

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA**  
**“ANTONIO NARRO”**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE SUELOS**

**EROSIÓN**

**POR**

**ROGELIO LARA RAMÍREZ**

**MONOGRAFÍA**

**Que somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito  
parcial para obtener el título de:**

**Ingeniero Agrónomo en Suelos**

**Aprobada**

**Presidente del Jurado**

---

**MC. Alejandro Cárdenas Blanco.**

**SINODAL**

---

**Ing. Javier Torres Arreguín.**

**SINODAL**

---

**MC. Rubén López Cervantes.**

---

**Ing. Juan Francisco Martínez Avalos.**  
**Coordinador de la División de Ingeniería**

**Buenvista Saltillo Noviembre de 1997****AGRADECIMIENTOS:**

Gracias a Dios por haberme permitido terminar una meta mas en mi carrera y una etapa más en mi vida.

Agradezco a las personas que me asesoraron en la elaboración de este trabajo.

Al M. C. Alejandro Cárdenas Blanco

Al M. C. Rubén López Cervantes

Al Ing. Javier Torres Arreguín

Y a todas aquellas personas que de una u otra manera dispusieron de su tiempo para ayudarme.

**DEDICATORIAS:**

Dedico este trabajo principalmente a mis padres, quienes incondicionalmente me apoyaron y siempre han sido mi motivación para seguir adelante, a quienes espero corresponder como me han enseñado.

Con mucho Amor y Respeto Para mis padres:

**Sr. Rogelio Lara Galván**

**Y**

**Sra. Salustia Ramírez de Lara**

Para Mis Hermanos:

**Idalia**

**Marysol**

**Y**

**Daniel**

Muy en especial para mi novia **Graciela** y para su familia.

Familia **Presas Hernandez**

Dedico este trabajo Para todas Aquellas amistades que logre en esta Universidad y Para la **Generación 82 de Suelos**

Con Mucho respeto para Mi Gloriosa **Alma Mater.**

## INDICE DE CONTENIDO

<b>INDICE DE CUADROS.....</b>	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>VI</b>
<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>7</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>9</b>
<b>EROSIÓN DEL SUELO.....</b>	<b>10</b>
AGENTES DE LA EROSIÓN.....	11
<i>Agua</i> .....	11
<i>Viento</i> .....	11
<i>Temperatura</i> .....	11
<i>Agentes Biológicos</i> .....	12
GRADO DE EROSIÓN.....	13
EFECTO DE LA EROSIÓN SOBRE LA FERTILIDAD DEL SUELO .....	15
<b>EROSIÓN HÍDRICA .....</b>	<b>18</b>
FORMAS ESPECIALES DE EROSIÓN HÍDRICA.....	19
FACTORES QUE INFLUYEN EN LA EROSIÓN HÍDRICA .....	21
DAÑOS POR EROSIÓN QUE NO SON PÉRDIDAS.....	28
CONTROL DE LA EROSIÓN CAUSADA POR EL AGUA .....	29
<b>EROSIÓN EOLICA .....</b>	<b>30</b>
FORMAS DE EROSIÓN EÓLICA.....	31
FACTORES QUE AFECTAN A LA EROSIÓN EÓLICA.....	32
DAÑOS OCASIONADOS POR PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN AÉREAS .....	34
CONTROL DE LA EROSIÓN EÓLICA.....	35
<b>MÉTODOS DE RECONOCIMIENTO .....</b>	<b>36</b>
DIRECTOS .....	36
<i>Medición de Pedestales</i> .....	36
<i>Marcaje de Piedras</i> .....	36
<i>Estudios Comparativos</i> .....	36
<i>Clavos y Rondanas</i> .....	37
<i>Método de las Corcholatas</i> .....	37
<i>Lotes de Escurrimiento</i> .....	38
<b>PRÁCTICAS VEGETATIVAS Y AGRONÓMICAS .....</b>	<b>39</b>
LABRANZA EN CONTORNO.....	39
CULTIVOS EN FAJAS.....	40
ROTACIONES .....	41
<i>La Pendiente Ayuda a Determinar el Sistema de Cultivos</i> .....	41
<i>Algunos Ejemplos de Rotaciones</i> .....	42
<i>Beneficios del Monocultivo</i> .....	43
USO DE CULTIVOS DE CRECIMIENTO DENSO Y DE PASTOS PARA DISMINUIR LA EROSIÓN .....	44
ABONOS Y ESTIÉRCOLES.....	45
BARRERAS VIVAS.....	47
<i>Distanciamiento de las Barreras</i> .....	48
<i>Plantas que Pueden Utilizarse para Barreras Vivas</i> .....	50

<i>Como se Establecen las Barreras Vivas</i> .....	50
<i>Mantenimiento de las Barreras Vivas</i> .....	51
CULTIVO CON CAPA DE RASTROJO.....	51
<i>El Empleo de los Residuos del Cultivo como Capa Superficial</i> .....	52
ABONOS VERDES .....	53
<i>Las Leguminosas y la Fertilidad del Suelo</i> .....	54
USO DE ESTIÉRCOLES .....	55
<i>Desventajas</i> .....	55
USO DE FERTILIZANTES. ....	56
<i>Recomendaciones generales sobre el empleo de los fertilizantes</i> .....	57
RIEGO .....	59
<b>PRACTICAS MECÁNICAS.....</b>	<b>61</b>
SURCADO EN CONTORNO .....	61
TERRAZAS.....	66
<i>Clasificación de las Terrazas de Acuerdo con el tipo de Sección Transversal</i> .....	71
<i>Clasificación de Terrazas de Acuerdo al Tipo de Desagüe</i> .....	75
<i>Criterios para Diseño de Terrazas</i> .....	77
<i>Fórmula que emplea o considera la pendiente o precipitación anual, para calcular el intervalo vertical</i> .....	77
<i>Fórmula que utiliza como datos la pendiente del terreno , la intensidad de la precipitación y el tipo de suelo</i> .....	79
NIVELACIÓN DE TIERRAS AGRÍCOLAS .....	80
<i>Cortes y Rellenos</i> .....	80
<i>Procedimiento (Perfiles Transversales)</i> .....	81
PRESAS DE CONTROL DE AZOLVES .....	82
<i>Especificaciones Generales para las Presas de Control de Azolves</i> .....	83
<b>ECUACIÓN UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO.....</b>	<b>87</b>
FACTORES DE LA ECUACIÓN .....	89
<i>Factor "R"</i> .....	89
<i>Factor "K"</i> .....	90
<i>Factor "LS"</i> .....	92
<i>Factor "C"</i> .....	93
<i>Factor "P"</i> .....	94
OTRAS TÉCNICAS DE EVALUACIÓN DE LOS FACTORES.....	94
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>96</b>
<b>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>98</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1. CLASIFICACIÓN DEL GRADO DE EROSIÓN DEL SUELO.....	13
CUADRO 2. PÉRDIDAS CALCULADAS DE SUELO EN TABLARES DE 22 METROS DE LONGITUD CON UNA PENDIENTE DEL 16 POR CIENTO, EMPLEANDO VARIOS SISTEMAS DE CULTIVOS EN LACROSSE, ESTADO DE WISCONSIN.....	42
CUADRO 3. DISTANCIAMIENTO ENTRE BARRERAS VIVAS EN CULTIVOS LIMPIOS. ....	48
CUADRO 4. DISTANCIAMIENTO DE BARRERAS VIVAS EN CULTIVOS DENSOS O DE SEMIBOSQUE. ....	49
CUADRO 5. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE ALGUNOS DE LOS ESTIÉRCOLES MÁS COMUNES EN BASE A MATERIA SECA. ....	56
CUADRO 6. DISTANCIAS A LAS QUE DEBEN TRAZARSE LAS LÍNEAS GUÍAS EN CULTIVOS A NIVEL, SEGÚN LA PENDIENTE DEL TERRENO. ....	65
CUADRO 7. ESPACIAMIENTO ENTRE TERRAZAS AL CONSIDERAR LA PENDIENTE Y LA ALTURA DE LA PRECIPITACIÓN.....	78
CUADRO 8 VALORES DE COEFICIENTE "B" PARA CALCULO DE ESPACIAMIENTO ENTRE TERRAZAS...	80

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. LOCALIZACIÓN DE LA PENDIENTE Y DIVISIÓN EN PORCIONES. ....	63
FIGURA 2. LOCALIZACIÓN DE CURVAS A NIVEL.....	63
FIGURA 3. TRAZADO DE SURCOS, CON BASE A LAS LÍNEAS GUIAS .....	64
FIGURA 4. TERRAZA CON DECLIVE .....	69
FIGURA 5. TERRAZA A NIVEL .....	71
FIGURA 6. TERRAZA DE BASE ANCHA.....	72
FIGURA 7. TERRAZA DE BANCO. ....	73
FIGURA 8. BANCOS ALTERNOS .....	74
FIGURA 9. TERRAZA DE BASE ANGOSTA .....	74
FIGURA 10. TERRAZA DE CANAL AMPLIO.....	75
FIGURA 11. TERRAZA CON DESAGUE HACIA UN CAUSE EMPASTADO. ....	76
FIGURA 12. TERRAZA CON DESGUE HACIA UN SISTEMA DE DRENAJE SUBSUPERFICIAL .....	76
FIGURA 13. TERRAZA DE ABSORCIÓN. ....	76

## INTRODUCCION

La erosión del suelo puede definirse como un proceso físico consistente en un desprendimiento y arrastre de los materiales del suelo ocasionados por la interacción del agua, viento temperatura y agentes biológicos.

La falta de cubierta vegetal y un mal manejo del terreno siempre darán una gran facilidad a los demás factores para que el suelo se vea afectado por la erosión; El control de esta es de suma importancia en nuestro país, ya que la erosión se presenta de la siguiente manera, moderada en un 63.41 por ciento de todo el territorio que equivale a una superficie de 1`247,487 kilómetros cuadrados, 88,951.5 kilómetros cuadrados que tienen erosión alta y 10,603.49 kilómetros cuadrados de erosión severa; lo que representa un porcentaje de 25.76, 58.68,y 6.99 respectivamente (***Estrada y Ortíz 1982***).

Los límites de pérdida de suelo por erosión son tolerables hasta que la pérdida se iguala o supera la cantidad de suelo que se forma anualmente.

Sin embargo, tal afirmación cambia si se toma en cuenta la profundidad del suelo (***DGCSA Y CP, 1982***).

Para prevenir o evitar estas pérdidas siempre es necesario que se establezcan prácticas de conservación, pero para establecer estas prácticas primero que nada se debe estimar la magnitud del problema que se pretende combatir.

Para evaluar la pérdida de suelo por erosión hay varios métodos los cuales los más conocidos son: Clavos y rondanas, Estacas y lotes de escurrimiento, los cuales se ven limitados por los siguientes aspectos.

1.- Estos métodos solo evaluarán pérdidas de suelo en los períodos que se hayan establecido.

2.- El método elegido tendrá que instalarse en el lugar de interés; No siendo posible extrapolar estos resultados de un lugar a otro.

3.- Son muy tardados ya que necesitan mucho tiempo para poder evaluar y poder obtener un promedio anual de pérdidas .

Para obtener métodos los cuales sean más confiables y no tengan las anteriores limitaciones, científicos estadounidenses desarrollan la llamada Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo.

En nuestro país desde 1942 a nivel oficial se ha incursionado en el problema de la erosión del suelo y agua, no obstante, es hasta 1979 cuando se establece el primer campo experimental y demostrativo de prácticas de conservación de suelo y agua contándose hasta abril de 1982 con diez de esos campos funcionando en México, pero solo dos de ellos fueron establecidos en el norte del país y se localizan en el estado de Sonora **(DGCSA,1982)**.

## **OBJETIVOS**

Los objetivos principales de este trabajo son:

- Recopilar toda la información posible referente a los métodos para cuantificar y controlar la erosión.
- Recomendaciones para utilizar los métodos de la erosión que más convenga al consultante.

## EROSIÓN DEL SUELO

Algunos autores como **Kirkbi (1984)**, considera que la erosión del suelo es la remoción del material superficial por acción del viento o del agua.

La erosión se define como la salida total de partículas de suelo de una cuenca, medidas por períodos específicos de tiempo y en un tiempo definido (**Mitchell y Bubenzer, 1984; Brooks et al., 1991**).

**Patricio Th. Farrel(1963)** menciona que la erosión es un proceso de progresiva alteración en la configuración de la corteza terrestre, debido a la disgregación, remoción o transferencia de materiales por obra de agentes sobre todo el agua y el viento.

**Ellison (1947)** definió la erosión como el proceso de separación y transporte en los materiales del suelo por los agentes de la erosión. Para este proceso considera dos etapas consecutivas.

a).- Las partículas del suelo se desprenden de la masa del suelo quedando en condiciones de ser transportada.

b).- Los materiales desprendidos de la masa del suelo son transportados por acción de los agentes erosivos.

Como resultado de la erosión de los suelos, las tierras de cultivo agrícola, los pastizales y los bosques pierden su capacidad original de producción hasta volverse completamente estériles, al perder la capa de actividad biológica que da sustento a las diferentes especies vegetales que viven en el **(Barreira 1978)**

### ***Agentes de la Erosión.***

Los principales agentes de la erosión son: El agua y el viento y en menor grado de importancia la temperatura y los agentes biológicos.

#### **Agua .**

El desajuste y transporte de las partículas del suelo por el agua es debido a la energía que contienen las gotas de lluvia. En cualquier lugar que ocurra escurrimiento superficial existirá la erosión. Por lo tanto, el agua es el agente más importante de la erosión **(C.P. Chapingo 1977)**.

#### **Viento.**

El viento desprende, transporta y deposita las partículas del suelo. Las partículas del suelo arrastrados son muy abrasivas y causan la erosión del suelo, desgastan y carcomen las rocas **(C.P.Chapingo 1977)**.

#### **Temperatura.**

Los cambios de temperatura entre el día y la noche afectan la superficie de las rocas a largo plazo cuarteandolas. los cambios estacionales de temperatura entre el verano y el invierno no ejercen su efecto en la masa de las rocas.

Por ejemplo. Las altas temperaturas en los desiertos en el día, y las bajas temperaturas por las noches, ocasionan que el material del cual está constituido una roca se caliente al máximo, durante el día y se enfríe bruscamente durante la noche, ocasionando que las rocas se grieten o fisuren, destruyéndose en capas conforme se vea afectada la roca, este proceso no podrá compararse con el efecto ocasionado por los cambios estacionales ya que ya los cambios que sufre una roca en el desierto son muy bruscos y constantes, a comparación de los cambios de temperatura que hay entre un verano y un invierno (**Buckman y Nyle, 1977**).

### **Agentes Biológicos.**

Como son musgos y líquenes en las rocas, animales silvestres, ganado, etc. que destruyen o disgregan el suelo exponiéndolo a la erosión por agua y viento (**C.P. Chapingo 1977**).

Por ejemplo. Las rocas se ven afectadas por musgos y líquenes, cuando estos se fijan en ellas, creando una parte muy frágil y quebradiza que irá aumentando conforme se desarrollen estos líquenes o musgos; La depositación de semillas en cuarteaduras de rocas, al germinar también ocasionan la aceleración en el proceso de ruptura de estas rocas (**Buckman y Nyle, 1977**).

El pizoteo de al suelo de los rebaños de ganado, hacen que el suelo se pulverice haciendo más fácil el proceso de erosión, ya sea eólica o hídrica (**C.P. Chapingo 1977**).

## **Grado de Erosión**

Generalmente, la cubierta vegetal o capa superficial del suelo es la parte más rica del mismo. Cuando esta cubierta vegetal se erosiona, ya sea por el agua, ya sea por el viento, no solo se pierde un suelo precioso, si no también muchos y valiosos kilogramos de materiales nutrientes para las plantas.

La cantidad de suelo vegetal que queda por cultivar, tiene mucha importancia para la determinación de las prácticas que su conservación hará necesarias.

La profundidad de la capa superficial puede medirse excavando, es por eso que es importante conocer el perfil virgen del suelo, sin disturbio, para hacer comparaciones con los perfiles de suelo encontrados en las áreas erosionadas que fueron desprovistas de vegetación y trabajadas (**Foster 1981**).

Para fines conservacionistas, la clasificación de los distintos grados de erosión se muestra en el **cuadro No.1**

**cuadro 1.** Clasificación del grado de erosión del suelo.

<b>CLASE</b>	<b>HORIZONTE DE SUELO PERDIDO</b>	<b>GRADO DE EROSIÓN.</b>
<b>0</b>	<b>No hay erosión</b>	<b>nula</b>
<b>1</b>	<b>hasta 25 % de A</b>	<b>normal</b>
<b>2</b>	<b>hasta 50 % de A</b>	<b>ligera</b>
<b>3</b>	<b>hasta 100 % de A</b>	<b>moderada</b>
<b>4</b>	<b>hasta 50 % de B</b>	<b>severa</b>
<b>5</b>	<b>hasta 100 % de B</b>	<b>muy severa.</b>

*(Servicio de conservacion de suelos, USDA. Fuente Albert B. Foster 1981).*

Esta es la técnica que generalmente se utiliza en la planificación para la conservación del suelo. Generalmente cada país, unidad de planificación o servicio de conservación, tiene su propio programa de clasificación, pero la mayor parte de estas adaptaciones, son las desarrolladas por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (*Klingebiel y Montgomery, 1986*). La razón principal del sistema de clasificación es que el uso correcto de la tierra es el mejor medio de control de erosión. En base a la severidad de estos factores limitantes, la tierra se divide en clases de capacidad, y cada una de ellas representa un grado determinado de gravedad de limitación (**Anexo Tabla 1 y 2**).

En el sistema de los Estados Unidos se asigna a la tierra una clasificación de ocho clases que varían desde la clase 1, la tierra tiene escasa o ninguna limitación para su uso, hasta la clase 8, donde la tierra tiene limitaciones tan graves que debe quedar en su condición natural, solamente la tierra que se haya en las primeras cuatro clases es adecuada para la agricultura de labranza. (*Kirkby, 1984*).

Las modificaciones que en cada país se hagan estarán basadas siempre en estas ocho clases, en México se utiliza la siguiente clasificación derivada de esta.

Los terrenos deben valorarse en función de la cantidad y daño, por efecto de la erosión. Para esto se considera la erosión laminar, en canales y por cárcavas, ya sea en forma parcial o combinada. Las escalas para agrupar cada clase, así como la clave de identificación son las siguientes. (*Foster 1981*).

**Clase 1/E** Son terrenos donde la erosión laminar o por cárcavas es nula o imperceptible.

**Clase 2/E** Terrenos que pueden presentar una erosión laminar leve, con pérdida de 0 a 25% del horizonte A o canalillos en formación a menos de 30 m de separación del área.

**Clase 3/E** Los terrenos que presentan una erosión laminar moderada, con pérdida del 25 al 75 % del horizonte A, o presentan canalillos medianos a menos de 30 m. de separación.

**Clase 4/E** Terrenos que presentan una erosión laminar fuerte, con pérdidas del 75 al 100 % del horizonte A, o presencia de canales profundos a una distancia menor de 30 metros.

**Clase 5/E** Son terrenos donde se presenta una erosión laminar muy fuerte, con pérdidas de 0 a 30 % del horizonte B, los canales empiezan a formarse como cárcavas a separaciones menores de 30 metros.

**Clase 6/E** Aquellos terrenos con erosión severa, donde se ha perdido del 30 al 60% del horizonte B y/o cárcavas medianas a menos de 30 metros de separación.

**Clase 7/E** Terrenos con erosión muy severa, con pérdidas hasta del 100 % del horizonte B,y/o cárcavas profundas a menos de 30 metros de separación.

**Clase 8/E** Con erosión laminar absoluta, donde se ha perdido el suelo y aparece el material parental y cárcavas profundas a separaciones menores de 30 metros, Son los terrenos de esta clase.

### ***Efecto de la Erosión Sobre la Fertilidad del Suelo***

La erosión ocasiona graves pérdidas a la fertilidad, sobre todo en la capa arable, pues ésta contiene frecuentemente gran parte de los elementos nutritivos, fácilmente asimilables para las plantas **(Beasley 1980)**.

Casi todo el nitrógeno y el azufre del suelo y parte del fósforo asimilable se encuentran en la materia orgánica de la capa superficial del terreno. Por consiguiente, para la restitución al suelo de la materia orgánica que contenga estos tres importantes elementos nutritivos constituye el problema capital de la rehabilitación de los suelos erosionados.

El suelo arrastrado por la erosión contiene generalmente más calcio, magnesio y potasio que la capa arable de que procede. La gravedad de esta pérdida guarda relación no sólo con la magnitud de la erosión si no también con la cantidad de estos elementos nutritivos contenida en el subsuelo y en las capas más profundas a que llegan las raíces de las plantas **(Martínez Planas 1975)**.

La pérdida de nutrimentos del suelo es tan importante, como la misma pérdida del suelo. Cada elemento tiene su propio mecanismo de pérdida por ejemplo el Fósforo; se pierde principalmente con las partículas arcillosas y coloidales en las que es absorbido, mientras que el nitrógeno es lavado por las aguas de escurrimientos en forma de nitritos o nitratos, sin que necesariamente exista un movimiento de suelo **(Barreira 1978)**.

La erosión eólica e hídrica suelen actuar juntas pero su grado de importancia es variable según los distintos lugares, ambos elementos erosivos arrastran las partículas más livianas del suelo llevándose la capa superficial, que es la de mayor valor agrícola, tanto es así que las cantidades de N, P, Ca, y S que substraen los mismos cultivos a los campos de trigo y maíz este proceso; puede menores que lo que se pierde en este proceso.

Por encontrarse concentrado el nitrógeno en las capas superficiales del suelo, se pierden por erosión grandes cantidades de este elemento que otros, por ejemplo:

En tanto que en la capa arable se puede perder el 1 ó el 4 por ciento de nitrógeno total y solo desaparece el 0.5 por ciento de fósforo (**Barreira 1978**).

## EROSIÓN HÍDRICA

Es causada por la lluvia y tal vez el tipo mas importante de erosión, se debe principalmente a la acción dispersiva y al poder de transporte del agua que cae y escapa del suelo en forma de escurrimiento superficial.

Tres formas de erosión hídrica son características.

La primera es la erosión laminar la que consiste en la pérdida de suelo de una manera uniforme sobre toda la superficie o en una franja amplia. esta forma de erosión raras veces ocurre ya que por lo general con el salpicamiento y movimiento del suelo se empiezan a formar pequeñas canales y es muy difícil de ser detectada por los agricultores, solo llegan a detectarla cuando aparecen capas de diferente color o el material parental que dio origen al suelo.

Recibe el nombre de laminar porque este fenómeno se compara con el hecho de estar arrancando láminas u hojas de un libro hasta llegar a la pasta **(C.P. Chapingo 1977)**.

La erosión vertical es la segunda manera esta consiste en el movimiento vertical de los materiales coloidales del suelo hacia horizontes más profundos, ocurre en terrenos de escasa o nula pendiente, en terrenos con textura arenosa, con un alto índice de permeabilidad y ocurre también en terrenos arcillosos los cuales al dilatarse y contraerse se agrietan siendo las partículas coloidales arrastradas en forma vertical, a través de esas grietas.

La erosión vertical afecta al suelo haciéndolo perder su fertilidad en su capa superficial y formando una capa dura por la acumulación de material

coloidal a determinada profundidad impidiendo el paso del agua a mayores profundidades y también impidiendo en ocasiones la penetración de las raíces de las plantas **(C.P. Chapingo 1977)**.

La erosión acanalada es la tercer forma y también se le conoce también como erosión en surcos, el proceso de esta forma de erosión comienza con la confluencia de dos o más escurrimientos superficiales de las partes altas del terreno hacia otras más bajas o sea, el drenaje natural del suelo. Sin embargo al aumentar los volúmenes y la velocidad del escurrimiento, si el terreno se encuentra desprovisto de una cubierta vegetal adecuada se inicia la formación de canales, luego cárcavas, barrancos, arroyos hasta llegar a formarse ríos.

La formación de cárcavas puede prevenir también las huellas de caminos senderos de ganado desagües de terrazas mal construidas etc. **(C. P. Chapingo, 1977)**.

### ***Formas Especiales de Erosión Hídrica.***

También existen algunas formas especiales de esta erosión y son :

La erosión en pedestales se presenta cuando se protege a un suelo fácilmente erosionable del impacto de las gotas de lluvia por medio de piedras o raíces de un árbol quedan pedestales aislados, coronados con el material resistente.

Se ha demostrado que la erosión en terrenos adyacentes a los pedestales es debida principalmente a las gotas de lluvia más que al flujo superficial ya que en la base del pedestal no existe socavación o es más reducida **(FAO, 1967)**.

Esta forma de erosión se desarrolla atreves de los años y se localiza en manchones desnudos de terrenos con vegetación aislada.

Esta forma de erosión es importante ya que permite evaluar aproximadamente la cantidad de suelo que ha sido erosionado, todo esto mediante un examen de altura del pedestal.

Es importante diferenciar los pedestales de los montículos de pastos que frecuentemente tienen el nivel del suelo más elevado de la superficie del terreno circundante, tales elevaciones del nivel del suelo pueden mostrar su nivel original por haber sido erosionado el suelo que los rodeaba, aunque es más común que el montículo de pasto se haya elevado por efecto de acumulación de las partículas del suelo salpicadas de los sitios circundantes **(FAO, 1967)**.

La erosión en pináculos se ve asociada siempre con canales verticales profundos a los lados de las cárcavas que profundizan rápidamente hasta que se juntan y dejan al pináculo aislado. A menudo una capa más gruesa y resistente de grava o piedra corona el pináculo como la erosión en pedestales.

Los pináculos son relictos de la condición natural del relieve provocado por las socavaciones del agua que fluye y a menudo se ve asociada con erosión tubular **(C.P. Chapingo 1977)**

El uso agropecuario de estas áreas con este problema, es limitado por el alto costo de conformación de la superficie y la reducida cantidad de nutrientes del suelo. Por otra parte, la construcción de estructuras de tierra, concreto u otros materiales, es restringida por la rápida socavación a que están sujetos **(FAO, 1967)**.

La erosión tubular se caracteriza por la formación de tubos continuos y canales subterráneos, es común en tipos de suelos sujetos a erosión por pináculos. Esta forma de erosión ocurre cuando el agua que fluye a través de la

superficie del suelo se mueve hacia abajo, hasta encontrar una capa menos permeable. Esta agua tiende a moverse sobre las capas poco permeables hacia una salida, si es que existe; por lo tanto es posible que el material fino del suelo sea arrastrado por el agua. Esto a su vez, permite un flujo más rápido con un aumento de la erosión lateral y en ocasiones todo el flujo superficial penetra a un tubo vertical y continua su recorrido bajo la tierra, antes de reaparecer; afortunadamente, la erosión tubular esta restringida la mayoría de las veces a terrenos agrícolas de poco valor por lo que su control es poco común **(C.P. Chapingo 1977)**.

La erosión por caída o remotante es un proceso geológico que se presenta en las paredes de la cárcavas sin ninguna intervención del hombre. La caída que se forma en la orilla de la cárcava, arroja el material salpicado contra la parte baja de esta cara, la cual se erosiona dejando la parte superior sobresaliendo; cuando el peso de la parte sobresaliente es grande, esta se desprende dando lugar a una nueva cara vertical, comenzando de nuevo el ciclo erosivo. Otros casos semejantes se deben a la erosión a orillas de los ríos y a la erosión costera **(C.P. Chapingo 1977)**.

### ***Factores que Influyen en la Erosión Hídrica***

El choque de las gotas de lluvia con el suelo, determinan la acción dispersiva y el poder de transporte del agua, por la cantidad y velocidad del escurrimiento superficial, así como también por la resistencia del suelo a la dispersión y al movimiento. estos efectos están determinados por los siguientes factores:

La topografía compuesta por la pendiente, exposición y área del terreno a mayor grado de inclinación, permaneciendo constantes otras condiciones, mayor será la erosión debido al aumento de la velocidad del agua, También a más agua más desagüe teóricamente, un aumento de velocidad al doble permite al agua mover partículas 64 veces más grandes, llevar 32 veces más material en suspensión y tener en total un poder erosivo 4 veces mayor. **(Kirkby. 1984).**

La longitud del declive es de primordial importancia por tanto a mayor extensión de área inclinada, mayor será la concentración de agua inundante. En las investigaciones del ISO de IOWA demuestran que doblando la pendiente de 9% aumenta la pérdida de suelo 2.6 veces y el desagüe en 1.8 veces, esta influencia de la pendiente desde luego queda modificada en gran manera por el tamaño y la topografía general de el área drenada **(Kirkby 1984).**

Otro factor es la cubierta vegetal o vegetación protege de diversas maneras el suelo contra la erosión.

- a) amortigua el choque de las gotas de agua y de lluvia con el suelo;
- b) ofrece resistencia al agua en movimiento y disminuye la velocidad de escurrimiento de la misma;
- c) las raíces de las plantas ayudan a mantener fijo el suelo;
- d) las raíces y los restos de las plantas ayudan a mejorar la estructura del suelo haciendolo más poroso y más apropiado para absorber el agua de lluvia.

La facultad de las plantas y la cubierta vegetal de proteger el suelo contra la erosión depende no solo de la densidad con que crecen las plantas si no también de su desarrollo total. Es sabido que los cultivos cuyas plantas crecen densamente o muy juntas, como son las gramíneas y las mezclas de leguminosas, proporcionan la máxima protección, muchos cultivos en hilera

ofrecen también cierta protección contra la erosión, pero en grado mucho menor que los cultivos herbáceos.

Pendientes Totalmente Cubiertas por Vegetación. Las escorrentias y erosión procedentes de buenos pastizales o de bosques son pequeños, y a menudo representan menos del 5 y del 1% de las pérdidas del suelo desnudo (**Bennet, citado por Kirkby 1982**).

Los escurrimientos son bajos debido a que las tazas de infiltración del agua a través de la superficie cubierta de vegetación son altas en comparación con las del suelo desnudo ya que los suelos cubiertos de vegetación con frecuencia tiene una mejor estructura y agregados más estables. Cuando las gotas chocan contra la vegetación la energía de las gotas se disipa y no hay impacto directo sobre la superficie del suelo (**Kirkby 1982**).

Las gotas que caen de los árboles a menudo son más grandes que las originales que se han unido (**Stroking Y Elwell, 1976**). Sin embargo frecuentemente hay una cubierta de litter debajo del pasto o de los árboles que interceptan las gotas que caen a través del follaje de la planta. El agua que llega al suelo sigue siendo clara y los poros superficiales del suelo no se saturan con las partículas salpicadas.

Las escorrentias y la erosión aumentan rápidamente sobre los suelos con menos del 70 % de cubierta vegetal (**Copeland, 1965**). En las zonas semiáridas con cubiertas vegetales por debajo del 20 o 30 % de escorrentia y erosión están relacionados con la cantidad de suelo desnudo (**Branson y Owen 1970**).

En los campos arables la erosión disminuye a medida que el cultivo se vuelve más denso y esta disminución es marcada cuando las plantas cubren más del 30 % de la superficie (**Elwell y Stocking, 1976**).

**Stocking y Elwell (1976)** Hacen notar que incluso con una buena cobertura vegetal superficial, en cultivos altos como el maíz puede ocurrir una erosión mayor que la esperada porque la altura desde la cual caen las gotas grandes coalescentes es suficiente para que se alcancen grandes velocidades terminales, por lo que se produce la erosión laminar y por salpicadura.

Las pendientes rara vez están desprovistas de vegetación a menos que la tierra sea de labranza excepto de las regiones áridas; La tierra desnuda y arable es la más susceptible a la erosión hídrica y se pueden perder grandes cantidades de suelo con una tormenta o durante una estación lluviosa (**Kirkby 1982**).

En el Reino Unido donde la erosión no se considera un problema se han registrado pérdidas de suelo hasta de 0.3 kilogramos por metro cuadrado erosionados en una tormenta y 0.8 kilogramos por metro cuadrado en cinco tormentas.

En Estados Unidos los registros son de hasta veinte kilogramos por metro cuadrado al año (**Bennett, 1939**).

El factor clima se refiere principalmente a la cantidad e intensidad de la lluvia.

Las interacciones de tamaño, velocidad y forma de las gotas de lluvia, la duración de la tormenta y la velocidad del viento controlan la fuerza erosiva de la precipitación pluvial. A medida que las gotas de lluvia aumentan en tamaño

su velocidad terminal aumenta ( **Gunn y Kinzer, 1949**), esto es la cantidad de movimiento y energía cinética.

La energía cinética de la precipitación pluvial que es la energía del número total de gotas de lluvia a una intensidad determinada, se calcula a través de la distribución del tamaño de las gotas de lluvia para una intensidad dada (**Gunn citado por Kirkby 1982**).

**Wischmeier (1959) y Wischmeier y Smith (1958)** observan que entre los factores de precipitación pluvial que se estudiaron la energía cinética explicaba la mayor parte de la pérdida de suelo en las parcelas de campo. La mejor medida de la energía era la máxima intensidad de la precipitación pluvial que ocurría en treinta minutos (**EI<sub>30</sub>**). Sin embargo, **Hodson, (1971)** hace notar que esta medida no es confiable como la que se supone que ocurre en un umbral erosivo de veinticinco milímetros de lluvia por hora, y que solamente las precipitaciones de más de esta cantidad son de importancia para producir la erosión.

El desprendimiento y dispersión de las partículas del suelo es Cuando una gota de lluvia hace impacto en el suelo las partículas del suelo se esparcen **Laws (1940)**; y mientras mayor sea la velocidad de impacto mayor será la cantidad de suelo esparcido. (**Bisal, 1960**). A medida que caen las gotas de lluvia, se aplanan en su extremo más bajo debido a su resistencia a la fricción (**Blanckchard, 1950**); Este efecto será mayor cuanto más grandes sean las gotas.

La acción dispersante de la lluvia es un proceso más efectivo a medida que la pendiente es más pronunciada (**Ellison 1944**) y conforme aumenta la

velocidad del viento. El viento imparte una velocidad horizontal a las gotas de lluvia que caen, de manera que cuando las gotas de lluvia tocan el suelo hay un efecto mayor para dispersar las partículas del suelo (**Free, 1960**). Este proceso es importante solo para proporcionar material de acarreo.

El impacto de las gotas de lluvia y dispersión de partículas compactan el suelo y forman una costra (**Duley, 1939; Ellison y Slater, 1945**). Este es otro factor importante.

Esta costra consta de dos partes, una muy delgada (0.1 milímetros aproximadamente) en forma de estrato no poroso y una zona de hasta cinco milímetros de partículas finas no deslavadas (**McIntyre, 1958**).

La costra es mucho menos permeable que el suelo subyacente las tasas de transmisión de agua pueden ser dos mil y doscientas veces menor para los estratos compactos y los lavados, en relación a capas más profundas (**McIntyre, 1958**). Aunque **Tackett y Pearson (1965)** Notaron diferencias mucho menores por tanto la infiltración de la precipitación pluvial en los suelos con costras es muy bajo. Se forman charcos de agua permanente y por coalescencia se da principio al escurrimiento de agua.

Dado por la resistencia a la dispersión, las dos características más significativas del suelo que influyen sobre la erosión son: a) La capacidad de infiltración y b) La estabilidad estructural. Están relacionados íntimamente, la capacidad de infiltración viene influida mucho por la estabilidad estructural sobre todo en los horizontes superiores, además la textura del suelo y la presencia de niveles superiores influyen totalmente en la capacidad de infiltración (**Mitchel 1984**).

La estabilización de los agregados del suelo afecta por otra parte la extensión del daño de erosión. La resistencia de los gránulos superficiales a la

acción del golpeteo por la lluvia salva al suelo aun a pesar de que exista desagüe, la notable estabilidad de los gránulos de algunos suelos arcillosos tropicales, ricos en óxidos hidratados de hierro y aluminio influye en la resistencia de estos suelos a la acción de lluvias torrenciales (**Bubbenzer, 1984**).

La permeabilidad del suelo es otro factor de erosión hídrica y se refiere a la velocidad de infiltración del agua en el suelo, al estar el suelo seco, absorbe con rapidez las primeras gotas de lluvia amortiguando el golpe de estas y humedeciéndose, ya estando humedecido, las gotas que caen subsecuentemente golpean la superficie del agua del suelo, rompiendo agregados y desprendiendo partículas en suspensión el agua turbia logra penetrar en el suelo obstruyendo los poros y consecuentemente el paso del agua excedente, reduciendo la infiltración y aumentando el escurrimiento superficial.

*Para **Buckman (1977)*** Dos factores importantes son los responsables de una erosión hídrica acelerada:

1.-La pérdida de cubierta vegetal natural

La vegetación espesa natural intercepta la lluvia y anula el impacto de las gotas, además tanto bosques como praderas naturales contribuyen a ello, estos residuos incorporados al suelo dan una mayor estabilidad a sus agregados y capacidad de absorción.

2.-La exposición indebida de los suelos cultivables, por el uso de cultivos peligrosos para ellos.

Una causa importante de la erosión en tierra cultivable es el uso de demasiados cultivos, que o bien no obstaculicen ellos mismos la erosión o para cuyo cuidado o laboreo se aumente grandemente el peligro de erosión.

Ejemplo: El trigo serraceno, a pesar de cubrir completamente la tierra, es notoria su incapacidad para prevenir la erosión y los cultivos intermedios como maíz y patatas sobretodo si las filas siguen la inclinación del terreno, aumenten mucho la erosión de la parte superior de este. Además la pérdida de agua que de otra manera penetraría en la zona de las raíces, es de mucha importancia para la producción de cosechas.

### ***Daños por Erosión que no son Pérdidas.***

La erosión por el agua causa cinco diferentes tipos de pérdidas o daños.

1.- Pérdida de agua causante de la erosión. Esta agua podría aprovecharse en la producción de los cultivos sí en lugar de correr sobre la superficie, se infiltrara en el suelo.

2.- El suelo arrastrado por la erosión con frecuencia deja de ser de valor en la producción de cultivos y además el suelo remanente, que se ha eliminado del suelo superficial o arable disminuye mucho la productividad.

3.- Frecuentemente el suelo arrastrado causa mucho daño en especial durante la formación de zanjas y barrancos, una capa de subsuelo estéril se puede depositar sobre una área de suelo productivo reduciendo por lo tanto, su capacidad para la producción de cultivos.

4.- Otro daño resultante de la formación de zanjas es la división de campos en pedazos irregulares. Al hacerse más profundos estas zanjas impiden el buen uso de los implementos agrícolas de lo cual resultan grandes inconvenientes y pérdida de eficiencia en el cultivo de la tierra, en la siembra y la cosecha.

5.-El suelo removido por la erosión puede depositarse en los ríos, bahías y vasos de almacenamiento de agua (azolve) **(Foth Henry 1972)**.

### ***Control de la Erosión Causada por el Agua***

Es bueno recordar que en realidad este fenómeno consta de dos procesos:

- 1) La liberación o separación de masa principal del suelo y
- 2) El transporte o eliminación de estas partículas o grupos de partículas de su posición original.

Los cuatro principios fundamentales que sirven de guía en la mayoría de los métodos empleados para reducir la erosión por el agua son:

- 1).- Proteger la superficie del impacto de las gotas de lluvia,
- 2).- Evitar la concentración del agua y su escurrimiento hacia abajo en un conducto estrecho,
- 3).- Obstaculizar el movimiento del agua de modo que escurra lentamente hacia abajo y
- 4).- Favorecer la entrada del agua al suelo **(FAO, 1970)**.

## EROSIÓN EOLICA

Tipo de erosión causada por el viento de suma importancia en las zonas áridas, semiáridas y desérticas ya que en estos lugares la cobertura vegetal es muy raquítica, queda expuesta a la acción del viento una mayor superficie de suelo desnudo (**Kirkby 1984**).

Este tipo es característico donde haya terrenos de cultivo arenosos. por lo antes dicho las tormentas de arena y/o polvo encierran un gran peligro para los habitantes del desierto, y en algunos lugares este tipo de erosión llega a ser mucho más importante que la erosión hídrica.

**Kirkby (1984)** considera que al igual que la erosión por el agua, esta se basa también en la fuerza con que el fluido (en este caso el aire) puede actuar sobre las partículas del suelo. Para cualquier fluido, esta fuerza depende hasta cierto grado de la aspereza de la superficie pero en el caso del viento la aspereza desempeña un papel crítico debido a la baja densidad y por ende la capacidad de transporte del aire donde la superficie es muy áspera, por ejemplo en el caso de las piedras grandes o que no pueden ser levantadas por el aire, reduce la velocidad del viento cerca de la superficie y presenta poca erosión. sin embargo en cualquier superficie lisa, por ejemplo en un terreno baldío es susceptible a la erosión eólica más aun cuando ese suelo contiene partículas del tamaño de los limos en cantidades apreciables.

Esto es muy común en zonas desérticas, cálidas y frías, a lo largo de las amplias planicies de inundación y en las llanuras costeras. Pero cuando en otras partes se eliminan matorrales y vegetación para permitir el cultivo entonces ocurre la erosión eólica.

Hay pocas mediciones confiables de la erosión eólica bajo condiciones naturales pero se han registrado pérdidas de hasta diez milímetros al año en lugares de Kansas, donde se presentan grandes ventarrones, todas estas mediciones se hicieron en un período de veinte años (**Mitchel 1984**).

### ***Formas de Erosión Eólica.***

En **1978 la Subdirección de Ingeniería Rural** informa que, aunque suele creerse que la erosión eólica solo tiene importancia en las regiones áridas y semiáridas, esta puede ocurrir donde quiera que las condiciones del suelo, de la vegetación o del clima sean favorables cuando ocurran los factores siguientes:

- El suelo aparece suelto, seco y finalmente dividido en cierto grado.
- La superficie del suelo es mas bien lisa, con poca o ninguna cubierta vegetal;
- El campo es suficientemente extenso y
- El viento es lo suficientemente fuerte para iniciar el movimiento del suelo.
- Aunque estos factores son muy comunes en zonas áridas, existen también en las zonas subhúmedas y a veces incluso en las húmedas.

No obstante en general la erosión se manifiesta en las zonas áridas en las que la precipitación es insuficiente o en las que la volubilidad de los elementos naturales, de una temporada a otras impide el mantenimiento de una cubierta vegetal, Las principales formas de erosión eólica son:

Erosión Superficial. Tiene lugar por lo general en terrenos planos, sin cubierta vegetal o con una cubierta vegetal muy escasa, de textura ligera (arenosa) y suelos sujetos a altas temperaturas por la exposición prolongada a los rayos solares. el acarreo superficial de partículas esta en relación directa con la intensidad del viento e inversa en la relación de tamaño de las partículas transportadas.

Erosión por Tolvaneras. Conocida también como tormenta de polvo o arena, se produce como consecuencia del acarreo de partículas del suelo por el viento. La intensidad de la erosión del suelo por tolvaneras esta en función de la cantidad y ligereza del material acarreado.

Formación de Dunas. La formación de dunas o montículos de arena es ocasionado por la acumulación de los materiales acarreados por el viento que al perder velocidad y toparse con grandes obstáculos como rocas troncos de árboles caídos o en pie, son depositados en grandes cantidades en un mismo sitio (**Subdirección de Ingeniería Rural 1978**).

### ***Factores que Afectan a la Erosión Eólica***

Para **Buckman(1977)** está relacionado indirectamente con el contenido de humedad de los suelos. Los suelos mojados no son afectados por el soplo del viento.

El contenido de humedad se aminora generalmente por el viento seco y cálido hasta el punto de marchites y más bajo aun, antes de que la erosión eólica se produzca.

Los factores que influyen en la erosión eólica son:

- Velocidad del Viento.
- Condición de la superficie del suelo.
- Características del suelo.

Evidentemente la intensidad del viento, especialmente las borrascas que tienen mayor velocidad que la promedio influirán en la erosión, la turbulencia del viento influirá también en la capacidad de transporte de la atmósfera, a pesar de que el mismo viento tiene una influencia directa en la recogida del suelo fino. El impacto de las llevadas por el viento sobre las aun no desgastadas es quizá el más importante (**Barreira 1978**).

Cuando la superficie del suelo es tosca la erosión eólica es de menos efecto, esta aspereza se logra con el laboreo dado al suelo que dejan grandes terrones o surcos sobre la superficie del suelo.

Además del contenido de humedad hay otras características que influyen en la erosión eólica como las siguientes:

- La estabilidad mecánica de los terrones y otros agregados del suelo seco.
- La presencia de una costra estable en el suelo.
- La densidad de volumen y tamaño de las fracciones erosionables del suelo.
- Los terrones deben ser resistentes a la abrasión de las partículas transportadas por el viento (**Barreira 1978**).

Sí está presente una costra, como consecuencia de una lluvia previa, es imposible que aguante el impacto sin deterioro, la importancia de los agentes cementantes es muy importante aquí.

El tamaño y densidad de volumen de las partículas dadas son aparentemente más susceptibles a la erosión que otras. Esas partículas de aproximadamente 0.1 mm. de diámetro son las más erosionables, siendo menos susceptibles al movimiento las que tengan mayor o menor tamaño, las partículas de 0.1mm. son seguramente las responsables de que el movimiento de las partículas mayores o menores se realice.

### ***Daños Ocasionados por Partículas en Suspensión Aéreas***

Si el viento sopla mientras que el cultivo se encuentra en las primeras etapas fenológicas el suelo puede ser levantado y removido del sistema radicular y las plantas serán arrancadas y transportadas a distancias considerables. Este es uno de los grandes daños sufridos por los cultivadores de cebolla en suelos orgánicos de las primaveras secas.

En los otoños secos, el trigo de invierno puede ser levantado por el viento sobre amplias áreas en las regiones productoras de este cereal.

Los cultivos jóvenes siempre sufren daños al ser golpeados por las partículas del suelo levantadas por el viento.

Puede ser que no haya viento suficiente para levantar grandes nubes de polvo, pero las partículas del suelo que se mueven por la superficie o un poco arriba de ella cortará o lesionará a las plantas jóvenes o tiernas, este tipo de daños es común en suelos arenosos, secos y planos.

Otra forma en que pueden ser dañados los cultivos es la posibilidad de ser cubiertos por la tierra transportada por el aire, un cultivo establecido en un

terreno bien manejado puede ser cubierto por el suelo levantado en un campo cercano con un pobre manejo, así mismo el suelo de las tierras altas puede depositarse en cultivos de tierras más bajas **(FAO 1978)**.

### ***Control de la Erosión Eólica.***

Los factores indicados hasta ahora dan la pista de los métodos adecuados para su control. Evidentemente, si el suelo puede ser guarnecido húmedo hay poco peligro de erosión eólica, una cubierta vegetal aminora el soplo del viento sobre el suelo, sobre todo si las raíces del suelo están bien establecidas.

En las áreas agrícolas secas, las prácticas para conservar humedad necesitan barbecho en verano: ya que los vientos cálidos reducen la velocidad en la superficie del suelo.

Por consiguiente deben emplearse otros métodos para tierras cultivadas en estas zonas, al ponerse aspera la superficie del suelo, la velocidad del viento disminuye y algunas de las partículas móviles son paradas, el estiércol ha demostrado ser eficaz en este aspecto.

Los cultivos en líneas y franjas alternadas de tierra cultivadas y barbecho deben ser perpendiculares al viento.

Las barreras tales como cercas de árboles son eficaces para reducir la velocidad del viento en cortas distancias y parar sus impulsos sobre el suelo **(FAO,1978)**.

## **METODOS DE RECONOCIMIENTO**

Dentro de los métodos de reconocimiento tenemos dos tipos, Directos e indirectos.

### ***Directos***

#### **Medición de Pedestales .**

Son formados debajo de piedras troncos secos, raíces etc. la altura del pedestal indica la pérdida por erosión ( **C.P. Chapingo 1977**).

#### **Marcaje de Piedras.**

Consiste en marcar con pintura de color claro (blanco) alrededor de alguna piedra al ras del suelo, para poder determinar que piedras marcar hay que escoger siempre las más grandes o las que difícilmente se podrán mover. la medición periódica (cada mes) de la distancia del nivel de referencia a la superficie del suelo, dará una idea de las pérdidas de suelo ocurridos, a través del tiempo (**C.P. Chapingo 1977**).

#### **Estudios Comparativos.**

Para poder efectuar estos tendríamos que localizar el perfil virgen (sin disturbio) siempre que sea posible, y abrir un foso agrológico, en zonas que no

han sido desmontadas y comparar los perfiles encontrados y determinar la capa de suelo perdido. Indirectos.

Son aquellos puntos de referencia previamente establecidos y requieren de más observación ( **C.P.Chapingo, 1977**).

### **Clavos y Rondanas.**

1.-En el área donde se desea cuantificar la erosión se ubican líneas de dimensiones variables (20,50,100m.)

2.-A lo largo de la línea a intervalos regulares de 5, 10 o 15m. se colocan clavos de 30 cm. de largo con rondana, de tal manera que esta descansa sobre el suelo y la cabeza del clavo la toque ligeramente.

3.-A intervalos de tiempo regulares ya sea mensualmente o anualmente se hacen observaciones sobre la altura que sobresale el clavo del suelo en cada sitio de muestreo y se obtiene el valor medio de toda el área observada (**Chapingo 1977**).

### **Método de las Corcholatas.**

1.-Se localiza la superficie a estudiar y marca una cuadrícula que mide de 20 a 25m. de lado (25 o 36 corcholatas por hectárea.)

2.-En cada intersección de líneas se coloca una corcholata con el corcho hacia abajo o se presiona un poco hasta que quede a nivel con el suelo la parte superior de la corcholata.

3.-Se calcula el suelo perdido, al hacer mediciones de pedestal que ha formado cada corcholata.

## **Lotes de Esgurrimiento**

Solo usados para erosión hídrica.

1.-Se selecciona un área representativa de las condiciones donde se desean estimar las pérdidas por erosión.

2.-Se ubican lotes de  $10 * 40$ ;  $10 * 20$  y  $10 * 10$ m. A lo largo de la pendiente principal del terreno, estos lotes deberán estar confinados mediante laminas de asbesto o tablas de madera enterradas alrededor y que sobresalgan 25 o 30 cm. de la superficie del suelo.

3.-En la parte baja del lote se coloca un tanque colector graduado en litros con capacidad tal que permita captar los esgurrimientos máximos generados.

4.-Después de cada día de lluvia se determina el volumen esgurrido para cada lote, se agita todo el volumen, luego se toma una muestra de un litro.

5.-Se filtra la muestra y se determina el peso de los sedimentos que acarreo, este se multiplica por el volumen esgurrido y se obtiene el total de suelo perdido por erosión de ese lote.

6.-La suma total de las pérdidas de suelo en kilogramos para los días de lluvia de un año.

-Se multiplica por 100 si el lote es de  $10 * 10$ m.

-se multiplica por 50 si el lote es de  $10 * 20$ m.

-se multiplica por 25 si el lote es de  $10 * 40$ m.

Así obtendremos la pérdida por erosión en Kg/Ha/año.

## PRÁCTICAS VEGETATIVAS Y AGRONÓMICAS

Las llamadas prácticas vegetativas engloban todas aquellas actividades que ayudaran a tener un control de la erosión, aun cuando el terreno sea cultivado o no.

Estas prácticas vegetativas se mencionan y describen a continuación.

### ***Labranza en Contorno.***

Un control efectivo de la erosión por el agua puede obtenerse rara vez solamente, por el cultivo en contorno. La capacidad de los surcos hechos normalmente en la labranza en contorno es pequeña.

Puede con facilidad llenarse con el agua durante una tormenta y derramar el exceso, cuando hay pérdidas considerables de suelo. La práctica es efectiva cuando las lluvias son ligeras y las laderas son cortas y con poca inclinación. Los mejores resultados, se obtienen cuando la labranza en contorno se realiza junto con cultivos en fajas o terrazas **(FAO 1978)**.

Los surcos en contorno no solo evitan la erosión si no, también retienen bastante agua, mientras esta puede percolarse al suelo.

### ***Cultivos en Fajas.***

En vista de la variación de los efectos de los diferentes cultivos sobre la erosión, es lógico sembrar cultivos con diferentes hábitos de crecimiento en fajas a través de terrenos con pendientes. Por este sistema, la erosión que puede comenzar en una faja con cultivos como el algodón, maíz o frijol, que necesita escardarse puede detenerse en la faja de un cultivo forrajero que crece junto, en la parte adyacente hacia abajo de la ladera, una faja de un cereal puede sembrarse enseguida después de otra faja de un forraje y después un cultivo de escarda. El ancho de las bandas de cada cultivo deberá determinarse por la pendiente de la ladera, la cantidad y naturaleza de la precipitación y la erosionabilidad del suelo. Las bandas deberán plantarse en el contorno tan cercanas como sea posible **(Foth 1978)**.

A primera vista, la siembra de cultivos en banda a lo largo de una colina aparenta ser inconveniente e ineficiente para muchos granjeros. La experiencia sin embargo a probado lo contrario. Muchas veces las cercas divisorias deberán moverse y se tendrán que trabajar sobre otro arreglo del campo. Los cultivos en banda frecuentemente ocasionan surcos mas largos y, por lo tanto, menor número de vueltas de la maquinaria de siembra, cultivo y cosecha.

Así mismo como las fajas siguen el contorno de la tierra, el trabajo se hace aproximadamente al nivel, en lugar de hacia arriba y abajo de la ladera, este arreglo requiere menor consumo de energía.

El cultivo en fajas se adapta a terrenos con pendientes largas y bastante regulares. Cuando la topografía es ondulada con pendientes cortas muy irregulares el sistema de fajas tiene menor aplicación en general **(Foth 1978)**.

## ***Rotaciones***

Las rotaciones que necesitan de poca labranza de suelo ayudan a prevenir la erosión eólica. Una rotación típica consiste en un año de cultivo de escarda, después de un cultivo de primavera, seguido de un año de descanso, para continuar con trigo de invierno, la alfalfa proporciona una cubierta vegetal resistente al viento, pero es objetable en áreas de baja precipitación pluvial, ya que seca el suelo hasta una profundidad considerable. Una rotación sugerida por la estación Experimental de Wyoming, consiste en un cultivo de escarda seguida de una siembra de escarda en primavera, continuando con centeno, un año de descanso y después trigo de invierno, algunos productores de trigo objetan el uso de centeno por que este se mezcla con el trigo y baja la calidad del mismo para el mercado. Los pastizales se mantiene mucho tiempo debido a la dificultad para establecer una cubierta vegetal ( **USDA, 1973**).

### **La Pendiente Ayuda a Determinar el Sistema de Cultivos.**

En el **Cuadro 2** establece comparaciones de los distintos sistemas de cultivos, en el mismo suelo y en iguales condiciones de pendiente, Notese que con una rotación de tres años la pérdida anual de suelo fue de 49.32 toneladas, en comparación con 199.55 toneladas con cultivo continuo de maíz un solo año más de heno redujo la pérdida 29.15 toneladas. Obsérvese que se necesitó una rotación de más de 12 años (Maíz, cebada, 6 años de heno y 4 años de pasto), Para rebajar la pérdida de suelo a 6.37 toneladas por año, que se considera que es una pérdida permisible. He aquí una enseñanza concerniente al uso de la tierra.

Cuadro 2. Pérdidas calculadas de suelo en tablares de 22 metros de longitud con una pendiente del 16 por ciento, empleando varios sistemas de cultivos en Lacrosse, Estado de Wisconsin.

<b>Secuencia de cultivos</b>	<b>promedio de pérdidas de suelo por ha. y por año: toneladas.</b>
<b>Anualmente.</b>	
1. Maíz	199.55
2. Maíz, cebada(trébol dulce)	73.99
3. Maíz cebada, heno.	49.33
4. Maíz, frijol, soya, cebada, heno, heno.	49.33
5. Maíz, maíz, cebada, heno, heno, heno.	44.88
6. Maíz, cebad, heno, heno.	29.15
7. Maíz, cebada, heno,heno, heno,	17.94
8. Maíz, cebada, heno, heno, heno, heno.	15.69
9. Maíz, cebada, heno, heno, heno, heno, pasto, pasto	11.21
10. Maíz, cebada, heno, heno, heno, heno, heno, heno, 4 añosde pasto	6.73

### **Algunos Ejemplos de Rotaciones .**

La rotación de tres años, de maíz, cereal y pasto, se ha estado utilizando durante muchos años en la faja maicera de E. U. A. Es sencilla y fácil de establecer y proporciona un alto porcentaje de maíz y de cosechas de granos pequeños, sin embargo, es dudoso que esta rotación pueda considerarse formadora de suelo, a no ser en terrenos suavemente ondulados o casi planos.

La adición de un año de césped constituye una rotación de maíz, y dos años de césped y proporciona una rotación que se adapta a una gran variedad de condiciones. los dos años consecutivos de pastos y laguminosas dan a esta rotación cierta ventaja sobre la de tres años, en cuanto a mantener la aglomeración del suelo. Con la utilización ordinaria que hacen las plantas

cosechadas y con los residuos de las cosechas, esta misma rotación hará posible aprovechar suficiente cantidad de nitrógeno y materia orgánica.

Algodón, trigo y lespedeza; y Maíz, algodón y avena, seguidos de uno o más años de trébol festuca, son ejemplos de rotaciones, alternadas con una cubierta de césped que han pasado a ser comunes en el sur de los Estados Unidos.

Las rotaciones de tres años con papa avena y trébol rojo, son las que están en uso en Nueva Inglaterra, E.U.A.

### **Beneficios del Monocultivo .**

La explotación agrícola de un mismo cultivo año tras año, tiene sin embargo también sus ventajas, siempre que naturalmente el suelo no se erosione ni deteriore de algún otro modo, y se puedan combatir los insectos y las enfermedades de las que es portador el suelo, este tipo de explotación es lo que se conoce como el nombre de monocultivo. Sí en una explotación agrícola de tipo general hay diversas clases de suelos, un sistema de monocultivo puede permitir que cada planta se cultive en el suelo mejor adaptado para ella. Así en los suelos inclinados en los que la erosión es un riesgo, se puede mantener el cultivo de un forraje de crecimiento espeso, mientras que los cultivos en surcos ocupan todo el tiempo los mejores suelos con pendientes suaves.

Las zonas de drenaje lento pueden ocuparse continuamente para cosechas que no necesiten labores de campo al iniciarse la primavera; Los suelos áridos pueden aprovecharse con plantas resistentes a la sequía, como sorgos para grano o cereales pequeños de invierno.

El nivel de fertilidad del suelo puede ajustarse para que se adapte con mas facilidad a una planta que para aplicarlo a todos los cultivos de una

rotación. Por ejemplo para cultivar alfalfa, no es necesario emplear tanta cal como para el cultivo del maíz o de cereales pequeños, para obtener buenos rendimientos de maíz se necesita un alto nivel de nitrógeno y después de cosecharlo quedará un residuo disponible de nitrógeno, y esto es una ventaja cuando es maíz lo que sigue al maíz, pero también puede ser la causa de que se acame el cereal de grano pequeño que se siembre después del maíz.

Los sistemas basados en un sistema continuado, generalmente ofrecen una gran flexibilidad para el planeamiento del sistema destinado a atender los cambios que hay de un año a otro, en las necesidades de los distintos cultivos. Parte de la superficie puede aprovecharse cambiando un cultivo por otro, sin que se trastorne el plan de cultivos para toda la explotación agrícola.

### ***Uso de Cultivos de Crecimiento Denso y de Pastos para Disminuir la Erosión***

Los cultivos que crecen en la superficie del campo que llenan el suelo superficial con raíces fibrosas tienden a mantener el suelo en su lugar y disminuyen la erosión. Los céspedes densos como los producidos por muchas especies de gramíneas, son extraordinarios para este propósito se tienen efectos muy similares con el cultivo de algunas leguminosas como Lespedeza, Trébol encarnado, y varios otros tréboles y alfalfa, los cuales desarrollan raíces similares a las del césped en el suelo superficial. Otros cultivos tales como kudzu que cubre rápidamente la superficie del suelo con un crecimiento denso también son efectivos para reducir la erosión. Una cubierta vegetativa cubre el suelo del impacto de las gotas de lluvia.

Las gramíneas tales como avena, trigo y cebada son mucho menos eficientes que las plantas productoras de céspedes, en la protección del suelo

de la lluvia y en el control de lavado del mismo, pero a su vez protegen más que los cultivos plantados en surcos.

Junto con el efecto del sistema radicular y la intercepción de la lluvia, los cultivos de crecimiento denso o aquellos que tienen muchos tallos por metro cuadrado disminuyen la erosión al hacer más lento el movimiento del agua sobre la superficie del suelo.

Cada tallo ofrece una obstrucción del movimiento del agua y cuando están muy juntos el movimiento del agua se reduce mucho.

Esta acción no solo disminuye el poder erosivo del agua, si no que también proporciona tiempo para que se introduzca en el suelo una cantidad de esta.

Al planear una rotación para un terreno sujeto a erosión se deberá hacer un uso liberal de henos, pasturas y gramíneas mientras mayor sea la tendencia a la erosión menor será la proporción de tiempo que los cultivos de escarda deberán ocupar la tierra.

### ***Abonos y Estiércoles.***

Por abono orgánico se entiende como cualquier sustancia de origen orgánico (animal o vegetal), que incorporada al suelo, sirve para aumentar su fertilidad.

La fertilidad del suelo es un factor fundamental en la conservación del suelo y el agua. Manteniendo en el suelo una fertilidad considerable establece automáticamente muchas condiciones que ayudan a reducir el escurrimiento y la erosión. Además los suelos fértiles dan cosechas de gran rendimiento. Por

esta razón el empleo de abonos y estiércol, cuando ello fuera necesario debiera recibir una atención primordial al trazar un programa de conservación.

Toda materia orgánica adicionada al suelo, experimenta los fenómenos de humificación y mineralización, que la transforman en aquella sustancia denominada humus, promotora de una serie de ventajas de orden físico-químico y biológico completamente indispensable para conservar y aumentar el buen rendimiento de los suelos agrícolas **(Martínez y Roig 1975)**.

El aprovechamiento de los restos de cosechas, representa la primera y más económica fuente de restitución de materia orgánica a los suelos de labor agrícola.

Acertada es la comparación de que el estiércol es el espejo del suelo, y bien se puede afirmar que las tierras pobres dan estiércoles pobres y a la inversa. Así se explica como los forrajes y las pajas de los cereales producidos en suelos pobres, por ejemplo, en anhídrido fosfórico, resultan así mismo pobres en dicho elemento, y por consiguiente el estiércol producido de estos elementos poseerá la misma carencia, de donde se deduce que es imposible corregir las deficiencias de un suelo mediante sus propias estercoladuras.

Sin embargo el estiércol solo restituye una parte de los elementos perdidos ya sea por extracción de los cultivos o por arrastre de precipitaciones hacia profundidades del suelo, y que se pierden irremediabilmente.

El estiércol esta constituido por la íntima unión y mezcla de las deyecciones del ganado estabulado, con las sustancias vegetales empleadas como cama, previa una serie de fermentaciones más o menos intensas y avanzadas, que tienen lugar, no solo en las cuadras, si no también en los simples montones con los que se coloca. Lo que da como resultado final una sustancia de composición variable, de color obscuro, rica en principios nutritivos de indispensable utilidad para la debida restitución de materia orgánica de los

suelos, reguladora y modificadora de sus condiciones físicas, químicas y biológicas.

La composición de un estiércol varía entre límites muy amplios y según sea la especie de los animales estabulados, la naturaleza de la cama empleada, la proporción empleada entre la cama y las deyecciones, régimen alimenticio del ganado, sistema de fermentación, estado de descomposición, etc. los cuales son motivo más que suficiente para originar la gran disponibilidad de riqueza de los estiércoles empleados.

### ***Barreras Vivas.***

**¡Error! Marcador no definido.**

Las barreras vivas son hileras de plantas perennes y de crecimiento denso dispuestas con determinado distanciamiento horizontal y sembradas a través de la pendiente, casi siempre en contorno o en curvas de nivel.

El objeto principal de estas barreras es el de reducir la velocidad del agua que corre sobre la superficie del terreno y retener el suelo. Para cumplir con esta finalidad deben utilizarse plantas perennes con crecimiento denso, sembradas en hileras continuas o casi continuas, que en el tiempo más corto posible formen un obstáculo efectivo al paso del suelo.

Las barreras vivas pueden emplearse tanto cultivos limpios como en cultivos densos o de semibosque. A medida que se verifican las desyerbas en las fajas del terreno comprendidas entre las barreras, el suelo que se deposita contra aquellas va formando bancales los cuales los cuales pueden quedar completos en un período de cuatro o cinco años, este es el método más sencillo y económico de formar terrazas de bancos o bancales.

Las barreras vivas tienen la ventaja de constituir una guía permanente para la siembra en contorno o en curvas a nivel (**Roig, 1975**).

### **Distanciamiento de las Barreras.**

Cuando se usan en cultivos limpios (o sea los que protegen poco el suelo como el maíz, la yuca, la papa o patata, el algodón, etc.), hay que establecerlas con una separación (intervalo) menor que cuando se utilizan en cultivos densos de semibosque, porque como el agua de lluvia que el terreno no detiene corre muy rápidamente por la superficie del suelo desnudo, es necesario establecer obstáculos a distancias cortas. Lo mismo sucede con terrenos con pendiente: a medida que son más empinados es mayor el número de barreras que hay que establecer.

En el caso de cultivos limpios las separaciones o distancias serán las que se muestran en el **cuadro 3**.

Cuadro 3. Distanciamiento entre barreras vivas en cultivos limpios.

Pendiente del terreno por 100	Distancia Horizontal metros
5	20,00
10	15,00
15	10,00
20	9,00
25	8,00
30	6,50
35	6,00
40	6,00

Es evidente que en terrenos de excesiva pendiente lo ideal es no sembrar cultivos limpios (maíz, yuca, tabaco, etc.) pero como en muchos casos es

imposible lograr esto en regiones muy quebradas y con gran densidad de población, la siembra de barreras aminora el daño de la erosión.

Las barreras vivas deben de tomarse como líneas guías y sembrar las hileras paralelamente a ellas y luego todas las desyerbas se ejecutaran también en contorno.

En regiones en donde caen aguaceros muy fuertes y con suelos arcillosos o poco permeables es conveniente darles a las barreras una inclinación o pendiente del 0,5 por ciento al 1 por ciento hacia un desagüe lateral protegido, con el fin de evitar encharcamiento o la formación de chorros.

En cultivos densos o de semibosque deben separarse más las barreras vivas, en ese caso pueden las distancias de el **cuadro 4**.

Cuadro 4. Distanciamiento de barreras vivas en cultivos densos o de semibosque.

Pendiente del Terreno Por 100	Distancia Horizontal metros.
5	25
10	20
15	18
20	15
25	15
30	12
35	12
40	9
45	9
50	9
55	9
Más de 60	6

En huertos o plantaciones nuevas las barreras vivas deben de sembrarse en el momento de trazar la plantación y usarse como líneas guías.

### **Plantas que Pueden Utilizarse para Barreras Vivas.**

Como se dijo al principio no deben usarse con este fin si no plantas perennes ( es decir de vida muy larga) y de crecimiento denso. Las más aconsejables en las zonas tropicales de América Latina son el Vetiver (*Andropogum muricatus*), el Limoncillo (*Andropogum citratus*),y el pasto Imperial (*Paspalum fournerianum*). Cuando se usa un pasto se puede aprovechar el material de la barrera como pasto de corte.

En algunas zonas se ha utilizado con éxito la piña (*Ananasa sativa*), la Iraca (*Carludovica palmata*, el bihao (*Eliconia bihai*), la Piñuela (*Bromelia Karattas*), etc. En cada región hay plantas que sí reúnen las condiciones de crecer densamente, vivir por largo tiempo y no extenderse demasiado, pueden utilizarse con éxito.

La competencia que hacen las barreras a los árboles es mínima y si se reflexiona un poco se ve que esto es cierto, cuando no se extrae del terreno ninguna parte del vegetal la planta devuelve a el todas las substancias que toma de las capas profundas del suelo, en forma de material orgánico muy útil en el mejoramiento del suelo.

### **Como se Establecen las Barreras Vivas.**

a.- Ante todo se debe de determinar la pendiente promedio o típica del terreno.

b.- Como este valor de la pendiente se busca en los cuadros 23 ó 24 (según se trate de un cultivo limpio o de un cultivo denso o de semibosque) la distancia a que deben de trazarse las barreras.

c.- Con cualquier aparato de nivelación se trazan sobre el terreno y se marcan con estacas las líneas correspondientes, en la forma como se explico al hablar de la siembra en contorno.

d.- Se remueve una faja de terreno de 50 cm a ambos lados de las líneas de estacas y se siembran las plantas que vayan a usarse, En todos los casos estas plantas deben sembrarse en hileras dobles, al tresbolillo o triángulo, y distancias de 15 a 20 cm.

### **Mantenimiento de las Barreras Vivas.**

Tan importante como sembrar una buena barrera es mantenerla adecuadamente, no debe de permitirse que se extienda para que no invada el terreno. Deben recortarse periódicamente y evitar su excesivo macollamiento. Al verificar las desyerbas es aconsejable acumular los residuos contra las barreras de manera que se vayan formando bancales

### ***Cultivo con Capa de Rastrojo.***

Un método de control de erosión es el empleo de rastrojo o residuos del cultivo, a la manera como la naturaleza se sirve de losa productos de desecho de los bosques para proteger la superficie de estos. Con este sistema, los residuos -el rastrojo del grano pequeño y los tallos de maíz, sorgo, algodón, etc.- se emplean para mantener sobre la superficie del suelo una capa protectora de materia orgánica. Este sistema ha sido muy eficaz particularmente en los Grandes Llanos y en otras áreas de lluvia escasa y de suelo sujeto a la erosión del viento.

Los fines convenientes que se siguen con esta práctica son:

1.- Protección del suelo contra el impacto directo de las lluvias erosivas, con lo que se impide el salpicamiento de las gotas y se reduce el escurrimiento y la erosión.

2.- Aumento de la absorción de la lluvia por el suelo.

3.- Mantenimiento de un estado del suelo relativamente fresco y húmedo.

4.- Mantenimiento de un estado de reserva favorable de humus en el suelo.

5.- Aumento de los rendimientos.

### **El Empleo de los Residuos del Cultivo como Capa Superficial**

Los residuos de cultivo (material de rastrojo)consisten en las partes de las plantas cultivadas que después de las cosechas se dejan en el campo.

Los tallos del maíz, del sorgo, del algodón y del tabaco, el rastrojo del grano pequeño, la paja diseminada de grano, las cabezas de las plantas de patata y de enredaderas de los guisantes son otros tantos ejemplos de residuos de cultivos que resultan muy útiles en las operaciones de labranza con manto de materia vegetal seca (**Trinidad 1987**).

### ***Abonos Verdes***

Con el cultivo intensivo los suelos van perdiendo materia orgánica más rápidamente de lo que es restituida. Un decrecimiento de la materia orgánica promueve condiciones de un suelo compacto, duro, con raíces de desarrollo superficial y disminución en el almacenamiento del agua.

La materia orgánica adicionada al suelo pueden aumentar o disminuir el contenido de humus dependiendo de la cantidad o naturaleza del material agregado. por ejemplo: la incorporación al suelo de pequeñas cantidades de vegetales tiernos aun siendo leguminosas, puede muchas veces resultar en una caída rápida del contenido de humus. por otra parte, los residuos de plantas maduras generalmente aumentan el establecimiento de humus del suelo, especialmente cuando el nitrógeno se encuentra presente en cantidades adecuadas.

El uso de abonos verdes es una práctica muy antigua en la protección y mejoramiento de los suelos. Consiste en la incorporación al suelo de cualquier

material vegetal aun no descompuesta con la finalidad de mantener o mejorara su fertilidad y productividad. Siempre se prefieren las leguminosas (**Trinidad 1987**).

### **Las Leguminosas y la Fertilidad del Suelo**

Las leguminosas se clasifican en tres grupos.

Leguminosas Forrajeras.- Alfalfa; Ladino, Trébol, Lespedeza, Mucuma negra, Chicharo de vaca, Gandul, etc. no requieren escardas, son buenas plantas de cobertura y desarrollan raíces externas y profundas. Se ha observado que el contenido de humus y nitrógeno asimilable en el suelo es mayor cuando se deja de cultivar estas leguminosas que al establecerlas.

Leguminosas de Escarda Productoras de Grano.- Soya, Frijol, Chicharo y Garbanzo. Son cultivos con período vegetativo de tres a cinco meses. La mayor parte del nitrógeno absorbido o fijado de la atmósfera se encuentra en el grano. El contenido de nitrógeno en el follaje es similar al del rastrojo del maíz fertilizado. En realidad presenta pocas ventajas mejoradoras del suelo.

Plantas para Conservación y Mejoramiento de los Suelos.- Son los abonos verdes que pueden ser leguminosas o no. En efecto, se trata de elevar la fertilidad del suelo o de protegerlo contra la erosión. Como los abonos verdes se prefieren las leguminosas. Para la protección contra la erosión a veces se prefieren las gramíneas por sus raíces fibrosas y desarrollo de tallos subterráneos. A veces se usan también las leguminosas en cobertura para protección de los terrenos.

## ***Uso de estiércoles***

El uso de los estiércoles es con el fin de mejorar las características físicas del suelo, las principales características de estos materiales son:

Proporcionan elementos mayores como Nitrógeno, Fósforo y potasio, así como elementos menores (Cuadro 5).

Este material orgánico actúa de la manera siguiente en el suelo:

Modifica la estructura de los suelos; Aumentando la cohesión en los suelos arenosos y disminuyéndola en los arcillosos.

Permite una aireación en los suelos.

Aumenta la capacidad de retención del agua en el suelo.

Aumenta la disponibilidad el agua para las plantas.

Permite una mayor penetración del las raíces de la planta en el suelo.

Facilita el laboreo.

Contribuye en forma importante a disminuir la erosión de los suelos.

Proporciona los nutrientes necesarios para los mico organismos del suelo.

**(Trinidad 1987)**

### **Desventajas.**

Los estiércoles no proporcionan grandes cantidades de elementos, es menor la cantidad comparada con compostas o fertilizantes.

El estiércol contiene semillas de malezas y microorganismos que causan enfermedades a las plantas y animales.

El empleo de estiércoles puede causar acidez en el suelo, así como también salinidad.

cuadro 5. Composición química de algunos de los estiércoles más comunes en base a materia seca.

<b>Determinación.</b>	<b>Bovinaza</b>	<b>Gallinaza</b>	<b>Porcinaza</b>	<b>Caprinaza</b>
M.O	25-30	25-35	20-25	30-35
N. Tot.	1.0-3.0	2.5-5.0	3.0-5.0	3.0-4.5
P.	0.2-1.0	1.0-3.5	0.5-1.0	0.4-0.8
K.	1.0-4.0	1.5-4.0	1.0-2.0	2.0-3.0
Ca.	1.5-5.0	2.7-8.8	-----	-----
Mg.	0.4-1.2	0.5-1.5	0.08	0.20
Na.	0.3-3.0	0.3-2.0	0.05	0.05
Zn(ppm)	130.0	516.0	-----	-----
Mn(ppm)	264.0	474.0	-----	-----
Fe(ppm)	6354.1	4902.0	-----	-----
Rel C/N	13-19	8-14	-----	-----
Sales Solubles	3.2-9.1	4.2-8.3	1.0-2.0	1.0-2.0

**\*Zn, Mn y Fe. Son Totales.**

**( Fuente Trinidad, S.A. 1987.)**

### ***Uso de Fertilizantes.***

La utilización del recurso fertilizante significa duplicar las áreas de cultivo disponibles; y al mejor cuidado de los suelos, corresponderá la obtención de mejores y más altos rendimientos .

A mejores riegos habrá una mejor respuesta de los fertilizantes empleados. por lo tanto no bastará abrir nuevas tierras de cultivo, revestir canales, hacer obras de irrigación, sí nuestros rendimientos por hectárea siguen siendo pobres (**SARH, UAAAN Y FERTIMEX 1980**).

### **Recomendaciones generales sobre el empleo de los fertilizantes.**

1.- Para todos los cultivos sembrados en hileras o surcos, la fertilización deberá realizarse aplicando el fertilizante en bandas o franjas a los lados y abajo del nivel donde quedan colocadas las semillas.

2.- Cuando no se dispone de maquinaria para lograr la colocación de bandas y para obtener los mejores resultados de la fertilización, ésta se aplicará a mano haciendo la colocación en bandas como se recomienda.

3.- En el cultivo de maíz , los mejores rendimientos se obtienen cuando el nitrógeno se aplica en tres dosis. Esto es, sí el tratamiento fuese de 150 kg./Ha. aplicaríamos con la siembra la tercera parte, con la primera escarda la otra tercera parte (50 Kg.) y la última tercera parte la aplicaríamos al giloteo. Esta distribución ha demostrado ser efectiva a condición de que inmediatamente después de aplicado, las parcelas reciban riego suficiente para mejor aprovechamiento.

4.- Siempre se tendrá en mente que después de toda aplicación de fertilizante, deberá de seguirse de una aplicación de riego.

5.- Cuando se tenga el problema de el agua de riego, fertilizese aquellas áreas que tengan agua suficiente. No arriesgue su cosecha fertilizando grandes extensiones que no podrán regarse con la oportunidad que las áreas fertilizadas exigen.

6.- Sí se trata de fertilización de temporal, las dosis serán reducidas, y en todo caso deberán hacerse trabajos previos para el control de escurrimientos, a fin de que el tipo de precipitación dominante en las zonas de que se trate sean debidamente aprovechadas facilitando así la función de los fertilizantes.

7.- La mayor eficiencia de los fertilizantes químicos se obtiene cuando los suelos un mínimo contenido de materia orgánica 3 a 4 por ciento. Sí esto no ocurre los suelos deberán recibir aplicaciones de materiales orgánicos como estiércoles, compostas, residuos vegetales, o bien incorporaciones de cultivo abonos verdes como leguminosas, trébol, frijol, alfalfa que comúnmente se usan en los suelos salinos.

8.- La fertilización de frutales deberá hacerse todos los años, la práctica de no fertilizar en los años en que hay heladas o granizadas dañan y hacen más crítica la vitalidad del árbol, determinando alternancia en la producción, frutos pequeños y disminución sensible en los rendimientos.

9.- Para todo buen agricultor es obvio considerar que el mejor resultado en el empleo de fertilizantes se obtendrá en suelos bien trabajados y nivelados, donde además se utilicen buenas semillas.

Las principales ventajas del uso de fertilizantes se logran cuando se toman en cuenta las indicaciones antes mencionadas, pero siempre se deben de tener en

cuenta las posibles situaciones negativas que se presentan por el uso inadecuado de estos.

Una de las principales desventajas del mal uso de fertilizantes es que ocasionan salinidad en los suelos. **(SARH, UAAAN Y FERTIMEX 1980)**

## ***Riego***

La irrigación tiene como objetivo principal, reponer el nivel óptimo de humedad del suelo que ocasiona la insuficiente precipitación pluvial, pues se necesita compensar las necesidades de agua de los cultivos. por otra parte durante la aplicación del riego se pueden presentar diferentes tipos de situaciones que pueden ser benéficas o perjudiciales tales como:

-Asegurar un lavado de sales manteniendo un balance salino del suelo.

-Mejorar las condiciones físicas de laboreo de suelo y de residuos.

-Acumulación de agua en las partes bajas.

Arrastre de fertilizantes y nutrientes.

Perdidas de agua por percolación profunda.

-Otras actividades.

Debido a estas circunstancias, el conocimiento técnico del riego, a logrado importante desarrollo durante los últimos 30 años, en el que se ha involucrado, criterios y procedimientos precisos para racionalizar el agua de riego mediante un adecuado manejo de los suelos y agua, acondicionamiento

de tierras y empleo de infraestructura que permiten lograr altas eficiencias de conducción, aplicación y distribución del agua **(Rojas y Briones 1990)**.

# **PRACTICAS MECÁNICAS**

## ***Surcado en Contorno***

Esta práctica siempre es recomendable para la conservación del agua y del suelo y consiste en el trazado de los surcos en forma perpendicular a la pendiente natural del terreno, siguiendo las curvas a nivel.

Con los surcos perpendiculares a la dirección de la pendiente, el agua que no se infiltra de inmediato en el terreno pero que esta impedida en su escurrimiento, permanece acumulada a lo largo de los surcos por la barrera que forma los lomos de estos y las hileras de las plantas; Sin embargo cuando la duración e intensidad de las lluvias son excesivas, el agua acumulada suele rebasar el lomo de los surcos y originar una pérdida parcial de suelos.

Con esta práctica se logran los siguientes objetivos.

- 1.-Reducirla velocidad de los escurrimientos superficiales.
- 2.-Provocar una mayor infiltración del agua en el suelo y aumentar la humedad disponible para las plantas.
- 3.-Disminuir la erosión laminar de los suelos.
- 4.-Evitar la formación de cárcavas en terrenos con pendiente

Esta práctica es recomendable en terrenos con pendientes de hasta un 5 por ciento, cuando la pendiente es mayor, es necesario complementarla con otras prácticas mecánicas como son las terrazas.

Este sistema no es recomendable en regiones de fuertes precipitaciones y donde los terrenos son muy pesados (arcillosos) o que descansan sobre un subsuelo impermeable ya en escasas áreas y bajo dichas condiciones los excesos de agua perjudican el desarrollo de los cultivos.

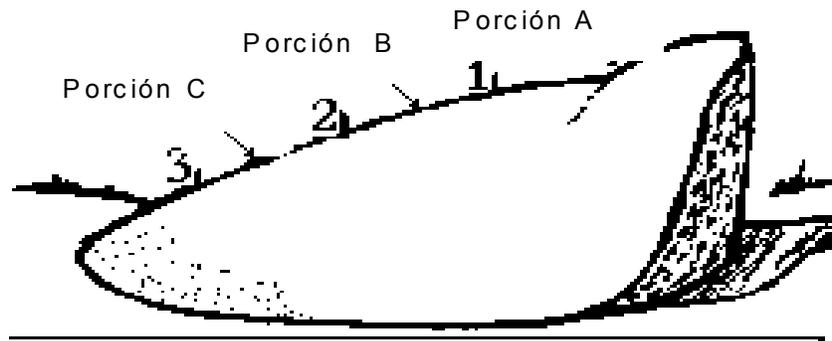
Para la ejecución de esta práctica es conveniente señalar sobre el terreno las líneas a nivel ( de elevación o elevación previamente determinada) que sirvan de guía al establecer el surcado.

Para hacer este trabajo de campo hay que tomar en cuenta las características topográficas del terreno, ya que si la topografía es de pendiente uniforme bastará con una sola línea guía y cuando esta sea irregular será necesario trazar más de dos líneas.

El procedimiento para establecer el surcado en contorno, es:

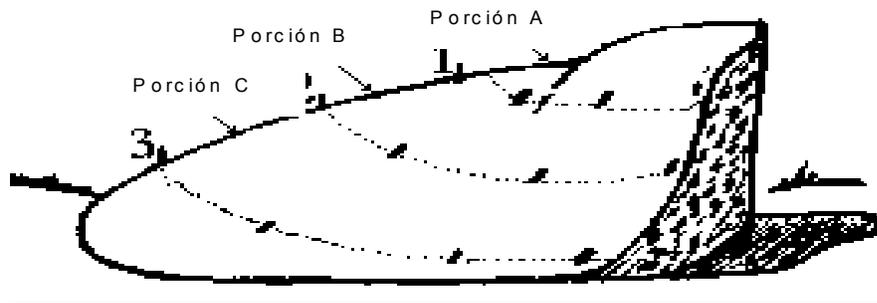
Localización y trazado de línea guía en terrenos de pendiente uniforme. Los pasos se describen a continuación.

1.-En el área de trabajo se localiza el área de pendiente máxima y se marca con una estaca en el punto medio de esa pendiente **Figura No. 1**



**Figura 1.** Localización de la pendiente y división en porciones.

2.-A partir del punto señalado con el punto inicial, se procede a trazar la línea guía o curva a nivel por medio de estacas separadas a 15 ó 20 metros. El trazado se hace con cualquier instrumento de nivelación (Trancito, altimetro, teodolito, etc.) **Figura No.2**



**Figura 2.** Localización de curvas a nivel

3.-Con los puntos previamente localizados se procede al trazado del surco o línea guía con los implementos agrícolas adecuados.

4.-Posteriormente se trazan los surcos paralelos a la línea guía, hacia arriba o hacia abajo, hasta cubrir todo el terreno, circunstancia en la cual todos los surcos se encontraran sensiblemente a nivel, ya que la topografía es uniforme **Figura No. 3**

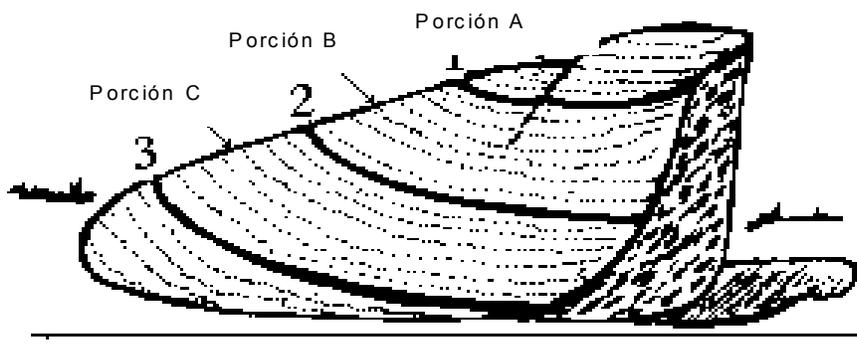


Figura 3. Trazado de surcos, con base a las líneas guías

Para terrenos con pendientes poco uniformes, las curvas a nivel no son paralelas ya que tienden a acercarse cuando la pendiente aumenta y a separarse cuando esta disminuye, en todo caso es necesario establecer varias líneas guías para que los surcos se mantengan lo más paralelo entre sí y en dirección paralela a la pendiente.

Estos pasos se detallan a continuación:

1.-Se localiza la línea máxima de pendiente y se divide en porciones de pendiente uniforme las cuales se delimitan con estacas y a cada una de las pendientes se les determina su pendiente media.

2.-Con la pendiente media de cada porción, se determina la separación que deba existir entre las líneas guías de acuerdo con los datos que aparecen en el cuadro No.2

Cuadro 6. Distancias a las que deben trazarse las líneas guías en cultivos a nivel, según la pendiente del terreno.

<b>Práctica mecánica</b>	<b>Pendiente media</b>	<b>Distancia entre líneas guías m.</b> *
surcado al contorno (SC)	1 - 3	50
	3 - 5	40
(SC)	6 - 8	30
complementada con otra práctica mecánica	8 - 10	20
	10 - 12	15
	12 - 15	10

**\*Debe medirse sobre el terreno.**

Con las distancias entre las líneas guías para cada tramo y a partir del punto más alto o cima se empieza a marcar con estacas las separaciones de cada línea guía en los diferentes tramos. Esto es variable en función de la longitud y pendiente media de cada tramo.

Con los puntos localizados y por medio de implementos de labranza de tracción mecánica o animal se procede a trazarse cada uno de los surcos que constituirán las líneas guías.

A partir de la línea guía, que son los trazos de referencia, se procede a surcar el terreno, según los diferentes criterios de laboreo.

## ***Terrazas.***

Las terrazas son los terraplenes formados entre los bordos de tierra o la combinación de bordos y canales construidos en sentido perpendicular a la pendiente del terreno y que están diseñadas para conducir y sacar el agua del campo, de tal modo que se contenga dominada la erosión.

Las terrazas son necesarias en los terrenos de labor donde las pendientes son hasta de el 2 por ciento y la longitud es superior a los 90 ó 120 metros dependiendo de las condiciones locales.

Los objetivos son:

- 1.-Reducir la erosión del terreno.
- 2.-Aumentar la infiltración del agua en el suelo para que pueda ser utilizada por los cultivos.
- 3.-Disminuir el volumen de escurrimiento que llega a las construcciones de aguas abajo.
- 4.-Desalojar los excedentes de agua superficial a velocidades no erosivas.
- 5.-Reducir el contenido de sedimentos en las aguas de escorrentia.
- 6.-Mejorar la superficie de los terrenos acondicionandola para las labores agrícolas.

Las terrazas cambian a una ladera de pendiente larga por un terreno con una serie de pendientes cortas que recogen y regulan el agua sobrante de una zona definida de terreno arriba. El agua recogida en el lecho de las terrazas puede llevarse a una zona protegida, en la que no cause daño.

Las terrazas ofrecen al agricultor más posibilidades para que planeen su sistema de cultivo. Con terrazas todo el campo puede cultivarse con una sola cosecha.

Para que un sistema de terrazas sea efectivo debe usarse en combinación con otras prácticas, tales como surcado al contorno, cultivos en fajas, rotación de cultivos y un manejo de suelo ajustado a su capacidad de uso, además se requiere de un sistema completo de manejo de agua, que debe incluir canales empastados desagües subterráneos, drenes y estructura de desviación de los excedentes que forman la escorrentía.

La adaptabilidad de las terrazas a una localidad depende de varios factores.

**Clima.** Las terrazas se adaptan a condiciones variables de clima, lo que difiere es el tipo de sistema a utilizar, así se tienen terrazas que almacenan el agua cuando la precipitación es menor de 750 milímetros, y terrazas que desalojan los excesos cuando la precipitación es abundante y las condiciones de suelo lo requieran.

**Erosión.** Cuando las terrazas se utilizan para recuperar terrenos fuertemente erosionados su construcción es costosa, el mantenimiento es constante y las operaciones de labranza son en general difíciles.

**Topografía.** Al aumentar la pendiente, la construcción, el almacenamiento de las terrazas y el laboreo, incrementan el costo hasta un punto tal, que en ocasiones los gastos sobrepasan a los beneficios que pudiera obtener en un tiempo razonable.

Los rangos de pendiente donde ya no se recomienda utilizar terrazas no se determinan por alguna fórmula, si no, por aspectos sociales, económicos y

técnicos, que incluyen prácticas de conservación adicionales por aplicar, las cuales deben analizarse para la construcción de terrazas, considerando en todos los casos que este sistema reduce la erosión de los suelos.

**Pedregosidad.** Los suelos extremadamente pedregosos no permiten una construcción práctica y económica de las terrazas con maquinaria, sin embargo su construcción es factible en áreas donde existe disponibilidad de mano de obra y se satisfacen los aspectos antes mencionados.

**Suelos.** La característica del suelo determina el tipo de terraza y desagüe que se deba utilizar, así como la profundidad de corte tolerable y el espaciamiento que debe existir entre terrazas.

Generalmente cuando los suelos son profundos y permeables, se puede construir cualquier tipo de terraza, en cambio si los suelos son poco profundos e impermeables, es necesario establecer terrazas que tengan un gradiente que permita la salida de los excesos de agua hacia un cauce natural o artificial debidamente protegido.

Según la condición de escurrimiento, la clasificación está en función de las características pluviales y de los suelos de la región, se consideran dos tipos.

**Terrazas con Declive o Drenaje.**

Este tipo se utiliza donde la precipitación es abundante, o las características de suelo permiten la acumulación que se debe desalojar. **(Ver Fig.4).**

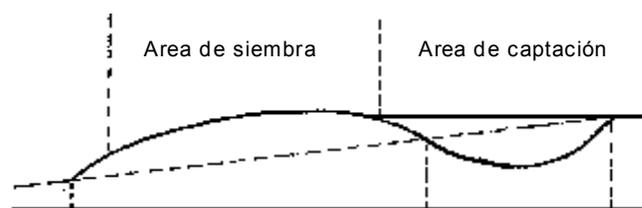


Figura 4. Terraza con declive

Estas terrazas deben funcionar esencialmente como sistemas de drenaje superficial conduciendo los excesos de agua a bajas velocidades (no erosivas). El canal es más importante que el bordo y deberá ser ancho, superficial y de suave pendiente. La tierra extraída de la excavación se deposita en el lado inferior del canal, pero el camellón formado no debe ser demasiado alto, si no por el contrario debe de quedar extendido para no estorbar las prácticas culturales. Debe iniciarse la construcción en la parte superior del terreno y la terraza superior deberá quedar cerca de la parte más alta tratando de que la zona de drenaje no sea de mayor extensión que la terraza. Donde haya tramos cortos de pendientes fuertes, las terrazas deberán colocarse arriba de esas desigualdades y no al pie de ellas. Es conveniente dividir la corriente de las terrazas en direcciones opuestas, usando para esto el parteaguas natural, y no trazar longitudes de drenaje mayores de 400 metros a cada lado.

Las terrazas de drenaje son pues, bordos bastante amplios con una base de cuatro a seis metros y una altura máxima, en su parte central de 45 centímetros, con un canal en la parte superior del terreno que tendrá un ancho de tres metros y cuarenta y cinco centímetros de profundidad.

El uso de las terrazas de drenaje está limitado a pendiente de tres a quince por ciento y la pendiente de trazo para el canal de drenaje deberá de ser de 0.4 por ciento aproximadamente.

El intervalo vertical de las terrazas es el desnivel que debe de haber entre puntos correspondientes de terrazas consecutivas y se estima con las fórmulas siguientes:

$$IV = 0.6 + \frac{s}{10} \dots\dots\dots(1)$$

$$IV = 0.6 + 0.0075 s \dots\dots\dots(2)$$

La fórmula (1), se aplica en áreas de precipitación menor de 750 mm anuales y la fórmula (2), para áreas de precipitación mayor de 750 mm anuales.

En ambas fórmulas:

IV = intervalo vertical (m).

s = pendiente (%)

El intervalo horizontal entre terrazas es la distancia horizontal que hay entre puntos correspondientes de terrazas consecutivas y se estima en las formulas siguientes.

$$\text{Para baja precipitación: } IH = 10 + \frac{60}{10}$$

$$\text{Para alta precipitación: } IH = 7.5 + \frac{60}{s}$$

Donde:

IH = Intervalo horizontal en m.

s = Pendiente.

### Terrazas a Nivel.

Recomendadas para terrenos con precipitaciones bajas o moderadas, que no excedan de 750 milímetros anuales, o donde los suelos son profundos con buena permeabilidad y capaces de absorber toda el agua de lluvia. Este tipo de terrazas se construye con canal amplio a nivel, de manera que el agua se almacena a lo largo de la terraza, algunas veces se cabecean los extremos para que en suelos permeables el agua infiltre y desfogue por medio del drenaje interno. **(ver Fig.5)**

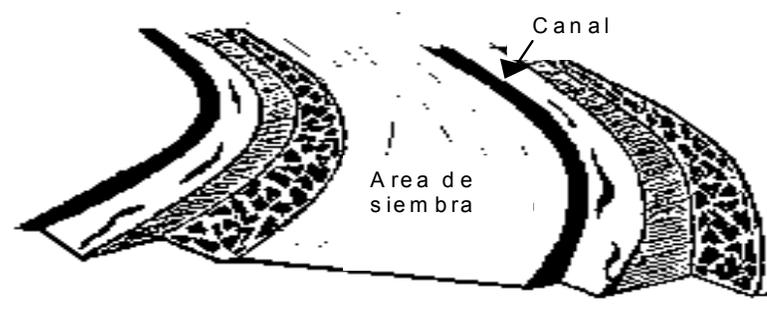


Figura 5. Terraza a nivel

### **Clasificación de las Terrazas de Acuerdo con el tipo de Sección Transversal .**

La sección transversal de una terraza esta formada de un bordo y un canal, dicha sección consta de dos pendientes laterales conocidas como pendiente de corte, pendiente frontal y contrapendiente.

De estas hay cinco tipos.

#### Terrazas de Base Ancha.

Este tipo de terrazas se construye de manera que se pueda laborear, en toda su sección transversal. Las pendientes del bordo y del canal se proyectan ara permitir el paso de la maquinaria y cubrir los requerimientos de anchura de la misma. **(ver Fig. 6)**



Figura 6. Terraza de base ancha.

#### Terrazas de Banco o Bancales.

Esta terraza se construye para formar bancos o escalones amplios y a nivel. El bordo tiene el nivel aguas abajo y debe ser protegido con vegetación permanente. Este tipo de terrazas aprovecha eficientemente el agua de lluvia o de riego.

No es recomendable cultivar pendientes mayores de 15 por ciento, sin embargo, si la circunstancias lo exigen se deben construir terrazas de banco.

Las terrazas de banco, llamadas también bancales y terrazas de escalón, son una de las formas más antiguas (y más efectivas), de combatir la erosión. consiste en fajas planas o de mínima pendiente a través de laderas con pendientes muy pronunciadas. cada terraza consta de un banco para el cultivo y n talud empastado, y pueden aprovecharse en esta forma terrenos con pendientes de hasta un 50 %. **(ver fig. 7)**

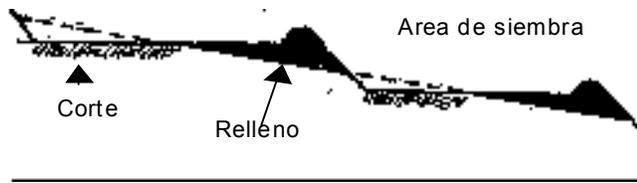


Figura 7. Terraza de Banco.

Los detalles de construcción variarán según el tipo y la profundidad del suelo y según la precipitación pluvial, detalles tales como: longitud de drenaje, pendiente longitudinal, taludes, ancho del banco, etc.

Generalmente no se trazan pendientes con longitudes mayores de 400 metros, la pendiente longitudinal varia desde cero hasta 0.3% (máximo), el talud varía de 1:1 a 2:1 para suelos pesados a ligeros es variable de acuerdo a la profundidad del suelo.

Para suelos someros el ancho deberá ser **VARIABLE** según se acerquen o se alejen las curvas de nivel, su intervalo horizontal se estima con la fórmula:

**IV = PR (suelos someros)**

$$IH = \frac{PR}{s} * 100 \text{ (suelo somero)}$$

$$IV = 0.6 + \frac{s}{30} \text{ (suelos profundos)}$$

$$IH = 3.3 + \frac{60}{S} \text{ (suelos profundos)}$$

Donde:

IV = intervalo vertical (m)

IH = Intervalo horizontal (m)

PR = Profundidad del suelo (m)

$s = \text{pendiente } (\%)$

### Terrazas de Bancos Alternos.

Este sistema de terrazas está constituido por una serie de bancales construidos en forma alterna con fajas de terreno natural, donde no se realiza ningún movimiento de tierra. Este sistema de terrazas se diseña para mejorar la configuración del terreno y lograr una mejor disposición de éste para las labores agrícolas. **(ver fig. 8)**

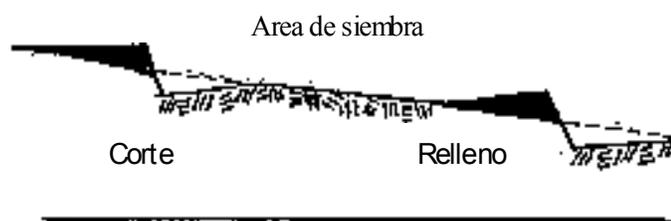
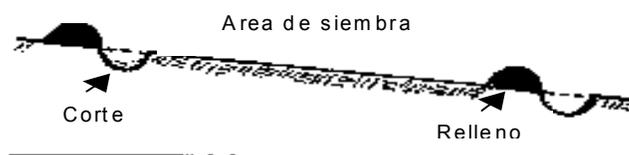


Figura 8. Bancos alternos

### Terrazas de Base Angosta.

LLamadas también de formación sucesiva. En este tipo de terrazas, la sección transversal está constituida por un bordo, el cual no se siembra, sino

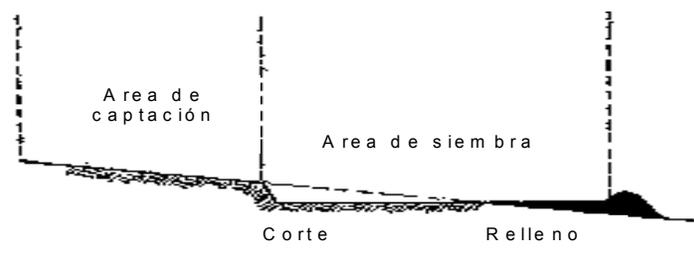


que se debe de proteger de la vegetación permanente. **(ver fig.9)**

Figura 9. Terraza de base angosta

## Terrazas de Canal Ancho o Zinng

Se construye un bancal a nivel en la parte baja de un área de captación. Esta terraza se diseña para la utilización máxima del agua. La anchura del canal varía dependiendo de la pendiente de terreno, profundidad permisible de



corte, anchura de la maquinaria, tipo de cultivo y precipitación pluvial de la zona. **(ver fig.10)**

Figura 10. Terraza de canal amplio.

## Clasificación de Terrazas de Acuerdo al Tipo de Desagüe

Terrazas de Desagüe Hacia un Cauce Empastado.

Este sistema se caracteriza por tener desagües hacia un cause empastado, el cual puede estar ubicado en cualquier parte del terreno. **(ver fig.11)**

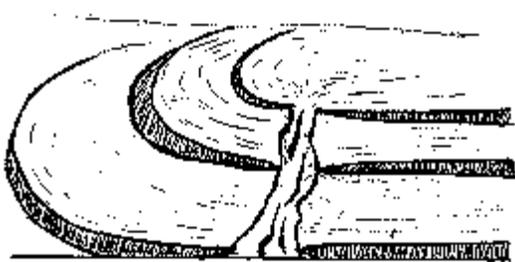


Figura 11. Terraza con desague hacia un cause empastado.

#### Terrazas con Desagüe hacia un Sistema de Drenaje Subsuperficial.

Este tipo de terrazas se caracteriza por conducir los excedentes de agua hacia las partes bajas, donde previamente se ha instalado un sistema de tuberías enterradas con entradas múltiples que permiten desalojar el agua. (ver

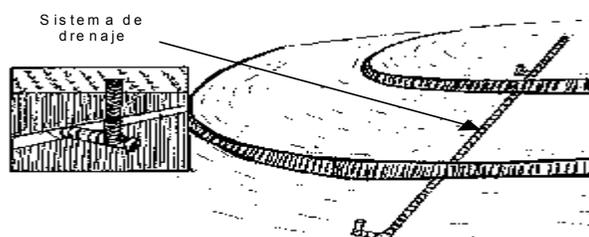


fig.12

Figura 12. Terraza con desague hacia un sistema de drenaje subsuperficial

#### Terrazas de Absorción ( este es el denominado terrazas a nivel).



Este sistema es denominado de terrazas a nivel, donde las acumulaciones de agua se infiltran a lo largo de dichas terrazas, a través del perfil del suelo. ver Fig. 13)

Figura 13. Terraza de absorción.

### **Criterios para Diseño de Terrazas .**

El espaciamiento entre terrazas depende principalmente de la pendiente, también influye la precipitación pluvial, la sección transversal de la terraza, los implementos agrícolas que se van a utilizar y el tamaño de las parcelas. Se les puede medir utilizando la diferencia de nivel entre ellas denominado intervalo vertical (IV) o considerando la distancia horizontal entre ellas que se conoce como intervalo horizontal (IH). Generalmente el intervalo horizontal se mide sobre el terreno (distancia superficial) sobre todo en pendientes pequeñas donde la diferencia entre las dos mediciones es despreciable. en pendientes fuertes sí debe utilizarse el intervalo horizontal, ya que la distancia superficial puede provocar errores considerables.

Procedimientos para calcular el espaciamiento entre terrazas.

**Fórmula que emplea o considera la pendiente o precipitación anual, para calcular el intervalo vertical.**

$$IV = \left( 2 + \frac{P}{3 \text{ ó } 4} - 0.305 \right)$$

Donde:

IV = Intervalo Vertical (m).

P = pendiente

3 = Factor que se utiliza en áreas donde la precipitación anual es menor de 1200 milímetros.

4 = Factor que se utiliza donde la precipitación anual es mayor de 1200 milímetros.

0.305 = Factor de conversión de pies a metros.

En caso de utilizar el intervalo horizontal en lugar de vertical se emplea la siguiente fórmula.

$$IH = \frac{IV}{P} * 100$$

Donde:

IH = Intervalo Horizontal (m)

IV = Intervalo Vertical (m)

P = Pendiente.

Cuadro 7 Espaciamiento entre terrazas al considerar la pendiente y la altura de la precipitación.

altura de la precipitación anual (mm)

Pendiente	altura de la precipitación anual (mm)		altura de la precipitación anual (mm)	
	menor de 1200 intervalo vertical	mayor de 1200 intervalo vertical	menor de 1200 intervalo horizontal	mayor de 1200 intervalo horizontal
2	0.81	0.76	40.50	38.00
4	1.02	0.91	25.50	22.75
6	1.22	1.07	20.33	17.83
8	1.42	1.22	17.75	15.25
10	1.62	1.37	16.20	13.70
12	1.83	1.52	15.25	12.66
14	2.05	1.68	14.50	12.00
16	2.24	1.83	14.00	11.43
18	2.44	1.98	13.55	11.00
20	2.64	2.13	13.20	10.65
22	2.84	2.28	12.90	10.36
24	3.05	2.44	12.70	10.16
26	3.25	2.59	12.50	9.96
28	3.45	2.74	12.32	9.87
30	3.66	2.90	12.20	9.67
32	3.86	3.05	12.06	9.53
34	4.06	3.20	11.94	9.41
36	4.27	3.35	11.86	9.30
38	4.47	3.50	11.76	9.21
40	4.67	3.66	11.67	9.15

50      5.69                      4.42                                      11.38                                      8.84

---

**Fórmula que utiliza como datos la pendiente del terreno , la intensidad de la precipitación y el tipo de suelo.**

La fórmula es la siguiente.

$$IV = a p + b$$

Donde:

IV = intervalo vertical. (m).

a = Variable que está en función de la intensidad de la precipitación, la que comúnmente varía de 0.089 a 0.18.

P = pendiente del terreno (%).

b = Variable que depende de la erodabilidad (\*) del suelo de los métodos de cultivo y de sus prácticas de manejo.

(\*) susceptibilidad del suelo a erosionarse.

1.-Para obtener el valor de "a" y aplicarlo a esta fórmula es necesario ubicar el área de trabajo en el **plano 1 (anexo)** de coeficientes de "a" para cálculo de espaciamiento entre terrazas.

2.-Obtener el valor de "b" en el **Cuadro No.8** considerando drenaje y cubierta vegetal.

**Cuadro 8** Valores de coeficiente "b" para calculo de espaciamiento entre terrazas.

<b>Valor b</b>	<b>drenaje interno del suelo.</b>	<b>cubierta vegetal en período de lluvias intensas.</b>
0.70	lento	escasa
0.45	rápido	escasa
	lento	escasa
0.60	rápido	abundante

### ***Nivelación de Tierras Agrícolas***

#### **Cortes y Rellenos**

Otro método para el control de erosión, y conservación de suelos es la nivelación de terrenos, para evitar escurrimientos que ocasionen la pérdida de suelo.

Supongamos que hay que excavar o rellenar una superficie dada hasta una cierta profundidad o altura, como en el caso de excavar los cimientos de una edificio o rellenar una parcela dada para dejarla plana.

Para esto se toman perfiles transversales, del modo que se indicará. Aunque ordinariamente los lados de los cuadrados en cuyos vértices se clavan las estacas, pueden ser menores de 100m.

llegando a veces a ser hasta de 3m. una vez determinada la pendiente de la superficie dada, y conociendo la profundidad o la altura de corte o del relleno se calcula fácilmente el volumen de tierra correspondiente. ( **Raymond, 1964**)

### **Procedimiento (Perfiles Transversales)**

Es frecuente en el caso de tener que determinar la verdadera forma del terreno en una cierta extensión como trabajo previo y auxiliar, para obras de riego, avenamientos, movimientos de tierra, edificaciones, etc. Para ello se divide la superficie de que se trate en cuadrados cuyos vértices se señalan con estacas, y se determinan las cotas de estos vértices y de todos los puntos en que haya un cambio de rasante. La longitud actual de los lados de estos cuadrados es de 100, 50, 25, ó 10 metros la dirección de las alineaciones se puede obtener con el teodolito o con una cinta o con estadía; Los desniveles se hayan con un equialtimetro o con un nivel de mano, todo ello dependiente del grado de precisión propuesto. Los datos de un levantamiento de esta clase son los mismos que se necesitan para confeccionar un trabajo de curvas a nivel.

**(Raymond y Foote 1970)**

Los objetivos de esta son:

Obtener un terreno el cual dadas sus características de topografía es posible acondicionarlo, y obtener un terreno plano, con la pendiente necesaria sin que afecte o se produzcan pérdidas de suelo.

Esto hace que la erosión se reduzca y el suelo se mantenga de una manera tal que proporcione las condiciones necesarias a los cultivos.

Y otro es mantener humedad en el suelo (**Joe W. Kelly Y Davis Raymond 1970**)

### ***Presas de Control de Azolves***

Estas estructuras se clasifican en permanentes y temporales, dependiendo del material que se emplee para construirlas, Sirven para disminuir la velocidad del agua de escorrentia, y en esta forma se depositan aguas arriba parte del material acarreado en suspensión, formando una capa de sedimento que bajo ciertas condiciones favorables, permiten que se establezca una cubierta vegetal que estabilizará totalmente el lecho de la cárcava (**Hudson , 1980**).

La vida útil de las presas de control de azolves del tipo temporal fluctúa entre dos y cinco años, tiempo en el cual es posible se logre la estabilización de la cárcava mediante vegetación nativa, y las presas de carácter, permanente, pueden tener una vida útil de hasta 40 ó 50 años.

Con el uso de las presas de control de azolves, se logra estabilizar en forma casi total el fondo de las cárcavas, se reduce la velocidad del agua y el deterioro en los taludes de la cárcava tratada. La estabilización será total solo cuando se desarrolle vegetación permanente que retenga el suelo en su sitio.

## **Especificaciones Generales para las Presas de Control de Azolves**

La altura efectiva en presas de carácter temporal, o sea la distancia de la cresta del vertedor y el fondo de la cárcava, no deben de exceder de un metro, ya que con las alturas mayores la presión aumenta y causa filtraciones a través y por debajo de la estructura ocasionando socavaciones muy difíciles de controlar, las cuales a menudo causan la destrucción de las presas.

La altura influye tanto en el espaciamiento como en el volumen de sedimentos retenidos. Cuando la finalidad de las presas es retener sedimentos estas son más altas, Ya que el volumen de sedimentos retenidos varía con el cuadrado de la altura efectiva de la presa. Por ejemplo. Una estructura de 90cm. de alto, retiene aproximadamente 9 veces más sedimentos que otras cuya altura sea de 30 cm.

Para determinar la altura de la presa se considera sobre todo que se pueda tener la sección necesaria requerida para que el vertedor de la estructura funcione correctamente.

Las presas de control de azolve de carácter permanente pueden tener una altura de hasta 5m. solo que se tienen que considerar los problemas inherentes a la estabilidad de las mismas.

El espaciamiento entre dos presas depende de la pendiente, de los sedimentos depositados, de la altura efectiva de las mismas y de la finalidad con el tratamiento de las cárcavas, ya que si se desea retener sedimento en exceso las presas serán muy altas, espaciadas a distancias más o menos

grandes, pero sí el objetivo es estabilizar las pendientes de la cárcava el espaciamiento y la altura de las cárcavas deben ser menores.

Las consideraciones del espaciamiento son:

a).-El espaciamiento más eficiente es cuando una presa de control de azolve se construye en la parte donde termina el sedimento depositado por la presa siguiente que se encuentra aguas abajo. (espaciamiento unitario).

b).-El volumen de agua que circula puede predecirse pero muy difícilmente se podrá calcular el volumen de azolves que acarrearán, sobre todo cuando hay obras de conservación de las cuales se desconoce la eficiencia para detener azolves.

c).-Aunque el costo de las presas depende del material empleado en la construcción, este es elevado para controlar mediante presas, las cárcavas que drenan las cuencas incluida en un programa de conservación de suelos.

d).-El presupuesto disponible para este tipo de trabajos generalmente es limitado, y difícilmente alcanza a cubrir las necesidades económicas de un programa completo de control de cárcavas.

En base a estas consideraciones es posible realizar un programa de control de azolves en base a dos alternativas.

-Construir presas en base a la primera consideración, antes indicada llamadas pie - cabeza esto es que la cota de la base de la presa, coincida con la cota del vertedero de la presa aguas abajo.

-Construir las presas dando el doble del espaciamiento antes indicado, esto reducirá a la mitad el número y costo de las presas (**C.P. Chapingo, 1977**).

1.-Puesto que no se conoce el volumen de azolves que circulan en la cárcava, ni la eficiencia de las demás prácticas establecidas, para controlar azolves, en la cuenca tributaria, algunas cárcavas logran estabilizarse sin que necesariamente se llenen de azolve todas las presas construidas en ellas, esto hace ver que algunas construcciones son innecesarias.

2.-La velocidad del flujo que circula por la cárcava se ve afectada al ser obstaculizada por las presas, independientemente del espaciamiento entre ellas.

3.-Al reducirse la velocidad del flujo, es posible el desarrollo de vegetación nativa, que acelere la estabilización de la cárcava.

4.-Este criterio reduce el costo de construcción de presas a la mitad.

5.-En caso de no lograrse la estabiización de la cárcava y que las presas hayan captado su máximo de azolve, se podrán construir las presas intermedias para las cuales se había reservado un espacio.

La fórmula utilizada para calcular el espaciamiento unitario entre presas bajo la consideración de que los sedimentos retenidos por estas se depositan exactamente a nivel, es la siguiente.

$$E = \frac{H}{Pc} * 100$$

Donde:

E = Distancia entre dos presas consecutivas (m)

H = Altura efectiva de la presa (m)

Pc= Pendiente de la Cárcava (%)

Generalmente los sedimentos retenidos por las presas de control no se encuentran exactamente a nivel, si no que tienen un declive determinado, el cual varia de acuerdo a los materiales sedimentados y la pendiente inicial de la cárcava.

De acuerdo con la clase de sedimento, la inclinación de estos es del 2% para las arenas gruesas mezcladas con grava, 1% los sedimentos de texturas medias (francos) y 0.5 % para sedimentos finos limosos y arcillosos.

En base a esto, para determinar la distancia unitaria entre dos presas de control consecutivas, se utiliza la siguiente fórmula:

$$E = \frac{H}{P_c - P_s} * 100$$

Donde:

E = Distancia entre dos Presas consecutivas (m)

H = Altura efectiva de la presa (m)

P<sub>c</sub> = Pendiente de la cárcava (%)

P<sub>s</sub> = Pendiente del sedimento (Varia del 0.5% a 2.5%)

## ECUACIÓN UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO.

Para predecir la pérdida del suelo la ecuación universal propuesta por **Wischmeier y Smith (1965)**, es un modelo que ha sido desarrollado con base en los datos de numerosas estaciones meteorológicas y parcelas experimentales, con nueve por ciento de pendiente y 22.13 m de longitud. los datos de más de 7000 parcelas año y 500 cuencas año de precipitación sirvieron para perfeccionar la obtención de los factores de la ecuación universal de pérdida de suelo (EUPS) en Estados Unidos de América (**Meyer, 1984**).

En esta ecuación se considera que la pérdida de suelo es causado por efecto combinado de la erosividad de la lluvia, erodabilidad del suelo, longitud y grado de pendiente ( como factores erosivos), así como el manejo de los cultivos y las prácticas mecánicas de conservación como factores atenuantes (**Wischmeier et al., 1958**).

El modelo que originalmente se presento en otras unidades ahora se puede expresar en unidades métricas de sistema internacional y es el siguiente (**Foster et al., 1981**).

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

Donde:

A = Pérdidas de suelo por erosión Ton/ha/año.

R = Índice de erosividad de la lluvia Mega-joules  
mm/ha/h/año.

K = Erodabilidad del suelo. Ton/h/mega-joules mm.  
L = Longitud de la pendiente m.  
S = Grado de la pendiente %.  
C = Factor de la cubierta vegetal (Adimencinal).  
P = Factor prácticas de conservación. (adimencinal)

La importancia de este modelo radica en que sirve como guía a nivel parcelario para definir de una forma más segura el establecimiento de agrosistemas y prácticas mecánicas conservacionistas (**Wischmeier y Smith, 1962**). Por lo mismo y su rapidez en la estimación de la pérdida de suelo, se ha tratado de adoptar en diversos países ensayándola y en ocasiones, modificando la obtención de los factores acorde a las condiciones propias de las regiones en estudio.

Al mismo tiempo en los Estados Unidos siguen los esfuerzos por mejorarla.

**Edwards y Charman (1980)** concluyeron que el sistema usado en Australia no es útil par predecir la pérdida de suelo y en cambio la EUPS es de uso potencial par tal propósito.

Los resultados de los análisis de 39 cuencas en el sur este de EE. UU. sugieren que la EUPS puede ser usada para estimar la erosión de sabana y arroyuelos, para condiciones forestales donde la ecuación se aplica apropiadamente (**Dissmeyer y Foster, 1981**).

La adaptación de la EUPS, es posible en la región del pacifico Norte este de tierras áridas y se extiende en las áreas intermontañas con el mismo tipo de tierra así como a otras áreas del Este no montañosas en Washington, Oregon e Idaho (**Mc Cool et al., 1982**).

**Arias (1980)** trabajando en Texcoco, México con la EUPS concluye que esta presenta más ventaja que el sistema IUM (Colombiano) y que los

resultados demuestran que el EI<sub>30</sub> (Índice de erosión de la lluvia para la máxima intensidad en 30 minutos) es el índice de erosividad de la lluvia que mejor correlaciona con la pérdida de suelo anual. Por lo tanto sugiere utilizar índices de erosividad en base anual.

### ***Factores de la Ecuación***

#### **Factor "R"**

Con base a numerosos análisis de regresión de datos básicos de pérdidas de suelo, usados para determinar el mejor indicador de la capacidad de las tormentas para erosionar el suelo, **Wischmeier (1959)** encontró que los datos de precipitación pluvial que mejor explican el efecto erosivo de la lluvia, es la energía cinética total multiplicada por la intensidad máxima de ese evento en 30 minutos ( $I_{30}$ ).

Este producto se define como EI<sub>30</sub> y su valor anual es la suma de los valores por eventos y se representa con el símbolo "R" y matemáticamente se expresa:

$$R = \sum_{n=1}^n EI_{30}$$

**Wischmeier (1962)** a partir de datos de lluvia elaboró mapas de iso-erodentas (líneas que unen puntos de valor de R) para los estados unidos de América, y plantea que si todos los factores de la ecuación permanecieran constantes, la pérdida de suelo sería directamente proporcional al valor de R.

El factor R se calcúla a partir de pluviogramas, no obstante existen bastas regiones que no tienen registros pluviográficos, por lo cual se hace

necesario el desarrollo de métodos alternativos que involucren cantidad de lluvia, es decir el uso de pluviómetros está más generalizado y con sus datos deberán explorarse técnicas que permitan estimar el factor R.

A partir de los datos de cantidad mensual y anual de precipitación pluvial puede calcularse el R1 que correlaciona muy bien con el R de la EUPS (FAO,1980) dicho índice se calcula así.

$$R_i = \frac{\sum_{i=1}^{12} P_i^2}{P}$$

Donde:

P<sub>i</sub> = Precipitación mensual

P = Precipitación anual

### Factor "K"

La erodabilidad (factor K), es una característica intrínseca del suelo que está determinado por las diversas propiedades de este. Se define como el aumento en pérdida de suelo por cada unidad adicional de EI<sub>30</sub> cuando LSC y P permanecen constantes. Su valor puede ser obtenido de datos de lotes experimentales al resolverse la ecuación

$$K = \frac{A}{EI} \quad \text{o bien} \quad K = \frac{A}{R}$$

Los lotes experimentales deberán cumplir con las siguientes condiciones: Nueve por ciento de pendiente, 22.13 m. de longitud y encontrarse libre de vegetación y bajo cultivo continuo; en estas condiciones los factores LSCP son iguales a uno (**Wischmeier y Smith, 1978**). En dado caso la parcela que no cumpla con los requisitos anteriores, la erodabilidad puede obtenerse si se igualan así:

$$K = \frac{A}{RLSCP}$$

El método así planteado es largo y costoso y los resultados rara vez pudieran ser reproducidos.

Con el objeto de abreviar tiempo y reducir costos **Wischmeier y Mannering (1969)** analizando propiedades suelo y su relación con su erodabilidad, encontraron una ecuación de regresión múltiple con 24 variables para predecir K, pero lógicamente su aplicación era complicada.

**Epstein y Grant (1971)** plantean que las propiedades de la superficie del suelo definen la erodabilidad del mismo.

Ahora propone el uso de un monograma con el que conociendo 5 propiedades del suelo, es posible determinar el valor de K. El mencionado monograma es una solución gráfica a la siguiente ecuación (**Wischmeier y Smith, 1978 y USDA, 1981**).

$$K = \frac{2.1 M^{1.14}(10^{-4}) (12 - a) + 3.25 (b-2)+2.5 (c-3)}{100} * 1.313$$

100

Donde:

M = Porcentaje de partículas de 0.1 - 0.002mm \* 100 -  
porcentaje de arcilla.

- a = Porcentaje de materia Orgánica.
- b = Código de estructura del suelo utilizado en la clasificación de los suelos.
- e = Clase de permeabilidad del perfil.

### **Factor "LS"**

Originalmente fue considerado por separado como factor L (longitud) y factor S (pendiente), no obstante por depender de la misma condición del terreno, Prácticamente ahora es tomado como un solo (LS). La longitud se mide a partir de la cima hasta la corriente de agua más cercana que transporte a los sedimentos o hasta el lugar donde se depositen las partículas **Wischmeier y Smith, 1978**).

Se han desarrollado ecuaciones que permiten computar estos factores para cuando la pendiente (dominante en el terreno) es uniforme o bien irregular (**Mitchell y Bubbenzer, 1984; Foster y Wischmeier, 1974**).

**Mutcher y Greer (1980)** Usando un simulador de lluvia para producir erosión y obtener los datos en parcelas de 23, 46, 91 y 813 m. de longitud sobre una pendiente del 0.2 por ciento, recomiendan el uso de  $m = 0.15$  (exponente usado en las fórmulas para determinar LS) para pendientes menores de 0.5 por ciento.

Mientras más plana sea la pendiente de suelo medida, y aquella discrepancia entre la pendiente de suelo media, y la pronosticada por la ecuación universal. Esta discrepancia se acerca a cero para pendientes de aproximadamente tres por ciento (**Murphree y Mutchler, 1981**).

**Castro y Zobeck (1986)** comparando los valores de LS para pendientes cóncavas, complejas, convexas y uniformes (Explorando un rango de 30.5 a 244 m y de uno a 20 por ciento de gradiente) bajo condiciones iguales de longitud

en los segmentos, igual número de segmentos e igual porcentaje en el gradiente encontraron que el valor LS se incrementa siguiendo este orden: cóncava, uniforme, compleja, convexa. (de menor a mayor).

Así mismo menciona que dividir la pendiente en tres segmentos, antes de iniciar los cálculos, es suficiente para obtener una razonable estimación de LS.

### **Factor "C"**

El factor de manejo de los cultivos representa la relación de la pérdida del suelo a partir de una condición específica de cultivo o cobertura con la pérdida de suelo a partir de un estado de labranza y barbecho continuo para el mismo suelo, pendiente y precipitación pluvial. Este factor incluye los efectos interrelacionados de la cubierta, la secuencia de los cultivos, el nivel de productividad, duración de la estación de crecimiento, prácticas de cultivo, manejo de residuos y distribución de la precipitación pluvial. La evaluación del factor C es a menudo difícil debido a los múltiples sistemas de cultivo y de manejo (*Mitchell y Bubbenzer, 1984*).

*Wischmeier (1960)* elaboró una tabla donde presenta como porcentaje las pérdidas de suelo, para cada período en la etapa de cultivo para varias secuencias y niveles de manejo, esta tabla se completa con los mapas índice de erosión de la lluvia y las curvas de distribución mensual computarizadas de los registros de precipitación localizadas en otro trabajo del mismo autor (*Wischmeier, 1959*).

## **Factor "P"**

El factor del método de control de la erosión hídrica es la proporción de la pérdida de suelo cuando se hace uso de alguna practica especifica, en comparación con la pérdida de suelo cuando se cultiva en laderas de colinas.

Los métodos de control de la erosión que por lo general se incluyen en este factor son: surcado en contorno, el cultivo en fajas y el terraceo **(Mitchell y Bubenzer,1984)**

**Ruiz y Anaya (1980)** determinaron los valores de la P al evaluar cinco tipos de terrazas en la región de Texcoco por dos años consecutivos, no obstante señalan que en los valores encontrados está implícita la influencia que ejercen para el control de la erosión de los surcos a nivel que se establecieron en cada sistema de terrazas.

Se analizaron los datos y se derivó una ecuación para la deposición de las partículas de suelo que sirve para determinar los valores del factor P para terrazas. Estos valores son utilizados para la planeación de la conservación de los suelos como parte de la EUPS **(Foster y Highfill, 1983)**.

## ***Otras Técnicas de Evaluación de los Factores***

El uso de los sensores remotos y la cartografía se ha hecho cada vez más frecuente en la clasificación de los suelos por erosión y en el manejo de la EUPS.

**La FAO (1980)** en un esfuerzo por ampliar la aplicación de la ecuación la modificó y estableció una metodología provisional para su uso que se basa en

la obtención de los factores por medio de cartografía, imágenes de satélite, etc, menos, desde luego, el factor que implica la erosividad de la lluvia (**Estrada y Ortiz, 1982**).

**Morgan y Nalepa (1982)** trabajaron con fotografías aéreas de color infrarrojo para determinar los factores C y P, mientras que el factor LS lo calcularon a partir de mapas topográficos. Los resultados indican que se ahorró un tiempo considerable al usar la fotointerpretación para computar los factores de erosión en estudio.

**Stephens et al., (1986)** mediante un estudio con fotografías aéreas de color infrarrojo escala 1:27,000 y 1:10,000 así como un mapa de suelos escala 1:63,360 propone un procedimiento de oficina para calcular los factores L, S, C y P de la ecuación que además de ser más rápido presenta una correlación con los datos de esos factores obtenidos en el campo.

Emplearon un nuevo método, en el que se usan mapas topográficos, en treinta perfiles de cuencas y comparándolo con el procedimiento de campo, **Wilson (1986)** menciona que el método propuesto es prometedor para estimar con exactitud el valor de LS en cuencas a fin de usarlo en la aplicación de la EUPS.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

1.-Para diseñar un método de control de erosión causada por el agua, se deben de tomar en cuenta los principios fundamentales que serán la guía para cualquier método, estos principios son, proteger la superficie del suelo del impacto de las gotas de lluvia; evitar la concentración de agua y escurrimientos a favor de la pendiente; obstaculizar el escurrimiento del agua hacia las partes bajas, de modo que escurra lentamente y favorecer la infiltración del agua en el suelo.

2.-Para la erosión eólica se recomienda un control a base de cultivos o barreras que aminoren la velocidad del viento, así como mantener húmeda la superficie del suelo, para evitar la pérdida de este al suspenderse las partículas de suelo y ser depositadas en otras áreas.

3.-El uso de cultivos para proteger al suelo del agua, y del aire se hace indispensable, ya que estos cultivos o pastos aminoran el golpeteo directo de las gotas de lluvia evitando el fenómeno de dispersión de partículas. También aminoran la velocidad del aire evitando la suspensión de partículas por aire, y por consiguiente anulan el efecto de estos dos factores.

4.-Sobre los métodos tradicionales para cuantificación de pérdidas se concluye que solo evalúan pérdidas en las áreas y tiempos en que se establecen, no siendo de mucha confiabilidad.

5.-Para el control de la erosión en lugares con pendientes consideradas hasta cierto punto normales, los surcos en contorno así como los diferentes tipos de terrazas mencionadas, hacen una manera fácil de corrección a este problema, haciéndose notar que la construcción de estas obras, se ve limitada no tanto por factores naturales, si no, por factores sociales y económicos principalmente.

6.-La aplicación de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (EUPS) en nuestro país ha sido el mejor método para cuantificar pérdidas por erosión , pero la discontinuidad en la toma de datos de precipitación hacen que esta tenga modificaciones, y se obtienen resultados los cuales se rigen por datos estadísticos que pueden extrapolarse.

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Beasley, R. P. Erosion and sediment pollution control. R.P. Beasley.  
Iowa:Iowa State University, 1980 c1972. 320 páginas.

Bennett, Hugh Hammond. Elementos de conservación de suelo. Hugh  
Hammond Bennett. Segunda edición New York. 1955, c1947. X.358  
páginas.

Colegio de postgraduados Chapingo, México S.A.R.H., y S.P.P. Manual  
de conservación del suelo y el agua. 600 Pg. 1977. Editorial del Colegio de  
Postgraduados.

Davis, Raymond E. Tratado de topografía/ Raymond E. Davis, Francis S.  
Foote y Joe W. Kelly. Madrid. Aguilar Editoriales 1964. 976Paginas.

Eduardo A. Barreira (1978). Fundamentose de Edafologia para la  
Agricultura. 154 páginas. Editorial Hemisferio sur S. A. 1978 Impreso en  
Argentina.

Estrada B. W., J. W. y C. A. Ortiz S. 1982. Plano de Erosión Hídrica del suelo de México. Su presentación Escala 1:8 000,000 Obtenido por la metodología FAO (1979) Geografía Agrícola No. 2 : 24-30 México.

Foth, Henry D. Fundamentos de la ciencia del suelo en: Henry D.Foth. Sexta edición. New York: Wiley, 1978. 436 páginas.

Foth Henry D. Fundamentos de la ciencia del suelo en: Henry D. Foth y L. N. Turk. quinta edición New York: J.Wiley, 1972 XI, 454 páginas.

Gregorio Sarabia Ruiz. (1987). Estimación de pérdidas potenciales de suelo utilizando la Ecuación Universal en la Angostura, Municipio de Saltillo Coahuila. Tesis Maestria.

Hudson Norman Soil conservation/Norman Hudson. New York; Cornell University press, 1973, c1971 320 páginas.

Harry O. Buckman y Nyle C. Brady (1977). Naturaleza y pérdidas de los Suelos. Texto de edafología para enseñanza. Montaner y Simon. S. A. Barcelona.

La erosión del suelo por el agua: Algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo. FAO. Roma, Italia. FAO: Fomento de tierras agrícolas y aguas; 7/FAO:(Cuadernos de Fomento Agropecuario; 81).

La erosión eólica y medidas para combatir en los suelos agrícolas. FAO. Roma, Italia FAO, 1978, c1961.XXI. 207 páginas (FAO. Cuadernos de fomento agropecuario, 81).

M. J. Kirkby, R. P. C. Morgan (1984). Erosión de suelos. 375 páginas. primera edición 1984, Editorial Limusa México D.F.

Mitchell J. K., G. D. Bubenzer. (1984). Estimación de la pérdida del suelo en: Kirkby M. J. y R. P. Morgan. Erosión de los suelos. Editorial Limusa. S. A. México 375 páginas.

Morgan K. M., and R: Nalepa. 1982. Application of aerial Photograpie and computer analysis to the USLE for aereaulide Erosion studies. Journal of soil and water conservation. 37(6):347-350.

Mitchell J. K., G. D. Bubenzer. (1984). Estimación de la pérdida del suelo en: Kirkby M. J. y R. P. Morgan. Erosión de los suelos. Editorial Limusa. S. A. México 375 páginas.

Morgan K. M., and R: Nalepa. 1982. Application of aerial Photograpie and computer analysis to the USLE for aereaulide Erosion studies. Journal of soil and water conservation. 37(6):347-350. Ankeny, Iowa.

Miguel Martínez Planas y Luis Ticó Roig (1975). (peritos Agrícolas) agricultura Práctica. 255 Ilustraciones, 8 Láminas en color. 680 páginas. Editorial Ramon Sopena, S.A. 1975.

Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. La erosión del suelo por el agua: Algunas medidas para combatirlas en las tierras de cultivo FAO. Roma, Italia FAO, c1967. XXI 207 páginas (FAO: Cuadernos de fomento agropecuario; 81).

Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Lecturas especiales sobre técnicas de conservación FAO. Roma, Italia. FAO c1978. 106 páginas (Guía FAO conservación de suelos; 4)

Patricio Th. Farrel (1963). Enciclopedia práctica del Agricultor. Volumen IV. Labores Agrícolas. 495 páginas. Editorial Síntesis Ronda 4 Barcelona 7.

Servicio de lenguas extranjeras. Secretaría de estado. de los Estados Unidos de América Washington D.C. Manual de conservación de suelos 331 páginas Editorial Limusa-Wiley, S.A. México 1973.

Wischmeier, W. H. 1959. A. Rainfall erosion index for a universal soil-loss equation soil Sci. Amer. Prec. 23(3):246-249 Madison, Wisconsin.

Trinidad, S.A. 1987. El uso de abonos Orgánicos en la Producción Agrícola. Serie de cuadernos de edafología 10: Centro de Edafología, Colegio de postgraduados, Chapingo México.

SARH, UAAAN y FERTIMEX 1980 Guía de fertilización. Directorio del patronato del estado de Coahuila. Compilación. Pedro Pacheco Badillo.

Lindolfo Rojas P. y Gregorio Briones S. 1990 Sistemas de Riego. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Imprenta UAAAN. Noviembre 1990.