortalizas un 5 % de ha en curvas de nivel buenas y suelo franco arenoso y permeabilidad moderada pendiente moderada, Cultivos no alineados cebada un 24 % de ha, con lenta permeabilidad en suelo muy pesado pendiente acentuada pobres; Leguminosas alfalfa el 30 % de ha en suelo migajon arenosos, curvas de nivel buenas pendiente suave a moderado; Pastizales nativos regulares, no alineados un 18% condiciones hidrológicos pobres en suelo pesado pendiente escarpado; y praderas permanentes el 20 % son de carácter agrosilvoforestal con característica de suelo livianos permeabilidad muy rápida pendiente suve y pobre, 1.5 % bosque en suelos medio condiciones regulares y el restante son caminos sendas suelo pesado, utilice la intensidad promedio para 40 mm/hr.

CAPITULO VIII

EROSIÓN EN CARCAVAS

8.1. Control de cárcavas

Una cárcava es un zanjón o arroyo con fuertes taludes, sujeto a grandes caudales esporádicos o intermitentes. Además de la pérdida de tierra agrícola, las cárcavas muchas veces transportan grandes cantidades de agua y sedimento cuya deposición, al llegar a tierras planas causan daños severos. Estos sedimentos entierran suelos más productivos y rellenan los cauces de los ríos causando desbordamientos.

8.2. Formación y origen de la cárcava

Las cárcavas se forman por la acumulación de aguas de escorrentía provocando desmoronamientos y arrastre de grandes cantidades de tierra (Figura 28). La formación de cárcavas se inicia por los cambios en el equilibrio natural en el cauce. Los cambios pueden ser provocados por procesos naturales, pero en general resultan por la intervención humana., como la quema indiscriminadas de vegetación nativa, apertura de caminos desviación de drenes naturales, cultivo practicado, etc.

El origen de las cárcavas es:

1. Intensidad y duración de las lluvias
2. Concentración de aguas en las depresiones naturales
3. Caminos de herradura sin mantenimiento y mal ubicados
4. Las madrigueras de los animales con hábitos subterráneos.
5. La ruptura de terrazas ocasionada por un exagerado volumen de agua.
6. Desbordamiento o ruptura de una canal de riego.
7. Mala rotación de cultivos de perennes a anuales.
8. Pisoteo y pastoreo excesivo
9. Carreteras y atajos por tránsito de vehículos.
10. Baja infiltración del agua por la resistencia física del suelo.

Para el control de este tipo de erosión es necesario mejor entender el proceso de erosión, hay dos puntos críticos o zonas activas donde avanza la erosión dentro la cárcava desde el área contribuyente o micro cuenca:

1. El lecho o fondo del cauce.(lecho del zanjón)
2. El corte de la cabecera.

10.2.1. Clasificación de las cárcavas

a) Profundidad

- ❖ Poco profundas menor a 1 m

- ❖ Medianamente profundas de 1 a 5 m
- ❖ Profundas mayor a 5 m

b) **Tamaño de la cuenca drenada**

- ❖ Pequeña Superficie menor a 2has.
- ❖ Mediana “ de 2 a 20 Has.
- ❖ Grande “ mayor a 20 Has.

8.3. *Panorama de las cárcavas*

Las cárcavas se reconocen por el tamaño y la forma que tienen, se presentan en terrenos con cierto grado de inclinación. (Figura 8.1.) La forma que tienen es producto del deslizamiento y arrastre del suelo que se presentan en su interior y que se acrecienta con las fuertes lluvias del verano, toman la forma que tienen en su recorrido ; la fuerza erosiva que alcanza del material arrastrado se hace mayor que descende junto al agua, piedras y la materia orgánica, a esto contribuye mucho la mayor inclinación y mayor extensión del terreno donde está formado la cárcava, además influye la sequedad y dureza del terreno y también la ausencia de follaje y vegetación.



1. Panorama de una cárcava

8.4. *Reparación y conservación de cárcavas*

La mejor forma de prevenir la creación de nuevas cárcavas y controlar las ya existentes es mediante el control de escorrentía superficial en las partes altas de las laderas, deberemos prestar mayor atención a los lugares más propensos y evitar los mayores daños.

El control de cárcavas no es una práctica distinta, sino es una combinación de varias prácticas mecánicas, como agronómicas y forestales de que pueden intercambiarse de acuerdo a la recomendación de cada caso.

Las zanjas de infiltración es la principal práctica que se debe utilizar para fin de interceptar el agua de escorrentía, permitiendo controlar los deslizamientos.

Esta medida permite controlar un cierto grado de deslizamiento en los suelos por el agua. Para lograr un mejor resultado es necesario construir varias zanjas a distancias de 20 o 30 m entre ellas cuyo borde superior debe ser de 40 a 50 cm. y un ancho de fondo entre 40 a 50 cm y una profundidad de 30 a 50 cm las paredes pueden ser verticales u horizontales, la sequía debe construirse con pendiente cero y a lo largo de la sequía construir tabiques.

El espaciamiento entre sequías puede variar según; la inclinación del terreno - Tipo de suelo - Cantidad de lluvia - tipo de cultivos que se va proteger

Para calcular el nivel de la sequía se utiliza el **nivel en A** en cada punto se coloca una piedra como señal

de las cotas de nivelación cero.

En el borde superior se recomienda implantar especies de macollaje tupido (Forrajeras) , para evitar que se desmorone la tierra de la parte superior a las zanjas y se tapone.

Las técnicas forestales de conservación y reproducción de bosques con la reforestación en zanjas de infiltración como una de las formas más eficientes de cosechar y almacenar el agua en el suelo.

Forestación y reforestación y recuperación de bosques y especies nativas forestales, caso de kishuara, queñua, aliso, etc. Combina con los sistemas agro silvo pastoriles actividades de la agricultura silvicultura y pastoreo en un ciclo de extracción - reposición de nutrientes, también incluyen el establecimiento y recuperación de pastizales y el manejo de camélidos, corrales, CANAPAS, apriscos, etc.

El manejo de suelos está basado en el mejoramiento de la capacidad retentiva y almacenamiento del agua por el suelo mediante la incorporación de diversas fuentes de materia orgánica y la aplicación de enmiendas naturales como la roca fosfórica, huesos, cenizas, etc.

8.5. Causas principales para la inestabilidad de las laderas

Se entiende como inestabilidad de las laderas, al movimiento de una masa de terreno a una cierta velocidad en forma de deslizamiento, este movimiento puede presentarse superficialmente o en la profundidad.

El fenómeno de desmoronamiento de las laderas es difícilmente de esquematizar por cuanto la característica de este tipo de proceso es muy amplio, sea porque esta relacionado con la génesis del material o con su evolución.

Existen diversos tipos de clasificación y se relacionan con la geología que presenta la zona, la génesis del fenómeno que caracteriza el deslizamiento, la dinámica, etc.

Un encuadre de estos fenómenos y que caracterizan los procesos de deslizamiento relacionados con las medidas de control y que particulariza las situaciones mas críticas, se presenta de la siguiente manera:

- Erosión del pie del talud
- Escurrimiento superficial
- Flujo profundo
- Alta pendiente.

8.5.1. Erosión del pies de Talud

Esta situación ocurre cuando el curso de agua de río erosiona la parte del talud, lo que origina la inestabilidad de la ladera aumentando la pendiente y que tiende a deslizarse hacia el cauce.

Las medidas técnicas para el control de este tipo de erosión tienen relación con la protección de la pendiente longitudinal del cauce, la modificación de la geomorfología del talud y la consolidación del talud con medidas biomecánicas.

8.5.2 Esguerrimiento superficial (laderas)

Este tipo e situaciones se origina por la acumulaci3n de agua en peque1os colectores provenientes de zonas impermeabilizantes como los accesos que provocan la erosi3n laminar. En una primera instancia se generan erosi3n moderada a lo largo de la l3nea de mayor pendiente, posteriormente seg3n la intensidad de precipitaci3n que se registre, la acumulaci3n de agua va a generar surcos que terminan en deslizamiento.

Las medidas de control para este tipo, de erosi3n est3n a base de zanjas que frenen el esguerrimiento y redistribuyan el agua hacia cauces m3s estables, tambi3n es necesario la remodelaci3n de la zona de aporte a trav3s de la recuperaci3n de la cobertura y la implementaci3n de peque1as terrazas de control de esguerrimiento.

8.5.3. Flujo profundo

El flujo profundo se origina por la infiltraci3n de corrientes de agua a trav3s de grietas o deformaciones que se presente la ladera que sobresaturan el material que posteriormente se deslizan. Este tipo de procesos son muy complicadas en su determinaci3n por cuanto las mediciones para determinar la cantidad de agua en el macizo no son muy f3ciles de ejecutar, sin embargo entre las medidas de control est3n el aislamiento de zona sobre concentraciones de flujos de agua a trav3s de canales de desviaci3n la determinaci3n de la falla o altura del deslizamiento para la ejecuci3n de un sistema de drenaje profundo y la estabilizaci3n del movimiento si se dan las condiciones.

8.5.4. Alta pendiente

El relieve que presenta el terreno depende de los diferentes trabajos de infraestructura que se ejecutan como es el caso de los caminos de acceso, donde el perfil de las laderas no es compatible con las caracter3sticas f3sicas del terreno en la que se generan asentamientos y hundimientos que originan desestabilizaci3n.

Las medidas de control para este tipo de situaciones consiste en evacuar el agua de estas zonas, estabilizar a base de obras biomec3nicas utilizando especies vegetales con un buen sistema radicular complementar con medidas mec3nicas de estabilizaci3n y generar sistemas de drenaje.

8.6. Manejo de 3reas degradadas

Para realizar el control de c3rcavas estabilizaci3n de taludes, se considera informaci3n de biof3sica (mapas de erosi3n, de uso) de la cuenca, informaci3n hidrometeorologia (caudales de dise1o espec3ficos), informaci3n que es complementada con los recorridos a la zona de intervenci3n.

Para el manejo de los suelos degradados se elabora un flujograma a partir del manejo de 3reas degradadas, que se divide en dos componentes principales la primera de mucha importancia es el Biomec3nico y el segundo la agroforesteria.

En el primer componente se subdivide en tres etapas, a partir de la etapa inicial con el control de cabeceras, el control de c3rcavas y la estabilizaci3n de taludes.

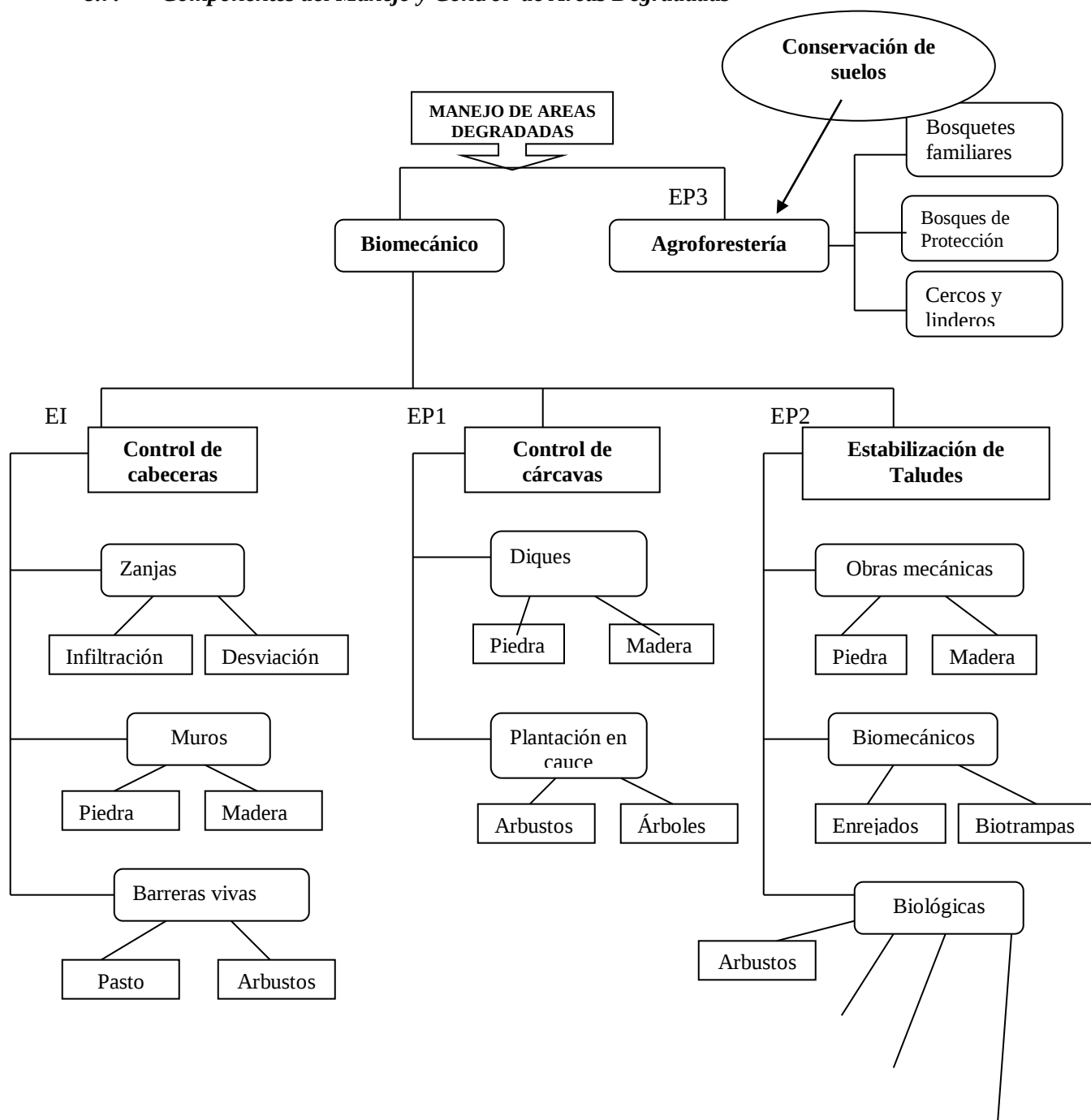
En el control de cabeceras una tarea b3sica en el trabajo mediante zanjas de infiltraci3n como de desviaci3n para evitar la p3rdida de suelo por efecto del esguerrimiento a favor de la pendiente.

Para el control de cárcavas una primera medida de prevención es la construcción de diques de contención sea de piedra o madera dependiendo de los materiales locales con que se cuenta en el lugar.

Para la estabilización de taludes es necesario realizar obras mecánicas propiamente dichos en base a materiales locales y hacer enrejados o biotrampas que sirvan para atrapar semillas en época de semillación y que estos sean los que controles a futuro la erosión.

El tratamiento de la cárcava debe iniciarse a nivel de cabeceras, es decir desde la parte superior de la cárcava para evitar que el agua siga concentrando grandes cantidades de sedimentos y ampliando en profundidad y amplitud el canal.

8.7. Componentes del Manejo y Control de Áreas Degradadas



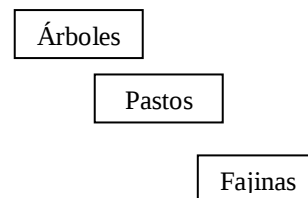
Referencias:

EI = Etapa inicial

EP1= Etapa posterior de 1er orden

EP2= Etapa Posterior de 2do orden

EP3= Etapa posterior de 3er. orden



Los trabajos de manejo tienen por objeto de reducir y controlar el escurrimiento superficial de la escorrentía de agua a través de las laderas un medio es la apertura de zanjas de infiltración o desviación utilizando con materiales locales como piedra que permitan la retención del material de arrastre en base a la pendiente proyectada, además las condiciones hidrológicas en el área pueden ubicarse otras maneras de interceptar este tipo de arrastre.

Zanja de infiltración

Cuya técnica se realiza con la ayuda del nivel en A siguiendo las cotas trazadas a lo largo de la ladera, posteriormente abriendo canales de 40 x 40 cm. (ancho y profundidad) largo de 4 m. o más dependiendo de la irregularidad del terreno. La tierra extraída se coloca en el borde inferior de la zanja formando o camellón para su posterior uso consolidando la plantación de vegetación como barrera protectora.

La finalidad de esta tarea de zanjas es para reducir la velocidad del recorrido del agua de escorrentía y ayudar a la infiltración de manera que almacene más agua y humedad donde las plantas establecidas aprovechen de manera eficiente.

Zanja de desviación de agua

Sirven para captar y conducir las aguas hacia los desagües mayores o tributarios controlados; asimismo el de brindar humedad a las plantas en la etapa de prendimiento. Estas zanjas deben estar permanentemente controlados con una limpieza para evitar sedimentos que tapone y den un mal funcionamiento, producto de ello pueden haber rupturas y resquebrajamiento en las partes débiles del contorno de la zanja.

Zanja en base a piedras

Son construidos en la zona de la cabecera y zona media de la cárcava, es recomendable utilizar en zanjas de desviación o derivación entre 0.50 x 0.50 m revestidas con piedra calzadas en una pendiente no mayor a 2 ó 3 % que permita una mejor limpieza constante. En los camellones se pueden utilizar en filas de dos o tres como barreras vivas con plantas arbustivas nativas e inclusive árboles cada 0.60 m de distancia en un sistema de tresbolillo.

Zanjas en base a callapos construidas a base de madera que cumplen el papel de protección pero tiene corta duración ya que al quinto año sufren el pudrimiento de sus bases.

La construcción de estas se utiliza 2 callapos de madera (2.5m por 4" de diámetro) en las que se acomodan en sentido contrario a la pendiente de la ladera, uniendo los callapos transversales con alambre de amarre apoyados a 3 estacas de madera(1 m. y 3 " de diámetro), removiendo el suelo y formando un camellón sobre las maderas transversales realizando un asentamiento de plantas arbustivas y arbustales de

rápido crecimiento como la keñua (*Calamagrostis vicunarum*, *C.curvula*, *C.heterophylla*), kishuara (*Polylepis tomentella*, *P. Tarapacana*) o sauce mimbre, etc.

Muros de piedra

Muros de piedra o pircas de piedra asociados de vegetación que sirven para reducir el escurrimiento que consiste su instalación en lo siguiente en sentido transversal de la pendiente del terreno y realizadas las curvas de nivel, estos muros de piedra son construidas a base de piedras de longitud variable con la finalidad de interceptar la escorrentía y retener el material de arrastre.

Al pie de los muros se realiza un asentamiento de plantas arbustivas y arbóreas con distanciamientos de 50 a 70 cm., entre planta y de 1 m. entre barrera viva luego del tercer año debe realizarse un raleo poda seleccionando plantas con buen porte genético para formar un próximo árbol y que cumpla el papel de muro de contención

Control de cárcavas.

Los trabajos de control mecánico que se realizan tendrán por objeto disminuir la velocidad del agua, mediante el establecimiento de dique transversales de contención, colocados en forma escalonada a lo largo de la cárcava; esto obliga a los flujos de agua adquiera un una menor velocidad la torrente de agua, reduciendo el material de arrastre y encausándolo en agua por el cauce principal de la cuenca. Para ello se puede utilizar la tabla 8.1. Que está en función a la pendiente para construir los diques.

1. Especificaciones técnicas trazado y diseño de Diques para una cárcava

PENDIENTE DEL LECHO DE LA CARCAVA (%)								
ALTURA dique (m)	ALTURA vertedero (m)	5	10	15	20	30	40	50
0,50	0,30	6,00	3,00	2,00	1,50	1,00		
0,75	0,45	9,00	4,50	3,00	2,20	1,60	1,20	1,00
1,00	0,60	12,00	6,00	4,00	3,10	2,10	1,60	1,30
1,25	0,75	15,00	7,50	5,00	3,80	2,60	2,00	1,60
1,50	0,90	18,00	9,00	6,10	4,60	3,10	2,40	2,00

Diques de gavión.

Para el control mecanizo de cárcavas también existen los diques de gaviones que son mallas de acera en las cuales se acomodan grandes cantidades de piedra y enclavadas en el suelo, su construcción está en base a la función de zonas de alto riesgo ya sea para protección de taludes, control de torrentes y ríos, caminos, etc.

Dique de piedra.

Son de tipo de obras mecánicas que se pueden implementados de manera escalonada con los diques de gavión, se utilizan materiales locales (piedra) donde se presentan las quebradas es ahí donde existe la piedra, con este material permite reducir la velocidad del agua y evitar la socavación.

Diques dobles de madera tipo Krainer.

Son estructuras de madera que se los realiza en base a callapos o troncos de eucalipto y permiten la estabilidad de la zona deteriorada y al mismo tiempo retener el escurrimiento aprovechar la infiltración.

Dependiendo del grado de erosión de las cárcavas, estas estructuras se deben realizar al inicio de las cárcavas, su construcción es a base de bolillos de madera en forma de gradas con una inclinación de 1:10 hacia la cabecera y de alturas variables hasta lograr una altura necesaria, para controlar la ampliación de la cárcava, estas estructuras van en forma de cajón las cuales deben ser rellenas con material removido más piedras para compensar la fuerza de gravedad que actuara sobre las laderas y el lecho de la cárcava, con objeto de reducir la velocidad y caída del agua.

Para su construcción de estos diques se utiliza bolillos de madera de 8" de diámetro y de 4 a 8 metros de longitud con la finalidad de lograr hasta unos 20 años de duración, porque a partir del 15 año sufre los procesos de pudrición en la madera, para este propósito es mejor establecer plantaciones con kishuara, keñua, u otras plantas del lugar para que reemplacen y cumplan la función de diques a largo plazo.

Para acciones futuras se pueden tomar en cuenta plantaciones de eucaliptos muy próximas a las zonas de intervención a objeto de abaratar los costos de establecimiento y transporte de material de bolillos de este material eucalipto.

Diques simples de madera del tipo Krainer

También a partir de bolillos de madera de 5 a 7 " de diámetro y 3 o 4 m de largo, se pueden hacer estructuras para proteger las cárcavas donde presentan problemas con la finalidad de proteger el arrastre del material y encausar a los desagües principales.

Estos dique son armados apoyando maderas transversales a los puntales unidos por clavos especiales (fierro corrugado de 5/8") la longitud y profundidad está en función a la profundidad y pendiente de las cárcavas.

Otras actividades complementarias a las medidas transversales de madera es la plantación de las riveras de cauce muy próximas a los diques con especies arbustivas, arbóreas de rápido crecimiento como el álamo, Pino, Sauce, Eucalipto, Sewenca, etc. Con propósito de agilizar los procesos de estabilización.

Diques encauzadores de agua

Estos encauzadores se han diseñado como canal escalonado por pequeñas obras transversales, con los cuales se dota al lecho una pendiente de equilibrio, lo que hace que el tramo resulte. El objetivo de este encauzamiento de las aguas es evitar la inestabilidad de las descargas, concentrando y reuniendo las aguas en un solo cauce.

Los canales de encauzamiento se ejecutan utilizando materiales de piedra madera, apoyando a la parte trasera de los aleros con geo textil impermeabilizante con propósito de retener material fino

Plantaciones en riberas de cauce

Como actividad complementaria de las medidas transversales y con el propósito de brindar más estabilidad a los diques se deben hacer plantaciones en las riberas del cauce principalmente aledañas a los diques.

Estabilización de taludes

Existen métodos vegetativos para la estabilización de declives. En el control de la erosión generalmente tenemos la alternativa entre medidas la utilización de vegetación permanente y estructuras de piedras, madera u hormigón o combinación entre ambas (biomecánico) con el objetivo de proteger las laderas o donde se presenten problemas de erosión y deslizamiento.

Los trabajos de control biológico se refieren al establecimiento de plantaciones forestales y arbustivas con la finalidad de estabilizar los suelos y taludes, estos ayudaran a aumentar la infiltración del agua y sirvan a su vez para disminuir la pérdida de los suelos por erosión hídrica y eólica.

Las diferentes técnicas de estabilización y control de los taludes biomecánicas y biológicas está a base de la utilización material vegetal entre piedra madera u otro material.

Biotrampas

Los biotrampas son construcciones a base de callapos que se construyen enclavando 3 estacas al subsuelo sujetando a 2 callapos de 2.5 m. Apoyados hacia la madera, amarrados con alambre de amarre para fijar los callapos. Los biotrampas se realizan con la finalidad de brindar más estabilidad a las plantas asentadas en ellas y generar humedad que permitan su prendimiento

Estas construcciones son realizadas en un sistema de tres bolillo y los distanciamientos están e función a la pendiente que tienen una densidad de 400 a 600 biotrampas/ha. Generalmente son ubicados en taludes que presentan problemas de erosión y deslizamientos de masa; asimismo estas medidas van acompañados de vegetación principalmente arbustivas como retama y otras de rápido crecimiento.

Enrejados o Romboides

Los enrejados o romboides son construcciones a base de callapos y material vegetal, esta técnica se inicia con la demarcación de las líneas guía dando la forma de rombos de 2 x 2 metros, para luego proceder al armado del enrejado, continuando con el clavado de las estacas en el subsuelo apoyando a estas los callapos sobre las líneas guía. Una vez armado los rombos o enrejados, se procede a la plantación de pastos a lo largo de los callapos y en un Angulo inferior se establece una planta generalmente de rápido crecimiento.

Una vez concluido con el armado del enrejado, se procede a la preparación del suelo para realizar la siembra al voleo de semillas de pastos y arbustos aptos de la zona, luego se cubre con paja o mulch (pasto picado y engrudo), con la finalidad de proteger las semillas del arrastre del viento y garantizar la germinación.

Esta medida es muy ventajosa para taludes de camino con pendientes superiores a 40 % ya que retiene material suelto producto de la remoción del suelo (construcción de camino) el grado de control se ve a corto plazo.

Fajinas

Entre una de las formas de fajina se tiene aquellas construidas por terrazas con ramas vivas, las cuales se inicia al pie de la ladera continuando hacia arriba. Al pie de la primera zanja excavada a una profundidad aproximada de 50 cm. Con una inclinación de 180 a 250 ° (Varia este rango en función a la pendiente) Las ramas están puestas con los pies adentro con la finalidad de dar mayor solidez a las ramas. La tierra cavada de la zanja superior es utilizada para cubrir las zanjas inferiores para que una vez llenada se compacte la tierra con cuidado.

La distancia entre zanjas depende de la pendiente y la estabilidad del suelo, ella puede variar entre 2.5 – 5 metros. La distancia media está aproximadamente a unos 3 m. En un sistema tres bolillo, si las zanjas están demasiado apretadas hay peligro de que el suelo se deslice antes que el sistema entero se haya fijado.

Los trenzados consisten en cercas entretejidos de ramas en zanjas poco profundas de 30 cm. De profundidad y se entierran estacas vivas de 50 a 70 cm. De distancia y entre ellas se teje varillas de especies que rebrotan como el cauce y otras. Hay que entretejer las varillas de tal manera que los pies tienen que tener contacto con la tierra.

Las fajinas deberán ser ubicadas en zonas con presencia de humedad para que ayuden en el prendimiento de las estacas o ramas, el sistema de fajinas es el tres bolillo.

Banquinas

Son excavaciones de 2 a 3 m. largo x 0.40 m , ancho y 0.40 profundidad, que deberán ir acompañadas de 2 a 3 plantas arbustivas por banquina, estas medidas tienen la finalidad de reducir la velocidad de escurrimiento almacenando agua para brindar humedad a las plantas asentadas en ellas favoreciendo al prendimiento y desarrollo de la vegetación. Asimismo las banquetas son realizadas en un sistemas de tres bolillo con una densidad de 400 a 800 banquetas/ha.

PREGUNTAS PROBLEMAS

1. Calcule la cantidad de diques a construir para una Cárcava cuya longitud es de 338 m. pendiente 17,5% profundidad de cárcava 1,40 m.
2. Calcule la cantidad de diques a construir para una Cárcava cuya longitud es de 108 m. pendiente 12,5% profundidad de cárcava 0,75 m.

CAPITULO IX PRACTICAS MECANICAS - TERRAZAS

9.1. *Diversos métodos de cubicación*

Son variados los métodos que se han estudiado y aplicado para la determinación del volumen de desmonte en las nivelaciones. Todos ellos están basados en la suma de los volúmenes de los prismas elementales a que da lugar la cuadrícula en que se considera dividido el bancal y estos volúmenes parciales, a su vez, en las cotas rojas de los puntos de dicha cuadrícula, los métodos de mayor interés son las siguientes:

Método estereométrico

Método de las áreas medias.

Método de suma.

Método de los cuatro puntos

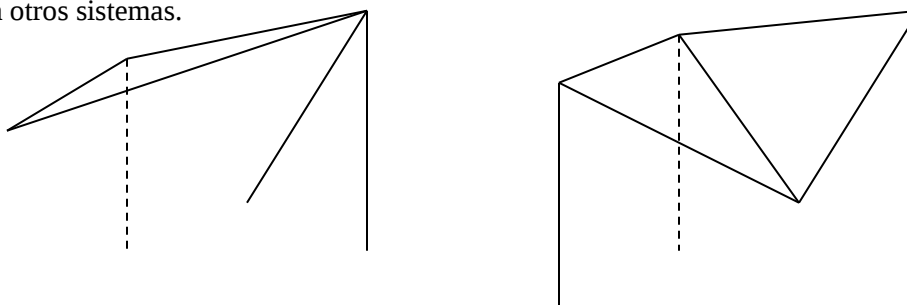
A continuación señalaremos cada uno de los indicados métodos, al menos en líneas generales, exponiendo las ventajas e inconvenientes de los mismos, el mayor o menor grado de aproximación alcanzado y las posibles correcciones de los errores, debiendo advertir que todos ellos dan los mismos resultados cuando todas las cotas de un a cuadrícula están en desmonte o en terraplén.

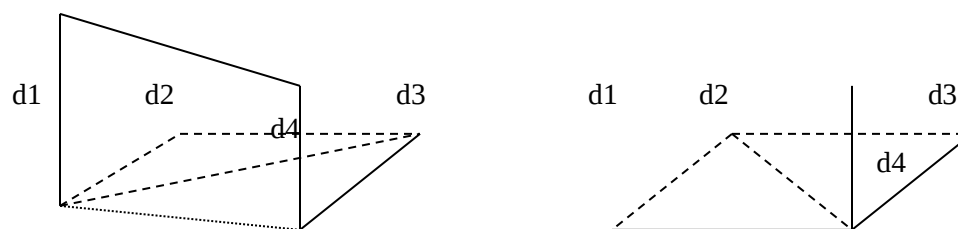
Método estereométrico

El método estereométrico o cálculo geométrico del volumen, en realidad no es utilizable más como termino de comparación de los restantes métodos, pues las formulas estereométricas son demasiados complicados y en las cuadrículas donde el desmonte cambia a terraplén es incluso necesario el estudio individual de cada caso para determinar la fórmula que ha de ser complicada (véase figura 9.1.)

Se puede calcular geométricamente dos volúmenes perfectamente diferenciados con los datos que se dispone, dimensiones de la cuadrícula y cotas rojas en sus cuatro esquinas, por lo que el método estereométrico se ve precisado el cálculo de las dos soluciones puesto que ambos pueden ocurrir con la misma probabilidad, obtiene el volumen medio como solución más aproximada al volumen real.

En resumen el método estereométrico no es práctico y únicamente puede tener algún valor como patrón de comparación con otros sistemas.





1. Prismas estereométricas

Método de las áreas medias.

El método de las áreas medias finales Average and método, muy semejante al estereométrico, estudia individualmente cada uno de los prismas de transición, dividiendo la cuadrícula base de los mismos en Áreas que queden enteramente en desmonte y terraplén y calcula separadamente los volúmenes correspondientes a cada una de estas Áreas, que sumados proporciona el volumen total del desmonte o terraplén en cada cuadrícula. (Figura 9.2)

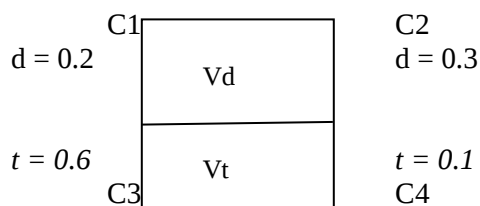


Fig. 9.2. Áreas medias

Método de suma.

Este método, determina el volumen de desmonte en cada cuadrícula por la media aritmética de las cotas de sus cuatro esquinas consideradas en valor absoluto es decir:

$$VD = L^2 * \frac{C1 + C2 + C3 + C4}{4}$$

Sin diferenciar si alguna de estas cotas C corresponde a desmonte y terraplén.

Este sistema, proporciona volúmenes **por exceso** en los prismas de transición. No obstante este conveniente de interés por presentar la ventaja de admitir la obtención de una formula general que permita el cálculo directo del desmonte total del bancal.

Método de los cuatro puntos

El método de los cuatro puntos determina el volumen los prismas de transición mediante la aplicación de las formulas aproximadas que, para el desmonte y terraplén se detalla a continuación:

$$V_D = \frac{L^2}{4} \times \frac{\sum D^2}{\sum d + \sum t}$$

$$V_T = \frac{L^2}{4} \times \frac{\sum T^2}{\sum d + \sum t}$$

V_D = Volumen del desmonte en una cuadrícula.

V_T = Volumen del terraplén en una cuadrícula.

L = Espaciamiento de la cuadrícula si fuere rectangular $L^2 = a \times b$ (lado por ancho.)

$\sum d$ = Sumatoria de las cotas de desmonte en las cuatro esquinas de la cuadrícula.

$\sum t$ = Sumatoria de las cotas de terraplén en la cuatro esquinas de la cuadrícula.

Estas fórmulas han sido obtenidas considerando el volumen de desmonte como el producto de la sección media respectiva por el espaciamiento de la cuadrícula.

Los resultados obtenidos con este método son a veces superiores y otras inferiores que los cálculos por el método estereométrico, pero son bastante aproximados, por lo que es recomendable su uso del método. Además señalar con este método se puede evidenciar por el volumen de desmonte y el volumen del terraplén a qué tipo de suelo corresponde la verificación del resultado.

Entonces $VD > VT$ se puede adelantar que son suelos buenos en condiciones favorables para su sistematización. Y si $VD < VT$ no muestran condiciones favorables de suelo. Ver clasificación agrologica para mas detalle.

9.2. Determinación de anchura de terrazas

Ancho del bancal está determinado por el volumen por ha

$$\text{Volumen por Ha} = 1.250 \times Pt \times A,$$

$$\text{Distancia de transporte} = 2/3 \times A.$$

Por ello a una pendiente transversal determinado tanto el volumen por hectárea como la distancia de transporte es directamente proporcional al ancho del bancal.

Claramente se aprecia esta influencia se considera la representación (gráfica 9.3) que consta de una sección recta transversal del bancal teórico elemental para un valor constante del ángulo α o, lo que es igual de $Pt = \tan \alpha$.

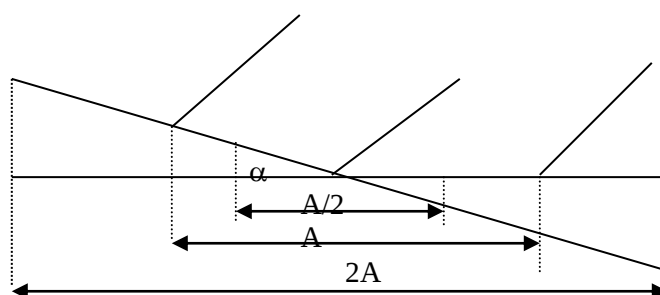


Fig. 9.3. Sección recta transversal de un bancal

Por tanto ancho máximo debe ser 50 metro, y ancho mínimo 15 metros.

Si consideramos como apropiados para los valores medios y máximos del volumen por hectárea los de

1.250 y 1500 m.³ tenemos

$$= 1.250 \times A \times Pt \text{ y } 1.500 = 1.250 \times A \times Pt$$

$$A \times Pt = 1 \text{ y } A \times Pt = 1.2$$

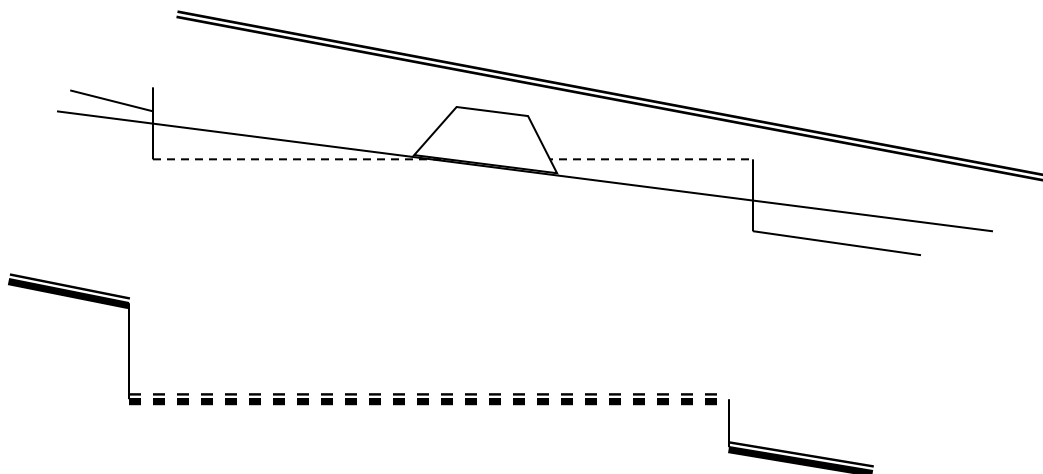
Inclinación de terrazas (Pendiente) en porcentaje por la constante 1 o sea 1 sobre / % Pendiente.

9.3. *Métodos de conservación de la capa laborable*

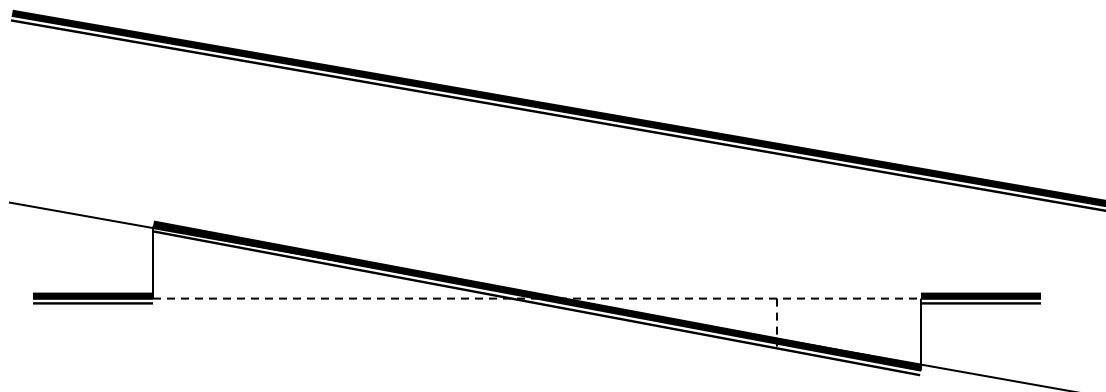
Los métodos existentes los podemos clasificar en dos grandes grupos:

- *De conservación interior*
- *De conservación exterior*

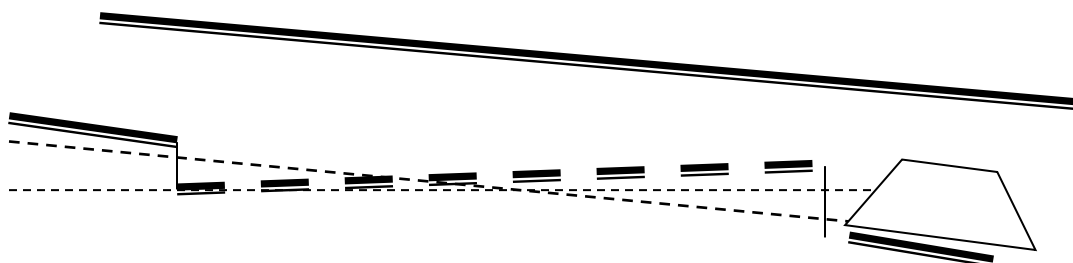
El primer grupo tenemos el método de cordón en el cual se amontona la capa laborable en un cordón central que sigue la traza de la línea cero o neutra, en el que se corta el plano del bancal.



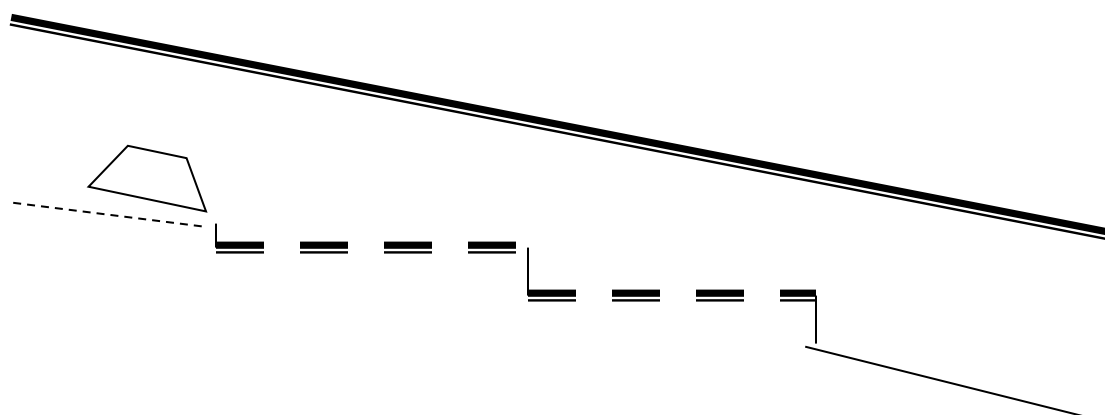
El otro método el llamado Fajas, en el que la capa laborable se va retirando en fajas.



El segundo grupo encontramos el método normal, que consiste en retirar la capa laborable fuera del bancal y extender una vez nivelado este.



Otro método es el de grupo, en el cual se va llevando la capa laborable de un bancal a otro y al final llevando la capa laborable retirada del primero al último bancal.



De este último método existe la variante que la llamaremos método sencillo, dado que el último bancal por estar en la zona más baja y que permite la retirada de la capa laborable, sin merma en su producción agrícola, lo que se economiza el último transporte.

9.4. Prácticas mecánicas en terrazas

Protección y mantenimiento: es igual que las demás terrazas haciendo canales de desagüe y cajas disipadoras para la demasía de agua en el riego, asimismo los taludes sembrar pasto para evitar el desmoronamiento

9.4.1. Sistemas de terrazas y medidas agronómicas de prevención

Las terrazas darán forma al campo de cultivo durante largo tiempo y se las trabajará muchas veces, de modo que se deben planear teniendo muy presente la facilidad para el laboreo, Así como otros factores que entran en su diseño. Un poco más de trabajo en el momento para la construcción de terrazas puede ahorrar mucho tiempo cada vez que se laborea el campo, téngase en cuenta las salidas de los desagües o si el agua produce un problema con el colindante vecino.

La terraza es muy efectiva en el control de erosión y además es tal vez la obra más estética de todas la práctica mecánicas. Sin embargo, debido a su costo relativamente alto y su requisito de suelos

relativamente profundos, tienen una aplicación limitada a condiciones más específicas que las barreras o las zanjas.

En esta sección se examina los tres tipos de terrazas que estás siendo más utilizadas en nuestro medio: La terraza individual, la terraza angosta y la terraza de banco.

9.4.2. Principios básicos de técnicas mecánicas de conservación de suelos

9.4.2.1. Clases de terrazas

Las diferentes formas de terrazas con todas sus variantes se agrupan en formación lenta, banco y Zanjas de infiltración:

- Terrazas de drenaje
- Terrazas de banco o de absorción
- Terrazas individuales
- Terrazas angostas

a). Terrazas de drenaje.

Funcionan como sistemas de drenaje superficial conduciendo excesos de agua a bajas velocidades (no erosivas), en pendiente de 3 a 15 %. La construcción se realiza, en la parte superior del terreno y la terraza superior deberá quedar cerca de la parte más alta pueden ser de bordos bastante amplios entre 4 a 6 m y el canal de desagüe de 3 m y una profundidad de 0.45 m.

Las formulas usadas son para precipitaciones $> a 750 \text{ mm IV} = 0.6 + s/10$
 $< a 750 \text{ mm IV} = 10 + 60/s$

b). Terrazas de banco o de Absorción

Estas terrazas se construyen de tal forma, que se aumente la captación y el agua retenida sobre la mayor superficie posible y aumentar la máxima absorción del agua por el suelo el cual los camellones deben ser amplios y altos, Las terrazas de absorción se trazan sin pendiente o sea pendiente cero, son recomendables para zonas de escasa precipitación $> a 750 \text{ mm}$ y es aconsejable en pendientes de 3 a 10 %.

Las formulas usadas son para precipitaciones $> a 750 \text{ mm IV} = 0.6 + s/10$
 $< a 750 \text{ mm IV} = 10 + 60/s$

Las terrazas de banco son plataformas o bancos escalonados, contruidos transversalmente a la pendiente y separados por taludes protegidos con vegetación. El ancho del banco varía con la pendiente, el cultivo y la profundidad del suelo.

Aunque son las obras más efectivas en controlar la erosión en laderas, su uso es limitado por su alto costo. Se recomienda las terrazas de banco para cultivos muy rentables como hortalizas, flores y algunos cultivos especiales. Como la fresa y la piña. Además se debe contar con riego disponible en temporada seca asegurando su máximo provecho de las terrazas.

Para determinar la forma técnica el espaciamiento entre terrazas se recurre a fórmulas como ser:

$$IV = \left[\frac{2 + \frac{P}{3 \text{ ó } 4}}{1} \right] 0.305$$

Dónde: IV = Intervalo vertical

P = Pendiente inicial del terreno en porcentaje

3 = cuando la precipitación es menor (<) de 1200mm/año

4 = cuando la precipitación es mayor (>) de 1200 mm/año

0.305 = Termino de conversión de pies a metros (en caso de disponer datos en pies)

Conociendo el intervalo vertical se calcula el intervalo horizontal (IH)

$$IH = \left[\frac{IV}{P} \right] \times 100$$

Conocidos el IV y el IH, con ambos datos se calcula el distanciamiento o espaciamiento entre terrazas

$$D^2 = (IV)^2 + (IH)^2$$

d) Terrazas angostas

Las terrazas angostas son plataformas continuas y de base angosta, trazadas transversalmente a la pendiente para interceptar el agua de la escorrentía. Esta agua captada se almacena en la plataforma para que se infiltre, si esta trazado a nivel, o para que se evacue lentamente a lugares debidamente protegidos, cuando la terraza se traza con desnivel. La plataforma o banco esta formado por un corte y relleno y tiene una pendiente inversa.

Hay dos usos principales para las terrazas angostas. En las tierras menos inclinadas se utilizan conjuntamente con las medidas agronómicas para cultivos limpios, como granos básicos, hortalizas y flores. En los terrenos muy inclinados, se construyen para cultivos permanentes, frutales, café, cacao y cítricos.

Las dimensiones y el distanciamiento entre terrazas, se determinan según la pendiente del terreno y la clase de cultivo. Una ventaja de las terrazas, comparadas con otras físicas, es que se permiten el cultivo de la plataforma, reduciendo la cantidad de tierra no cultivable relativamente profundos y su alto rendimiento de mano de obra. Si se construyen en tierras poco profundas, la plataforma o banco llega hasta el subsuelo es generalmente infértil y la terraza se vuelve infértil poca productiva.

Especificaciones: Se recomienda las terrazas angostas para cultivos limpios en laderas con pendientes entre 12 a 30 %, donde la profundidad del suelo no es limitante (Mayor a 50 cm.). El distanciamiento varía con la pendiente, como se presenta (cuadro 9.1).

El ancho de la plataforma de la terraza es de 2 metros con una pendiente inversa de 19 % (20 cm. de desplazamiento vertical). El relleno de la plataforma deber ser bien compactado. La relación del talud debe ser 0.75: 1 a 1:1 según las características del suelo y debe protegerse con pasto sobre el talud del relleno y una barrera viva unos 20 cm. arriba de corte.

Las terrazas angostas para cultivos perennes se recomiendan para tierras con pendientes entre 50 y 60 %. El distanciamiento entre terrazas, debido a la fuerte pendiente es menor entre terrazas angostas, se construye cada hilera para cada árbol con distancias de 6 m entre terrazas para cítricos, hasta de 9 y 10 metros para mangos y aguacates.

2. Tabla de distanciamiento para terrazas angostas (Para cultivos limpios)
(Según Michaelsen, 1980)

Pendiente del terreno %	Distancia inclinada Entre terrazas m.	Ancho total De la terraza m.
12	14.0	2.34
14	13.0	2.40
16	12.5	2.42
18	12.5	2.46
20	12.0	2.52
22	12.0	2.56
24	12.0	2.60
26	12.0	2.64
28	12.0	2.70
30	12.0	2.74

El ancho del banco es de 1 a 1.5 m. Con pendiente inversa de 10% (10 a 15 cm. de desplazamiento vertical). El material del corte se aprovecha para el relleno lo cual debe estar bien compactado, capa por capa. El cuadro 9.2. Presenta el ancho total de la terraza según la pendiente. Los taludes son iguales que el anterior método.

3. Tabla de anchos para terrazas angostas (cultivos perennes) (Según Michaelsen, 1980)

PENDIENTE DEL TERRENO %	ANCHO TOTAL DE LA TERRAZA m.
50	2.64
52	2.70
54	2.76
56	2.82
58	2.88
60	2.94

Como todas las obras físicas se pueden trazar las terrazas angostas a nivel para captar el agua de la escorrentía o a desnivel para evacuarla en una forma controlada. Donde el régimen de lluvia o las características de drenaje del suelo dicta necesidad de evacuar el agua, se recomienda el trazo de las terrazas con un desnivel longitudinal de 1 %, esta agua debe descargarse en un desagüe natural o un canal debidamente construido y protegido.

CAPITULO X

LABRANZA DE CONSERVACION - PRÁCTICA AGRÍCOLAS

10.1. *Antecedentes.*

La labranza de conservación se utiliza en los mismos residuos de cosecha (rastros) cuyo fin es de contribuir de manera esencial a la conservación y rehabilitación de los suelos al mismo tiempo incorporar materia orgánica y mejorar la fertilidad de los suelos y reducir los costos de producción en los productores pueda practicar con una agricultura sustentable.

La labranza de conservación es un sistema de laboreo que realiza la siembra sobre la misma cubierta de residuos vegetales del anterior cultivo, en la cual conserva su humedad y reduce la pérdida de suelo por escorrentía de la lluvia y el viento reduciendo los problemas de riesgo a la erosión, con esta práctica se desea incrementar la capacidad productiva y aumentar los rendimientos de biomasa y reducir los costos de reducción a su vez controlando el medio natural.

Estudios señalan que se pueden mantener hasta un 30% de la superficie cubierta de residuos (rastros) luego de la siembra pueden utilizarse en función a la rotación de cultivos para garantizar su monocultivo. Los tipos de labranza de conservación se pueden describir en los siguientes.

- a) Labranza en camellones
- b) Labranza en franjas
- c) Labranza de coberteras
- d) Labranza cero o no labranza

La labranza en camellones. Es donde el suelo se laboreo a hasta poco antes de la siembra para evitar erosión utilizando escardillas o removedores de residuos de aproximadamente un tercio de la superficie del terreno en el momento de la siembra se hace en bordes o camellones a una altura entre 10 y 15 cm. Para el control de malezas se realiza una combinación de escardas y aplicación de herbicidas reconstruyendo los bordes.

La Labranza en franjas el suelo se deja sin laborear hasta antes de la siembra. Al momento de sembrar se laborean franjas aisladas del suelo, aproximadamente a un tercio de la superficie del terreno, con arado rotatorio o llamado rotavator, un cincel en el surco de siembra, el control de malezas se la realiza mediante utilización de herbicidas y escardas continuas.

La labranza de coberteras en una modalidad reciente que se laboreo en la superficie total de la superficie del suelo. Se utilizan cinceles con puntas en forma de V al tipo de pata de ganso (cincel de asadas). Para el control de malezas se realiza mediante una combinación de herbicidas y

escardas continuas para el mejor control.

La labranza cero o no labranza consiste en no disturbar el suelo o laboreo del suelo antes de la siembra. Para ello se realiza con implementos que se cortan los residuos de cosecha y se depositan las semillas de la próxima siembra cuidando la rotación de cultivos y se depositan las semillas en una proporción no mayor a 7 cm de ancho. Para el control de malezas se realizan aplicaciones de herbicidas.

El tipo de labranza va en función a las decisiones sobre el tipo de labranza que se va utilizar depende también de los aperos de labranza que se va utilizar desde la pala, el azadón, sembradoras el uso de fuerza animal y la sembradora que se va utilizar también las condiciones climáticas y de la presencia de malezas, plagas y enfermedades que se tengan presentes.

Ventajas de la labranza de conservación.

- Conserva los suelos y reduce la erosión.
- Conserva la humedad del suelo
- Incrementa la productividad del suelo
- Mantiene la fertilidad de suelo
- Reduce los costos de producción
- Mejora la estructura del suelo y su agregación de las partículas
- Genera mayor actividad biológica
- Reduce la infestación de malezas
- Mejora el desarrollo de las raíces de los cultivos
- Mejora su drenaje interno
- Mejora el balance hídrico mejora sus deficiencias.

El Manejo de la labranza de conservación se recomienda antes de iniciar realizar una buena preparación del suelo y elimine los estratos endurecidos que pueden perjudicar el desarrollo radicular en las plantas, otro lado la pedregosidad no debe ser mayor al 20% en el terreno y la pendiente no debe superar mayor a 16 por ciento y todas las labores se realizarán con tracción animal o manual exigible.

Hasta hoy se han desarrollado muchas prácticas o técnicas para la prevención, control y reducción de la erosión. Estas prácticas se dividen en dos grandes grupos: Métodos tracción mecánica y métodos biológicos. Las técnicas tracción mecánicas incluyen a toda práctica que requiere de una remoción mínima del movimiento del suelo, mientras que las biológicas se refieren al establecimiento de vegetación o manejo del cultivo. En la implementación de las diferentes prácticas de manejo y de conservación de suelos se recomienda considerar la pendiente del terreno y establecer o trazar las curvas de nivel para que las prácticas sean más efectivas.

La erosión hídrica es inversamente proporcional al grado de absorción o retención de agua en el suelo. A mayor absorción de agua es menor la erosión hídrica. Además en incremento de la absorción de agua en un suelo no solo reduce la erosión hídrica sino también incrementa la productividad del suelo como resultado de una mayor conservación y acumulación de agua. La retención del agua depende de la textura, estructura, permeabilidad, porosidad, presencia de materia orgánica y otras características del suelo. La maximización de la retención del agua es esencial para el incremento de la producción en las

zonas áridas y semiáridas. (Tabla.1)

1. Tabla Algunas prácticas comunes para el manejo del suelo, agua y los cultivos.

Prácticas para el manejo del suelo ▪ Terrazas de formación lenta ▪ Terrazas de montones de troncos y piedras ▪ Terrazas en gradadas, hoyos en las laderas ▪ Terrazas intermitentes	Objetivos de cada práctica ▪ Disminuir la gradiente de una pendiente ▪ Reducir la gradiente de una pendiente forma lenta. ▪ Disminuir la erosión con mínimo movimiento de tierra en pendientes inclinadas y muy inclinadas
Prácticas para la conservación del agua ▪ Camellones de absorción ▪ Surcos en contorno y hoyos semicirculares ▪ Terrazas en canales en gradadas ▪ Camellones intermitentes ▪ Cultivos en fajas, barreras vegetativas	Objetivos ▪ Para multiplicar la lluvia en forma efectiva ▪ Almacenar y contener agua de escorrentía ▪ Controlar la escorrentía en exceso ▪ Reducir la erosión eólica ▪ Reducir la velocidad de escorrentía y promover la infiltración.
Prácticas para el manejo de cultivos ▪ Terrazas en gradadas, hoyos en las laderas ▪ Terrazas en huertos y en plataforma ▪ Camellones, hoyos y zanjas de infiltración	Objetivos ▪ Hacen casi planos los terrenos inclinados ▪ Facilita cultivación manual o maquinaria ▪ Proporciona drenaje e suelos poco drenados y almacena humedad para desarrollo de cultivos

- BANDAS O SURCOS EN CONTORNO** Son los más apropiados para los suelos áridos y requieren menor movimiento de tierra que las terrazas lenta formacion. Los cultivos se implantan e forma intermitente en las fajas o en hileras ubicadas entre bandas. Estas bandas en contorno son diseñadas para la absorción y retención del agua de lluvia permanecen sin cultivo. Esta práctica es poco apropiado para terrenos pequeños ya que el área de cultivo va a ser reducido
- BANDAS SEMICIRCULARES Y TRAPEZOIDALES.** Son prácticas que permiten almacenar o cosechar agua en bandas que adoptan una forma semicircular y trapezoidal. La profundidad de estas bandas depende de la cantidad de precipitación y del escurrimiento.
- CAPTACIÓN EN EXCAVACIONES SEMICIRCULARES.** Son excavaciones pequeñas semicirculares que se hacen en un terreno con la finalidad de captar el agua de lluvia. Los cultivos se establecen entre los semicírculos. Es poco apropiado para terrenos poco extensos.
- CULTIVOS EN CONTORNO.** Es apropiado para suelos poco inclinados que requieren poco movimiento de tierras. Esta práctica permite la reducción del escurrimiento y no requiere de surcos o bandas para contrarrestar la erosión. Los cultivos en hileras forman pequeñas depresiones que reducen el escurrimiento. Experimentos han demostrado que los cultivos en contorno disminuyen en un 50 % en pendientes suaves y hasta un 10 % en pendientes muy inclinadas. La ubicación del terreno, la forma y el gradiente de la pendiente determina las características de los contornos. Muchos recomiendan que la gradiente dentro las líneas en contorno no debe exceder de 3 %. Las labores culturales deben desarrollarse en forma paralela a las líneas de contorno. Se deben establecer en lo posible cursos de agua con vegetación en los bordes de los cultivos.

10.2. Cultivo en contorno

Se Sigue las curvas de nivel del terreno, ya es como una práctica establecida y aceptada.

Localización y trazo de las curvas de nivel

Labranza en contorno
Siembra en contorno
Limitaciones del cultivo en contorno

10.2.1. Localización y trazo de curvas de nivel

Necesariamente se debela localizar y trazar en base a las curvas de nivel que sirva de guía ,que tenga una cota o elevación constante, todos los trabajos de siembra y labores de cultivo deberán llevarse a cabo a partir de esta línea.

En pendientes relativamente pequeños y uniformes se deber usar una sola línea de guía. Pero cuando es larga y pendientes desiguales se necesitara varias guías.

10.2.2. Personal para hacer localización y trazo

Se necesita dos personas uno para que maneje el nivel y el otro ayudante para clavar las estacas y hacer señas para el nivelador y realice las lecturas. De esta forma se utilizara instrumentos para la nivelación, en caso de no utilizar será preciso utilizar el eclímetro.

10.2.3. El trabajo debe comenzar por el punto más alto

Para localizar la primera curva consiste en ascender al punto más alto del campo, luego desde ahí se traza una perpendicular al campo, T pendiente abajo caminando 25 a 30 m. Según la inclinación del terreno. En bajadas largas y suaves se situara a 45 m. en bajadas acentuadas la longitud de distancia ser menor; luego se colocará a distancia de 15 a 30 m. a través de la ladera.

10.3. *Labranza en contorno*

Aunque muchos campos que se preparan para sembrar en contorno después de que el terreno ya se ha barbechado y preparado, no todas las labores tienen éxito. Primera regla es seguir las curvas de nivel.

10.4. *Siembra en contorno*

Al preparar el terreno para la siembra y al sembrar cereales menores y cultivos en surco se deberá seguir un plan de barbecho.

10.4.1. *La siembra debe estar de acuerdo a la cosecha que se va a recoger*

Antes de la siembra en contorno debe prestarse atención a la forma de recolección y cultivo que se va a sembrar.

10.5. *Limitaciones del cultivo en contorno*

El cultivo en contorno da mejores resultados en campos con pendientes uniformes, y con una o dos direcciones resulta impráctico.

10.5.1. Cercas en contorno

Hay ocasiones en que una cerca en contorno nos ayudara en el plan de conservación de suelos, es la

explotación agrícola que da mejores resultados.

La separación de terrenos como pastizales y de cultivo son las que nos servirán como guía y esta con relación a la pendiente. En nuestra región lo vemos con diferentes formas de dividir los terrenos ya sea con apircamiento (piedras) o setos vivos.

- *Trazado de cercas*
- *Hincado de postes*
- *Montaje de postes terminales*
- *Colocación y estirado del alambre*
- *Trazado de cercas*

La línea debe trazarse siguiendo las curvas de nivel, en lugares donde las curvas de nivel dan giros bruscos tienen que suavizarse el giro, esto nos ayudara a los posteriores trabajos de operación.

Método: Plántese las estacas a distancias de 5 m., después que se ha fijado las estacas, compruébese la curvatura de toda la línea, pero si algunos de los postes necesitan tener una separación menor a 5m., se considerara está escogiendo tres estacas consecutivas y tendiendo un cordel de acuerdo a la tabla 12.2.

2. Tabla de espaciamientos entre postes.

Distancia de la estaca del centro hacia el cordel (cm)	Espacio recomendado entre postes (m)
10 < 10	5
10 -12.5	4.55
12.5 -15	4.27
15 - 20	3.65
20 – 35	3.05
35 - 50	2.44

10.5.2. Colocación de los postes

- Los postes de acero deben tener una longitud de 2m. para anclaje.
- Los postes o bolillos madera 2,15 m.
- Los postes de acero deben penetrar 65 cm. en el suelo.
- Los de madera " " 90 " "

Cuando se presenta condiciones de intemperie por el invierno se aumenta en los dos tipos 15 cm. la longitud. Necesariamente se deben hacer girar torciendo los postes paralelos

10.5.3. Montaje de los postes terminales

Emplácese un sistema uniforme de anclaje en los extremos de cada tramo de alambre

10.5.4. Colocación y estirado del alambre

El alambre de cerca debe colocarse siempre del lado exterior de los postes cuando haya una curvatura de modo que ejerza una tracción contra ellos se sujeta y estira el alambre e forma uniforme, en caso de que se atraviere arroyos y cauces de desagüe deben tenderse con alambre de púas .

CAPITULO XI AGROFORESTERIA

Generalmente la plantación de especies forestales es para dar protección al sitio o emplazamiento de las construcciones, explotaciones agrícolas, forestaciones, etc. El objetivo es conservar a los campos contra los daños que puedan ser ocasionados por la erosión eólica. Principalmente les sirven de barreras rompe vientos, una demostración en agroforesteria dio como resultado la reducción aproximadamente un 25 % las necesidades de combustible para la protección del ambiente.

El cuidado especial de las tierras arboladas o boscosas de la explotación agrícola es una buena práctica para la conservación del suelo, pues implica el empleo y atención acertada prudente a toda la tierra para estos fines, el cuidado debidamente hará que aumente la población vegetal arbórea y al mismo tiempo creara condiciones excelentes para una combinación de agroforestería para el agricultor.

11.1. Plantación de especies forestales

Las técnicas que implican el plantar árboles para rompe vientos y fajas protectoras no son radicalmente distintas de las que se emplean para otras plantaciones en el campo aunque algo diferentes las especies a utilizarse, el tamaño y tipo de los plantones, la preparación del terreno y el espaciamiento.

La forestación protegen del impacto de la lluvia hacia el suelo y además los árboles absorben grandes cantidades de humedad que acumulan en sus raíces formando bolsones ,que estos son evacuados por el subsuelo hasta llegar a producirse acuíferos subterráneos produciendo vertientes naturales y formando las nacientes de los ríos.

Evita en impacto de las gotas de agua de lluvia que al caer deshoja a las plantas y ramas que estas a su vez al caer al suelo son esparcidas alrededor de los árboles que le sirven de alimento como material descompuesto.

Los árboles protegen la erosión en las laderas, en la orilla de los ríos, además protegen a los cultivos por el viento y las heladas ayudan a mejorar el suelo, se puede observar donde existe plantas los suelos tienen buenas condiciones de fertilidad y materia orgánica, un bosque contribuye a almacenar grandes cantidades de agua para todo el año.

Por otro lado dan madera de buena calidad dependiendo de la producción de especies ya sea para muebles, postes, vigas, leña evitando que utilicen bosta como combustible, finalmente para carbón, aceites o medicinas.

11.2. Ubicación del terreno

la ubicación del terreno a la plantación de especies forestales está en función a la zona, en buenas tierras se plantan árboles para producción de madera o bien en suelos pobres donde existe erosión se plantan especies forestales adaptadas. Asimismo en parcelas donde la producción a decrecido se puede utilizar para la plantación de especies forestales para mejorar el suelo, también el zonas donde los pastos son pobres pueden plantarse árboles así como en terrenos pedregosos en vista que darán una protección a os cultivos, abrigo y leña.

11.3. Donde plantar

La plantación necesariamente se ubicará donde hay mayor problema de erosión, donde los cultivos necesiten protegerse de los problemas medio ambientales , donde los terrenos sufren de constante desmoronamiento en la orilla de los ríos, al borde de las carreteras y para el abrigo de la hacienda también es necesario que se encuentren cerca de la chacra.

11.4. Determinación del área a plantar

Primero: se debe tomar en cuenta el tamaño del hoyo 80 cm x 80 cm depositando la primera capa del suelo en un lado del hoyo y el restante al otro lado y mezclar con estiércol pasmado en una relación de 3:1 donde 3 palas de tierra una pala de estiércol.

Segundo: la cantidad de plantones que se necesita para la plantación en base al terreno disponible.

Tercero: el número de personas que van a trabajar en la plantación.

11.5. Que especies se va a plantar

En terrenos bajos se pueden plantar todo tipo de especies adaptadas para la ocasión, el suelo es muy importante para las especies a plantar, las nativas se adecuarán en suelos pedregosos y pobres algunos árboles necesitan suelos buenos para su plantación especialmente las de producción de madera como el pino, sauce llorón, acacia, mara, gaiba, etc.

Las especies recomendadas para nuestro medio son:

Kishuara, Olmo, Ciprés, Pino, Retama, Eucaliptos, Sauce mimbre, Álamo, etc.

CAPITULO XII

FACTORES SOCIALES Y ECONOMICOS QUE INFLUYEN SOBRE LA EROSION DE LOS SUELOS

12.1. Introducción.-

La erosión no es solamente un fenómeno físico, sino es un problema social económico. Existen diversas circunstancias tales como distribución de la población y de los terrenos agrícolas, la estabilidad de los precios de productos agropecuarios.

El grado de educación del campesino es bastante bajo y las vías de comunicación caminos vecinales son carentes o de pésimo estado razón por la cual también son factores negativos que inciden en la erosión.

La erosión resulta de una inadecuada relación entre el suelo y el hombre, porque el interviene en extraer del suelo directa o indirectamente todos los alimentos para su sustento y nutrición y gran parte para su protección y abrigo.

Ya se indicó que al romperse un suelo virgen con herramientas de labranza y ponerse bajo cultivo se debilitan sus defensas naturales y se propicia un moderado arrastre de materiales y la erosión participa en ello como un proceso acelerado y perjudicial.

Resulta inevitable para el hombre destruir los suelos para su manutención y provecho. Si ello no ocurriera como los primitivos que tan solo consumían frutos silvestres para su alimentación se mantendría el **equilibrio natural**. La meta de la conservación no es la de proteger los recursos naturales como fin en si mismo, sino la de asegurar la mejor utilización de ellos de manera de no malgastarlos. El suelo es un recurso natural renovable y su uso racional llevara al mantenimiento de una agricultura prospera y permanente por un suelo fértil. Aunque resulte muy difícil dictaminar si muchas civilizaciones porque han desaparecido se deberá a que a existido un fenómeno de la no conservación del suelo es una pregunta que se debemos hacernos.

12.2. El exceso de población.

El primer factor que rompe ese equilibrio es el exceso de población, cada porción de terreno tiene capacidad de producción que establece una aplicación de un sistema de labranza, no puede sobre pasarse, ni saquear sus recursos del suelo y disminuir la fertilidad.

En la actualidad se puede ver como se sobre limita el uso indiscriminado de la tala de bosque en el

oriente Boliviano sin que exista reparo alguno y esto va en desmedro de la riqueza que tiene nuestro país asimismo algunos latifundistas so pretexto de preparar tierras para la siembra de soya, oleaginosas, etc., van haciendo esta actividad ilícita ,o bien en el altiplano se puede observar la mala utilización de los suelos en laderas en favor de la pendiente sembrando sus cultivos por la parcelación excesiva del minifundio que también es perjudicial e incrementa la erosión, la subdivisión de las parcelaciones .

La mayoría de los pequeños agricultores que manejan este tipo de actividad no lo ven como un buen negocio económico óseo tiene una rentabilidad negativa. Siendo a veces la única entrada económica están obligados a abandonar sus tierras de cultivo hacia las nuevas tierras caso del chapare y el oriente Boliviano y muchas llegan a las ciudades en busca de trabajo y este abandono hace que esas tierras se sumen a la desertización general y galopante.

12.3. Tamaño de las parcelas y distribución de la propiedad.

Una finca demasiado pequeña ofrece escasas alternativas de uso. La combinación agricultura -ganadería en la cual se dedique gran parte de nuestro altiplano es poco enumerativo, mediante los forrajes que protegen el suelo.

Las cosechas anuales a la que están sometidos todos los cultivos en el altiplano exigen escardas periódicas como consecuencia el ingreso económico es poco. Mientras que en los valles y el trópico el hecho de que se puede hacer dos o más cosechas por año esfuerzan al máximo esas tierras porque deben sacar la rentabilidad económica, peor aun cuando existe el minifundio que por cierto no es tanto como en el altiplano, pero si se puede apreciar en los valles de esa manera contribuyen con la destrucción paulatina del suelo en su fertilidad sino se tiene un buen plan de manejo de suelos.

12.4. La tenencia de la tierra

La ley INRA 1715 viene a constituirse en una verdadera y autentica contra reforma agraria, porque dispone y administra la propiedad de la tierra de acuerdo al neoliberalismo y la exigencia del banco mundial a nivel latinoamericano de acuerdo a la posesión y conservación la tierra pertenecía a quien la trabajaba que está siendo desconocido por esta nueva ley. El estado no reconoce el latifundio, sin embargo el estado fomentara colonizaciones para una distribución demográfica y mejor explotación de la tierra y los recursos naturales del país, en su Art. 42 señala que serán dotadas la tierras fiscales a favor exclusivamente a las comunidades campesinas y pueblos y comunidades indígenas y originarias representados por autoridades originarias o naturales o sindicatos o sea a excluido la dotación individual de campesinos, por tanto los pobres están en desventaja por poseer poca o ninguna tierra.

Otra situación deriva del ausentismo de los propietarios de los terrenos agrícolas que dan a terceras personas en calidad de alquiler la tierra, entran en acuerdos o contratos que van en desmedro de la conservación del mismo. El arriendo es un tanto perjudicial para el suelo porque los que se alquilan sacan el máximo provecho de uso del suelo llegando incluso a la infertilidad extrayendo nutrimentos y destruyendo los agregados coloidales sin dejar a cambio nada contribuyendo a la erosión.

Esta actividad se ve en zonas donde existe conocimiento de la actividad hortícola ya se practica la devolución de las tierras en las mismas condiciones, porque han visto la rentabilidad de dichos suelos en materia de producción.

12.5. Precios en los mercados.

Los precios en los mercados de los productos agrícolas son otra circunstancia que afecta a la explotación excesiva de los terrenos, con frecuencia se ven comunidades con escasas vías de comunicación, carreteras, vías férreas, etc. por esta ausencia primordial se ven intermediarios que acaparan los productos de los agricultores en la zona de producción quienes se ven obligados a vender sus productos en el precio que los fijan estos señores y además en esto influye la ignorancia del hombre rural.

Los acaparadores intermediarios monopolizan, las existencias que al inicio de la campaña de siembra inclusive son facilitados de los insumos para las actividades de labores de cultivo y en la cosecha salen decepcionados con el injusto reconocimiento de los precios y estos intermediarios fijan otro precio en los mercados de las ciudades y juegan con la economía urbana.

12.6. Las tradiciones y costumbres.

Las tradiciones y costumbres de un pueblo son de circunstancia ajena pero que afectan a la destrucción de los suelos, uno de ellos se ven con desconocimiento de manejo del suelo en pendientes y los caudales que utilizan en el riego, o bien en la utilización de sus variedades y especies cada año sin lograr la rotación del cultivo degenerando su calidad genética de la zona.

1.7. La ignorancia.

La ignorancia del poblador rural es un factor preponderante para ayudar a la erosión. Y se puede presentar en varios niveles y muchos agricultores no se dan cuenta el daño que ocasionan un ejemplo se puede ver en la turbidez de agua que recorre a través del surco y es arrastrado las partículas del suelo en las partes bajas del terreno. También comunidades campesinas a falta de un asesoramiento de profesionales entendidos en la materia de conservación, están dañando constantemente los suelos agrícolas. La mejor manera de sacar de la ignorancia es realizar cursillos de capacitación en conservación.

1.8. ENCUESTA SOCIO ECONOMICA AMBIENTAL

a. Información general

Encuesta No.

Pueblo	Cantón	
Comunidad	Municipio	Dpto.

b. Acceso y localización

a) Camino a herradura.....Km.

b) Camino carretera temporal.....Km.

c) Camino Permanente..... Km.

Localización a las poblaciones más importantes:

-----Km a

.....Km a.....

c. Población

a) Población total..... No. Flías:.....

B) Población Masculino.....Femenino:.....

d. Limites:

a) Norte.....b) Sur:.....c) Este:.....d) Oeste.....e) Áreas de influencia.....

e. Migración:

- i) Personas que salieron definitivamente últimos 3 años
- ii.) Personas que salieron definitivamente ultimo año
- iii) Personas que salieron temporalmente
- iv) Etc.

f) Organización: Político, Administrativo y de desarrollo

- i) alcalde o agente municipal (si) (no)

Corregidor

Policía

Juzgado

Notario

Puesto de salud

Otros

- ii) Organización y/o grupos existentes en la comunidad

En el orden de importancia

ORGANIZACIONES	No. FAMILIAS	TIPO ORGANIZACIÓN
Sindicatos Cooperativas Junta escolar Centros de madres Otros...		

- iii) dirigentes de la comunidad

NOMBRE	ORGANO
1) 2) 3)	

- iv) Nombre de líderes:

1).....

2).....

- v) Conflictos existentes entre grupos de la comunidad

GRUPOS	MOTIVOS	ANTIGUEDAD

g. Tenencia de tierra

a) Clases de tierra que tiene la comunidad

Has N Flías

Dotación.....

Herencia.....

Comunidad.....

Al partido.....

Fiscales.....

Otros.....

NOTA.

b) No. De has. De la familia que tienen menos tierras.....

c) No. “ ” Más “ ”.....

d) Promedio de has. Que tiene la mayoría de las familias.....

e) No. De familias que no tienen tierras.....

f) No. de tierras de la escuela.....

g) “ ” cooperativa.....

h) “ ” de uso colectivo.....

i) Promedio de valor de la tierra por has /Bs. Cultivables.

j) Si existe tierras de arriendo porque lo hacen.....

Cuando pagan.....

h. Ocupación de la comunidad:

PRINCIPAL % SECUNDARIA

1.-

2.-

3.-

4.-

i. Uso de la tierra

Cultivables.....Has.

Pastoreo.....Has.

Incultivables.....Has.

j. Agricultura:

a) Principales productos, agrícolas, volumen de producción rendimiento /has.

CULTIVOS	No. FLIAS	ROTACIÓN UNIDADES DE PRODUCCIÓN			VOLUMEN TOTAL	RENDIMIENTO PROMEDIO
		Mayor	Menor	PROM.		
1)						
2)						
3)						

b) Superficie de tierras de la comunidad que cuenta con riego.....

c) No. De familias que usa maquinaria agrícola.....Propia.....alquilada.....

Si existe cuánto pagan Bs. /ha.....

k. Insumos

INSUMOS	TIPOS	CUANTOS AGRICULTORES	USAN
Fertilizantes QMC Fungicidas Insecticidas Herbicidas Abono Estiércol			

i) cuánto gana un peón promedio.

Barbecho Bs. /día..... Comida (si) (no) Sembrado “
 Aporque “
 Cosecha “
 Otros “

l. Ganadería

a) Propiedad del ganado

GANADOS	EL QUE TIENE MAS MENOS MAYORIA	No. CABEZAS	FLIAS QUE POSEEN
Vacuno Ovino Camélido Porcino Equino Etc.			

b) Ganado que explota en forma

1) Individual.....2) colectiva.....c) al partido.....

c) Cuanto pagan al pastor Bs. /día.....con comida (si) (no)

m. Mercado

a) Lugar y de venta del producto

LUGAR	TIPO	DISTANCIA DESDE HORAS KM	FRECUENCIA Sem. Men. Anual

b) Principales problemas de venta de productos y compra de insumos

1).....

2).....

n. Posibilidades:

i) Trabajos de beneficio comunal en los últimos años:

TIPO DE OBRA	INSTITUCIÓN COLABORA	COSTO APROBADO Aporte comunal /aporte institucional.

ii) Recursos existentes:

Suelos.....

Agua.....

Fauna.....

Flora.....

Mineralógicos.....

Otros.....

iii) Necesidades de la comunidad (Orden de importancia)

1).....

2).....

iv) Proyectos específicos a realizarse:

1).....

2).....

v) Fuentes de financiamiento

1).....

2).....

o. Plano de ubicación.

Encuestador:.....

Firma.....

Entrevistado.....

Fecha de entrevista.....

Referencias Bibliográficas

1. Quevedo, C.V. 1947. Conservación del suelo. Editorial. Suelo argentino, Doblos, Buenos Aires, Argentina. .
2. Suárez de Castro Fernando. 1982. Conservación de Suelos. Ed. IICA. San José, Costa Rica.
3. Hammond B.H. 1965 Elementos de conservación del suelo. Editorial Fondo de Cultura Económica.
4. Torr  z R.E. 1981. Manual de Conservación de Suelos Agrícolas. Editorial Diana, México. Documento Oficial. 1996. Programa de lucha contra la desertificación y la se  gu  a (PRONALDES) Producción: Centro de Información para el desarrollo. La Paz Bolivia.
5. Winter E. 1979 El suelo, el agua y las plantas. México
6. Bear, Firman E. 1969 Los suelos en relación con el crecimiento de los cultivos, Barcelona
7. Buckman, Harry O. 1970 Naturaleza y propiedades de los suelos. Barcelona
8. Robinson, Gilbert Wooding. 1967 Los suelos y su origen científico y Clasificación. Barcelona
9. Maldonado Torr  z Rafael. Química y mezclas minerales en los suelos calcimorficos. Chap  ngo México s/f
10. Ortiz Olguín Miguel   ngel. 1992 Los tipos de sales, suelos salinos y sódicos Chap  ngo. México
11. _____ 1991 Determinación de los contenidos de sales y sodio intercambiable. Chap  ngo. México
12. Primavera, Ana. 1984 Manejo ecológico del suelo tropical. Bs.As. Ateneo
13. Servicio de Conservación de suelos. Dpto. Agrícola USA. 1974 Relación Suelo-Planta- Agua. México
14. _____ 1980 Manual de conservación de suelos. México Limusa
15. Russell, E. John. 1959 Condiciones del suelo de desarrollo de las plantas. Madrid
16. Vergara Sánchez Miguel   ngel. 1992 Conceptos básicos sobre Análisis foliar y su interpretación. México
17. _____ 1992 Cambios Físicos químicos y dinámica del fósforo. México
18. Barrales, Domínguez Sergio. 1993 Notas sobre preparación del suelo, siembra y fertilización como curso práctico Fitotecnia Editorial Universitaria. México
19. Villarroel Jorge. 1988 Manual práctico e interpretación de Análisis laboratorio. Editorial AGRUCO Cbba Bolivia.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

1. Anderson, H.W. 1954. Suspended sediment discharge as relatad to streamflow, topography, soil and land use. Trans. Amer. Geophysical Union 35: 268-281.
2. Arnold, J.G. y Williams, J.R. 1987. Validation of SWRRB - A simulator for water resources in rural basins. J. Water Resources Planning and Management 113: 243-256.
3. Flexman, E.M. 1972. Predicting sediment yield in western United States. J. Hydraulics Div., Amer. Soc. Civil Eng. 98: 2073-208S.
4. Knisel, W.G. (ed.). 1980. CREAMS: A Field Scale Model for Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems. United States Department of Agriculture Conservation Research Report No.26, 643 p.
5. Laflen, J.M., Lane, L.J. y Foster, G.R. 1991. WEPP, a new generation of erosión prediction technology. J. of Soil and Water Conservation 46: 34-38.
6. Leonard, R.A., Knisel, W.G. y Still, D.A. 1987. GLEAMS: groundwater loading effects of agricultural management systems. Trans. Amer. Soc. Agric. Eng. 30: 1403-1418.
7. Onstad, C.A. y Foster, G.R. 1975. Erosion modelling on a watershed. Trans. Amer. Soc. Agric. Eng. 18: 288-292.
8. Pacific Southwest Inter-Agency Committee. 1968. Factors Affecting Sediment Yield and Measures for the Reduction of Erosion and Sediment Yield. 13 pp.
9. Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A. y Porter, J.P. 1991. Revised Universal Soil Loss Equation. J. of Soil and Water Conservation 46: 30-33.
10. Skidmore, E.L. y Williams, J.R. 1991. Modified EPIC wind erosión modal. pp. 457-469. In Modelling Plant and Soil Systems. Agronomy Monograph No. 31. Ameritan Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
11. Soil Conservation Service. 1972. National Engineering Handbook. United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service, United States Government Printing Office, Washington, D.C.
12. Williams, I.R. 1975. Sediment yield predictioo with universal equation using runoffenergy factor. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service S-40, pp. 244252.

13. Williams, J.R., Iones, C.A. y Dyke, P.T. 1984. A modelling approach to determining the relationship between erosion and soil productivity. *Trans. Amer. Soc. Agric. Eng.* 27: 1291-144.
14. Williams, J.R., Nicks, A.D. y Arnold, J.G. 1985. SWRRB, a simulator for water resources in rural basins. 1. *Hydraulic Eng.* 111: 970-986.
15. Williams, J.R., y Potter, K.N. (in press). The new EPIC wind erosion model.
16. Williams, J.R. y Renard, K.G. 1985. Assessments of soil erosion and crop productivity with process models. pp. 67-103. In R.F. Follett and B.A. Stewart, eds. *Soil Erosion and Crop Productivity*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
17. Wischmeier, W.H. y Smith, D.D. 1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses*. Agriculture Handbook 537. United States Department of Agriculture. Science and Education Administration. 58 pp.
18. Woodruff, N.P. y Siddoway, F.H. 1965. A wind erosion equation. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 29: (S): 602-608
19. Young, R.A., Onstad, C.A., Bosch, D.D. y Anderson, W.P. 1987. AGNPS, Agricultural NonPointSource Pollution Model. A Watershed Analysis Tool. United States Department of Agriculture, Conservation Research Report 35.
20. Young, R.A., Onstad, C.A., Bosch, D.D. y Anderson, W.P. 1989. AGNPS: a non-point-source pollution model for evaluating agricultural watersheds. 1. *Soil and Water Conservation* 44: 168-173.

Ejemplares en fecha 20/05/2019 en
COINFERDEZ.SRL Pagador N° 7234
<http://fcanuto.wixsite.com/ingagricola>
Texto oficial de Asignatura INGA 5205
4° Edición.