

ANEXO No 43

PRACTICAS AMBIENTALES PARA MINIMIZAR O REDUCIR RIESGOS AMBIENTALES A CONSIDERAR EN LA FORMULACION DE LOS PGAS DE SUBPROYECTOS DE ALIANZAS COMUNITARIAS Y PRODUCTIVAS DEL PAR III¹

1. PRACTICAS AGRONÓMICAS

Las prácticas agronómicas son aquellas labores que permiten en forma preventiva la conservación del suelo gracias al mantenimiento o incremento de su fertilidad natural, principalmente mediante el manejo de cultivos y suelo.

Para tal efecto, es fundamental respetar la aptitud de los suelos, localizando los diferentes tipos de cultivos (limpios, semi-limpios, densos, pastos, etc.) según las potencialidades y restricciones que presentan los suelos.

En general las prácticas culturales son prácticas bastante simples que no requieren grandes inversiones (costos y en mano de obra), ni requieren técnicos especializados. Por otro lado, los resultados de su implementación se pueden observar a corto y mediano plazo en el terreno y por eso resultan interesantes y atractivas para los agricultores. Estas prácticas deberían ser utilizadas en forma preventiva y complementaria en las diferentes actividades o sistemas de producción que implementara el PAR II en las diferentes regiones priorizadas por el proyecto en tres regiones del territorio boliviano.

Entre las prácticas agronómicas que se han recomendado son:

- Rotación de Cultivos (con la incorporación de leguminosas), y sus prácticas complementarias como uso del estiércol y otros abonos orgánicos (abonos verdes, compost, humus de lombriz y otros), coberturas vegetales.
- Surcos en Contorno
- Cultivo en franjas
- Labranza conservacionista

a) Siembra en Surcos en Contorno

Es de conocimiento general que en diferentes regiones del país el agricultor usa generalmente los surcos en sentido de la pendiente para la siembra de sus cultivos anuales, por diferentes motivos entre los que destacan:

- Parcelas demasiado angostas en sentido de la pendiente.
- En parcelas angostas es dificultoso que la yunta pueda girar al final del surco, ya que en los límites de las parcelas se amontonan las piedras sacadas del terreno, se puede invadir las parcelas vecinas y por otro lado, se tarda demasiado durante las vueltas.
- Comodidad.
- Para los agricultores es más fácil abrir los surcos en sentido de la pendiente que de manera transversal (Pero desde el punto de vista técnico, es una práctica prohibitiva).

¹ Fuente: *Marco de Gestión Ambiental del PAR II-FA, 2016. MDRyT-Programa EMPODERAR*

- Exceso de humedad para el cultivo de papa y otros.
- Existe cierto riesgo de que los surcos en contorno favorezcan la retención excesiva de humedad y afecten a los cultivos como la papa, que son susceptibles al exceso de agua y por consiguiente favorecer a la proliferación de plagas y enfermedades.

Sin embargo, la siembra con ayuda de surcos en sentido de la pendiente, es una de las principales causas para la erosión de los suelos para, para tal efecto, es fundamental cambiar esta mala práctica, por los surcos en contorno.

Los surcos en contorno, es considerada como una práctica conservacionista básica en el manejo y conservación de suelos y aguas, la misma que consiste en la disposición de las hileras (surcos) de cultivo en sentido transversal a la máxima pendiente del terreno y siguiendo las curvas de nivel. De esta manera cada surco paralelo a la curva de nivel se convierte en una pequeña barrera temporal para el agua de escurrimiento.

Los objetivos principales de esta práctica son:

- Reducir la velocidad erosiva del agua de escurrimiento superficial y por consiguiente evitar la pérdida de suelo fértil, semillas, abonos, etc.
- Favorecer la infiltración y almacenaje del agua en el suelo y ayudar a mantener una mayor humedad en la capa arable, en comparación con las siembras en surcos en sentido de la pendiente. Esto permite un mejor aprovechamiento del agua y nutrientes por los cultivos y un aumento de la producción.
- Facilitar el riego por surcos sin provocar erosión.

Si la siembra se lleva a cabo en surcos en contorno, se recomienda que los desyerbes, aporques y otros, se realicen necesariamente en el mismo sentido.

En el diseño de los surcos en contorno es importante considerar: la profundidad del suelo, distanciamiento entre los surcos, pendiente del terreno y la longitud de la parcela.

La profundidad y distanciamiento entre los surcos, dependen principalmente del tipo de cultivo a sembrarse y del tipo de suelo. En el caso de la papa, la profundidad de los surcos debería tener luego del aporque 30 cm y la distancia entre surcos de 60 a 80 cm.

Las curvas a nivel pueden ser trazadas:

- A nivel.
- Con cierta pendiente.

En zonas secas, donde no existe riesgo de precipitaciones elevadas, es aconsejable el trazado de los surcos en contorno sea a nivel, con el propósito de captar o “cosechar” la mayor cantidad de agua de lluvia, formando una especie de pequeña microcuenca.

En zonas que presentan precipitaciones concentradas durante el periodo vegetativo o debido al cambio climático, pueden afectar los cultivos, se recomienda abrir los surcos con cierta pendiente diagonal (1 a 3 %). En suelos medianos (francos), la pendiente adecuada debe ser de 1,5 a 2 %, mientras que en zonas de mayor precipitación los surcos pueden tener un desnivel aproximado a 3 % para evitar el encharcamiento del suelo y facilitar la evacuación del agua sobrante para que no

afecte a los cultivos susceptibles a humedades altas (ej: papa). Asimismo, es recomendable que la longitud de estos surcos no exceda los 100 m de largo, para impedir la acumulación de mucha agua al final de los mismos; esto en razón a la baja capacidad de los surcos.

En zonas secas, de valles mesotérmicos pero con alta variabilidad espacial y temporal de las lluvias, se puede construir los surcos en contorno, con la pendiente señalada anteriormente, dejando en el fondo de los surcos tabiques transversales de tierra; esto con el propósito de retener las escasas lluvias de dichas zonas. Sin embargo, esta práctica representa un trabajo adicional.

La siembra en surcos en contorno se debe utilizar en pendientes mayores a 5 %. Sin embargo, esta práctica no es suficiente en terrenos con pendientes que sobrepasa los 10 % y los suelos son poco permeables. En este caso debe complementarse con otro tipo de prácticas como: barreras vivas o muertas, acequias de desagüe, etc.

Previo a la apertura de los surcos en contorno es importante ubicar y trazar en el terreno varias curvas “guía” (líneas base o líneas maestras), cada cierta distancia (10 a 30 metros).

Para el trazado de las curvas guía se puede utilizar el “nivel en A”, el “caballete”, u otros instrumentos que permitan este trabajo. Las líneas guía se pueden marcar con ayuda de una línea abierta con una picota o marcándolas con ayuda de piedras.

La apertura de los surcos de siembra se realiza en los espacios ubicados entre dos curvas guía y en forma paralela a estas. Estos se pueden abrir de acuerdo a las posibilidades del agricultor (yunta, tractor o a mano). Esta práctica es una de las más sencillas y no requiere gastos adicionales.

Según Bragagnolo (1995) los beneficios medibles y notorios en forma inmediata son:

- La reducción del riesgo de perder las semillas recién sembradas (por ejemplo en el caso de cereales, hortalizas y otros cultivos de semillas pequeñas). En el caso de la papa y otros cultivos que se aplican abonos orgánicos, se evita la pérdida de los nutrientes por el lavado del agua. El resultado final en estos casos es una mejor relación beneficio/costo y muchas veces también un mayor rendimiento.
- Un beneficio menos visible, pero bastante importante a mediano y largo plazo, es la disminución de la pérdida de la capa más fértil del suelo (capa arable).
- Los surcos en contorno facilitan la aplicación del agua de riego en tierras en pendiente y asegura una distribución más homogénea en el terreno, que a la vez resulta en un cultivo con desarrollo más homogéneo.
- En terrenos a secano, como lo es en gran parte del Altiplano, la mayor infiltración de agua mantiene el suelo húmedo por más tiempo, lo que contribuye a una disminución de riesgos de sequía y generalmente a una mayor producción.

Según este autor si estas prácticas son aplicadas a gran escala podrían ayudar a regular el balance hídrico de la (micro)cuenca evitando riadas y daños consecutivos.

b) Rotación de Cultivos

A fin de lograr un uso sostenible del recurso suelo en las diferentes Regiones del país, el desarrollo agrícola debería considerar los siguientes criterios de la FAO para lograr una producción sostenible:

- Manejar la Rotación de Cultivos, alternando diferentes cultivos, los mismos que requieren nutrientes variados, por otro lado requerimientos de agua tolerancia a las plagas y enfermedades y otros.
- Mantener los suelos cubiertos y evitar su exposición a los agentes a de la erosión.
- Promover la labranza mínima del suelo, en razón de que la labranza convencional incide sobre la degradación de los suelos (pulverización, compactación, disminución de la MO y otros).

La rotación de cultivos es una práctica agronómica que consiste en la sucesión de diferentes cultivos en una parcela o terreno de forma más o menos regular y planificada.

La rotación de cultivos tiene como objetivo mantener la fertilidad del suelo gracias a un aprovechamiento más equilibrado de los nutrientes y agua por los diferentes cultivos de la rotación, evitando además la propagación de plagas y enfermedades.

Los principales objetivos de la rotación de cultivos tanto en el tiempo como en el espacio son:

- Uso adecuado de las tierras agrícolas, respetando la aptitud de los suelos, los periodos vegetativos de los cultivos y sus épocas de siembra.
- Mantenimiento o mejoramiento de la fertilidad del suelo.
- Evitar la reproducción de plantas dañinas, así como de plagas y enfermedades, reduciendo los gastos en plaguicidas.
- Contribuir a la estabilidad de las cosechas.
- Ayudar a planificar la administración y el manejo racional de los recursos humanos y físicos de la finca.

De acuerdo a Bragagnolo (1995), los fundamentos en los que se basa la rotación de cultivos son:

- Sucesión de cultivos, con diferentes exigencias de fertilidad y diferentes tipos de raíces. De esta manera, no se manifiestan desequilibrios nutricionales en el suelo y por consiguiente problemas de antagonismo y sinergismo entre estos. En el monocultivo sucede todo lo contrario, debido a que el cultivo año tras año utiliza casi con preferencia solo determinados elementos.
- Alternar cultivos susceptibles a determinadas enfermedades o plagas con otros resistentes.
- Sucesión de cultivos que agotan el suelo con aquellos que mejoran la fertilidad y/o la mantienen.
- Cultivos con diferentes necesidades de mano de obra, tipo de preparación del suelo, uso de maquinaria, requerimientos de fertilizantes orgánicos, agua ,etc.

Por otro lado, la preparación del suelo a diferentes profundidades (ej.: papa a 25 - 30 cm de profundidad; cereales a 15-20 cm, etc.), evita la formación del piso de arado o suela del arado.

Esta capa compacta disminuye la infiltración del agua en el suelo y produce la sobresaturación de las capas superficiales y por consiguiente se manifiestan procesos de reducción, desequilibrios nutricionales y enfermedades en los cultivos.

También, favorece el menor uso de productos químicos (herbicidas, fungicidas, plaguicidas y fertilizantes químicos). La rotación de cultivos con diferentes características fenológicas, permite luchar contra las plagas, enfermedades y malezas de manera más natural.

Consiguientemente al intercalar diferentes especies de plantas que no son susceptibles a las mismas enfermedades y que requieren además diferentes formas de preparación del suelo, se disminuye o elimina las plagas y enfermedades mecánicamente y en forma natural.

En cambio con el monocultivo, la propagación de plagas y enfermedades es mayor debido a que el cultivo se vuelve a sembrar en el mismo terreno, obligando a utilizar productos químicos en mayores cantidades para su control.

La rotación de cultivos, permita incorporar el estiércol y otros abonos orgánicos en el suelo (estiércol, compost, abonos verdes, leguminosas, etc.) en la sucesión de cultivos de manera eficiente, debido a que no todos los cultivos aprovechan el estiércol o abonos verdes de manera efectiva.

La práctica de la rotación de cultivos de manera ordenada y a mediano plazo, permite:

- Generar un aumento de la productividad.
- Mejorar rendimientos de los cultivos diversificados que los monocultivos.
- Tiende a disminuir el uso de fertilizantes, principalmente nitrógeno.
- Uso más adecuado de máquinas, equipamientos y mano de obra.
- Utilización más adecuada de los suelos.
- Transporte de los nutrientes desde las capas más profundas hacia la superficie.
- Aumenta el índice de materia orgánica en el suelo.
- Ayuda a controlar plagas, enfermedades y malezas.
- Aumenta la cobertura del suelo durante un período más extendido del año.

Entre las rotaciones utilizadas con frecuencia en las diferentes zonas del país se tienen:

Altiplano (A secano):

- Papa-cebada- cebada y un periodo de descanso de 3 -5 - 7 o más años o
- papa-quinua- cebada.

Sin embargo, por la parcelación excesiva de la tierra, el agricultor no tiene suficiente cantidad de tierras (superficie) para dejarla descansar el tiempo necesario y se están acortando los periodos de descanso, aspecto que provoca que el agricultor se vea obligado a ejercer una mayor presión sobre la tierra, en desmedro de su capacidad productiva y riesgo de degradación.

Altiplano Norte:

En zonas con suelos de mayor fertilidad y con condiciones climáticas más favorables (700 a 800 mm anuales), las rotaciones a secano incluyen luego de la papa -cultivos de cebada- tarwi o haba y oca- para luego entrar a un periodo de descanso más corto.

En las tacanas de Copacabana la rotación consisten en Papa-oca-haba- cebada y un periodo de descanso (2, 3, 4 0 5 años), acuerdo a la tenencia de la tierra. Esto debido a que los suelos en el municipio de Copacabana son de mejor fertilidad natural y por otro lado, a la tenencia de la tierra (la superficie de tierras por familia es menor por la parcelación que se ha dado desde la reforma agraria. Esta situación, es una de las causas principales que incide en el deterioro del recurso suelo.

Valles

-En los valles de Inquisivi, la rotación de cultivo más utilizada es papa- maíz- haba- trigo o cebada, para luego entrar a un periodo de descanso más corto.

-En los Valles del Norte de Potosi según PROIMPA, en los Ayllus de cabecera de valles (3550-3800 m.s.n.m), producen en un sistema de mantas o aynocas, donde la rotación de cultivos principal es: Primer año papa dulce, segundo año cebada, trigo o avena para grano y tercer año cebada o avena berza, dejando 3-4 años de descanso

En zonas más protegidas, entran en las rotaciones algunas leguminosas bajo el siguiente esquema: Primer año papa dulce, segundo año cebada o trigo para grano y tercer año haba o arveja; algunas veces en el cuarto año se siembran gramíneas para forraje.

Oriente

Para las zonas con mejores condiciones de humedad, recomiendan utilizar intercultivos con especies de ciclo corto para generar rastros y/ o aporte de N (*Crotalaria*). Todo esto, con el objeto de mantener los suelos protegidos durante todo el tiempo, en razón, de que, en varias zonas del país, luego de la cosecha de los cultivos anuales (marzo y abril), los suelos quedan desprotegidos y expuestos a los agentes de la erosión (lluvia, escurrimiento y vientos).

En las zonas de Alto Beni (Departamento de La Paz), y otras zonas tropicales, los pequeños agricultores (colonizadores) manejan la siguiente rotación: Arroz-Maiz-Yuca-Plátano o maní. Luego se colocan pastos o se deja en barbecho. (Cahuaya et al ,1999).

Las especies utilizadas como coberturas vegetales, deben ser seleccionadas de acuerdo a los cultivos (anuales o perennes) de la zona, clima y otros aspectos. Así por ej. Para arboles frutales, las coberturas vegetales, no deben ser especies rastreras para no afectar a los arboles y afectar la producción frutícola. Por otro lado, las especies que son bastante agresivas, pueden ser controladas con ayuda de un pastoreo ocasional y corto (si presentan problemas de toxicidad si son tóxicas cuando el ganado consume en grandes cantidades), uso como mulching y otros.

Entre los aspectos que se deben tomar en cuenta para lograr una rotación de cultivos adecuada son los siguientes:

Aspectos Biológicos

Para determinar la sucesión de cultivos en una rotación, es necesario tomar en cuenta la incidencia que tiene cada cultivo sobre las propiedades físicas del suelo (estructura), en razón de que esta incidencia depende de las características fenológicas que tienen los cultivos:

- Forma de la parte aérea y de su sistema radicular.
- Requerimiento y forma de obtención de los nutrientes del suelo.
- Capacidad de aprovechamiento de la humedad del suelo.
- Aprovechamiento de la materia orgánica incorporada al suelo.
- Capacidad de luchar contra las malezas.
- Susceptibilidad de las plantas a las enfermedades y la capacidad de limitar su difusión.

Las plantas de hojas anchas generalmente protegen mejor la superficie del suelo, debido a que estas están extendidas casi de forma paralela a la superficie del suelo. Esta mejor cobertura da más sombra, evitando su secamiento y destrucción de los agregados por el impacto de las gotas de agua y de la radiación solar. Mientras que los cereales, debido a que tienen hojas angostas y además colocadas casi longitudinalmente al tallo no protegen adecuadamente el suelo, con el consiguiente deterioro de sus propiedades físicas. En ese sentido no conviene sembrar cada año cereales en el mismo terreno, como sucede en varias zonas del país, donde la ganadería se ha ido incrementando (caso Pampas de Lequezana, Potosí). donde se nota un franco deterioro de los suelos (bajo contenido de materia orgánica, pérdida de la estructura y compactación).

La profundidad del sistema radicular a la que llega un determinado cultivo incide directamente en la capacidad que tiene tal cultivo para la absorción de nutrientes y agua del suelo. En ese sentido es necesario alternar cultivos que tienen raíces poco profundas (cereales) con los de raíces más profundas (haba, trébol, maíz, etc.), para que se aproveche de los nutrientes y agua de los diferentes horizontes.

Al margen de que la profundidad de las raíces incide sobre la obtención de nutrientes y agua, estas además juegan un papel importante sobre el mejoramiento de la fertilidad del suelo al dejar cantidades apreciables de materia orgánica y conductos a diferentes profundidades luego de su descomposición. Así los cereales dejan cierta cantidad de residuos orgánicos en la capas superficiales del suelo, mientras que las leguminosas dejan una mayor cantidad de residuos a mayor profundidad. Además estos cultivos pueden también fijar el nitrógeno atmosférico y aprovechar el fósforo y el calcio del suelo de sus formas menos asimilables y almacenarlas en las raíces y horizontes más superficiales.

Para un mejor aprovechamiento de la humedad y nutrientes de todo el perfil del suelo, se recomienda en la rotación alternar cultivos de raíces menos profundas con aquellos de raíces más profundas. Así mismo cultivos de sistemas radicales poco desarrollados con sistemas radicales bien desarrollados (ej.: gramíneas con leguminosas).

Otro criterio a considerar para establecer una adecuada rotación de cultivos, es que estos tengan diferentes requerimientos de nutrientes y que inciden en la cantidad de masa producida. Si bien la mayoría de los cultivos requieren todos los nutrientes conocidos, estos varían en la cantidad que adsorben de un cultivo a otro y también la relación entre algunos nutrientes es diferente. Así los cereales requieren con preferencia los aniones NO_3 y P_2O_5 mientras que los tubérculos demandan más Ca y K_2O .

Por otro lado en la alternancia de los diferentes cultivos en la rotación, también se debe considerar la capacidad que tienen algunos cultivos para aprovechar el estiércol incorporado. La papa y maíz son los cultivos que aprovechan mejor el estiércol aplicado debido a que tienen un periodo vegetativo más largo que los cereales; en este periodo la mineralización orgánica es mayor y por consiguiente se aprovecha más los nutrientes. Así mismo como estos cultivos requieren de aporques durante su crecimiento, esta práctica favorece la mezcla del suelo con la materia orgánica que repercute en mayor actividad de los microorganismos, con lo cual se mejora la mineralización, disponibilidad y aprovechamiento de los nutrientes.

Los cultivos que no se aporcan durante el ciclo vegetativo y son de periodos vegetativo cortos, como los cereales, no aprovechan bien el estiércol y en algunos casos puede empeorar la calidad del producto, como en el caso de la cebada cervecera. Por tal razón es aconsejable sembrar los cereales luego de los tubérculos o maíz para aprovechar solo el efecto residual de los abonos orgánicos.

Los requerimientos de humedad de los cultivos y su aprovechamiento por las plantas, también es un criterio que se debe considerar en la rotación. Así algunos pastos y tréboles requieren mucho agua, mientras que la alfalfa gracias a sus raíces profundas y su alta capacidad de absorción puede aprovechar mejor el agua de los horizontes inferiores y además extrae la que está retenida con mayor fuerza (por debajo del PMP).

En ese sentido, en las zonas secas se debe considerar como malos cultivos antecesores a aquellos que tienen alta capacidad de extraer agua como la quinua y otros como la alfa alfa; estos tienen un sistema radicular profundo y bien desarrollado que dejan los horizontes del suelo secos para el siguiente cultivo.

Por otro lado, como algunos cultivos (papa, maíz, etc.) evitan la propagación de las malezas en el terreno, debido a la preparación más profunda del suelo, aporques que demandan, etc., es importante considerar estos aspectos para un manejo más agro-ecológico del suelo y las malezas, incorporando en la rotación cultivos, como los señalados, que favorecen el control de las malezas y no la siembra continua de cereales que favorece el enmalezamiento del suelo. Esto se debe a que tales cultivos no se aporcan y por lo tanto no hay una eliminación mecánica de las mismas. Asimismo, los cereales durante sus últimas fases de desarrollo no cubren adecuadamente el suelo, consiguientemente las malezas reciben mayores cantidades de luz, lo que favorece el desarrollo de las mismas (Orsag, 1984).

Los pastos y forrajes perennes sembrados densamente ayudan de gran manera a luchar contra las malezas. Sin embargo, no se debe olvidar que esta lucha también depende de las formas de preparación del suelo.

Como la propagación de algunas enfermedades y plagas es más común cuando se repite el cultivo en el mismo terreno, y aún cuando se siembran cultivos diferentes pero de la misma familia; por consiguiente es necesario planificar en la rotación cultivos que no son susceptibles a las mismas plagas y enfermedades.

Entre los cultivos que menos soportan una nueva siembra en los mismos terrenos están algunas leguminosas (haba), cereales (cebada, trigo y avena), girasol y otros. Por lo tanto estos cultivos solo es posible volver a sembrar después de que pase por lo menos unos tres años.

Aspectos Agronómicos

Entre los aspectos técnicos que es necesario considerar en una rotación para definir los cultivos a sembrar sucesivamente, es la incidencia del cultivo anterior sobre el siguiente, lo cual se conoce como “valor del cultivo anterior”. Este valor está dado en síntesis, por las características agronómicas del cultivo y su incidencia sobre el suelo y el cultivo siguiente; el mismo que es diferente para cada cultivo y puede variar según las condiciones edafo-climáticas del lugar. La acción que tiene un determinado cultivo sobre el suelo define de alguna manera el siguiente uso que se le puede dar al suelo.

Ampliando sobre el valor del cultivo anterior, este depende de los siguientes aspectos:

- Incidencia de la parte aérea del cultivo sobre el suelo.
- Relación con el desarrollo de malezas.
- Efecto de su sistema radicular (profundidad y características de sus raíces) sobre los nutrientes y agua utilizada.
- Cantidad y calidad de los residuos de las cosechas que dejan y principalmente de la relación C: N.
- También sobre este valor incide la parte agrotécnica, o sea la forma como se maneja la preparación del suelo para un cultivo (ej. preparación del suelo, aporques, etc.).

Uno de los factores que más incide sobre el estado nutritivo de los suelos es la cantidad de residuos orgánicos que dejan. Entre los cultivos que aportan más residuos orgánicos tenemos la alfalfa, luego tenemos a los cereales y tubérculos. El contenido y balance de nutrientes que contienen los restos orgánicos también es un factor importante que incide sobre este valor.

En ese sentido para mantener la fertilidad del suelo y lograr una producción sostenible en el tiempo se debería incluir en la rotación de cultivos algunas leguminosas, cultivos de papa o maíz con estiércol.

Prácticas Mecánicas

Las prácticas mecánicas o físicas son obras más o menos complejas que se implementan en las tierras agrícolas, de pastoreo y forestales con el propósito de manejar y encauzar las aguas de escurrimiento y controlar la remoción en masa de los suelos.

El manejo de los suelos con ayuda de prácticas mecánicas o físicas, pretende también evitar que volúmenes considerables de agua recorran grandes distancias en las laderas (longitud crítica de escurrimiento), cortándolas y evacuándolas hasta lugares adecuados.

Otras prácticas mecánicas, promueven la regulación de los cauces naturales a través del control del material arrastrado (sedimentos), la protección de las orillas de los ríos, quebradas o acequias, la disminución de la velocidad y energía de las corrientes de agua y la rectificación de los cauces.

En zonas secas como en el Altiplano, Valles y Chaco, cuando los suelos tienen baja capacidad de retención de humedad, con algunas prácticas físicas se puede favorecer la infiltración y almacenamiento del agua (cosecha de agua).

También con las prácticas mecánicas se pretende controlar derrumbes, desplomes o hundimientos, para proteger carreteras y construcciones y recolectar las aguas de estos sitios para evacuarlas a sitios más seguros.

Algunas prácticas mecánicas se caracterizan por sus altos costos de inversión, aspecto que necesariamente hace que se utilicen solo cuando son estrictamente necesarias y generalmente con base al uso de materiales locales. Por otro lado, nunca debe plantearse la utilización de una práctica mecánica, si es posible obtener los mismos resultados con prácticas agronómicas y/o biológicas.

Para la implementación de algunas prácticas mecánicas complejas se requiere contar con personal especializado y además es necesario hacer una recopilación de información y de estudios específicos, o si no se tiene, se debe realizar estudios complementarios de las zonas de intervención. Todo esto con el propósito de contar con información básica que permita encarar el proyecto de manera más realista. Entre la información necesaria que se debe considerar se tiene: condiciones climáticas (intensidad de lluvias, frecuencia, velocidad de vientos, etc.); suelos (textura, profundidad, coeficientes de escurrimiento, pendiente, volúmenes de escurrimiento, etc.); aspectos geológicos, geomorfológicos e hidrológicos; cálculos de inversión, disponibilidad de mano de obra y costos del material local y otros de acuerdo al tipo de obra a implementar.

a) Barreras

Cuando se manejan parcelas de cultivo demasiado largas, especialmente en terrenos de ladera, en sentido de la pendiente, el agua de escurrimiento alcanza velocidades y caudales elevados que pueden provocar la erosión de los suelos.

En este caso, se recomienda cortar la longitud de la parcela cada cierta distancia con ayuda de diferentes tipos de barreras.

Las barreras son obstáculos de arbustos, pastos, piedras o troncos de árboles, que se colocan de forma transversal a la pendiente del terreno con el propósito de reducir no solo la velocidad del agua de escurrimiento, sino también incrementar su infiltración en los horizontes del suelo. Así mismo las partículas de suelo que son arrastradas por el agua, puedan ser atrapadas y sedimentadas en la parte superior de la barrera.

Según Tracy y Pérez (1986) las barreras presentan las siguientes ventajas:

- Costos relativamente bajos (materiales locales, no requieren muchas herramientas y utilizan mano de obra local).

- Se adecuan bastante bien dentro de los sistemas tradicionales de los agricultores, en razón de que no les son completamente ajenas.
- Producen beneficios secundarios como: flores, materia orgánica, forrajes, madera, leña, frutos, etc.

De acuerdo al material utilizado las barreras se clasifican en:

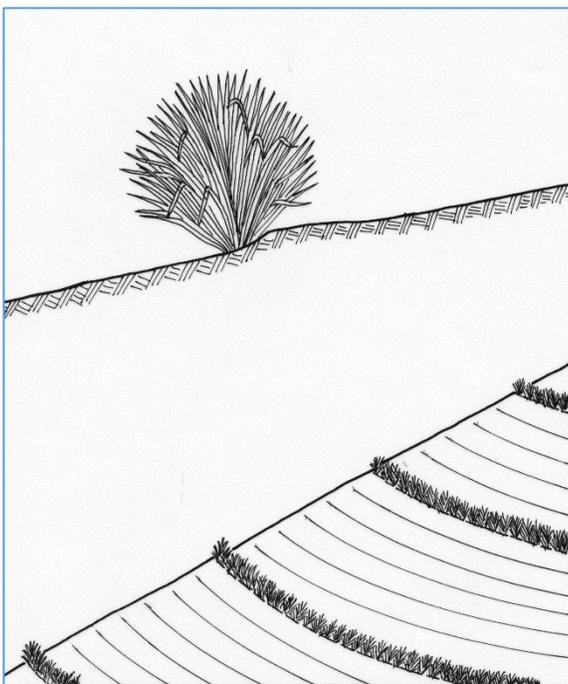
- Barreras Vivas.
- Barreras Muertas.

- Barreras Vivas

Es fundamental que en todos los sitios de intervención se instalen parcelas demostrativas y se evalúe diferentes prácticas y especies para su manejo como barreras vivas, coberturas, sistemas agro y silvopastoriles) de manera participativa y su incidencia sobre la fertilidad del suelo y de manera directa sobre los rendimientos y otros.

Es importante que no se apuesta a una sola practica de conservación debido a que las mismas no son lo suficientemente efectivas y por lo tanto es importante combinar diferentes practicas agronómicas, mecánicas y biológicas..

Detalle de las Barreras Vivas



Fuente: Tracy y Pérez, 1986

Ejemplo de Uso del Falaris para Barreras Vivas en Torrecillas Municipio de Comarapa – Santa Cruz, Bolivia.



Entre las especies más recomendadas para la formación de barreras en zonas intermedias tenemos: el vetiver (*Vetiveria zizanioides*), limoncillo (*Cymbopogon citratus*). En los Valles mesotérmicos de Santa Cruz han dado buenos resultados la utilización del pasto falaris y la paja cedrón (*Cetogum citratus*). También es posible obtener resultados interesantes con el pasto elefante (*Pennisetum purpureum*), la cañabrava (*Gynerim sagitarium*), sauce (*Salix humboldtiana*) y la cabuya (*Agave sp.*).

En el Altiplano y Valles de Cochabamba según Rodríguez (2000), las especies que han dado mejores resultados en el Proyecto Laderas son:

- Valle : Vetiver, falaris, pasto llorón, etama, atriplex.
- Cabecera de Valle : Falaris, festuca, retama, thola, kewiña.
- Puna : Falaris, paja brava, k'apa k'apa.

PROMIC (1997), recomienda las siguientes especies para la conformación de barreras vivas (3600 a 4000 m.s.n.m.):

- Vegetación arbustiva-arbórea: Aliso, retama, kiswara, kewiña y k'apa k'apa
- Pastos introducidos: Falaris, Bromus y Eragrostis.
- Pastos nativos: Chillihua

Las barreras vivas son plantas perennes sembradas en hileras transversales a la pendiente del terreno, las mismas que deben caracterizarse por su alto macollamiento y resistencia a la fuerza del agua.

Las barreras vivas se siembran con ayuda de curvas de nivel en forma transversal a la pendiente del terreno cada cierta distancia. Esta longitud depende principalmente del grado de la pendiente y tipo de cultivo.

Estas barreras vivas, al margen de ayudar a disminuir la energía del agua de escurrimiento y retener los sedimentos, pueden ayudar a los agricultores a obtener algunos ingresos adicionales, debido a que se utilizan plantas arbustivas o herbáceas que proporcionan frutos, forrajes, materia orgánica, flores, fibras, productos para la industria farmacéutica, madera, leña, etc.

En las zonas húmedas (precipitaciones mayores a 1500 mm) las barreras vivas pueden ser utilizadas en terrenos planos a casi planos (pendiente menores a 12 %). Cuando el terreno tiene una mayor pendiente, la barrera viva debe ir acompañada de alguna obra física (zanjas de ladera, desagües, terrazas, etc.).

Las barreras vivas en cultivos perennes se siembran en curvas a nivel cada 5 a 30 metros, dependiendo de la pendiente como se presenta en la siguiente tabla, susceptibilidad del suelo a la erosión y del tipo de cultivo que se siembra entre las barreras. El material vegetativo se siembra en el surco cada 20 cm entre planta. En la siguiente tabla se presenta la relación entre pendiente y distancia de barreras para zonas húmedas de Bolivia.

– **Relación entre la Pendiente y la Distancia entre Barreras
(Zonas húmedas, >1500 mm de lluvias)**

Pendiente del Terreno (%)	Distancia Inclínada entre Barreras (m).
2	30,5
4	19,5
6	15,0
8	13,4
10	12,0
12	10,5

Fuente Tracy y Pérez (1986).

De acuerdo a Ocampo et al. (1996) en zonas subhúmedas de los Andes (precipitaciones menores a 1500 mm) las barreras vivas pueden ser utilizadas de la siguiente manera:

Pendientes:

- Cultivos limpios: entre 5 a 40 %
- Cultivos densos: entre 5 a 60 %

Profundidad del Suelo:

- Entre 25 a 90 cm.

Frecuencia de Aplicación.

- Permanente.

Para la implementación de barreras vivas se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Deben estar dispuestas en curvas de nivel o contorno.

- En regiones lluviosas y con suelos arcillosos o poco permeables, es conveniente que las barreras tengan una inclinación de 0,5 a 1%, hacia el desagüe lateral, a fin de evitar acumulaciones excesivas de agua.

Relación entre la Pendiente y la Distancia entre Barreras para Cultivos Densos (Zonas con <1500 mm de lluvias)

Pendiente del Terreno (%)	Distancia Inclinada entre Barreras (m).
5	25
10	20
15	18
20	15
25	15
30	15
35	12
40	12
45	9
50	9
55	9
> 60	6

Fuente: Ocampo et al. (1996)

Relación entre la Pendiente y la Distancia entre Barreras para Cultivos Limpios (Zonas con <1500 mm de lluvias)

Pendiente del Terreno (%)	Distancia Inclinada entre Barreras (m).
5	20
10	15
15	10
20	9
25	8
30	6,5
35	6,0
40	6,0

Fuente: Ocampo et al. (1996)

- Las plantas que se utilizan como barreras deben sembrarse en hileras dobles, distanciadas entre sí, de 15 a 40 cm , de acuerdo al tipo de vegetación a utilizar.
- Las barreras también pueden estar ubicadas en los bordes superiores de las zanjas de ladera o canales de riego, con el objeto de evitar la colmatación y destrucción de los mismos con aguas de escurrimiento generadas en las partes altas. Por otro lado, resulta muy interesante su utilización en la parte superior de una zanja de infiltración para la formación de terrazas de formación lenta.

Para la implementación de barreras vivas se debe seguir los siguientes pasos:

- Determinar la pendiente del terreno con ayuda del nivel de cuerda, triángulo de pendientes, eclímetro, etc.(ver anexo de determinación de pendiente).
- Con las pendientes calculadas determinar en las tablas y de acuerdo a los cultivos el distanciamiento que debe existir entre barreras.
- En el lugar de la pendiente máxima y más representativa, se señala o marca con ayuda de estacas o piedras los lugares donde se trazaran las curvas de nivel. Luego se trazan las curvas de nivel con ayuda del nivel en "A".
- Trazadas las líneas se las suaviza eliminando las partes más abruptas
- Apertura de zanjas o surcos para la siembra.

Especies

Entre las especies más recomendadas para la formación de barreras en zonas intermedias se consideran las especies nativas prevalentes en zona, considerando que el proyecto no financia la introducción de especies exóticas, entre algunos ejemplos recomendados tenemos: el vetiver (*Vetiveria zizanioides*), limoncillo (*Cymbopogon citratus*). En la zona de Yungas de La Paz el vetiver se ha utilizado exitosamente para la fijación de taludes por la construcción de la carretera Cotapata, Santa Bárbara, Alto Beni, Palos Blancos.

En los Valles mesotérmicos de Santa Cruz han dado buenos resultados la utilización del pasto falaris y la paja cedrón (*Cetogum citratus*). También es posible obtener resultados interesantes con el pasto elefante (*Pennisetum purpureum*), la cañabrava (*Gynereim sagitarium*), ~~saucé (*Salix humboldtiana*)~~ y la cabuya (*Agave sp.*).

En el Altiplano y Valles de Cochabamba según Rodríguez (2000), las especies que han dado mejores resultados en el Proyecto Laderas son:

Valle:	Vetiver, falaris, pasto llorón, retama, atriplex.
Cabecera de Valle:	Falaris, festuca, retama, thola, kewiña.
Puna:	Falaris, paja brava, k'apa k'apa.

PROMIC (1997), recomienda las siguientes especies para la conformación de barreras vivas (3600 a 4000 m.s.n.m.):

- Vegetación arbustiva-arbórea: Aliso, retama, kiswa, kewiña y k'apa k'apa
- Pastos introducidos: Falaris, bromus y eragrostis.
- Pastos nativos: Chillihua.

Por otro lado PROFOCE (2001), recomienda para Cochabamba el uso de barreras vivas asociadas con leguminosas, debido a la falta y alta necesidad de forrajes en la zona. En ese sentido recomiendan la siembra de los forrajes entre las dos hileras de Falaris (ancho 40 cm). Entre los forrajes recomendados figuran el trébol blanco o rojo, veza común, veza peluda o el arbusto de tagasaste (árbol de alfalfa), que se desarrolla hasta alturas de 3300 m.s.n.m.

Para que los forrajes se desarrollen bien entre las dos hileras de falaris es aconsejable hacer una buena preparación del suelo (mullimiento) y utilizar tutores de cebada para las leguminosas. Por

otro lado, luego de la siembra (sembrada cada 10 a 15 cm de distancia en el surco), cubrir el suelo con paja para mantener húmedo el suelo.

Para la siembra de las barreras vivas se utilizan las siguientes formas: caña corrida, estacas, macollos, cepas, bulbos y semillas. Los pasos a seguir para la implementación de las barreras son las siguientes:

- Selección y preparación del material .
- Preparación del surco.
- Siembra o plantación del material*.

Como las barreras vivas tienen una efectividad media, en las áreas de cultivo (entre barreras) se deben utilizar necesariamente algunas prácticas agronómicas complementarias (surcos en contorno, rotación de cultivos, etc.). En zonas húmedas y de excesiva pendiente es necesario complementar las barreras vivas con algunas prácticas mecánicas (zanjas de ladera, terrazas, etc.). Esta complementación de diferentes prácticas entre sí es de suma importancia para lograr una mayor efectividad.

Se ha podido constatar, en los diferentes proyectos visitados (Valles mesotérmicos de Santa Cruz, Valles de Cochabamba, Chuquisaca, Potosí y el Altiplano), que las diferentes instituciones y los técnicos de estas apuestan en general a una sola práctica y por lo tanto no se garantiza adecuadamente la conservación de los suelos.

Las barreras vivas por su simplicidad y bajos costos ayudan en el tiempo a la conformación de terrazas de formación lenta; y su eficiencia para formar las terrazas, varía según la especie y su forma de crecimiento. Sin embargo, las barreras vivas no evitan la erosión ni la escorrentía, ni estimulan la actividad biológica en las áreas entre las barreras individuales.

Para la mayoría de los productores, los aspectos más importantes en la selección de las especies para barreras vivas es que aporten productos para el consumo o la venta y que no invadan ni compitan con los cultivos adyacentes.

- Barreras Muertas

a) Barreras de piedras

Las barreras muertas, al igual que las barreras vivas, se construyen de forma transversal a la pendiente del terreno y se implementan con ayuda de piedras y troncos de árboles que pueden ser recolectados en el mismo terreno agrícola.

En parcelas pedregosas, el uso de piedras para la construcción de las barreras, al margen de disminuir la erosión de suelos ayuda a mejorar de alguna manera la calidad de los suelos (facilidad de preparación), gracias al despiedre. Esto especialmente en zonas donde se practica una agricultura intensiva.

Las barreras de piedra al igual que las barreras se levantan con ayuda de curvas de nivel trazadas cada cierta distancia. A medida que aumenta la pendiente del terreno la distancia entre curvas de nivel son menores.

Las barreras de piedra se diferencian de las barreras vivas porque son obras más estables, especialmente si se les da un mantenimiento periódico. Sin embargo esta práctica requiere mucha mano de obra en comparación a la práctica anterior para remover y sacar las piedras del terreno y sobre todo para formar el muro de manera adecuada.

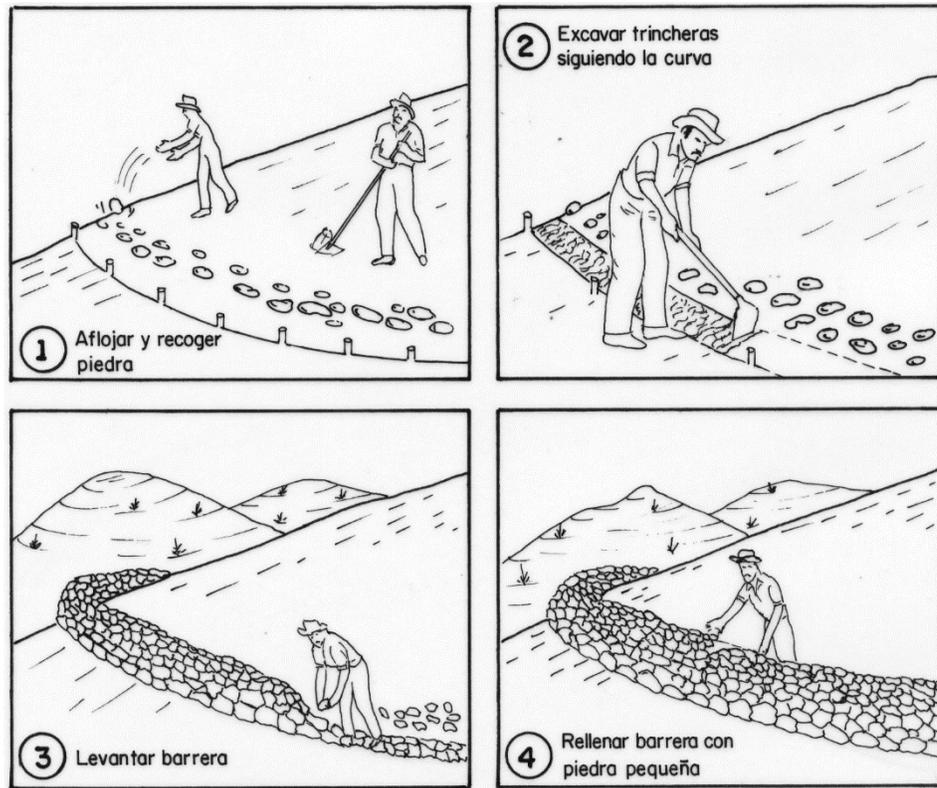
Según Tracy y Pérez (1986), para la implementación del muro de piedra se debe seguir los siguientes pasos:

- Trazar las curvas guía de acuerdo a la pendiente del terreno.
- Iniciar la recolección y amontonamiento de piedra.
- Marcar el ancho total de la base del muro (50 a 80 cm) sobre las curvas guía trazadas con anterioridad (la curva guía divide en dos al ancho de la barrera).

Excavar la base del muro en el suelo, la profundidad es de aproximadamente 8 a 25 cm. Esta base cavada tiene como objetivo proporcionar al muro mayor estabilidad y evitar su fácil socavamiento

Durante la construcción del muro se debe colocar las piedras lo más juntas posibles para evitar pérdidas de agua y de suelo. El levantamiento del muro se debe empezar con las piedras más grandes para darle mayor estabilidad y luego continuar con las de menor tamaño. El muro para tener mayor estabilidad debe tener una forma trapezoidal (50 a 80 cm en la base y 40 a 50 cm en la corona y una altura de 50 a 90 cm de alto). También durante la construcción se le puede dar al muro una contra- pendiente, es decir una inclinación hacia la ladera con el objeto de evitar su desmoronamiento.

Barreras de Piedra y su Construcción



Fuente: Tracy y Pérez,1986

Una vez construido el muro se debe realizar una prospección del sitio luego de las primeras lluvias para detectar y tatar fugas de agua que pueden causar el socavamiento de la base de la barrera.

Para garantizar la estabilidad de los muros de piedra se deben realizar controles y mantenimientos periódicos para reparar los daños, tales como colocar las piedras caídas, etc.

Esta práctica se recomienda que vaya acompañada en la parte inferior de la base, con barreras de árboles o arbustos (prácticas biológicas) para evitar su socavamiento.

Una manera fácil para determinar el distanciamiento entre barreras es de que una persona se ubique en la ladera, mirando hacia la pendiente y con el brazo extendido a la altura de la vista: En el sitio que apunta con la mirada (cuesta arriba) se implementará la primera barrera, mientras que en el lugar donde estaba parada la persona se implementará la segunda barrera y así sucesivamente podemos continuar pendiente abajo.

Debido a que las terrazas de piedra o andenes es poco viable de implementar bajo las condiciones socio-económicas existentes en las zonas montañosas del país, estas barreras de piedra pueden servir de base para la construcción de terrazas de piedra conocidas como de formación lenta, en razón de que distribuyen los jornales o actividades en tiempos prolongados para su construcción, ya que estas se levantan poco a poco.

Ventajas:

- Control eficiente de la erosión de suelos por escurrimiento.
- Se incrementa el área de cultivo.
- Se atenúa el efecto de las sequías cortas que se presentan en el ciclo hidrológico por la facilidad para almacenar mayor cantidad de agua de lluvia.

Desventajas:

- Se requiere mayor cantidad de mano de obra.
- Mantenimiento constante de las obras.
- Adopción menos popular que las barreras vivas.

b) Terrazas

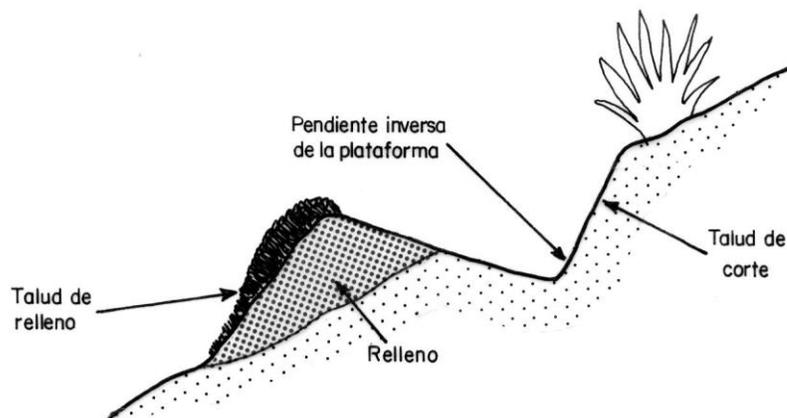
Las terrazas son plataformas construidas de manera transversal a la pendiente del terreno, y son consideradas como una de las prácticas de conservación de suelos más efectivas, debido a que la pendiente del terreno original se cambia o disminuye notoriamente. Las terrazas formadas reducen considerablemente el escurrimiento de agua, aumentan el almacenaje de agua en el suelo y mejoran el microclima; esta última debido a que disminuye la incidencia de heladas por la mayor acumulación de calor. Se amortigua el efecto de las heladas gracias a la turbulencia del aire y calentamiento de los taludes.

Si bien estas prácticas están catalogadas como una de las más eficientes para la conservación de suelos y agua, sin embargo, requieren mucha mano de obra para su construcción y mantenimiento.

Las terrazas tal como se puede ver en la figura, están conformadas de las siguientes partes:

- Plataforma más o menos horizontal, que es el resultado de un corte de la ladera original (parte superior) y un relleno sobre la pendiente original (parte inferior)
- Contrapendiente.

Partes de una Terraza



Fuente: Tracy y Perez, 1986

- Taludes superior (corte) e inferior (relleno).
- Canal de desagüe.

Las terrazas de acuerdo a sus características y finalidades se clasifican de la siguiente manera:

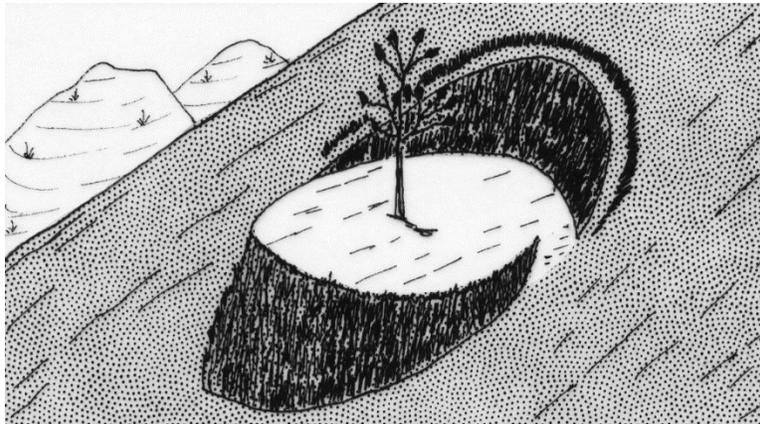
- **Terrazas Individuales**

Son plataformas individuales de forma circular que se construyen en las laderas de manera muy simple para la implementación de frutales u otros cultivos permanentes.

Las terrazas individuales tienen como función:

- Captar y conservar la humedad.
- Mejorar el aprovechamiento de los fertilizantes aplicados.

Terrazas Individuales y su Construcción



Fuente: Tracy y Perez, 1986

Las terrazas individuales se pueden construir en laderas con pendientes entre 2 y 60 %. Cuando las pendientes son muy pronunciadas deben ir acompañadas de otras prácticas tales como zanjas de desagüe, terrazas angostas, etc.

Al igual que la mayoría de las prácticas de conservación de suelos, estas terrazas deben ser construidas siguiendo las curvas de nivel.

Cada terraza consta de una plataforma de aproximadamente 1,5 m de diámetro y dependiendo de las copas de los árboles, una pendiente inversa (contrapendiente) de 10 %, un canal de desagüe y los taludes respectivos (superior e inferior).

Los taludes superior e inferior deben tener una relación horizontal : vertical según las características del suelo. En terrenos más deleznable los taludes son más inclinados.

El espaciamiento entre las terrazas depende de las características de los árboles frutales (diámetro de las copas) a plantarse. Así para el caso de manzanos y peras se recomienda 3 m, para cítricos 6 m y para frutales más frondosos tales como paltos y mangos 9 metros.

Para la construcción de las terrazas individuales en primer lugar es necesario trazar las curvas de nivel distanciadas, según las especies a utilizar.

Una vez trazadas las curvas guía, se ubica, con ayuda de estacas, el lugar donde se van a plantar los árboles. Alrededor de la estaca y con ayuda de una pita y palo, se marca un círculo que indica el ancho de la terraza individual.

El círculo trazado en el suelo está en el eje con la curva de nivel o línea base. La parte del círculo superior de la línea base es la parte que debe ser cortada, y la parte ubicada por debajo, es la sección que debe ser rellenada.

Para iniciar la construcción de la plataforma se recomienda quitar la capa superficial del suelo (10-20 cm) para no enterrarla durante la construcción; esto en razón a que la capa superficial presenta buenas características físicas, químicas y biológicas. Este material es retirado a un costado de la terraza para ser colocado al final de su construcción en la superficie.

A medida que se va excavando la parte de corte de la terraza, se coloca este material en la parte de relleno y se lo va compactando cuidadosamente en capas de 3 a 5 cm para evitar su desmoronamiento. Una vez alcanzada la altura adecuada se debe dar énfasis en la construcción de la contrapendiente para garantizar que el agua de lluvia se infiltre en esta y no se escurra por el borde inferior de la terraza provocando su destrucción.

Los taludes superior e inferior deben ser contruidos de acuerdo a las características del terreno y ser arreglados y compactados para garantizar su estabilidad; así mismo al final deben ser engramados. En zonas con bastantes lluvias se recomienda en su parte inferior excavar un pequeño canal desde el fondo de la plataforma hacia un lado para permitir un drenaje del exceso de humedad.

La protección y mantenimiento de la terraza individual es igual a las tareas realizadas en todas las terrazas como ser:

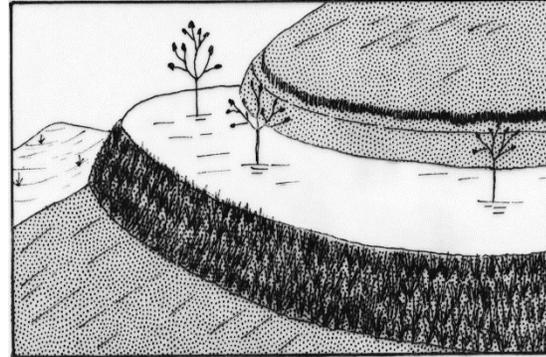
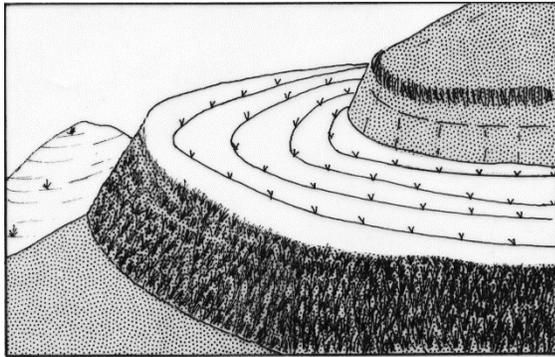
- Establecimiento o repoblamiento de las barreras vivas sobre el talud superior.
- Rectificar cada cierto tiempo la contrapendiente de la plataforma.
- Mantenimiento del engramado en los taludes de corte y relleno.

Este tipo de terrazas individuales son factibles de construir en las zonas montañosas del país, como en Yungas, para cultivos de cítricos, café, cacao y otros y donde es muy imperioso la aplicación de ciertas prácticas conservacionistas para evitar que continúe el deterioro de los recursos de la tierra. Por otro lado, esta práctica por su simplicidad no requieren mucha mano de obra.

- Terrazas Angostas

Las terrazas angostas son plataformas continuas, construidas en forma transversal a la pendiente del terreno (recomendado para pendientes moderadas a fuertes). Al igual que en los diferentes tipos de terrazas estas sirven para garantizar la infiltración y almacenamiento de agua en la terraza y evitar la formación de agua de escurrimiento.

Terrazas Utilizadas en Cultivos Anuales y Perennes



Fuente: Tracy y Perez, 1986

Una de las condiciones para la construcción de terrazas angostas es que requiere suelos cuya profundidad sea mayor a los 50 cm. Esto para evitar que durante las tareas de corte y relleno, el material del subsuelo llegue a la superficie y vuelva improductiva la parte superior de la terraza durante los primeros años.

Las terrazas angostas pueden ser construidas de manera alterna en el sentido de la pendiente (se deja cierto ancho de terreno natural sin movimiento de tierra cada cierta distancia); esta modalidad de construcción es recomendable para terrenos de menor pendiente y sirven para la siembra de cultivos limpios, hortalizas y flores, además van acompañadas de prácticas agronómicas complementarias. Cuando las terrazas se construyen en terrenos de mayor pendiente en general deben ser utilizadas para cultivos perennes como café, frutales cítricos, cacao, etc.

Las dimensiones y el distanciamiento entre terrazas se determina según la pendiente del terreno y las clases de cultivos a implementarse.

Entre las ventajas que presentan estas terrazas es que las áreas no cultivables, ocupadas por las estructuras, son menores en relación a otras obras de conservación y entre las desventajas se debe mencionar que requieren mucha mano de obra para la construcción y mantenimiento. Las terrazas angostas para cultivos limpios se construyen en pendientes entre 12 al 30 %. El ancho de la plataforma en si es de 2 m, con una pendiente inversa (contrapendiente) de 10 % y el distanciamiento está en función de la pendiente. Los taludes recomendados depende de las características del suelo, donde las relaciones más comunes son 0,75:1 y 1:1.

Las terrazas angostas para cultivos permanentes pueden utilizarse en pendientes mayores (50-70 %) que para cultivos anuales o limpios debido a la mayor protección que ejerce la vegetación permanente sobre el suelo. Para cultivos de cítricos se utilizan un distanciamiento de 6 m y cuando se cultiva mangos o paltos se deja un distanciamiento entre terrazas de 9 m. El ancho de la plataforma en las terrazas angostas más comúnmente utilizadas es de 1,0 a 1,5 m con una pendiente inversa de 10 % para garantizar la retención de agua. Al igual que en el caso anterior se recomienda taludes con una relación de 0,75:1 y 1:1. (Horizontal:Vertical).

Las terrazas se construyen a nivel para captar el agua de lluvia o en zonas más lluviosas a desnivel, para evacuar el agua sobrante. El desnivel longitudinal no debe ser mayor a 1% ya que el agua evacuada debe ser conducida a los drenajes naturales de la zona.

Para la construcción de las terrazas angostas, lo primero que se debe determinar es la pendiente del terreno y tipo de cultivos que se piensa sembrar. Estos datos nos permite determinar el distanciamiento entre las terrazas y su ancho respectivo.

Luego se comienza a trazar las curvas guía desde la parte alta de la ladera de acuerdo a la metodología explicada con anterioridad. Para marcar el ancho de la terraza se traza con ayuda de estacas a ambos lados de la curva guía. En ese sentido si la terraza tendrá un ancho de dos metros, se mide 1 m por encima de la curva guía, y otro metro por debajo de ella, de esa manera la curva guía divide a la terraza en dos partes iguales. Al igual que en el caso de las terrazas individuales la parte ubicada por encima de la curva guía es la parte de corte y la parte por debajo es la de relleno.

Para empezar el excavado y relleno se marcan con ayuda de 6 estacas un bloque de aproximadamente de 2 m de largo X 2 m de ancho. Posteriormente se comienza a excavar y rellenar de la misma manera que en el caso de las terrazas individuales. Es decir luego de quitar la capa arable y colocarla a un lado se comienza con la excavación de la parte de corte (zona por encima de la curva guía) y el relleno de la parte por debajo de la curva por capas que se van compactando cada 3 a 5 cm de altura a fin de darle la estabilidad necesaria.

Una vez alcanzado el ancho de la plataforma se debe cortar el talud superior y compactar el relleno para que no se desmorone. Al mismo tiempo es necesario dar la contrapendiente inversa necesaria (10 %).

Relación entre la Pendiente y Dimensiones de las Terrazas Angostas.

Pendiente del Terreno (%)	Distancia Inclínada entre Terrazas (m)	Ancho Total de la Plataforma (m)
12	14,0	2,34
14	13,0	2,40
16	12,5	2,42
18	12,5	2,46
20	12,0	2,52
22	12,0	2,56
24	12,0	2,60
26	12,0	2,64
28	12,0	2,70
30	12,0	2,74

Fuente: Micheaelsen (1980)

Para la protección de la plataforma de la terraza, se debe tomar en cuenta 4 aspectos fundamentales:

- Implementar una barrera viva por encima del talud superior.

- Engramar el talud inferior.
- Controlar la contrapendiente de la plataforma.
- Mantener el drenaje limpio.

Todas estas actividades se debe realizar periódicamente para mantener las barreras y el engramado lo suficientemente tupidos para que no exista desmoronamientos. Por otro lado, antes de la siembra y la preparación de suelos es recomendable revisar la plataforma de la terraza emparejándola y rectificando la pendiente inversa.

Así mismo, si se ha dado a la terraza un desnivel longitudinal, es necesario revisar a lo largo de la plataforma el drenaje para que se mantenga libre y pueda circular libremente el agua.

Por las características socio-económicas y edafo-climáticas existentes en el Altiplano, este tipo de prácticas no es adecuada para esta zona y más bien son más interesantes para los Yungas y algunos valles del país, donde las condiciones climáticas son más favorables y permiten sacar dos o más cultivos al año.

Terrazas de Formación Lenta

En zonas donde escasea la mano de obra y no es factible levantar terrazas de manera inmediata, se recomienda la construcción de terrazas o andenes de formación lenta:

Según Ocampo et al. (1996) la formación de terrazas de formación lenta, se puede lograr con ayuda de la combinación de zanjas de infiltración, con barreras vivas y/o muros de piedra. Como los suelos se utilizan año tras año, las labores normales de cultivo favorecen la acumulación de material erosionado detrás de las barreras vivas o muros de piedra y en el tiempo la conformación de las terrazas.

Para la construcción de estas terrazas se recomienda:

- El espaciamiento entre zanjas, muros o barreras depende de las condiciones del suelo, intensidad y tipo de uso del suelo, cultivo a implementarse y las condiciones climáticas.

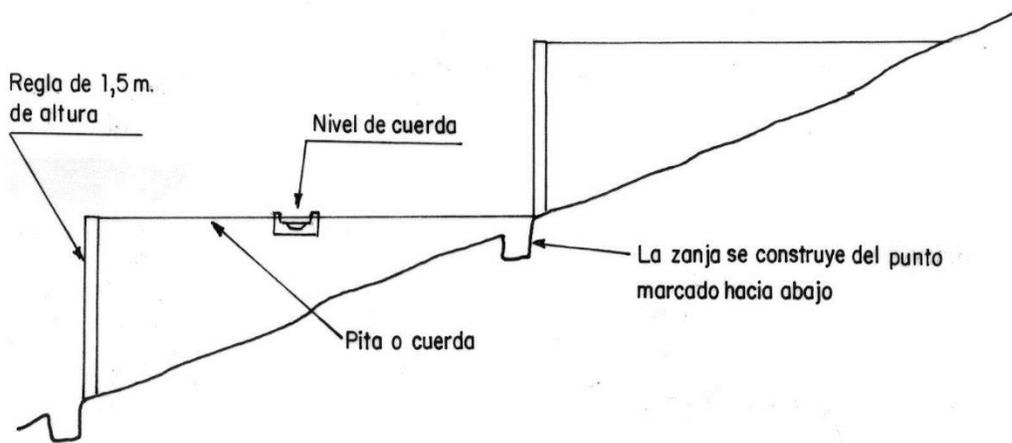
Las zanjas, muros o barreras deben seguir las curvas de nivel.

- Los muros de piedra deben cumplir con los requisitos de seguridad para evitar su derrumbe volcamiento o deslizamiento (deben estar enterrados por lo menos unos 10 cm).

Para la construcción de terrazas o andenes de formación lenta en pendientes moderadas y de acuerdo a las experiencias acumuladas por Sartawi (1992) en el Altiplano boliviano se debe seguir los siguientes pasos:

Determinar la distancia a la que se abrirá las zanjas de infiltración o levantará los muros de piedra de las futuras terrazas, para tal efecto se utiliza reglas de 1,5 m de desnivel y un nivel de cuerda, los que nos permiten determinar las mencionadas distancias.

Fuente: Sartawi, 1992

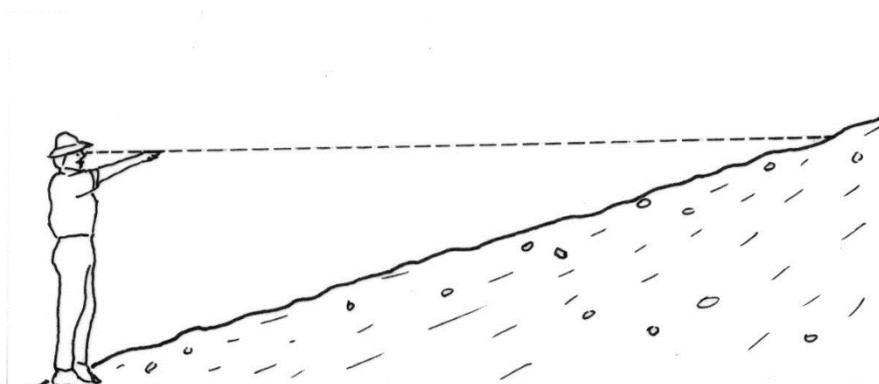


- Trazar en los puntos (distancias) determinados curvas guía con ayuda de un nivel en "A" .
- Cavar zanjas de aproximadamente 40 cm de ancho y 40 cm de profundidad. La tierra que se saca de la zanja se coloca en el borde superior de la zanja, dejando un espacio de 40 cm entre la orilla superior de la zanja y el montón de tierra.
- Los camellones de tierra formados en la parte superior de la zanja se utiliza para sembrar o plantar barreras vivas.

Para el mantenimiento de las terrazas de formación lenta se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- Mantener en la época de lluvias las zanjas limpias para evitar la acumulación de agua y su rebase hacia las franjas cultivadas.
- Evitar que las barreras vivas invadan las tierras de cultivo.

En caso de que se ha utilizado barreras de piedras sobre las zanjas, se debe controlar su estabilidad



y acomodarlas paulatinamente a medida que avanza la formación de la terraza.

-Terrazas de Banco

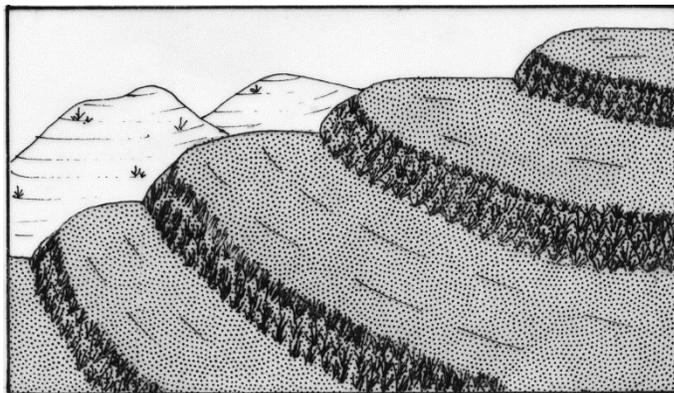
Las terrazas de banco son plataformas o bancos escalonados, contruidos transversalmente a la pendiente y separados por taludes con vegetación o piedra, formando terraplenes planos o con cierta pendiente interna o externa.

El ancho del banco varía con la pendiente, el cultivo y la profundidad del suelo. Las terrazas de banco presentan un talud superior y otro inferior que pueden ser verticales cuando se sostiene con muros de piedra o ligeramente inclinados cuando se protege con vegetación permanente como ser pastos.

Si bien esta práctica es una de las más efectivas para controlar la erosión en laderas, su divulgación es muy limitada por los altos costos que requiere su construcción y mantenimiento. En ese sentido este tipo de prácticas es adecuada solo para cultivos muy rentables tales como hortalizas, flores y cultivos para exportación y donde sea factible una agricultura intensiva y donde no exista problemas por déficit de agua o se cuente con riego.

La construcción de las terrazas de banco es posible en zonas donde las pendientes del terreno estén entre 12 a 40 % y donde los suelos tienen una profundidad mayor a 1 m. La pendiente inversa de las plataformas no debe ser mayor de 5% y en el caso de tener un desnivel longitudinal, para evacuar el agua sobrante, este no o debe exceder el 1 %.

Terrazas de Banco



Fuente: Tracy y Perez,1986

Una condición para que las terrazas tengan estabilidad es que las plataformas estén bien compactas y los taludes bien engramados para evitar el desmoronamiento de las obras o se utilice piedra.

La construcción de las terrazas se realiza de manera similar a las terrazas angostas, Una vez trazadas las líneas guía o base, se comienza a excavar en la mitad superior de la faja de terreno y rellenar con la tierra extraída la otra mitad inferior. Al igual que en el otro tipo de terrazas es importante quitar la tierra fértil y colocarla en la superficie de las plataformas una vez concluidas.

Así mismo, es necesario cavar una acequia en la parte superior del terreno para evitar escurrimientos de la parte superior del terreno hacia los bancales.

Se deben trazar líneas guía.

Realizar el aflojamiento y movimiento de tierra lateralmente.

c) Zanjas de Infiltración

Esta práctica consiste en la construcción de canales de forma trapezoidal o rectangular, los mismos que son implementados transversalmente a la pendiente máxima del terreno en las zonas secas del mundo.

Los objetivos principales de las zanjas de infiltración son:

- Cosechar el agua de lluvia y/o escurrimiento en zonas secas o con problemas de almacenamiento.
- Disminuir el agua de escurrimiento y la erosión de suelos.
- Favorecer la infiltración del agua de lluvia o escurrimiento en el suelo, para favorecer la implementación o recuperación de praderas, árboles y de esta manera aumentar la producción de forrajes, madera y otros.

Para la implementación de zanjas de infiltración en una zona, deben existir las siguientes condiciones:

- Laderas con suelos de profundidades mayores a los 30 cm.
- Zonas que requieren ser reforestadas, cultivadas o necesitan recuperar sus praderas degradadas.
- Zonas secas que presentan un déficit hídrico en la mayor parte del año o con escasas lluvias monomodales, como sucede en buena parte del país.

Para diseñar las zanjas de infiltración se debe considerar los siguientes parámetros:

- Ancho del borde superior.
- Ancho de la base.
- Profundidad.
- Taludes.
- Distanciamiento entre zanja.
- Pendiente longitudinal.

Las dimensiones de la sección transversal de la zanja (ancho, profundidad y talud), dependen principalmente del tipo de suelos y características de las lluvias.

El ancho superior de las zanjas, de acuerdo a las recomendaciones del PRONAMACH (1985), fluctúa entre 40 a 50 cm, el ancho de la base entre 30 a 40 cm y la profundidad entre 20 a 50 cm.

Los taludes de la zanja varían según el tipo (textura) del suelo:

Suelos sueltos: 1,5 : 1 a 2 : 1

Suelos estables: 0,5 : 1 a 1 : 1

Las gradientes de las zanjas en general para que cumplan la cosecha de aguas es de 0 %. El espaciamiento entre las zanjas, no solo está en función de la pendiente del terreno, precipitaciones, tipo de suelo, sino también del tipo de vegetación (cultivos, pastos o árboles).

Para la implementación de zanjas de infiltración, luego de definir el distanciamiento entre las zanjas con base a los parámetros arriba mencionados (pendiente, tipo de suelo y cobertura vegetal), se trazan líneas guía con ayuda del nivel en A, caballete u otros instrumentos.

El trazado o rayado de la línea guía para las zanjas, es recomendable hacerlo en un terreno sin remover. Esto garantiza construir zanjas más estables y tener vegetación nativa. Por consiguiente si es necesario preparar el terreno antes de construir las zanjas, se recomienda dejar franjas de terreno de aproximadamente 1 m.

La apertura de la zanja puede realizarse con ayuda de una yunta (pasando varias veces sobre la línea y de su alrededor para darle el ancho y profundidad necesaria, o con ayuda de una picota o azadón.

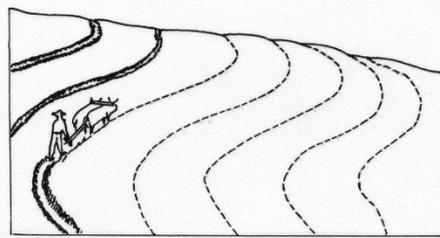
Una vez removido suficientemente el terreno, el acabado necesariamente se lo debe realizar con una herramienta (picota, pala o azadón) para darle la forma adecuada. La tierra extraída siempre debe ser colocada en el borde inferior con el objeto de aumentar su capacidad de captación.

En el borde superior de la zanja se recomienda implementar una barrera doble o simple, con el objeto de proteger dicha zanja de su colmatación con material arrastrado.

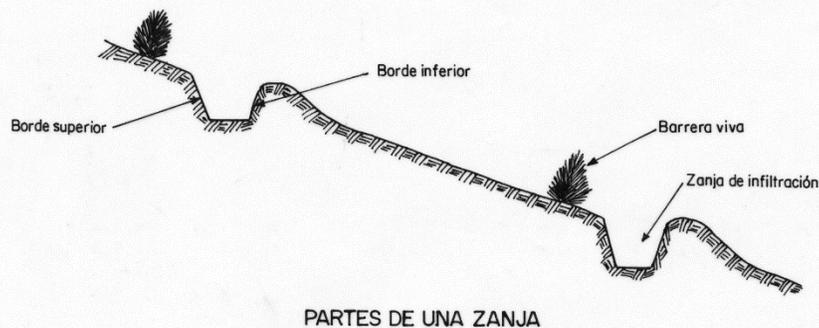
El distanciamiento utilizado para la recuperación de praderas nativas en el Altiplano boliviano, es de aproximadamente 3 m, mientras que para la reforestación se utiliza distancias entre 5 a 10 metros y en lo posible de acuerdo a las condiciones de suelo, clima y tipo de vegetación.

En caso de que la infiltración del terreno no sea uniforme, se recomienda en la zanja dejar cada 10 a 15 m tabiques transversales sin excavar, para garantizar la infiltración del agua en el suelo de manera uniforme.

Zanjas de Infiltración y su Trazado



APERTURA DE ZANJAS DE INFILTRACION



Fuente: Tracy y Perez,1986

d) Obras Para la Evacuación de Aguas de Esguerrimiento

En casos cuando los suelos son poco profundos, sueltos, o que descansan sobre horizontes o capas impermeables o planos de deslizamiento, no es conveniente implementar prácticas como las zanjas de infiltración que favorezcan la infiltración y almacenaje del agua en el suelo; en razón de que podrían propiciar, luego de su saturación, la erosión por esguerrimiento o remoción en masa (deslizamientos, derrumbes, solifluciones, etc.).

En ese sentido es necesario en algunas zonas donde existe exceso de agua combinar prácticas sencillas y económicas que permitan evacuar el agua sobrante de los suelos en volúmenes pequeños para que no causen daños en las parcelas de los vecinos .

-Desagües Naturales

Las quebradas, hondonadas, depresiones naturales, etc., que existen en una zona juegan un papel importante para facilitar la evacuación natural de las aguas sobrantes de una zona determinada. La utilización adecuada de estos desagües naturales disminuyen los costos de inversión en relación a la necesidad de construir canales artificiales.

Sin embargo es necesario hacer una protección adecuada de estos desagües naturales con ayuda de vegetación nativa protectora (sehuenca, cañahueca, vetiver, etc.).

En sitios más susceptibles (pendientes pronunciadas, cambio de pendiente o donde se reciben aportes de otros desagües) se deben construir diques amortiguadores de piedra para aminorar la energía destructora del agua.

- **Zanjillas de Desagüe**

Son canales de 5 a 10 cm de profundidad, contruidos a determinados intervalos con el propósito de evacuar el agua sobrante generado en las parcelas de cultivo.

Estas zanjillas según Tracy y Perez (1986) deben tener una pendiente adecuada (0,5 a 2 por mil) y estar ubicadas a intervalos comprendidos entre 2 a 10 metros, disminuyendo el distanciamiento entre ellas a medida que aumenta la pendiente y el volumen de escorrentía.

Este tipo de prácticas mecánicas se deben utilizar con preferencia en zonas lluviosas y en suelos donde:

- La pendiente del terreno sobrepasa el 40% y en las cuales no se recomienda la construcción de canales de desagüe.
- En lugares donde la profundidad del suelo es baja y que no permite la excavación de canales o acequias de ladera.
- En suelos donde la capa superficial es estable y el subsuelo muy susceptible a la erosión.

En aquellos suelos donde la infiltración puede ser peligrosa por problemas potenciales de remoción en masa (suelos derivados de esquistos, anfíbolitas, areniscas, granitos, etc.) no deben hacerse zanjillas a menos que existe un horizonte orgánico profundo y estable que lo permita.

- **Zanjas de Ladera**

Son canales mucho más amplios que las zanjillas de desagüe, contruidos transversalmente a la pendiente, con el propósito de permitir una evacuación controlada del agua sobrante que se genera en las laderas. La construcción de zanjas cada cierta distancia reduce el largo de la pendiente y por consiguiente disminuye la erosión de los suelos.

Son zanjas de 30 cm de ancho en la plantilla (fondo) y en la superficie (ancho superior) 40 a 50 cm. Los taludes recomendados son de 1:1 en suelos estables, 3/4:1 ó 1/2:1 en suelos muy estables y 1,5:1 ó 2:1 en suelos poco estables o muy susceptibles a la erosión (suelos livianos).

Los intervalos entre canales varían con la pendiente y de acuerdo al tipo de cultivo.

Según Tracy y Perez (1986), la construcción de zanjas son aconsejables:

- Para zonas lluviosas intensas.
- Áreas con suelos pesados (arcillosos), poco permeables, donde hay exceso de escorrentía.
- Suelos susceptibles a la erosión con pendientes hasta de un 40 % y longitudes demasiado largas de las laderas.

No se recomienda construir las zanjas de ladera en terrenos con cultivos limpios o áreas de pastoreo con más de 30 % de pendiente, ni en terrenos con cultivos de semibosque (café, cacao, etc.) con más de 50 % de pendiente.

- El desnivel de la acequia varía de 0,5 a 1 % y la profundidad es la que mayormente determina la capacidad de descarga.

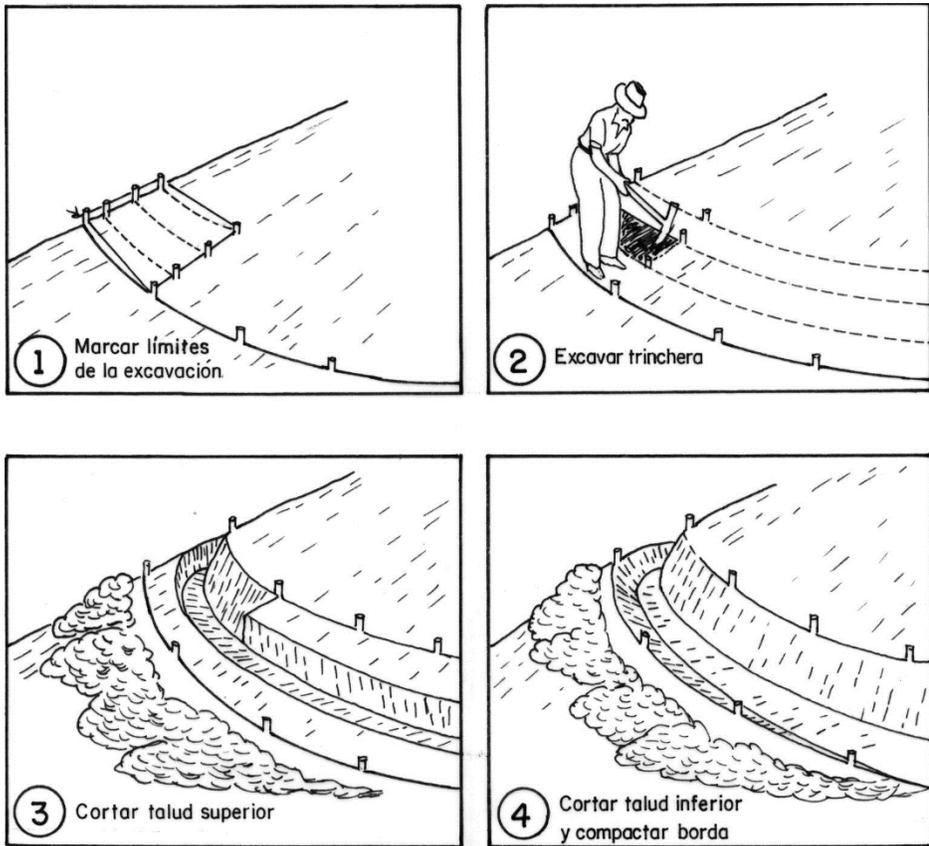
Las acequias de ladera deben protegerse con ayuda de una barrera viva simple o doble sembrada entre 15 a 30 cm del borde superior, con el objeto de frenar la fuerza del agua y retener los sedimentos arrastrados que se originan por encima de la zanja.

Las acequias deben estar conectados a un drenaje natural y bien protegido con vegetación natural, donde no existan problemas de erosión o de lo contrario a canales de desagüe artificial.

Los canales siempre se deben construir desde el desagüe (parte baja) hacia arriba y tratando de que este quede por lo menos a 20-40 cm por encima del drenaje natural, y de esta manera evitar que el agua del drenaje natural penetre por el canal o la represe.

Por otro lado la construcción de las acequias debe iniciarse en la parte más alta del terreno, para evitar que en caso de una tormenta puedan dañar los canales si se ha comenzado a construir por la parte baja.

Zanjas de Ladera



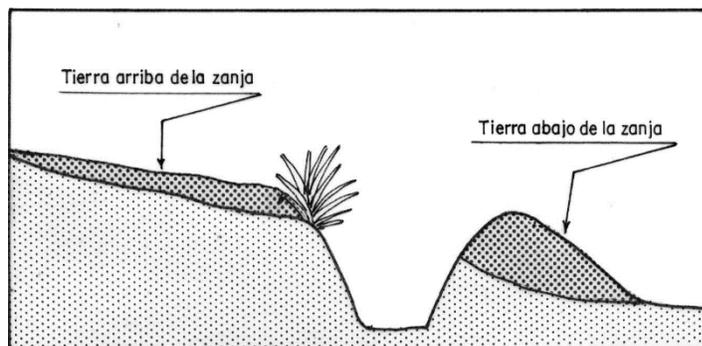
Fuente: Tracy y Perez,1986

La tierra excavada de la zanja puede ser colocada de dos formas:

- En el borde inferior de la misma.
- En el borde superior.

Cuando la tierra se coloca en la parte superior, es necesario que la barrera viva esté establecida con anticipación para evitar que el material sea arrastrado hacia la zanja, además como se la esparce (nivela) sobre el terreno, puede disminuir la fertilidad del suelo.

Disposición de la Tierra Excavada en la Construcción de Zanjas de Ladera



Fuente: Tracy y Perez,1986

Cuando se la coloca en la parte inferior, se la amontona y compacta en un camellón para aumentar la capacidad de la zanja, pero se pierde parte del área cultivable.

2. PRACTICAS BIOLÓGICAS

La cobertura vegetal juega un papel fundamental en la conservación de los recursos suelos y agua debido a que:

- Amortigua el impacto directo de las gotas de lluvia sobre el suelo.
- Favorece el mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo gracias al aporte de materia orgánica. El aumento de la M.O. incrementa la infiltración y almacenamiento del agua en el suelo.
- Disminuye la velocidad del agua de escurrimiento y retiene los sedimentos arrastrados.
- La vegetación gracias a su transpiración, reduce el contenido de humedad en el suelo. Esto permite que luego de una nueva lluvia el agua pueda almacenarse y no se pierda por escurrimiento.
- Las raíces de la vegetación, sujetan el suelo evitando su arrastre por el agua y viento.
- Mejora el paisaje.

En ese sentido, la implementación de prácticas biológicas es de suma importancia no solo para conservar el recurso suelo sino también para regular el régimen hidrológico de una (micro) cuenca, favorecer la biodiversidad y mejorar la calidad de vida de sus pobladores.

Las prácticas biológicas utilizadas con más frecuencia son:

- a) La forestación y reforestación de las partes altas de una cuenca, o microcuenca, con fines conservacionistas, u otras zonas no aptas para uso agropecuario o susceptibles a la erosión.
- b) Plantación de árboles cerca de obras físicas de conservación de suelos (muros de piedra, terrazas, diques, gaviones, taludes y reservorios de agua), con el objeto de evitar su deterioro al consolidarlas, y además darles a las áreas manejadas un aspecto más natural.
- c) La forestación y reforestación a orillas del drenaje natural (ríos y quebradas) de la microcuenca, con el objeto de estabilizar las orillas de los cauces naturales y proteger las tierras aledañas.

-Forestación y Reforestación

Las plantaciones forestales son prácticas biológicas importantes dentro de una visión integral de la conservación de los recursos suelo y agua, tanto a nivel de finca como de una cuenca hidrográfica. No obstante, sus ventajas aún gran parte de los pobladores rurales del Altiplano y Valles del país se resisten a su implementación debido a que los beneficios no son inmediatos.

Esta situación obliga a las instituciones que trabajan en programas de manejo de los recursos naturales a mostrar a la población rural y urbana beneficios que se pueden obtener con la implementación de áreas cubiertas por árboles o arbustos.

Estas explicaciones deben estar relacionadas con la importancia que tienen los bosques para la existencia propia del hombre y el medio ambiente en general, ya que incide en los siguientes aspectos:

- Regula el régimen hidrológico de la (micro)cuenca:
- Evita que se genere agua de escurrimiento y afecte a las áreas de cultivo y otras zonas importantes de la (micro)cuenca.
- Mejora la calidad del suelo.
- Mejora el hábitat para el ser humano y animales.
- Mejora las condiciones climáticas.
- Proporciona a los pobladores beneficios y servicios.

Luego de la capacitación y concientización de los pobladores con ayuda de cursos, talleres y visitas de campo a otras zonas donde ya existen ese tipo de experiencias, se debe en forma participativa definir a corto, mediano y largo plazo los trabajos que serían necesarios considerar, donde las prácticas biológicas deberían ser parte fundamental del manejo integral de la cuenca en forma conjunta al resto de las prácticas de conservación de suelos (agronómicas y físicas).

Para la forestación y/o reforestación de zonas susceptibles a la degradación de la cuenca, se debe hacer la preparación del suelo, la misma que se puede realizar de forma manual o mecánica, dependiendo principalmente de la pendiente, tipo de suelos y aspectos socio-económicos.

Los pasos a seguir para poder llevar a cabo una plantación forestal son:

- Coordinación con las comunidades
- Determinar la pendiente del terreno y las características físico químicas del suelo en las zonas a plantar.
- Calcular la distancia que debe existir entre las curvas de nivel (se puede definir a partir de las especies a plantar).

- Trazar las curvas de nivel y marcar los puntos donde se abrirán los hoyos para la plantación.
- Limpiar el terreno alrededor de los hoyos (cerca de 1 metro de diámetro), o limpiar una franja continua (1 metro de ancho).
- Cavar los hoyos de 40 x 40 x 40 cm como mínimo.
- Trasplantar los plantines.

Es importante que el suelo se encuentre húmedo, en ese sentido, se recomienda transplantar los plantines en la época de lluvias (enero, febrero o marzo) y preferiblemente los días nubosos. Es aconsejable regar los plantines antes de ser llevados al lugar de plantación para evitar su reseca y en lo posible deben ser plantadas el mismo día de su traslado del vivero al lugar de plantación.

El trasplante se debe realizar con el pan de tierra, quitando previamente el recipiente.

Se deben colocar los plantines en el centro del agujero, cuidando que estén en posición vertical. Mientras se sujeta la planta con una de las manos, se coloca tierra alrededor de las raíces, compactando suavemente el suelo de manera que quede bien firme. Así mismo se debe dejar alrededor del cuello de la planta un área cóncava (platillo) de recepción del agua de lluvia.

Es conveniente, previo a la plantación, colocar en los hoyos materia orgánica y tierra de mejor calidad para lograr un mayor rendimiento de los plantines.

Para garantizar el prendimiento de los arbolitos y/o aumentar la producción de los bosques, se recomienda implementar zanjas de infiltración o pequeñas terrazas de absorción, para interceptar el agua de escurrimiento que se presenta en los terrenos de ladera permitiendo su infiltración y aprovechamiento por la vegetación.

En terrenos con pendiente muy fuerte y también en climas secos, se debe ayudar a los plantines con la instalación de:

- Zanjas de infiltración.
- Pequeñas terrazas.

El objetivo principal de estas obras no sólo es evitar el escurrimiento sino también captar la mayor cantidad de agua y almacenarla en el suelo, para favorecer el prendimiento y crecimiento de los plantines (esto especialmente en zonas áridas y semiáridas).

Plantación con Ayuda de Zanjas de Infiltración

Los pasos que se utilizan para la apertura de zanjas de infiltración son los siguientes:

- Trazar las curvas de nivel manteniendo distancias de acuerdo a la pendiente del terreno y al tipo de árboles que se van a plantar.
- Abrir zanjas de aproximadamente 30 cm de profundidad, 40 cm de ancho superior y 30 cm de ancho inferior, con taludes más pronunciados si son más sueltos.
- Colocar la tierra extraída de las zanjas en su borde inferior para formar un camellón donde se plantan los arbolitos en hoyos abiertos en un sistema al tresbolillo.

Plantación con Ayuda de Terrazas Angostas

Las terrazas son plataformas angostas, transversales a la pendiente. Tienen un ancho aproximado de 1 m de ancho y una contrapendiente de uno por ciento.

La construcción de pequeñas terrazas angostas son más eficientes en un 25% que las zanjas de infiltración, porque su construcción es más rápida y menos laboriosa, en ambos casos el grado de uniformidad en la infiltración es el mismo.

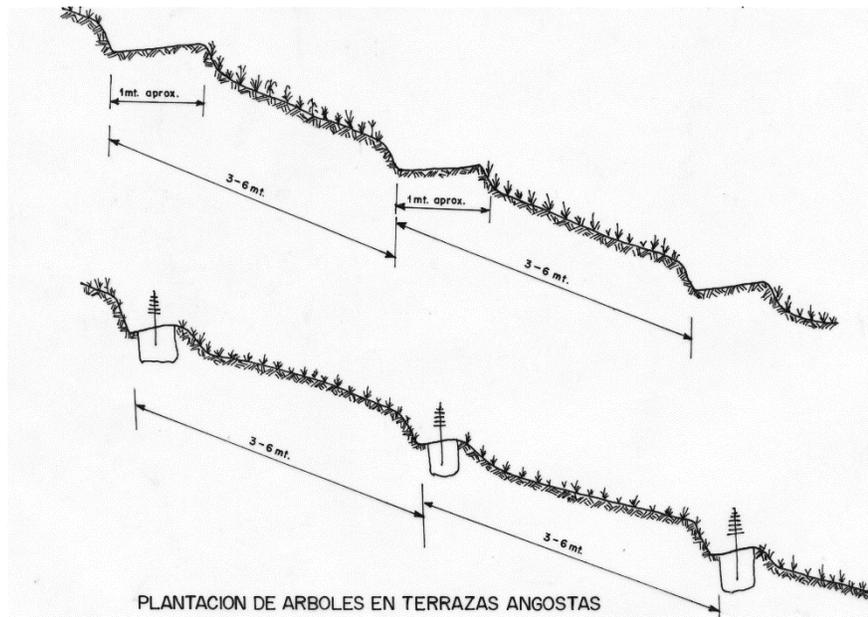
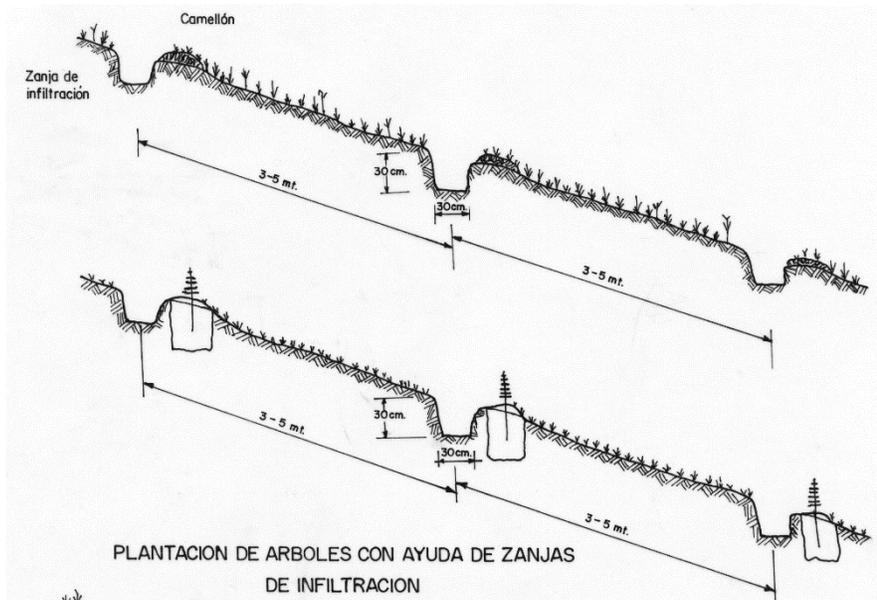
Si se quiere reducir, los costos de plantación, se pueden preparar pequeñas terrazas individuales en forma de media luna alrededor de cada planta con ayuda de piedras. Esto disminuye sustancialmente la mano de obra en comparación a los dos métodos anteriores.

Luego de establecida la plantación es importante realizar el manejo de la misma (podas, raleos y cortes).

Acciones Complementarias

Las acciones complementarias se realizan en las siguientes condiciones:

- Cuando no llueve por un período de 20 o más días después de la plantación, se recomienda aplicar un riego para evitar el secado de las plantas. La reposición de las plantas muertas, débiles, rotas o defoliadas debe hacerse hasta 60 días después de la plantación o al año. Por lo tanto es necesario recorrer el área forestada y evaluar el prendimiento (30 a 40 días después de la plantación).
- Se deben realizar deshierbes periódicos con chontilla o mano para evitar la competencia de las malezas con los plantines. Esta operación se debe llevar a cabo luego del riego de las plántulas.



Fuente: PNCSACH,1985

- En zonas secas los incendios forestales son un peligro para las plantaciones y por consiguiente deben prevenirse, pues una vez iniciados son difíciles de combatir y pueden destruir todos los esfuerzos realizados en varios años. En ese sentido para prevenir la propagación del fuego se recomienda dividir el área forestada por callejones cortafuegos (aproximadamente de 5 m de ancho), los cuales deben mantenerse limpios de maleza, especialmente en las épocas secas del año. Otra práctica a utilizar es plantar alrededor de la plantación especies grasas o suculentas (agave o cactáceas) que son poco susceptibles al fuego debido a su alto contenido de agua.
- En caso de ser necesario la quema en la preparación del suelo para las nuevas plantaciones, se deben elegir días con poco viento; además deben participar los vecinos para mantener una vigilancia y control adecuado durante las operaciones. Las quemadas en lo posible deben

hacerse por la noche, cuando la humedad es mayor y los focos de incendio son más visibles. En la limpieza del sitio es importante considerar el grado de la pendiente, la susceptibilidad a la erosión y si la vegetación nativa puede competir con la plantación.

Factores Limitantes para las Plantaciones Forestales.

Entre los factores que limitan el desarrollo, crecimiento o implementación de árboles en una zona o (micro) cuenca se tiene:

- El clima (presencia heladas, sequías, granizos, vientos, etc.), situaciones muy comunes en las zonas semiáridas, áridas y subhúmedas secas del país.
- Costo elevado de la plantación.
- Dificultades en la producción de plantas.
- Animales sueltos que perjudican las plantas (ovejas, cabras, vacas, etc.).
- Poca valoración de los pobladores rurales a los beneficios del bosque.
- Tiempos moderadamente largos a largos para obtener beneficios.

Como la forestación es una actividad que requiere gastos importantes, el repoblamiento natural según el Programa Nacional de Conservación de Suelos y Agua en Cuencas Hidrográficas (1985) del Perú, resulta ser una opción barata en comparación a otros métodos (plantación de árboles introducidos).

Para la forestación implantada o natural es muy importante analizar, discutir y definir en forma conjunta con la comunidad:

- Porqué y para que se quiere plantar.
- La superficie promedio que necesita cada familia para producir su leña.
- Determinar que zonas en la cuenca presentan problemas de degradación (erosión) y cuales no tienen aptitud para cultivos o pastos y que pueden ser destinadas para la producción de leña o madera y además para la protección de la (micro)cuenca.
- Acordar para las zonas vedadas o recién implementadas, cuantos años se debería dejar crecer la vegetación antes de su explotación para leña, madera u otros.
- Determinar los sitios que no deberían ser pastoreados para favorecer el desarrollo de la vegetación arbórea o arbustiva.
- Definir el tipo de sanciones a imponer a los que incumplan las disposiciones sobre el manejo de las plantaciones.
-
- Por otro lado, una vez que se ha establecido la plantación es importante definir un plan de manejo de los bosques establecidos para no quitar al mismo tiempo en áreas extensas los árboles favoreciendo los procesos de degradación.

Como en los Valles, Altiplano y Chaco las condiciones climáticas y edáficas presentan una serie de limitaciones (déficit hídrico, en la mayor parte del año, heladas, suelos superficiales y con baja fertilidad natural, etc.) que perjudican la implementación de áreas forestales y su desarrollo, es importante complementar con técnicas para mejorar la producción de estos productos y lograr

que esta actividad se convierta en una alternativa interesante para los pobladores de estas regiones

Reforzamiento de Obras de Conservación de Suelos con Ayuda de Prácticas Biológicas

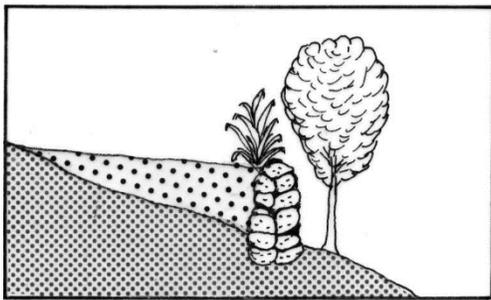
Estas prácticas consisten en plantar al pie de los muros de piedra, terrazas, reservorios de agua y en los taludes de carreteras o represas plantas arbustivas, arbóreas o herbáceas de manera transversal a la pendiente y siguiendo las curvas de nivel.

Generalmente estas prácticas están constituidas por una hilera de plantas arbustivas y/o arbóreas, que ayudan a consolidar las obras físicas y actúan con el tiempo como un puntal de contención y refuerzo del muro y además sirven para darle al sitio de intervención un aspecto más natural y estético.

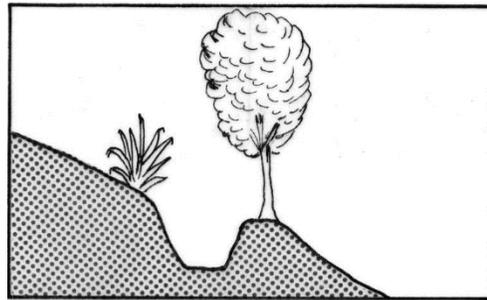
Según Tracy y Pérez (1986), la ubicación de los árboles o arbustos en las obras físicas de conservación de suelos varía según el tipo de la obra:

En el caso de las barreras de piedras (terrazas), los árboles o arbustos deben establecerse en una hilera paralela al borde inferior, a una distancia de 20 cm de la barrera.

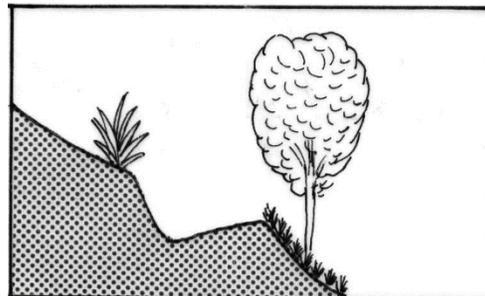
Prácticas Biológicas en Obras Físicas de Conservación



Árboles Plantados al Pie del Andén o Barrera de Piedra



Árboles Plantados en el Borde



Árboles Plantados en el Talud de Relleno de la

Fuente: Tracy y Perez, 1986

En las zanjas de ladera los árboles o arbustos deben ir encima del borde inferior formado con la tierra excavada.

En las terrazas angostas se recomienda la siembra de arbustos en una hilera al pie del talud inferior (talud de relleno)

Es muy importante en las áreas de cultivo realizar un manejo de los árboles para que no perjudiquen los cultivos agrícolas. Para tal efecto se recomienda podar los árboles al inicio de cada ciclo de producción para evitar sombra sobre los cultivos. Las ramas y follajes, se pueden utilizar como abono verde, forrajes, fabricación de compost o leña.

La vegetación plantada al pie y sobre los muros, según las experiencias de PROMIC (1997) en Cochabamba, debe tener un distanciamiento entre plantas de 0.50 m. Las plantas utilizadas en las cuencas de Cochabamba (2700 a 4000 m.s.n.m.) son la kiswara, kewiña, aliso, k'apa k'apa, manzanos, guindas y pastos como el phalaris y bromus.

En este sistema recomiendan el manejo de la vegetación, a partir del tercer año, a través de podas y raleos para que dejen pasar la luz y no perjudiquen al cultivo. Asimismo, es conveniente dejar cada cierta distancia (5 m) plantas de mayor porte (árboles) para que a mediano y largo plazo el agricultor pueda contar con madera de construcción, leña, callapos, puntales, y materiales para herramientas de labranza.

Las diferentes técnicas de estabilización y control de los taludes de carreteras, represas y otras utilizadas por PROMIC, en la cuencas del Tunari son de tipo biomecánico y biológico.

Estas prácticas favorecen el establecimiento de plantaciones forestales y arbustivas, las mismas simultáneamente ayudan a estabilizar los suelos y taludes debido al enraizamiento de la vegetación y aumento de la infiltración del agua en el suelo, aspectos que a la vez evitan la erosión hídrica (erosión laminar, en surcos, cárcavas y remoción en masa).

Recuperación Y Manejo De Praderas

Las praderas nativas son pastizales naturales que se encuentran en las tierras no cultivadas, donde crecen en forma espontánea plantas propias de la región, así por ejemplo en el Altiplano se tiene Chilliwares, Ch'ijiales, Pajonales, Th'olares, etc.

Las praderas tienen una composición variable de especies, algunas constituyen un buen forraje (pastos deseables), otras son de regular calidad (pastos poco deseables) y otras son poco apetecidas o dañinas para los animales (pastos no deseables).

Es de conocimiento general que gran parte de las praderas nativas del Altiplano, Valles y El Chaco se encuentran seriamente degradadas en cantidad y calidad por la actividad ganadera; este deterioro inicial de la cobertura vegetal (pastos) incide en la degradación de los otros recursos naturales (suelo y agua) importantes para la sobrevivencia del hombre. Por otro lado, los cambios climáticos a los que está últimamente sometido el mundo (calentamiento del planeta,

precipitaciones pluviales muy concentradas, incidencia de sequías y heladas) están acrecentando la degradación y pérdida de las coberturas y otros recursos.

Entre algunos factores que favorecen la degradación de las praderas nativas cabe mencionar:

- Incremento de la población ganadera por unidad de superficie, provocando el sobre-pastoreo.
- Fraccionamiento de la tierra (menor superficie por familia).
- Pérdida de las áreas de pastoreo por degradación de los suelos.
- Mal manejo (quemadas, extracción para leña de arbustos forrajeros, etc.).
- Reducción del periodo de descanso.
- Cambio del uso de la tierra.

En el Altiplano boliviano debido a las condiciones climáticas extremas (sequías, heladas etc.) los agricultores utilizan como estrategia para sobrevivir la crianza de un mayor número de animales por unidad de superficie que la capacidad de carga puede soportar. Igualmente en los Valles y El Chaco la carga con un mayor número de animales que la capacidad de soportar las praderas es normal.

Por capacidad de carga se debe entender como el potencial que tiene la tierra de soportar cierta cantidad de animales en función del alimento o la superficie de tierra que se necesita para alimentar a cada animal.

Ante los serios problemas de degradación que sufren las praderas del país, es importante buscar e implementar alternativas que permitan a mediano y largo plazo no solo conservar los recursos vegetales, suelos y aguas, sino también permitir un manejo sostenible principalmente de sus praderas en razón de que es una de las actividades económicas más importantes por su extensión. Sin embargo para lograr este propósito es importante contar no solo con soluciones técnicas acordes a la realidad socioeconómica de sus pobladores, sino contar con normativas locales adecuadas que permita regularizar el número de animales que pueden sostener los diferentes tipos de praderas.

-Recuperación de Praderas Degradadas en el Altiplano

Como la cobertura vegetal (pastos) ha desaparecido parcial o casi por completo de las praderas nativas del Altiplano y los suelos se encuentran descubiertos y sin la protección adecuada, es necesario impulsar la recuperación de los pastos con diferentes técnicas, no solo con el propósito de proteger los suelos sino también con el objeto de disponer con la suficiente cantidad de forrajes para el ganado. Entre las actividades que se deben realizar para cumplir este propósito se tiene:

Pasturas Degradadas

- (Re) siembra de Pastos Nativos.
- Siembra de Pastos con ayuda de Zanjas de Infiltración.
- Abonamiento Orgánico y Fertilización química.
- Transplante de Pastos.
- Instalación de Pastos Cultivados.
- Instalación de Claustros o Cerramientos.

- **Pasturas no Degradadas**
-Pastoreo Rotativo

-Siembra de Pastos Nativos en Terrenos Cultivados

Esta alternativa resulta ser de gran importancia en el Altiplano y otras regiones del país, donde debido al fraccionamiento continuo de las tierras agrícolas se está acortando drásticamente los periodos de descanso; por consiguiente en estos periodos cortos no es posible lograr que los suelos tengan una cobertura vegetal densa y tupida que permita la restitución parcial o total de su fertilidad natural.

Para la siembra de praderas nativas es necesario en primer lugar contar con semilla de pastos nativos recolectando el material genético de zonas o áreas donde abundan los pastos nativos.

Para la recolección de pastos en primera instancia es muy necesario conocer las características fisiológicas de los pastos nativos y las épocas más adecuadas para la recolección de sus semillas.

Una vez recolectada la semilla es necesario realizar la limpieza respectiva para eliminar todas las impurezas contenidas (cáscaras, tierra, ramas y otras) con ayuda del venteo. Posteriormente la semilla se guarda en ambientes frescos, con poca luz y temperaturas medias constantes.

Como en nuestro medio no hay una empresa dedicada a la producción exclusiva de semillas de pastos nativos, no existe suficiente cantidad de material para sembrar. Si bien la recolección de semilla de pastos parece una tarea muy difícil, varias ONGs que trabajan en el Altiplano han logrado involucrar a las familias campesinas o comunidades en la recolección de semillas. Entre las estrategias utilizadas por estas instituciones para la recolección de este material se tiene la realización de competencias entre comunidades o familias y la entrega de premios como incentivos a los ganadores (por cantidad de semilla recolectada).

Para acelerar la protección adecuada y rápida de los suelos que van a entrar en descanso en el Altiplano y favorecer la recuperación de la fertilidad de los suelos, es importante ayudar a que estos suelos se repoblen lo más rápidamente posible con la siembra de pastos nativos y por lo tanto se cuente con mayor cantidad de forrajes. En ese sentido Ayala y Aranda (1999), recomiendan sembrar algún pasto junto con el último cultivo de la rotación (en el Altiplano con la cebada). De esta manera el suelo que entra en descanso (generalmente a partir del tercer año), tiende a cubrirse con vegetación la superficie del suelo en menos tiempo, en comparación al barbecho normal del agricultor.

La siembra de pastos, debe realizarse en forma conjunta al último cultivo de la rotación (cebada) durante la época de lluvias. Como los pastos nativos tienen un desarrollo lento no perjudican el desarrollo del cultivo de la rotación.

- **Épocas Óptimas de Cosecha de Semillas de Pastos Nativos en el Altiplano Boliviano**

– Pa co paco	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
– Pai co	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
– Pa mpa yareta	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
– Pu scaillo	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
– Qu emallu	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
– Sac a	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
– Se wenca	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
– Sic uya	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
– Sill u sillu	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
– Th ola	– <i>Pares tephya lepidophylla</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
– Wa ycole	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
– Wa yka wayka	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
– W aylla	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
– Y areta kota	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Fuente: Ayala y Aranda, *Manual de Manejo y Conservación de Praderas Nativas*, SIP; 1999.

La ventaja de sembrar pastos de manera asociada al último cultivo de la rotación es aprovechar el terreno que ha sido preparado para el cultivo y por lo tanto no es necesario realizar esta operación de manera exclusiva para la siembra de pastos, lo que representa un ahorro económico.

Para que estos pastos sembrados ayuden a formar una vegetación abundante, es necesario que se siembren en las laderas en surcos en contorno, si es posible fertilizar y regar (época seca del año). Así mismo se debe esperar hasta el tercer año antes de empezar a ser pasteados, la misma que debería incluir un sistema de pastoreo adecuado.

Según las experiencias de Kurmi (2002) en la provincia Aroma, se puede utilizar los siguientes pastos en las tierras en descanso:

– Pastos Sembrados en Terrenos en Descanso

Tipo de terreno	Pasto	Cantidad de semilla (kg ha ⁻¹)
Terrenos en ladera	Mezcla de semillas de <i>Chojlla</i> , <i>Chilliwa</i> , <i>Yawara</i>	10 a 15
Terrenos en pampa	Mezcla de semillas de <i>Chojlla</i> , <i>Chilliwa</i> , <i>Yawara</i>	10 a 15
Terrenos con sales	Cauchilla	6 a 8

– Sin embargo es necesario considerar que los pastos mejorados y adaptados a las condiciones del Altiplano y bajo riego, pueden ser más ventajosos que la siembra de pastos nativos debido a su mayor potencialidad productiva y dando lugar a un uso más eficiente de los terrenos.

-Siembra de Pastos con Ayuda de Zanjas de Infiltración

En zonas donde la degradación de praderas es más avanzada (pérdida completa de la cobertura vegetal, erosión de toda o parte de la capa superficial de los suelos), es posible tratar de recuperar las praderas nativas del Altiplano con ayuda de algunas prácticas mecánicas como las zanjas de infiltración.

De acuerdo a las experiencias de algunas ONGs en el Altiplano, como SEMTA y KURMI, se recomienda abrir las zanjas de infiltración cada 3 a 5 m, según las características del clima (precipitación), pendiente y tipo de suelos. Por otro lado para recuperar los suelos salinos y/o sódicos, se recomienda abrir zanjas de infiltración cada 5 m. Las dimensiones de las zanjas más comúnmente utilizadas son de 40 cm de ancho x 40 cm de profundidad y si es posible tabiquearlas cada 3 a 5 metros.

– Las zanjas de infiltración permiten no solo cosechar el agua de escurrimiento y evitar que esta provoquen la erosión de los suelos, sino actúan como trampas e impiden y evitan que el agua de escurrimiento arrastre las semillas fuera de las parcelas, además que el agua acumulada ayude a la germinación de los pastos atrapados o sembrados en los lomos la zanjas durante la época lluviosa del año.

Donde las praderas nativas no han sufrido un deterioro marcado, la apertura de zanjas es suficiente para lograr su recuperación y no se necesita sembrar, solo se debe evitar la entrada del ganado. Sin embargo en casos mucho más severos es necesario no solo sembrar pastos en las zanjas sino también incorporar abonos orgánicos.

Si se dispone de maquinaria agrícola se recomienda pasar con rastra los espacios entre zanjas, debido a que los suelos generalmente se encuentran muy compactos y luego sembrarlos y fertilizarlos con abonos orgánicos. Si la zona es muy seca y los suelos son muy arcillosos y compactos las praderas tardan más tiempo en recuperarse.

Para lograr que la implementación de pastos sea efectiva se recomienda esperar por lo menos unos 2 años, antes de que el ganado vuelva a pastar en estos sitios.

De acuerdo a las experiencias de Kurmi (2002) la distancia entre zanjas depende de la pendiente del terreno y de la cantidad de pastos: cuanto más pendiente tiene el terreno o cuando los suelos tienen menos pastos, la distancia entre zanjas debe ser menor.

Relación entre la Pendiente y Distanciamiento de las Zanjas de Infiltración para la Recuperación de Praderas Nativas

Pendiente (%)	Distancia entre zanjas (m)
5 – 10	20
10 – 20	15
20 – 30	10
30 – 40	5

Fuente: Kurmi, 2002

Es importante al inicio de la época de lluvias, limpiar los canales, acumulando la tierra abajo de la zanja para cosechar mas agua y evitar que la tierra vuelva a llenar la zanja.

La cantidad de estiércol que recomienda Kurmi para abonar las praderas nativas es de 400 a 800 kg por hectaréa.

El tipo de pastos que se debe utilizar para recuperar las praderas nativas dependerá principalmente de las condiciones del suelo y clima y además que sean palatables para el ganado:

Kurmi (2002), recomienda la siembra de los siguientes pastos nativos para el ganado ovino para diferentes condiciones de suelo:

Planicie inundable y con problemas de Salinidad

Mezcla de Cauchi con Cola de ratón:

Cauchi: 3 a 5 kg/ha.

Cola de ratón: 1 a 2 kg/ha

Mezcla de Atriplex con Cola de ratón:

Atriplex: 3 a 5 kg/ha

Cola de ratón: 1 a 2 kg/ha

Mezcla de Cauchilla con Cola de ratón:

Cauchilla: 4 a 6 kg/ha

Cola de ratón: 1 a 2 kg/ha

Cauchi, Cauchilla o Atriplex puros:

6 a 8 Kg/ha

Pajonal – arbustal

Mezcla de Diversos Pastos por ha:

Trébol blanco: 0,5 kg

Festuca alta: 1kg

Pasto ovilla: 1 kg

Alfalfa: 1 kg

Cola de ratón: 1 kg

Podemos usar semillas de nuestros mejores pastos nativos o mezclas con pastos introducidos hasta alcanzar a unos 5 a 7 kg/ha.

Planicie inundable (sin problemas de salinidad)

Mezcla de Trébol Blanco y Festuca

Alta:

Trébol blanco: 2 kg

Festuca alta: 2 kg

Podemos usar semillas de nuestros mejores pastos nativos o mezclas con pastos introducidos hasta alcanzar a unos 5 a 6 kg/ha.

- Trasplante de Pastos

Una práctica que últimamente está siendo difundida en el Altiplano por algunas instituciones como Pachaman Urupa (Patacamaya), es el trasplante de pastos.

a) Cosecha de material vegetativo

La recolección del material vegetativo (esquejes, estolones, raigambres, rizomas y otros) debe ser realizada durante la época húmeda del año y de manera cuidadosa. Una vez cosechados deben ser protegidos adecuadamente de la radiación solar directa para evitar que se marchiten.

b) Apertura de Hoyos

Para el trasplante del material vegetativo de pastos, se abren huecos con ayuda de una picota o pala en las praderas degradadas. Las dimensiones recomendadas son: 20 x 20 x 20 cm para pastos (chillihua, porké y otros) y 40 x 40 x 40 cm para especies arbustivas (sehuenca, saca y otros).

c) Trasplante

El trasplante del material vegetativo (esqueje, rizoma, macollo, raigambre, etc.) a los huecos abiertos, debe realizarse durante la época húmeda del año para garantizar su prendimiento.

La parte de la planta seleccionada se deposita en el hueco, tapándolo con tierra, sin alcanzar el nivel original del suelo (aproximadamente 5 cm por debajo). Esto con el propósito de permitir que el agua de lluvia se acumule en estas depresiones o se pueda regar adecuadamente.

Debido al deterioro marcado de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos del Altiplano, se recomienda colocar en estos huecos algo de estiércol.

Entre las ventajas que se obtienen al sembrar o transplantar pastos nativos se tiene:

- Se acelera la regeneración de las coberturas vegetales.

- Se puede orientar la recuperación de las praderas nativas con especies nativas más palatables.
- Se protege los suelos contra la erosión hídrica y eólica.
- Se obtiene mayor cantidad de forrajes.
- Estos beneficios se reflejan en la mayor productividad de los animales.

-Instalación de Pastos Cultivados

Ante la degradación continua que sufren las praderas nativas en el Altiplano por el sobrepastoreo y otros factores, es fundamental mejorar el piso forrajero mediante la instalación de pastos cultivados.

La introducción de pastos cultivados permite no solo mejorar la producción ganadera, sino proteger el suelo y hacer que esta sea una actividad sostenible.

La importancia de los pastos cultivados radica principalmente en que:

- Reducen la erosión de suelos por presentar una cobertura vegetal densa.
- Los pastos cultivados proporcionan un alimento de mejor calidad nutritiva debido a sus contenidos importantes de proteína cruda (14 A 18%).
- Los pastos cultivados tienen un rebrote prematuro.
- La soportabilidad de los pastos cultivados es alta, al año pueden soportar de 20 a 30 ovinos por ha.
- La vida productiva de los pastos cultivados, con un buen manejo llega como promedio a los 10 años.
- Con la introducción de leguminosas (alfalfa y trébol), se mejora la fertilidad de los suelos.
- Los pastos cultivados proporcionan mayor ganancia económica, pues ofrecen forrajes en mayor cantidad y calidad.

Según Miranda y Canahua (2001), entre los pastos cultivados más interesantes para el Altiplano figuran la alfalfa (*Medicago sativa*), el dactylis (*Dactylis glomerata*), el pasto llorón (*Agropirum sp.*), trébol blanco (*Trifolium repens*), rye grasss ingles (*Lolium perenne*).

– **a) Implementación de Alfares**

– Preparación del suelo

Para la siembra de alfalfa se requiere preferentemente suelos profundos, francos a franco arcillosos con un pH por encima de 6,5.

La preparación del suelo (Al finalizar el periodo de lluvias o al inicio) se realiza generalmente con arado de disco o yunta y para su nivelación la rastra, la misma que ayuda a nivelar el suelo y garantizar la germinación.

– Fertilización

Es conveniente fertilizar el terreno con estiércol de oveja (5 a 10 toneladas por ha) y en lo posible complementar con fertilizantes fosfatados.

– Siembra

La siembra a secano se puede realizar en diciembre hasta la primera quincena de enero, mientras que bajo riego es posible adelantar la siembra a septiembre. La siembra puede realizarse al voleo o en línea (chorro continuo) a una profundidad de 2 cm y tapar las semillas con rastrillo o hacerla pisar con ovinos o alpacas.

Se utiliza generalmente una densidad de siembra de 18 kg de semilla por ha, en caso que vaya asociado al dactylis puede utilizarse unos 16 kg por hectárea. Es conveniente que la semilla sea inoculada previamente.

– Labores culturales

Entre las labores culturales que se utiliza para el cultivo de alfalfa y sus asociaciones se tiene el control de malezas la misma que se puede realizar manualmente o con ayuda de un pastoreo ligero con vacunos.

El primer pastoreo de la alfalfa se puede realizar luego de que este se haya alcanzado una altura de unos 20 cm (a los 12 meses) y en lo posible se debe realizar cortes para evitar el daño de la corona, ya que aquí aparecen los nuevos rebrotes de la planta.

b) Siembra de Trébol Blanco en Bofedales Degradados.

Los bofedales degradados es posible mejorarlos o recuperarlos con las introducción del trébol blanco (*Trifolium repens*). Especialmente si el bofedal tiene agua permanente o riego.

Entre las ventajas que presenta el trébol blanco para mejorar los bofedales degradados se tiene:

Este pasto perenne se adapta fácilmente hasta alturas los 4.300 m de altitud y tolera las heladas del Altiplano.

Se propaga fácilmente por medio de estolones.

Cubre los suelos desnudos y erosionados.

Mejora la producción de forrajes y al mismo tiempo aumenta su calidad nutritiva hasta en un 15% de proteínas.

Se eleva la capacidad de carga de los bofedales.

Mejora la fertilidad de los suelos.

– Siembra

La siembra del trébol en bofedales, se puede hacer directamente en hoyos abiertos o en los surcos superficiales abiertos con yunta (labranza mínima), cada 30 cm de distanciamiento.

La siembra en los hoyos es de 2 a 6 semillas, mientras que en los surcos es a chorro continuo (cerca de 5 kg por ha). Es conveniente luego de la siembra cubrir el suelo con una delgada capa de tierra fina y si es posible cubrirlas con paja para ayudar la germinación y proteger el cultivo de las granizadas.

– Fertilización

Se recomienda aplicar al voleo 3 toneladas de estiércol de ovejas o vacas por hectárea, especialmente después del riego o las lluvias para mejorar su efectividad.

– Riego

En caso necesario (época seca del año), se puede regar por gravedad cada semana o cada dos semanas, de acuerdo al tipo de suelo y del clima.

– Aprovechamiento

Los bofedales mejorados pueden comenzar a ser utilizados al año de la siembra, es decir cuando el trébol ha profundizado bien, el primer pastoreo debe ser bastante corto y los siguientes se realizan después del rebrote (cada 45 a 60 días).

Los pastos cultivados deben ser utilizados con preferencia en animales que generen mayores ingresos económicos: Vacas en producción de leche, engorde de ganado, ganado en parición y lactancia, etc.

-Instalación de Claustros o Cerramientos

Los claustros son áreas cercadas o cerradas en las áreas de pastoreo, con el propósito de evitar el libre acceso de los animales a estos sitios y lograr que la vegetación no sea afectada por los animales. De esta manera la vegetación que se desarrolla en estos lugares llega a producir semilla, las mismas que pueden ser diseminadas con ayuda del viento, agua, animales e insectos a las zonas aledañas.

Según Labrousse (1992) para la instalación de claustros podemos utilizar diferentes materiales como muros de piedras, postes y alambre de púas o cercar las praderas con plantas espinosas para evitar que el ganado consuma los pastos que se desarrollan en sus cercanías. En algunos casos debido a los costos que significa la implementación de áreas cercadas basta que los pobladores del lugar definan y declaren a un sitio como área de veda y prohíban el pastoreo.

Kurmi (2002), indica que las vedas (*Jarkatas*) pueden ser de dos tipos:

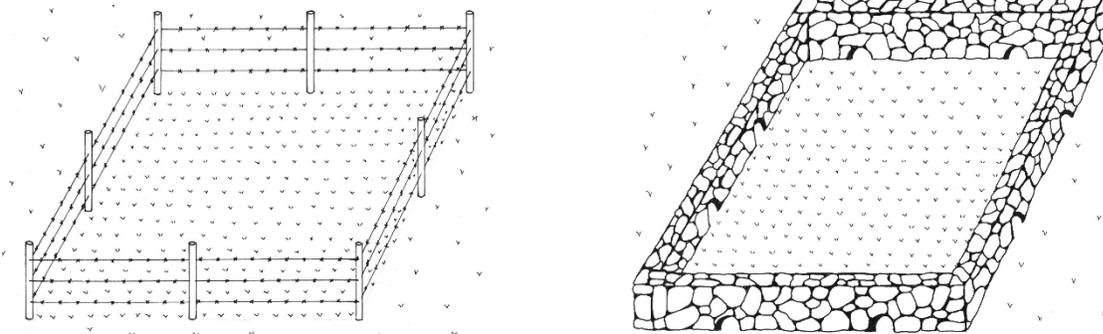
- Atajado temporal. Son áreas designadas por la comunidad donde se evita que los animales entren durante la época de lluvia –de diciembre a marzo-, tiempo en el que la pradera se recupera, el forraje se incrementa y queda disponible para los meses secos.
- Atajado permanente – Estas áreas permanecen cerradas durante períodos largos – años-, para producir semillas.

Para que la vegetación se recupere fácilmente en los claustros, también pueden ser complementados con zanjas de infiltración, resiembras y transplantes, y de esta manera favorecer la regeneración más rápida de los pastos en las áreas aledañas a esta.

Considerando las condiciones socioeconómicas del Altiplano y los costos de los claustros (especialmente cuando se utilizan postes, alambradas, muros, etc) es necesario aprovechar de la mejor forma posible los accidentes naturales (depressiones, quebradas, cerros, etc.) y materiales locales para el cercado como piedras.

La planificación de la instalación de claustros debe estar directamente relacionado con los requerimientos de pastoreo del ganado, y por lo tanto se hará en etapas y porcentajes de la tierra total disponible.

Claustros con Alambre de Púas y Muros de Piedra



Fuente: Elaboración propia, basado en Orzag, 2010

Manejo de Pasturas no Degradadas

-Sistema de Pastoreo Rotativo (SPR)

El SPR es un plan de rotación de pastoreo en las praderas para un tiempo determinado. Esto permite rotar las praderas de modo que algunas unidades de parcelas (canchones o potreros) de pastoreo se encuentren en descanso de manera alterna con las áreas pastoreadas y de acuerdo a una secuencia definida con anticipación. El periodo de descanso (todo el año, parte del periodo de

crecimiento, etc.) está en función a la cantidad de tierras de pastoreo disponible, número de animales, tipo de vegetación, clima, etc.

Según El Programa Nacional de Conservación de Suelos y Aguas en Cuencas Hidrográficas del Perú (1985), los objetivos de utilizar un sistema de pastoreo rotativo en una zona determinada a nivel familiar o comunal son las siguientes:

- Mejorar la calidad de producción de los pastos (follaje más vigoroso y tupido), debido al uso alternado del forraje producido en todas las unidades de pastoreo.
- Mejorar la eficiencia de pastoreo, usando uniformemente todas las partes de cada unidad de pastoreo.
- Asegurar un abastecimiento adecuado de forrajes durante toda la época de pastoreo y especialmente en la época seca del año.
- Mejorar y favorecer el hábitat de la vida silvestre.
- Ayudar a mantener y/o mejorar las propiedades del suelo y su fertilidad natural.
- Permitir que el pastizal se recupere y produzca más forraje para el próximo pastoreo.
- Permitir que los forrajes (pastos) favorezcan la captación e infiltración del agua en el suelo.
- Evitar el pastoreo de las especies más palatables.
- Controlar la erosión de los suelos.

– **Entre las ventajas principales que se logran al realizar una rotación de las pasturas se tiene:**

- Aumenta la producción de forrajes.
- Se favorece la formación de rizomas, macollos y raíces en mayor escala y por lo tanto una mejor protección del suelo.
- Las plantas de las parcelas en descanso tienen tiempo para producir semillas y/o reproducirse vegetativamente.
- Uso más uniforme de los forrajes por el ganado.
- Menores posibilidades de que el ganado consuma solo las plantas más palatables o las sobrepastoree.
- Menores problemas de parásitos y enfermedades en el ganado debido a que las pasturas se mantienen más limpias, en razón a que se rompe los ciclos de vida de parásitos u otras epizootias.
- Más posibilidades de mantener una cantidad estable de animales.
- Mayor eficiencia del apareamiento de las hembras debido a que se encuentran más concentradas.
- Mejora el pastoreo en la época seca.

Entre las principales desventajas de un manejo rotativo del pastoreo se tiene:

- Requieren generalmente de unidades de pastoreo más o menos uniformes.
- Se requieren más abrevaderos o más estanques de agua y en lo posible en cada unidad de pastoreo.
- El ganado y pastos requieren de inspecciones más frecuentes.

- Se requiere contar con acuerdos claros y bien definidos entre los ganaderos de una zona (caso de uso de pasturas comunales).

En caso de que no se disponga de unidades más o menos uniformes, se puede hacer una rotación más flexible y acorde con el tamaño de los potreros o canchones. En el caso de que no se puede instalar abrevaderos en cada unidad de pastoreo se puede optar por la instalación de estanques centrales y mangas de tránsito.

El plan de pastoreo requiere un conocimiento y seguimiento minucioso de los pastizales para que el traslado de los animales de una unidad a otra sea lo suficientemente rápido y satisfaga las necesidades nutricionales de los animales y no empeore la calidad de los pastos.

Cada ganadero o comunidad debe dividir las tierras de pastoreo en canchones o potreros similares, y cada una de ellas debe tener las mismas características fisiográficas que las otras (contar con una parte alta y baja, como en el Altiplano).

Como ejemplo, si se ha dividido las áreas de pastoreo en 3 canchones, cada uno debe tener su parte alta y baja (lo que significa 6 parcelas)

Esta división se realiza partiendo del conocimiento de que los ganaderos en las partes altas del Perú y Bolivia anualmente distribuyen su pasto para las dos épocas bien diferenciadas del año: La parte alta donde no hay fuentes de agua suficientes se pastorea durante los meses de noviembre a abril, es decir durante la época de lluvias, mientras que las partes bajas donde hay agua de pozos o río se pastorea en la época seca del año, es decir durante los meses de mayo a octubre.

Posteriormente se identifica que canchones tienen los peores pastos y /o producen menos, tanto en la parte alta (A) como en la baja (B) con el propósito de iniciar el repoblamiento natural en estas zonas (A o B) durante (un año completo o medio año por parcela) y por consiguiente no entran en el pastoreo rotativo.

Los 5 canchones restantes son pastoreados alternadamente durante medio año, durante un mes como promedio cada una, y luego se dejan descansar por un mes completo y al tercer mes debe ser pastoreada nuevamente. Se repite todo este proceso hasta que se termine el año. De esta manera se puede ver que el SPR, tiene dos maneras de manejo en forma conjunta: Uno la repoblación de las canchas durante el descanso en forma natural y otro el pastoreo rotativo.

Con esta rotación de dos canchones a la vez, el ganado tendrá pastos tiernos y adecuados en nutrientes.

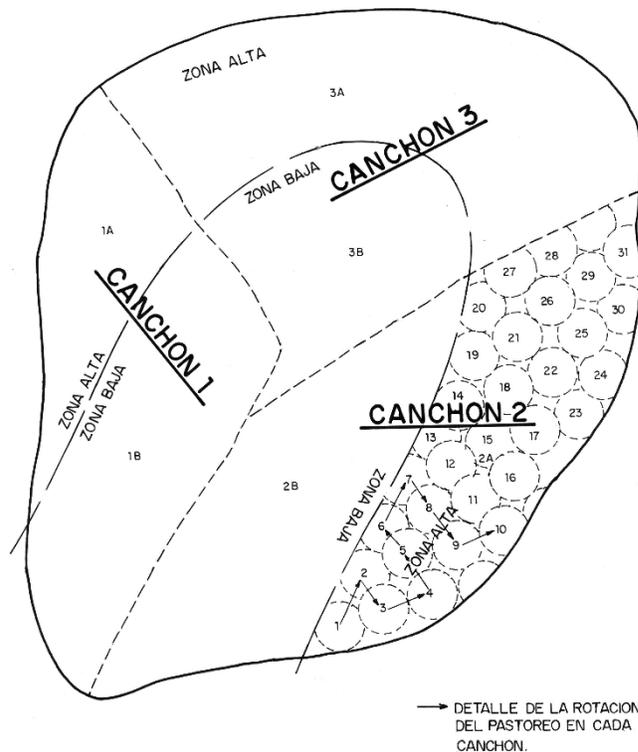
Si bien el ganadero pastorea por un mes un canchón, es necesario tomar en cuenta que dentro de esta superficie, también deberá tratar de hacer una rotación interna asignando a cada día una zona de pastoreo.

Es conveniente no incluir a todas las pasturas en un SPR, ya que conviene dejar algunos canchones o potreros para casos de emergencia como ser animales enfermos, periodos de cuarentena, épocas de no apareamiento para los toros, etc.

En vista de que los productores en el Altiplano no cuentan con muchos recursos que les permita limitar sus canchones o potreros con ayuda de alambres de púas, cercos eléctricos, etc., una forma de mantener el ganado en un sitio determinado de pastoreo es con ayuda de la sal, la cual debe colocarse en cada sitio de pastoreo correspondiente.

Por otro lado, para concientizar a los agricultores del Altiplano en la necesidad de llevar a cabo este pastoreo rotativo, se puede aprovechar de ir mejorando algunas estrategias desarrolladas en el país, como es el caso de Potosí; donde el pastoreo realizado en las comunidades del norte de este departamento son en forma conjunta en las tierras comunales y está a cargo de una familia cada cierto tiempo. Esta forma de pastoreo de alguna manera permite cierta rotación inicial de las pasturas, en razón de que la familia a cargo de esta actividad patea en general cerca de su propiedad y por lo tanto este sistema de rotación podría seguir siendo mejorado para con el tiempo llegar a una rotación más eficiente.

— **Ciclo de Rotación en Praderas Nativas**



Fuente: PNC SACH, 1985

-Manejo de Pasturas en Zonas Tropicales

De acuerdo a Sánchez (1981), cerca de la mitad de las pasturas y del ganado del mundo, se halla en suelos tropicales, sin embargo solo una tercera parte de la producción de carne del mundo y una sexta parte de los productos derivados de la leche se producen en esta región.

Actualmente en el Oriente de Bolivia debido al deterioro marcado que han sufrido las pasturas naturales y al desarrollo de la ganadería, se está dando gran importancia al manejo de las praderas. Esto se debe en gran parte a que los forrajes al margen de ser la fuente básica de alimento para el ganado, protegen los suelos de manera adecuada.

Desde el punto de vista del manejo de suelos, se identifican tres sistemas principales de producción de pasturas:

- Pastoreo Extensivo en Pasturas Naturales, Sistemas Silvopastoriles o Agropastoriles.
- Pasturas Mejoradas (mezcla de gramíneas y leguminosas).
- Establecimiento de Pasturas Cultivadas.

Pastoreo Extensivo en Pasturas Naturales

Las pasturas naturales en las zonas tropicales del país pertenecen a dos formaciones ecológicas:

- Bosques naturales para el ramoneo.
- Sabanas inundables.

En los bosques de ramoneo, la calidad de los forrajes no es un problema, debido a la biodiversidad que presenta esta formación, sin embargo el problema fundamental es la cantidad de biomasa aprovechable por unidad de superficie.

En cambio en las sabanas, el problema de la calidad del forraje es patente por la marcada presencia de gramíneas de baja calidad nutritiva (muy fibrosos) y pocas especies de leguminosas u otras latifoliadas de mejor calidad.

De acuerdo a varios autores se requiere aproximadamente de 5 a 25 ha de pasturas naturales por animal en zonas tropicales, en razón de que las pasturas son de baja calidad y no contienen suficiente cantidad de proteínas por falta de leguminosas.

Entre los factores que inciden en la baja calidad de las pasturas en primer lugar se tiene:

- Suelos ácidos de baja fertilidad natural.
- Falta de un manejo adecuado de las pasturas.

Si bien la quema periódica de las pasturas nativas es una práctica todavía muy común para la cría de ganado, su uso indiscriminado ha favorecido el deterioro de grandes extensiones de praderas nativas, suelos y medio ambiente en general.

Primavesi (2001), señala que la razón principal de la quema es la eliminación de los pastos secos y no palatables y estimular el crecimiento de brotes jóvenes y más palatables, sin embargo, la quema periódica de pastos trae como consecuencia la disminución de la calidad de las pasturas, debido a que van aumentando paulatinamente los pastos menos palatables (gramíneas toscas) y disminuyen los más palatables (leguminosas). Esta forma de manejo, como favorece el aumento

de los pastos duros y menos nutritivos, provoca la disminución de la producción de hasta un 25 % en 8 años.

Por otro lado, la quema de los pastos trae como consecuencia la disminución marcada de los microorganismos benéficos y de la materia orgánica del suelo, provocando mayor compactación y escurrimiento y a la larga la erosión de este recurso.

En ese sentido la implementación de sistemas de rotación de las pasturas naturales, se muestra según Primavesi (2002) como una alternativa real para lograr el mejoramiento de la calidad y recuperación.

Según Sánchez (1981), las gramíneas nativas de los géneros como la *Andropogon*, *Paspalum*, *Hyparrhenia*, *Trachypogon*, *Themeda* están bien adaptadas a las quemas, pero sus ciclos productivos son muy cortos y su uso es muy limitado porque cuando están maduras son poco palatables (ver Apéndice 9 sobre pastos nativos e introducidos por pisos ecológicos) . Otra gramínea introducida que también tolera la quema es la guinea (*Panicum maximum*).

-Fertilización de Pasturas Naturales

Como los pastos de las zonas tropicales producen bastante biomasa durante el año, requieren de una buena disponibilidad de nutrientes y agua en el suelo. Debido a los problemas de fertilidad que presentan en general los suelos ácidos de las zonas tropicales, la fertilización directa de las pasturas es importante.

Según Primavesi (2002) es de suma importancia la fertilización de los pastos como la *Brachiaria*, debido al déficit de fósforo que presentan los suelos ácidos tropicales y que evita la formación de estolones y una buena biomasa. Por otro lado el ganado también requiere fósforo (10 a 50 Kg de P_2O_5) para la producción de leche y carne. Por lo tanto con la fertilización química favorece no solo a las plantas sino también a los animales.

Como la mayoría de las pasturas naturales de los trópicos son bajas en nitrógeno disponible. La forma mas satisfactoria de mejorar la producción de pasturas naturales sin eliminarlas, ha sido sembrando leguminosas en ellas. Así en Australia, la productividad se incrementó por medio de la siembra de *Stylosantes humilis*, una leguminosa anual que se resiembra por si misma y es tolerante a la sequía, y a niveles bajos de fósforo disponible. Otra especie de leguminosa *Stylosantes guianensis* es de sabor desagradable en sus primeros estadios, por lo que el ganado lo deja crecer. Sin embargo es necesario considerar que como los pastos son agresivos muchas veces no permiten el crecimiento de las leguminosas asociadas a estas; por lo tanto es mejor incorporar leguminosas arbóreas que además proporcionan sombra al ganado. Esta última alternativa es una nueva tendencia para la formación de sistemas silvopastoriles que son más estables y productivos.

-Pasturas Mejoradas en Base a Mezclas de Gramíneas y Leguminosas

Debido al desarrollo de la ganadería mejorada en zonas tropicales y ante la necesidad de contar con forrajes de buena calidad para la obtención de rendimientos óptimos (leche o kg de carne/ha o año) se ha comenzado a la renovación de pasturas.

El mejoramiento de las pasturas naturales se hace pertinente debido a la baja producción de las especies nativas de gramíneas y su magra incidencia sobre la producción de carne y/o leche. En ese sentido para aumentar la producción de carne o la capacidad de carga, en la mayoría de los casos es necesario reemplazar el pasto nativo por especies mejoradas.

Cuando se tienen limitaciones de suelos y los costos son elevados para reemplazar los pastos nativos con especies mejoradas, se puede mejorar la productividad de los pastos, a través del mejoramiento del manejo de la pradera nativa, situación que evita alterar el ecosistema natural.

Selección de Especies y Adaptación a Suelos con Limitaciones

La selección apropiada de las especies de gramíneas y leguminosas, es fundamental para el mejoramiento de las pasturas; por lo tanto debe ser específica para cada región. Esta selección debe estar basada en las características que presenta el suelo, clima (humedad y temperatura) y altura sobre el nivel del mar.

Las gramíneas pueden agruparse de acuerdo a su adaptabilidad a tierras bajas ústicas de humedad del suelo, tierras bajas údicas, tierras altas frescas y regímenes acuáticos de humedad del suelo (Sánchez, 1981).

Gramíneas Tropicales

Entre las especies bien adaptadas a regímenes ústicos de humedad del suelo se hallan: *Brachiaria decumbens* (*braquiaria negra*), *Andropogon gayanus* (*gamba*), *Melinis minutiflora* (*capín gordura*), *Paspalum plicatulum* y *Bracharia humidicola*, las cuales son además tolerantes a las condiciones de acidez del suelo y al poco fósforo disponible.

En regímenes údicos se hallan también especies de gramíneas mejoradas como *Panicum maximum* (pasto guinea) y *Digitaria decumbens*, las cuales son tolerantes a la acidez y a la poca disponibilidad del fósforo. Otros como *Penicetum purpureum* (*taiwán, camerún rojo*), aunque tolerantes al aluminio, requieren altas cantidades de otros nutrientes, particularmente nitrógeno y potasio.

Leguminosas Tropicales.

Las leguminosas también se adaptan a tierras bajas ústicas, tierras bajas údicas, tierras altas frescas y regímenes ácuicos de humedad del suelo. La mayoría de estas especies entran en simbiosis con el *Rhizobium* del caupi, de crecimiento lento, que se encuentra en la mayoría de los suelos ácidos tropicales, por tanto no se requiere inoculación.

Norris (1967), señala que las cepas de *Rhizobium* de crecimiento lento liberan sustancias alcalinas, mientras que las estirpes de crecimiento rápido típicas de las leguminosas de la zona templada liberan sustancias ácidas. Las leguminosas que poseen el mecanismo liberador de alcali incluyen a *Stylosantes sp*, *Desmodium sp*, *Pueraria phaseoloides*, *Centrosema pubens*, *Calopogonium muconoides* (*calopo*), *Macroptilium lathirpides* (*edem*), *Macroptilium atropurpureus* (*siratro*), y *Lotononis bainesii* (*lotus*).

De acuerdo a Andrew (1973), todas estas especies son tolerantes a niveles altos de aluminio en la solución del suelo. Sin embargo, algunas son susceptibles a niveles altos de manganeso intercambiable, limitando su adaptabilidad a suelos ácidos altos en estos elementos.

Las siguientes especies combinan tolerancia a contenidos altos de aluminio y manganeso intercambiables con tolerancia a bajos niveles de calcio, magnesio y fósforo: *Stylosantes guianensis*, *Capitata humilis*, *Pueraria phaseoloides* (kudzu), *Desmodium ovalifolium*, *Zorna lastifolia*, *Centrosema pubens* y *Calopogonium muconoides* (calopo).

-Establecimiento de Pasturas Mejoradas

Según Primavesi (2002) la crianza de ganado es una actividad muy costosa cuando primero se selecciona la raza de ganado, luego el pasto adecuado para esa raza y, al final se modifica las características del suelo con enmiendas o fertilizantes para que el pasto crezca. Esta secuencia errónea ha sido muy común en varios sitios del mundo ya que el orden debería ser invertido, es decir primero se debe seleccionar el pasto en función a las características del suelo y el pasto al ganado; y todo esto compatible con el clima.

La mayoría de los sistemas de pasturas mejoradas, se desarrollan en base a la mezcla de gramíneas con leguminosas más que cultivos individuales. La función de las leguminosas es la de contribuir con parte del nitrógeno requerido por las gramíneas y con proteínas para la dieta de los animales, mientras que las gramíneas proporcionan el grueso de la energía al ganado debido a su mayor producción de materia seca.

Es importante que las dos especies seleccionadas tengan cierta compatibilidad en cuanto a sus hábitos de crecimiento, así las gramíneas de portes altos, tales como *Panicum maximun* (guinea), *Pennisetum Purpureum* son compatibles con leguminosas de porte bajo o rastreras, tales como el género *Stylosantes*, *Centrosema pubens* y *Pueraria phaseoloides* (kudzu), *Neonotonia wightee*. Por lo tanto la combinación correcta de gramínea y leguminosa es específica para cada región. Las combinaciones son el reflejo de la adaptación a diferencias climáticas o edáficas.

Según Primavesi (2002) en las pasturas semi-intensivas se puede introducir leguminosas arbóreas o arbustivas fijadoras de nitrógeno. Entre las especies más utilizadas en Brasil se tiene al *Cajanus cajan* bianual y *Leucaena leucochepala* (chamba), esta última está siendo utilizada con éxito en Santa Cruz debido a su rápido crecimiento y forraje rico en proteínas.

Entre los aspectos que es necesario considerar para esta implementación se tiene:

Condiciones Climáticas:

La lluvias (cantidad y distribución), temperatura y radiación solar son los factores más importantes para el crecimiento y desarrollo de los pastos.

En el trópico y subtrópico húmedo la presencia de lluvias durante 7 a 8 meses favorecen de manera marcada el desarrollo de los pastos cultivados y donde las temperaturas entre 25 y 30 °C favorece a las leguminosas y entre 30 a 35 °C a las gramíneas.

Desmante de Bosques.

Según Sánchez (1981), el desmante de bosques tropicales para establecer pasturas está avanzando rápidamente en la Amazonía. En estas regiones las gramíneas se siembran luego de la quema, no se siembran leguminosas y pocas veces se utiliza fertilizantes. Luego de algunos años el pasto guinea (*Panicum maximun*), es remplazado espontáneamente por especies rústicas duras y de bajo valor forrajero tales como *Paspalum conjugatum* y *Axonopus compressus*, conjuntamente con leguminosas espontáneas como *Centrosema pubens*, *Desmodium intorcum*. En áreas údicas donde el desmante incluye quema y se realizan buenas prácticas de manejo de ganado, las pasturas de guinea, persisten por mas de 20 años con una capacidad de carga de 1 animal ha⁻¹. En el Oriente boliviano (según comunicación oral con W. Fernández) se trabaja más con la braquiaria debido a que tiene más persistencia y rusticidad.

-Establecimiento de Pastos en Sabanas

El establecimiento de pasturas mejoradas en sabanas naturales incluye quemas fuertes al final de la estación seca seguida por una aradura con rastra de discos para incorporar las cenizas, los fertilizantes y la siembra con sembradoras mecánicas. El voleo de semillas sin rastrear produce resultados poco eficientes especialmente en leguminosas.

En las sábanas inundables del Beni por la excesiva humedad y características de sus suelos se tienen problemas para la implementación de esta práctica.

La transformación de sabanas naturales en pasturas mejoradas pueden dar resultado excelentes en la producción de carne, siempre y cuando su manejo sea racional.

En pasturas degradadas, la siembra de leguminosas con fertilizantes como superfosfato ha tenido buen éxito en Australia y Brasil, excepto cuando las sequías son prolongadas. Muchas de estas pasturas se hallan compactadas por el pisoteo del ganado.

En zonas templadas ácidas es necesario inocular la semilla de leguminosas con estirpes de Rhizobium y de esta manera se forma una especie de cubierta alrededor de la semilla con el inóculo, usando cal y fósforo como agentes adhesivos. Esta práctica estimula la nodulación, protege la semilla y al inóculo contra la acidez del suelo. Suministra nutrientes cercanos a la semilla y reduce los costos de fertilización. Sin embargo en suelos tropicales estas prácticas no son eficientes (Norris, 1967).

-Fertilización de Mantenimiento de Pasturas Mixtas

Después de la fase de establecimiento, las pasturas mixtas entran a un ciclaje de nutrientes bastante eficientes a través del pastoreo animal. Si se maneja una carga animal alta en periodos

bastante cortos y los animales pueden moverse libremente por la pastura, más del 80 % de nitrógeno, fósforo y potasio consumido por los animales es excretado en su orina y heces, y está bien distribuido en los potreros de pastoreo. Las pérdidas de nutrientes se dan cuando se sacan a los animales de la pastura o por la volatilización de urea de las heces o a la lixiviación a través del suelo. La fertilización tiene por objetivo reponer las pérdidas para mantener un ciclo estable de nutrientes suelo-planta-animal. Para tal sentido es necesario contar con análisis periódico de los suelos o vegetación que reflejan de alguna manera el estado del suelo.

– **a) Nitrógeno**

En la mayoría de los casos la fijación de nitrógeno por las leguminosas suple suficiente nitrógeno para compensar las pérdidas anuales de este elemento, además que satisface los requerimientos de las propias leguminosas y algo de P para las gramíneas. La fertilización con nitrógeno inorgánico generalmente ocasiona una marcada disminución de fijación de nitrógeno por la leguminosa, por cuanto la gramínea sobrepasa en crecimiento a la leguminosa sombreándola y reduciendo por tanto su presencia.

b) Fósforo

El mantenimiento de las necesidades de fósforo depende de los requerimientos nutritivos de las mezclas de gramínea y leguminosa, la capacidad de fijación del fósforo del suelo, y las cantidades añadidas durante el proceso de establecimiento. En la mayor parte de Australia se agregan cantidades muy pequeñas de fósforo. Aplicaciones iniciales de 10 a 35 kg ha⁻¹ de fósforo son seguidas por aplicaciones anuales de mantenimiento de 5 a 10 kg ha⁻¹ de fósforo. Estas bajas dosis resultan del uso de especies tolerantes a niveles bajos de fósforo disponible en el suelo y de la baja capacidad de fijación del fósforo de la mayoría de los alfisoles.

El costo de la fertilización con fósforo puede reducirse aplicando fuentes más baratas como roca fosfatada, particularmente en suelos ácidos.

c) Micro elementos

La presencia de deficiencias de micro elementos depende principalmente de las propiedades del suelo. La deficiencia de elementos secundarios y de micro elementos se llega a identificar a través de un análisis de suelos, plantas y animales, en este sentido, autores como Teitzel y Bruce (1972), recomiendan llevar a cabo estudios en de evaluación de fertilidad de suelos en invernadero antes de abrir nuevas áreas para la producción de forrajeras.

d) Encalado

Muchas de las gramíneas forrajeras tropicales que responden al nitrógeno, son tolerantes a niveles relativamente altos de aluminio intercambiable, el encalamiento se usa principalmente para

contrarrestar la acidez residual de altas dosis de aplicación de nitrógeno. En el proceso se corrige deficiencias de calcio o magnesio.

Las aplicaciones fuertes de nitrógeno bajan el pH y la saturación de bases en el subsuelo. En Puerto Rico se recomienda una tonelada de cal por hectárea para contrarrestar la acidez producida por la dosis recomendada de 1 tn ha^{-1} de fertilizante 15-5-10 que contiene sulfato de amonio a razón de 370 kg ha^{-1} de N.

En sistemas menos intensivos de pasturas en tierras con pendientes la erosión del suelo sería un peligro, pero con la excelente cobertura del pasto durante todo el año la erosión prácticamente se elimina.

-Establecimiento de Pasturas Cultivadas

Para el establecimiento de pasturas cultivadas en zonas tropicales, es importante considerar que primero el forraje debe estar adaptado a las condiciones del suelo y clima; y en base a este conocimiento se debe ver que tipo de ganado se puede introducir en una zona determinada. En la mayoría de los casos se define primero el tipo de ganado a introducir, sin pensar en el forraje y las condiciones climáticas que el mismo requiere. Muchas veces el forraje elegido difícilmente se adapta a las condiciones del suelo y por lo tanto requieren inversiones adicionales para el encalado y otros acondicionamientos de los suelos.

Entre las condiciones favorables para la adaptación de los pastos introducidos a una zona se tiene:

- Buena adecuación a las condiciones de suelo y clima.
- Tolerancia a la plagas y enfermedades de la zona.
- Buena recuperación después del corte, pastoreo o estrés climático.
- Producción de buena cantidad de forraje y cubrimiento adecuado del suelo.

Implementación y Propagación de Pastos

Para la implementación y propagación de los pastos se utiliza dos técnicas:

- Vía semilla. Generalmente esta manera de propagación es más barata (se debe utilizar semillas que tenga buen porcentaje de pureza, y germinación y además un valor cultural bueno a alto).
- Vía vegetativa: Se utilizan estolones, raíces y estacas, pero la implementación de pasturas con esta técnica requiere mayores costos.

Implementación de Pastos

Cuando la preparación del suelo se realiza con maquinaria agrícola se debe hacer, según Martínez (1998), una arada y dos pasadas de rastra y si es posible una nivelación. Todo esto con el propósito de favorecer:

- La formación de una buena cama para la germinación de la semilla y emergencia de las plántulas.
- La aireación del suelo.
- El control de las malezas a un inicio.

En las tierras recién chaqueadas y quemadas generalmente la siembra es directa.

Se recomienda que la siembra se realice al iniciarse el periodo de lluvias y cuando exista en el suelo suficiente humedad y temperatura.

En el Oriente del país debido a la topografía plana y tamaño de las propiedades agrícolas, la siembra de los pastos se puede hacer directamente con maquinaria (la que se utiliza para cereales y granos menores).

La semilla debe ser enterrada a poca profundidad (no más de 2 cm).

También se puede sembrar al voleo, en surcos poco profundos y a chorro continuo. Es conveniente luego de la siembra al voleo pasar una rastra, cadena o rama que lleve encima un peso (tronco) para lograr un mejor contacto del suelo con la semilla.

En los terrenos chaqueados se puede sembrar de forma manual directamente a golpe, en hoyos o con ayuda de una matraca a 0,5 m de distancia.

Cuando la siembra se realiza por material vegetativo, la distancia entre plantas varía entre 0,5 a 1m y en sistema cuadrado.

Los pastos que se propagan por material vegetativo son los que no producen semillas viables:

- Pastos de corte: *Pennisetum ssp.* (taiwan, camerun, king grass, napier, merkeron)
- Pastos de pisoteo: *Brachiaria mítica*, *Hemarthra altísima*, *Cynodon spp* (estrella, tifton, bremura) y *Echinochloa polystachia*.

En las pasturas implementadas y en formación, para favorecer su crecimiento y desarrollo adecuado se debe explotar lo menos posible y/o por lo tanto restringir en un inicio el pastoreo de animales, especialmente cuando las plantas aún no han alcanzado una altura de 15 a 20 cm.

Si el pastizal a desarrollado bien, se puede pastorear a partir del tercer o cuarto mes de realizada la siembra.

Es importante durante los primeros meses controlar las malezas con ayuda de una máquina desbrochadora o de manera manual (carpidas, machete, etc.).

Cuando la densidad de plantas es muy baja, se recomienda dejar que la pastura forme semillas y de esta manera el campo se resiembre de manera natural. Este paso es muy importante porque una buena cobertura vegetal protege el suelo de las intensas lluvias que se dan en las zonas tropicales y por lo tanto evitan la erosión del mismo.

– Por otro lado, es necesario mencionar que la rotación de pastoreo en las praderas es de suma importancia, en razón de que todas las plantas perennes necesitan de un periodo de descanso para recuperar las reservas en sus raíces. Este descanso hace a las pasturas más resistentes a las sequías y a las bajas temperaturas y garantiza además un rebrote vigoroso. En ese sentido la implementación de planes de rotación de pasturas, con ayuda de alambres electrificados, se está haciendo cada vez más común ya que permite planificar un descanso a las pasturas.

–

– Como los pastos son muy agresivos y evitan el crecimiento de las leguminosas cuando se les proporciona nitrógeno, Primavesi (2002), recomienda rotar pastos (*Brachiaria*) con soya cada 3 a 4 años. El insumo de nitrógeno proporcionado por la soya mejora el crecimiento del pasto, permitiendo el incremento de los rendimientos de forraje y por consiguiente mayor carga animal por unidad de superficie.

3. RECUPERACIÓN Y MANEJO DE SUELOS EXTREMOS (SALINOS y/o ALCALINOS)

En algunas zonas de Bolivia (Altiplano Central, Valle Alto y Central de Cochabamba, Valles Mesotérmicos de Santa Cruz, llanuras con depresión topográfica del Beni y El Chaco), existen suelos con concentraciones importantes de sales o sodio.

La acumulación paulatina de sales de diferente tipo en los suelos vírgenes o de producción se debe a procesos naturales y en algunos casos a la incidencia de las actividades antrópicas. En ese sentido estos procesos están dando origen a los denominados suelos salinos, salinos sódicos y sódicos de la literatura especializada.

La llanura fluvio-lacustre del Altiplano boliviano (8000 km²) es una de las zonas más afectadas por problemas de salinidad o alcalinidad, en donde la superficie de los suelos salinos y sódicos va aumentando paulatinamente cada año. Esta acumulación de sales o álcalis está afectando a las coberturas vegetales nativas, las propiedades del suelo y está incidiendo negativamente sobre los rendimientos de los cultivos anuales o perennes. Por otro lado, al haber menor cobertura vegetal sobre los suelos hay una mayor incidencia de los agentes como la lluvia y viento y por consiguiente mayor pérdida de suelos.

Si bien a nivel internacional se han desarrollado una serie de experiencias y tecnologías que permiten recuperar y habilitar las tierras afectadas por contenidos de sales o sodio para la producción agropecuaria, estas son aplicables más en países desarrollados, donde las condiciones socioeconómicas de los productores y del propio país no son una limitante, además de las ambientales, ya que el costo de algunas prácticas para recuperar los suelos afectados por sales o sodio son elevadas.

Entre las causas de salinización o sodificación de los suelos tenemos:

Causas Naturales

- Climas áridos a semiáridos.
- Suelos formados a partir de sedimentos fluvio-lacustres con elevados contenidos de sales y carbonatos.
- Suelos ubicados en planicies planas a casi planas, con predominio de partículas finas que inciden en su escaso lavado lateral (escurrimiento) o vertical.
- Napa freática muy cerca de la superficie del suelo.

La presencia de sales en el suelo, también tiene que ver con los procesos naturales de su formación (mineralización o meteorización de las rocas y minerales) Ejemplo: los esquistos sódicos dan origen al sulfato sódico y la dolomita, olivina y hornblenda pueden originar sales magnésicas. En climas húmedos las sales formadas, generalmente pueden ser lavadas del suelo, mientras que en climas áridos o semiáridos generalmente no son removidas completamente de sus capas superficiales.

En condiciones naturales, existe una relación marcada entre la ocurrencia y presencia de suelos salinos/sódicos con los climas áridos y semiáridos, debido a que en estos climas, la evapotranspiración potencial (ETP) en la mayoría de los meses del año son mayores a las precipitaciones (P). Bajo estas condiciones las escasas precipitaciones no facilitan el lavado de sales de las capas superficiales del suelo y, por otro lado, en estos meses secos predominan los movimientos ascendentes del agua del subsuelo hacia la superficie, facilitando el arrastre de sales hacia la superficie.

Causas Antrópicas

El uso irracional de los recursos vegetales, suelo y agua, puede favorecer los procesos de salinización/alcalinización de las tierras de cultivo y pastoreo. En ese sentido en el Altiplano boliviano y especialmente en la llanura fluvio-lacustre del Desaguadero, algunas actividades como el pastoreo excesivo, extracción de madera y leña y el riego, están contribuyendo a la acumulación de sales y/o sodio en los horizontes superficiales del suelo.

El sobrepastoreo y la extracción de leña, dejan las tierras de la llanura sin cobertura y por lo tanto los suelos quedan expuestos a los procesos de erosión. Bajo estas condiciones los horizontes superficiales del suelo pueden ser arrastrados por el viento o agua, dejando al descubierto los horizontes inferiores. Las capas arcillosas inferiores al quedar al descubierto se calientan fácilmente durante el día lo que favorece el arrastre paulatino de sales/sodio hacia su superficie por capilaridad.

Por otra parte, el riego efectuado en suelos con deficiencias de drenaje y con aguas de baja calidad (concentraciones importantes de sales), puede favorecer los procesos de salinización/alcalinización, como en el caso de algunos sectores de Chilahualla (provincia G. Villarroel) y El Choro (provincia Cercado) de los departamentos de La Paz y Oruro respectivamente (ver degradación química de los suelos).

De acuerdo a Porta et al. (1994), los suelos y aguas de las zonas semiáridas y áridas, contienen importantes concentraciones de cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos y nitratos, de sodio, magnesio, calcio o potasio.

En los suelos salinos, las sales que se acumulan por procesos naturales y/o antrópicos, son de distinto tipo, presentan una gran complejidad, variabilidad espacial y temporal en función a la temperatura y humedad del medio. Las sales más frecuentes en los suelos salinos tienen las siguientes toxicidades:

Los efectos de las sales sobre las plantas son:

El crecimiento y desarrollo de las plantas en medios salinos se ve afectado desfavorablemente con diferentes intensidades que varían de un cultivo a otro, para los mismos valores de CE (Conductividad Eléctrica en extracto de saturación) o el Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI).

La sintomatología que se nota en los cultivos en forma general (Pizarro, 1977 y Porta et al., 1994) por la presencia de sales en los suelos es la siguiente:

- Retardo en la emergencia de las plantas, que no puede tener lugar a salinidades elevadas.
- Menor área foliar y talla de la planta: el crecimiento es más lento y no llega a ser completo.
- Menor producción de materia seca.
- Necrosis en las hojas o endurecimiento y engrosamiento de las hojas.
- Disminución de los rendimientos de los cultivos.
- Muerte de las plantas en condiciones de salinidad extrema.

La germinación es una etapa crítica en el ciclo de la vida de la planta, y generalmente en suelos con exceso de sales es frecuente que haya una mala emergencia debido a que la semilla no puede humectarse y por consiguiente el embrión no dispone de humedad debido a la elevada presión osmótica y al efecto tóxico de algunos iones.

– De acuerdo a estudios de Vacher et al. (1994) y Rocha y Orsag (1992) sobre la base de las mediciones del potencial de equilibrio y potencial foliar, llegaron a la conclusión que las especies nativas de papa y la quinua, tienen mayor capacidad de absorción de agua en condiciones salinas que las especies introducidas, aspecto importante para definir estrategias de producción en estas zonas.

- **Recuperación de Suelos Salinos y/o Alcalinos**

La salinización/ sodificación natural y antrópica del suelo, está incidiendo para que extensas tierras de pastoreo y cultivos en el país se estén perdiendo cada año por el avance paulatino de estos procesos y por lo tanto su capacidad para la producción de forrajes o alimentos es cada vez menor. En ese sentido si no se toman en cuenta estos procesos de degradación con previsiones a corto, mediano y largo plazo que garanticen la producción agropecuaria sostenible, puede tener serias consecuencias sobre la economía rural de sus pobladores y crear serios conflictos sociales en la región.

Sin embargo cualquier propuesta orientada a buscar soluciones y alternativas para la producción agropecuaria sostenible en el Altiplano Central de Bolivia, deberá tomar en cuenta sus limitaciones climáticas, edáficas y socio-económicas y mejorar las estrategias desarrolladas por los pobladores locales para sobrevivir en esas condiciones adversas:

Para la corrección y explotación de los suelos salinos y alcalinos según Thorne y Peterson (1963) es necesario contar con estudios de las zonas afectadas, los mismos que deben incluir los siguientes puntos:

- Estudio de suelos detallados.

Por cada tipo de suelo determinado, se debe conocer por horizonte: su textura; pH; conductividad eléctrica (CE) tanto en la solución normal como en extracto, capacidad de intercambio catiónico (CIC), total de bases intercambiables (TBI); porcentaje de sodio intercambiable (PSI); clases y cantidades de yeso y carbonatos en el perfil; tasa de infiltración del suelo; curvas de retención, profundidad de la napa freática, etc.

- Fuentes y causas de la salinidad.
- Levantamientos topográficos.
- Análisis químico del agua que se va a usar (riego y lavados) y volúmenes de agua disponible.
- Manejo de suelos y métodos de riego empleados en la zona.

Con estos resultados se puede determinar las zonas aptas para riego y aquellas que necesitan algunas medidas como lavados o aplicación de enmiendas químicas.

-**Técnicas de Recuperación de Suelos Salinos y Sódicos**

Para la recuperación de suelos salinos y/o alcalinos según Pizarro,1977, se utilizan a nivel mundial generalmente dos técnicas fundamentales:

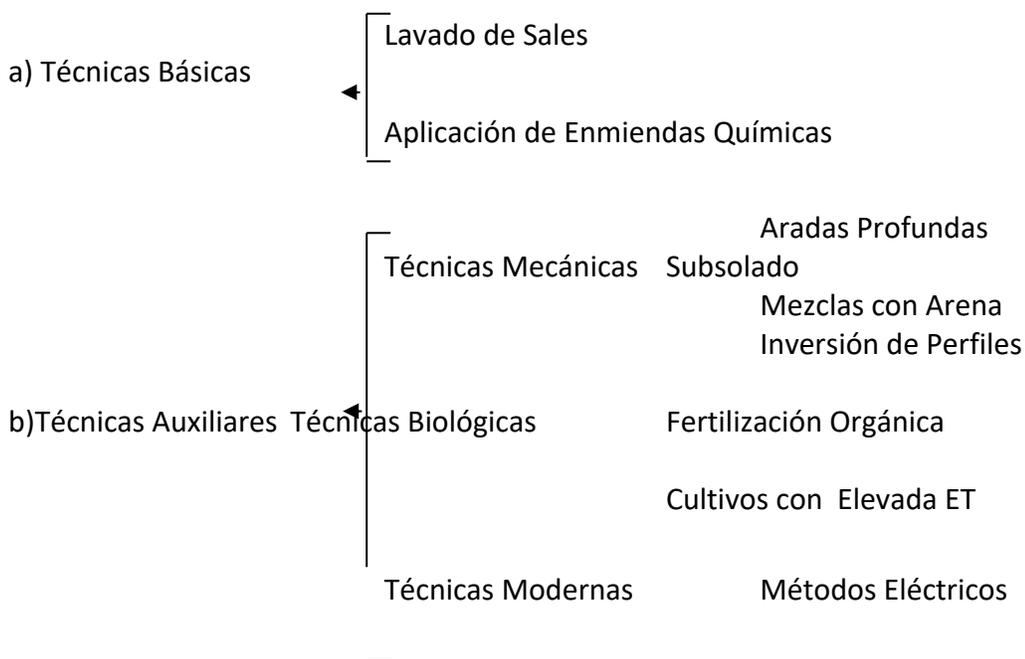
- Lavado de sales.
- Aplicación de enmiendas químicas.

Además de estas dos técnicas básicas se deben utilizar algunas prácticas complementarias (como subsolados, incorporación de materia orgánica, etc.) cuya función principal es aumentar la eficiencia de las técnicas básicas.

Un procedimiento que se utiliza comúnmente para evacuar las sales de los suelos salinos es su lavado, el mismo que consiste en hacer pasar a través del suelo una cierta cantidad de agua que arrastra las sales existentes fuera de la zona radicular.

En caso de que el suelo es alcalino (sódico) es preciso aplicar métodos más complejos ya que se requiere reemplazar el sodio intercambiable del complejo de cambio con ayuda de enmiendas químicas (mejoradores). Esto se consigue mediante la adición de sustancias que aportan calcio (por ej. yeso) o que ayuden a movilizar el existente en el suelo. El calcio aplicado desplaza al sodio intercambiable de sus enlaces químicos.

Técnicas utilizadas para recuperar los suelos salinos o sódicos se tiene:



– Lavado de Sales

El agua aplicada a los suelos salinos en forma suplementaria al riego tiene como finalidad:

Reducir la salinidad del suelo hasta niveles tolerables por los cultivos o recuperar suelos salinos que por su elevada cantidad de sales no pueden por el momento ser utilizados para la agricultura.

Para tal efecto se pueden realizar dos tipos de lavados que se denominan de mantenimiento, y que consisten en:

- Aprovechar el riego para lavar el suelo, añadiendo en cada aplicación agua en exceso.
- Realizar lavados periódicos independientes del riego. Estos lavados pueden tener una frecuencia anual, semestral, etc., en función de los factores que influyen en la salinización y en función también de otros factores como épocas de cosecha, disponibilidades de agua, etc.

– El primer paso que se requiere para la corrección de suelos salinos es la instalación de drenes (abiertos o subterráneos) para evacuar las sales solubles y el segundo paso es la corrección de los suelos salinos añadiendo un exceso de agua para lavar las sales.

Para realizar el lavado de sales es necesario formar alrededor de las parcelas de cultivo camellones parecidos a los que se utilizan para el cultivo del arroz por inundación. Previamente conviene eliminar de la parcelas la vegetación y dar un subsolado o laboreo de 25-30 cm, con objeto de facilitar la infiltración del agua. Antes de levantar los camellones se nivela el terreno, cuidando de eliminar los pequeños montículos.

La altura de los camellones depende de la cantidad de agua a aplicar, ya que cuanto mayor sea la lámina de agua más efectivo será el lavado. El empleo de grandes láminas tiene además la ventaja de contrarrestar pequeñas deficiencias en la nivelación.

Para lograr la máxima efectividad del lavado es importante fraccionar el agua en varias aplicaciones. En la primera aplicación se añade el agua necesaria para elevar la humedad del suelo a capacidad de campo (CC). La segunda se realiza dos o tres días después, es decir, luego de que el agua de la primera aplicación ha disuelto gran cantidad de sales, que son fácilmente eliminadas en las aplicaciones posteriores.

A medida que las aguas van pasando por el perfil del suelo, se van lavando las sales más solubles (cloruros de sodio y magnesio y sulfato de magnesio), mientras que el sulfato sódico tarda más en disolverse, sobre todo en aguas frías. El yeso presente en el suelo no es afectado prácticamente por los lavados.

En general, la eficiencia de los lavados es mayor cuando se efectúan en la estación cálida, debido a que la solubilidad de las sales aumenta con la temperatura. En el caso del sulfato sódico, su

lavado es muy difícil a temperaturas bajas, porque la sal forma precipitados que no son arrastrados por el agua.

Sin embargo los lavados aplicados al suelo, no solo lavan las sales sino pueden ocasionar pérdidas de algunos nutrientes importantes para las plantas (uno de los elementos más expuesto a estas pérdidas es el nitrógeno). En ese sentido es necesario compensar estas pérdidas mediante la aplicación de fertilizantes.

Se ha evidenciado que el agua de lluvia es un excelente lavador de las sales del suelo, debido a que prácticamente no contiene sales. Su eficiencia depende de que la mayor parte de las lluvias torrenciales no escurran y más bien se infiltren favoreciendo el lavado. Para este efecto es condición de que el suelo tenga buen drenaje.

—
Cuando se trata de terrenos ya desalinizados en los que se pretende evitar la resalinización, las necesidades de lavado se suelen expresar como un porcentaje del agua de riego aplicada. En general, el agua necesaria para el lavado se aplica junto con la del riego, añadiendo una cantidad excesiva, de forma que una vez que el suelo alcanza la capacidad de campo, el exceso de agua percole las sales hacia las capas más profundas.

— Uno de los problemas que se tiene en el Altiplano y Valles del país para poder lavar adecuadamente los suelos salinos, es que no se dispone de suficiente cantidad de agua y por otro lado existen problemas con la calidad de las aguas. Así mismo como en el Altiplano Central los suelos del área de riego tienen un subsuelo con problemas de drenaje es difícil realizar un lavado vertical adecuado.

— Para determinar la eficiencia del lavado es conveniente analizar las aguas de drenaje y determinar la cantidad relativa de sales eliminadas en comparación a las aguas añadidas al terreno, así mismo es necesario muestrear el suelo hasta una profundidad de aproximadamente 1,8 m para determinar los elementos que la conforman.

Los cálculos de agua que se deben añadir al suelo, se basan principalmente en las cantidades de agua requeridas por los cultivos, la capacidad de agua que se puede almacenar en el suelo y la cantidad de agua necesaria para lavar las sales hasta una profundidad definida.

Entre las técnicas complementarias más utilizadas se tiene:

a) Subsulado.

La práctica del subsulado de los suelos afectados por sales permite romper las capas endurecidas e impermeables del subsuelo para mejorar su permeabilidad y de esta manera favorecer el lavado de sales. Sin embargo, su efecto es de una duración limitada (uno a dos años). En trabajos realizados por Herve, Mita y Paz (2000) en la provincia G. Villarroel del departamento de La Paz, se ha podido evidenciar que los suelos salinos sometidos al subsulado disminuyen su contenido de sales gracias a la mayor infiltración del agua.

b) Aplicación de Arena

La adición y mezcla de arena a las capas de suelo permite de alguna manera mejorar la permeabilidad y la penetración de las raíces, lo que a su vez ocasiona una mejora de la infiltración del agua y por consiguiente el lavado de sales.

c) Inversión de Perfiles

En el caso de que el horizonte superior del suelo presente características no deseables y el subsuelo tenga condiciones más favorables, se puede invertir los horizontes del suelo con ayuda de un arado de vertedera.

Técnicas Biológicas

La adición de estiércol, o el enterrado de abonos verde tanto en suelos salinos como alcalinos tiene dos efectos que ayudan a la corrección de los suelos.

- Mejoran la estructura y la permeabilidad del suelo.
- Liberan CO_2 , lo que aumenta la solubilidad del CO_3Ca .

Los cultivos que tienen una ET elevada pueden favorecer el descenso de la napa freática y de esta manera facilitar el lavado de sales. Además del efecto indicado, los cultivos al dar sombra, reducen la evaporación de la superficie del suelo y por lo tanto no hay arrastre de sales hacia la superficie.

Otras limitaciones que deben ser tomados muy en cuenta en los futuros proyectos a implementarse en la zona son:

- La parcelación excesiva de la tierra y el manejo individual que tiene cada finca, puede afectar el manejo integral de los recursos de una comunidad o microcuenca, como el trazado y apertura de canales de riego y de drenaje.
- La pobreza en la que se encuentra la mayor parte de los comunarios y los costos elevados que requiere la incorporación de enmiendas químicas, lavado, implementación de sistemas de drenaje (subterráneos ó abiertos) y otras tecnologías para mejorar los suelos salinos y/o sódicos imposibilitan su uso.
- El bajo nivel de conocimientos y concientización de los agricultores, sobre los procesos de degradación de los recursos naturales

Manejo de Cultivos Tolerantes a la Salinidad

Trabajos realizados por Yenssen (1988), sobre un inventario de plantas nativas en las áreas semiáridas y áridas del mundo, han permitido identificar cerca de 1000 especies tolerantes (halófitas) a las sales, y con alta capacidad para producir alimentos, forrajes, energía, fibras, resinas, aceites esenciales y otros productos para la industria farmacéutica. Investigaciones llevadas a cabo en Israel

(desierto del Negev) muestran que es posible producir ciertos cultivos para conservas, con aguas cuya conductividad eléctrica está entre 4 a 7 dSm^{-1} , mientras que Miyamoto (1984) reporta la producción comercial de alfalfa y tomates con aguas de riego cuya conductividad eléctrica es de 3 a 5 dSm^{-1} . Sin embargo este autor, indica que muchas de estas especies tienen una pobre calidad agronómica, por consiguiente presentan una amplia variabilidad en la germinación y maduración (aspectos no deseables en una agricultura convencional).

Por otro lado, reportes de Aronson (1985; 1989), Boyko (1966), Epstein (1983; 1985), Callagher (1985), Glenn and O'Leary (1985), Pasternak (1987), Somers (1975) y Yensen (1988) indican que han producido granos, semillas de oleaginosas, pastos, árboles, arbustos forrajeros, arbustos energéticos, y una variedad de fibras y productos para farmacias y otros, usando aguas de riego con alto contenido de sales. Los rendimientos alcanzados bajo condiciones salinas son comparables en algunos casos a las obtenidas con cultivos sensibles a las sales en suelos no salinos.

Considerando que los cultivos son más sensibles a las sales durante la germinación de las semillas, es conveniente que en esta etapa se utilice, como estrategia para la siembra e implantación de algunos cultivos, aguas con menor contenido de sales. La siembra de alfalfa y otros cultivos en el Altiplano boliviano durante la época lluviosa (diciembre y enero), permite en esta época del año diluir las sales y por lo tanto disminuir la concentración de sales en el suelo (capa arable) y por consiguiente garantizar la germinación de algunos cultivos.

Como los cultivos presentan en general mayor tolerancia a las aguas salinas cuando ya se encuentran en estados vegetativos más desarrollados, se puede utilizar aguas con mayor contenido de sales en estos periodos (época seca del año). Esta práctica la realizan normalmente los usuarios de las aguas del Río Desaguadero, en los diferentes sistemas de riego de los departamentos de La Paz y Oruro (durante los meses de junio a octubre) para regar los cultivos de alfalfa y otros, con aguas cuya conductividad eléctrica del Desaguadero es de aproximadamente 4 dS m^{-1} .

En el Altiplano boliviano existen plantas forrajeras nativas como el cauchi (*Saueda foliosa*) y el atriplex (*Atriplex ssp.*) y cultivos como la quinua (*Quenopodia quinoa*) y algunas variedades de papa amarga, que se desarrollan en medios adversos de suelos (salinidad y sodicidad) y también de clima (heladas y sequías), produciendo forrajes o alimentos con alto valor proteico para los animales y el hombre. Sin embargo debido al avance de la salinidad y sodicidad en los suelos de la llanura fluvio-lacustre y ante el peligro de que estas especies, solo puedan desarrollarse hasta determinados umbrales de concentración de sales o sodio, es necesario llevar a cabo trabajos de investigación para determinar estos límites y contar para el futuro con material genético tolerante a mayores concentraciones de sales. Esto como condición necesaria para garantizar en esta planicie la sobrevivencia de sus pobladores a mediano y largo plazo.

Manejo de Suelos

Al margen del manejo de algunas especies tolerantes a la salinidad se debe considerar dentro de una agricultura salina el manejo del suelo, en razón de que este puede influir en la distribución y dinámica de las sales y permitir el cultivo de especies menos tolerantes a las sales.

En ese sentido es importante considerar la siembra en camellones como estrategia para utilizar suelos con altos contenidos de sales, debido a que la distribución de sales en estas obras no es uniforme luego de las lluvias o riego (Wadleigh y Fireman 1948). Esta distribución localizada de las sales en los camellones permite sembrar algunos cultivos tolerantes en los lomos de los camellones, donde la acumulación de sales es menor que en la parte superior.

En la provincia G. Villarroel del departamento de La Paz, según Hervé, Ledezma y Orsag (2002), los agricultores para la siembra a secano, utilizan algunas prácticas de manejo de suelos salinos que permiten:

Aumentar la cantidad de agua captada para el cultivo proveniente de la lluvia y escurrimiento de una superficie determinada y de esta manera desplazar temporalmente las sales fuera del área radicular del cultivo (cultivo en franjas). Si bien, estas prácticas de sembrar en franjas, son llevadas por el agricultor de manera empírica, es necesario realizar algunos estudios para que sean más efectivas, ya que esta práctica se basa especialmente en el espacio necesario que debe tener un cultivo para cosechar determinada cantidad de agua de lluvia, no solo para el crecimiento de las plantas (requerimiento de agua), sino también para desplazar y mantener a las sales diluidas.

Por otro lado, Ledezma (1995) y Rocabado (1999) indican que en la provincia G. Villarroel del departamento de La Paz, en suelos arcillosos con problemas de salinidad o sodicidad, la producción de cultivos a secano, se realiza en zanjas u hoyos, situación que permite de alguna manera mantener la humedad del suelo y que la concentración de sales en la zona radicular, esté en niveles bajos.

Otra práctica que debería ser evaluada en los suelos salinos del Altiplano, es la siembra en bancales; y que es utilizada con éxito en algunos lugares de EUA bajo riego. Esta práctica, como en el caso de la siembra en surcos o camellones, permite la acumulación de sales en zonas determinadas y que son obviadas para la siembra.

Considerando la tolerancia de la remolacha forrajera a las sales y clima, y el potencial de la zona para la lechería, sería interesante investigar su adaptación, ya que fue probado con éxito en Viacha (IBTEN). Este cultivo, actualmente en los EUA se siembra normalmente en suelos salinos, haciendo un camellón de 13 a 15 cm de altura sobre las semillas sembradas; esto con el fin de protegerlas de un secado rápido y hacer que las sales se acumulen en los lugares más altos de los mencionados camellones y por ende lejos de las semillas durante su proceso de germinación. Posteriormente antes de que las plantas formen tallos largos (situación no deseada en la remolacha) se eliminan los camellones.

Por otro lado, se ha visto que los productores del área no utilizan el estiércol producido por su ganado ovino para mejorar las características de sus suelos (estructura y permeabilidad), ya que venden este excelente mejorador como fuente energética a los fabricantes de yeso, cal o ladrilleras de Oruro y Challapata.

Si bien, no es común utilizar arados de subsuelo ni aradas profundas para mejorar los suelos alcalinos (sódicos), sin embargo se podrían obtener algunos beneficios, considerando que existe yeso en las capas inferiores y por lo tanto no es necesario aplicarlo. Con la preparación del suelo

se logra que el yeso sea invertido a la capa superficial y mezclados con los horizontes afectados por sodio, práctica que mejora además la infiltración del agua en el suelo. Trabajos realizados por Herve, Mita y Paz (2000), han demostrado que subsolando los suelos con problemas de salinidad y sodicidad en la prov. G. Villarroel es posible disminuir la concentración de sales por periodos cortos.

Manejo del Agua

Algunos métodos de riego en suelos salinos pueden ayudar al desarrollo adecuado de los cultivos, al mantener diluidas las concentraciones de sales presentes, o favoreciendo el lavado parcial de las sales de la zona radicular y creando de esta manera un medio favorable para las plantas. Sin embargo es necesario tomar en cuenta que algunos métodos de riego utilizados en zonas semiáridas inciden en mayor manera sobre la salinización y/o sodificación de los suelos que otros.

La aplicación de láminas de riego elevadas, como las que se producen en esta zona con el riego por inundación, pueden favorecer los procesos de salinización de los suelos con problemas de drenaje, ya que el frente de humedad alcanza fácilmente a los horizontes salinos y/o sódicos. Estas mayores láminas de riego, como no favorecen el lavado vertical, aceleran la acumulación paulatina de sales en las capas superficiales del suelo por ascensión capilar (época seca del año), afectando de esta manera a los cultivos. Por otro lado, láminas elevadas de riego pueden permitir hacer ascender la napa freática y con esto acelerar los procesos de salinización.

De acuerdo a los trabajos realizados por Ledezma (1995) en la provincia G. Villarroel, y a los efectuados por Rocabado durante la gestión agrícola (1998-99) en el sector de Santa Ana (G. Villarroel) y Veizán en Japo (El Choro), el riego aplicado por los agricultores a los suelos, al margen de servir para facilitar el preparado del terreno y cubrir las necesidades de agua de los cultivos, sirve para diluir y disminuir la excesiva concentración de sales en la superficie del suelo (época seca) y de esta manera garantizar la germinación de los cultivos sembrados.

En ese sentido según Hervé, Ledezma y Orsag (2002), como estrategia para habilitar los suelos salinos o alcalinos los comunarios de la provincia G.Villarroel utilizan riegos continuos antes y después de la siembra, aplicando los siguientes métodos de riego:

- Riego por inundación no controlada.
- Riego por surcos en camellones.
- Riego por inundación con surcos guía.
- Riego por inundación en tablonés.

De acuerdo a los trabajos de Orsag y Miranda (2000) se ha evidenciado que tanto en Chilahuala como en El Choro, existe cierta tendencia a la acumulación paulatina de sales en el suelo, aumento de la conductividad eléctrica (CE) y el por ciento de sodio intercambiable (PSI) en las parcelas con más años de riego. Por consiguiente, esta situación debe ser motivo de preocupación considerando que en la zona existen numerosos sistemas de riego tradicional. En ese sentido, es importante continuar investigando en forma integral aspectos relacionados a la influencia que podrían tener los diferentes métodos de riego utilizados en la zona, sobre la salinización y/o alcalinización de los suelos.

También es necesario considerar a futuro, los trabajos realizados por Shmueli y Goldberg (1974), que demuestran que el riego por goteo, permite ampliar el uso de aguas salinas en comparación a otros métodos tradicionales de riego y por ende utilizar aguas problemáticas.

Estas limitaciones de salinidad y sodicidad que presentan los suelos y las aguas del Altiplano, están también ligadas a limitaciones climáticas y especialmente heladas durante gran parte del año, por consiguiente la adaptación de algunas especies tolerantes a las altas concentraciones de sales, deben considerar necesariamente su tolerancia a las heladas frecuentes del Altiplano.

4. MANEJO DE SUELOS ACIDOS

La mayor parte de los suelos ácidos se encuentran distribuidos en las zonas tropicales húmedas, templadas y boreales. En Bolivia los suelos ácidos se encuentran distribuidos preferentemente en las regiones lluviosas de Pando, Beni, Santa Cruz, Norte de La Paz y Cochabamba, es decir en aquellos suelos donde existe un régimen de humedad percolante ($P \gg ETP$).

Los suelos tropicales viejos (Oxisoles y Ultisoles), según Espinoza y Molina (1999) son naturalmente ácidos, mientras que los suelos formados de diferentes materiales parentales pueden convertirse en ácidos luego de un uso intenso durante periodos largos.

Según Sánchez (1981), hasta finales de la década de los 50, se creía que solo el protón de hidrógeno (H), era el causante de la acidez del suelo, sin embargo trabajos realizados por Coleman et al. (1967), demostró que el aluminio intercambiable es también un catión asociado a la acidez del suelo.

En los suelos tropicales orgánicos, el hidrógeno está asociado a los grupos carboxílicos de la materia orgánica y durante su mineralización pueden liberar los hidrogeniones de los grupos carboxílicos y reaccionar con los silicatos de las arcillas laminares, liberando Al^{3+} intercambiable y ácido silícico (Coleman et al., 1967). En los suelos ácidos minerales muy ácidos el hidrogeno no se presenta comúnmente y la acidez está relacionada con la presencia del aluminio intercambiable, el mismo que se precipita cuando el pH del suelo se halla entre 5.5 y 6.0, por lo tanto a pH mayores se encuentra poco o nada de aluminio intercambiable.

La formación progresiva de los suelos ácidos según Porta, López-Acevedo y Roquero (1994) se debe principalmente a los siguientes aspectos:

- Litología de los materiales originarios (rocas pobres en bases, sedimentos ricos en sulfuros, escombreras con sulfuros).
- Suelos ricos en silicatos, óxidos de Al y Fe, ácidos solubles.
- Posición topográfica (entrada de aguas con protones o pérdida de agua con bases).
- Vegetación (Extracción continua de bases).
- Naturaleza de la materia orgánica o fertilizantes incorporados al suelo.
- Procesos de reducción en suelos con drenaje deficiente.

Los suelos ácidos mayormente se forman en las zonas lluviosas del trópico y subtropical del mundo debido a la pérdida de bases que sufren por lavado o lixiviación (régimen de humedad

percolante). Estas pérdidas provocan el reemplazo de las bases del complejo adsorbente (Ca, Mg, K y Na) por cationes como el hidrógeno, aluminio, hierro y manganeso.

Otras de las causas de la acidificación de los suelos puede deberse al tipo de agricultura extractiva que se practica en algunas zonas. Los cationes alcalinotérreos extraídos con preferencia por las plantas no son repuestos en la misma proporción por el hombre.

El uso excesivo y continuo de fertilizantes fisiológicamente ácidos como: el cloruro de potasio, sulfato de potasio, amonio, urea, fosfato amónico y nitrato de amonio, favorecen la acidificación de los suelos, en razón de que sus residuos acidificantes ayudan a la formación de ácidos en el medio.

Efectos de la Acidez del Suelo sobre la Fertilidad

Los suelos ácidos en general presentan limitaciones para la producción agrícola debido principalmente a la:

- Toxicidad elevada del Al^{3+} y Mn^{2+} presentes en el complejo de cambio o en la solución del suelo (pH inferior a 4,5).
- Deficiencia del calcio y magnesio.
- Menor disponibilidad de fósforo, potasio, azufre, boro, y molibdeno (este último a partir de un pH por debajo de 6,5).
- Pérdida de disponibilidad del P en los suelos ácidos, que se debe a las reacciones de este elemento con el aluminio y hierro. A partir de reacciones por debajo de 6,5, el fósforo se precipita en forma de fosfatos insolubles de Al y Fe.
- Menor disponibilidad de nitrógeno por la disminución de la actividad de las bacterias fijadoras de nitrógeno en las leguminosas o las que viven libremente.
- Presencia excesiva de Mn, Fe, Co, Zn (pH comprendidos entre 5,1 a 5,5).

Por otro lado:

Algunas propiedades físicas del suelo como su estructura pueden ser afectadas por la presencia excesiva de hidrogeno cambiante y un déficit de cationes bivalentes.

Cuando el aluminio se halla en la solución del suelo en concentraciones mayores a 1 ppm, frecuentemente provoca una disminución de los rendimientos, ya que este elemento daña directamente al sistema radicular de los cultivos ya que interfiere su división celular (Abruña, et al 1970). El desarrollo radicular de los cultivos bajo estas condiciones sufre un necrosamiento y comienza a presentar puntos muertos. Las plantas sensibles al exceso de Al y Mn presentan menor peso y en su área foliar existe menor contenido de Ca, Mg y P, aumentando el de Al, Mn y Fe.

Estudios realizados por Fay, 1974 (citado por Sánchez,1981), señalan que el aluminio se acumula en las raíces impidiendo la absorción y el traslado de calcio y fósforo a la parte aérea. Se ha observado que el crecimiento deficiente de la vegetación, también puede deberse a la deficiencia directa del calcio y magnesio. Abruña (1970), observó que el tabaco cultivado a un pH de 4.2 con 0.4 meq. de calcio/100 gr de suelo, tubo un crecimiento restringido en la raíz debido a la toxicidad del aluminio así como a la deficiencia de calcio.

Por otro lado, en suelos donde la reacción del suelo fluctúa entre 5.5 y 6.0, puede presentarse problemas por la presencia del manganeso. La toxicidad del manganeso también aumenta cuando en el suelo se dan procesos de reducción (por sobresaturación con agua durante periodos prolongados), debido a que los iones de Mn^{4+} pasan a Mn^{2+} , que son más móviles. De esta manera ciertos suelos ácidos pueden ser más tóxicos a bajos contenidos de aluminio pero altos en manganeso.

Encalado del Suelo

El propósito del encalado es neutralizar la presencia del hidrógeno en la solución del suelo o el aluminio y/o manganeso que se encuentran en forma intercambiable o en la solución del suelo. El encalado con diferentes enmiendas provocan la precipitación del aluminio, situación que favorece el crecimiento de las raíces.

Por otro lado, el encalado es importante para disminuir la solubilidad del manganeso, ya que en la medida que aumente la solubilidad de este ión, mayor será el riesgo para los cultivos. Sin embargo como el Mn es un nutriente para las plantas, el objetivo del encalado no es eliminarlo completamente, sino mantenerlo dentro del rango adecuado. La concentración entre 1 a 4 ppm de Mn en el suelo constituyen el rango óptimo para la mayoría de las plantas.

De acuerdo a Porta, López-Acevedo y Roquero (1994), a nivel mundial se han desarrollado diferentes metodologías para determinar las necesidades de cal.

Entre las metodologías desarrolladas cabe distinguir:

- Métodos Directos:

Curvas de neutralización con una base.

- Métodos Indirectos :

Estudio del complejo de intercambio catiónico (porcentaje de saturación de bases).

Ambos métodos son lentos y por lo tanto en la actualidad no son tan utilizados ampliamente.

- Métodos Rápidos:

Equilibrio con una solución tamponada y estimación de la acidez por el cambio del pH.

Estos métodos debido a su rapidez y precisión, son los más utilizados a nivel mundial.

Para realizar el encalado se deben realizar algunos estudios de diagnóstico inicial, como ser:

Trabajo de Gabinete

-Información de suelos a tratar.

-Revisión de mapas de suelos ácidos de la zona y evaluación de sus regímenes de humedad.

Muestreo y Análisis de Suelos

En los suelos muestreados se debe determinar con preferencia:

- pH en agua y KCl.
- Cantidades presentes de Al y Mn intercambiables en las capas superficiales del suelo.
- % Al en relación a la capacidad de intercambio catiónico efectivo (CICE).

- % Saturación de Bases.
- Contenidos de sustancias acidificantes (piritas, sulfatos, etc).
- Contenidos de carbonato de Ca.

Información Complementaria.

- Conocer la tolerancia de los cultivos a cultivar al aluminio y manganeso.
- Conocer la calidad del material a aplicar.
- Condiciones socio-económicas de los agricultores.

Con base a esta información se debe calcular la cantidad necesaria de cal u otra enmienda para disminuir el porcentaje de saturación de aluminio. Además se debe definir el método de aplicación de la enmienda (Ver apéndice 12 sobre determinación de los requerimientos de cal para suelos ácidos).

Kramprath (1970), sugiere que el encalado se realice en función al aluminio intercambiable de la capa arable del suelo y que la dosis de cal sea calculada multiplicando los meq de aluminio intercambiable por el factor de 1.5 (factor utilizado para neutralizar los iones de hidrógeno liberados por la materia orgánica o los hidróxidos de hierro y aluminio, conforme aumenta el pH del suelo). Este factor puede tomar valores de 2 a 3, en la medida que se halle materia orgánica en el suelo y por tanto mayor concentración de hidrógeno intercambiable.

Para el encalado de los suelos, también se debe tomar en cuenta el nivel de aluminio intercambiable que pueden tolerar determinados cultivos. En este sentido, cultivos como el algodón, sorgo y alfalfa son susceptibles a niveles de 10 al 20 % de saturación alumínica, mientras que el maíz es susceptible al 40 y 60 % de saturación.

Otros cultivos como el arroz y caupi son más tolerantes, mientras que cultivos como el café, la piña y algunas pasturas pocas veces responden a la cal, aun en condiciones con elevada saturación de aluminio. Sin embargo el encalamiento puede ser necesarios en algunos cultivos tolerantes para contrarrestar deficiencias de calcio o magnesio.

Fuentes y Características de las Enmiendas Químicas

Para el encalado del suelo es importante considerar los siguientes aspectos:

Contar con una fuente adecuada como cal viva (CaO) ; cal apagada $\text{Ca}(\text{OH})_2$; caliza molida (CO_3Ca); margas y cretas (carbonatos de calcio impuro) con suficiente fineza y pureza.

Además, la selección de la fuente enmendante debe tomar en cuenta los contenidos de calcio y magnesio, así como del nivel de calcio y magnesio en el suelo.

Según el Centro Regional de Ayuda Técnica del AID (1979) y Espinoza y Molina (1999), la eficiencia agronómica de los materiales del encalado depende de los siguientes factores:

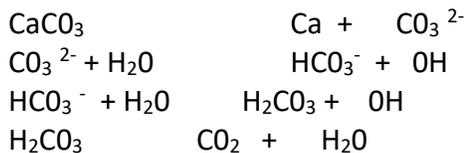
- Forma y pureza química.
- Tamaño de las partículas del material.
- Poder relativo de neutralización total para corregir la acidez del suelo. (Esta capacidad de la enmienda, depende de su valor neutralizante que se mide por el carbonato de calcio equivalente o por su óxido de cal equivalente).

-Reacciones de la Cal en el Suelo

El encalado permite la neutralización de los iones H^+ en la solución del suelo por medio de los iones OH^- producidos al entrar en contacto la cal aplicada con el agua del suelo. En ese sentido la efectividad de la cal depende en gran parte de la humedad del suelo.

Los óxidos tienen la capacidad de reaccionar inmediatamente con el agua del suelo transformándose en hidróxidos y neutralizando la acidez a través de una base fuerte, por lo que son más efectivos a corto plazo, sin embargo difíciles de manejar. Mientras que los enmendantes a base de carbonatos neutralizan la acidez a través de la hidrólisis (reacción con el agua) de los iones de CO_3^{2-} que son bases débiles. Los carbonatos a pesar de que no son tan efectivos como los óxidos, son los materiales de encalado que se utilizan con mayor frecuencia.

Las reacciones básicas de la cal en el suelo pueden ser ilustrada de la siguiente manera:



De acuerdo a las reacciones arriba indicadas se puede ver que el Ca no interviene directamente en las reacciones del suelo, y que el ión CO_3^{2-} es el que realmente eleva la reacción del suelo al hidrolizarse y producir iones OH^- . Luego de las reacciones, el CO_3^{2-} se disipa como CO_2 , y por lo tanto su acción en el lugar no es permanente.

El ion H que se encuentra en exceso en el suelo se convierte en H_2O . Por otro lado es muy importante observar que el efecto del encalado va más allá de estas reacciones. El incremento del pH permite la precipitación del Al^{3+} como $Al(OH)_3$, que es un compuesto insoluble, y que por lo tanto elimina el efecto tóxico del Al^{3+} en las plantas y la principal fuente de iones H. De igual manera el encalado precipita como hidróxidos insolubles el exceso de Mn y Fe que en ocasiones se encuentran en exceso en los suelos ácidos.

-Forma de Aplicación

Para la aplicación de la cal a los suelos ácidos, según Espinoza y Molina (1999) es muy importante tomar en cuenta que la cal se mueve muy poco en el suelo debido a que el ión CO_3^{2-} se disipa como CO_2 después de las reacciones de hidrólisis.

La aplicación de la cal en las capas superficiales del suelo, debe realizarse con anticipación a la siembra, esto con el propósito de dejar que la cal reaccione anticipadamente con el suelo y no afecte a las semillas o plántulas.

Por otro lado, la cal luego de ser aplicada sobre la superficie del suelo debe ser enterrada y mezclada adecuadamente con ayuda de un arado de disco o vertedera, para que no sufra pérdidas por el viento o agua y reaccione por contacto adecuadamente con el suelo. Una vez que los cultivos están establecidos (pasturas) y donde no es posible realizar la mezcla de la cal con el suelo, se puede aplicar la cal directamente sobre estos y sin necesidad de enterrarla.

En el caso de plantaciones de cafeto y banano en suelos ácidos, es posible solo encalar en bandas en la zona de fertilización. Esta forma de aplicación evita el desperdicio de la cal a zonas de las plantaciones donde no es necesario el enmendante.

Otra forma de aplicar la cal en los cultivos perennes, es directamente antes de la implementación de una plantación nueva; y si la acidez se presenta nuevamente en un cultivo perenne; es posible subsanar el problema con un encalado en bandas. También se puede colocar la cal en los huecos de siembra antes de colocar las plantas.

Cuando no es posible realizar una aplicación anticipada, una incorporación profunda de la cal puede ser más beneficiosa, siempre y cuando no dañe a los cultivos y actúe rápidamente con el suelo (cal viva y cal apagada). La factibilidad de una incorporación profunda de cal depende de las propiedades estructurales del suelo y del equipo disponible, por tanto la eficiencia es mayor en suelos arenosos, y no así, en suelos con horizontes arcillosos.

- La frecuencia de la aplicación de cal en el suelo va a depender de que si el pH ha bajado nuevamente en el suelo. En ese sentido es importante realizar mediciones periódicas en el terreno (mínimo cada dos años) para controlar su reacción.
- Como las reacciones de la cal suceden en presencia del agua, es importante realizar el encalado un poco antes al inicio de la época de lluvias.

Prácticas Complementarias

Como la reducción de la toxicidad del aluminio en el suelo es muy difícil y costoso a nivel de pequeños agricultores del país, es importante buscar otras alternativas para el manejo de los suelos tropicales ácidos.

Entre las alternativas que se pueden utilizar se tiene:

El uso de especies vegetales tolerantes a suelos ácidos, y que además son tolerantes a los niveles tóxicos de Al y Mn del suelo y a sus necesidades relativas de Ca y Mg. Los cultivos que crecen con relativa normalidad en estas condiciones son la piña, café, te, caucho, yuca y algunos pastos tropicales como la guinea (*Panicum máximum*). Si bien las leguminosas necesitan calcio para la nodulación, algunas especies como *Stylosantes sp*, *Desmodium sp*, *Calapagonum sp*, y el kudzu tropical (*Pueraria phaseoloides*) se desarrollan en estas condiciones sin ningún problema.

Los mecanismos fisiológicos asociados a la tolerancia o sensibilidad al aluminio se pueden deber, según Sanchez (1981), a :

- Diferencia en la morfología de la raíz, yemas laterales o radicales.
- Cambios en el pH de la rizósfera. Algunas especies aumentan el pH de su medio de crecimiento en relación a las especies sensitivas.
- Translocación más lenta del Aluminio a la parte aérea de la planta. Algunas especies acumulan aluminio en la raíces, mientras que otras como los árboles y los helechos la acumulan en las partes aéreas.
- En variedades tolerantes, el aluminio de las raíces no impide la absorción y translocación del calcio y K.
- La tolerancia varietal al aluminio en soya, trigo y cebada está relacionada con la absorción y translocación del calcio, en sorgo con el potasio y en las papas con la translocación del Mg y K.
- Efecto Residual del Sobre-encalamiento en los Suelos.

Cuando se realiza un sobre-encalado del suelo por la aplicación excesiva de enmiendas químicas alcalinas , se puede provocar una subida excesiva del pH de los suelos, provocando los siguientes efectos no deseables:

- Reducción del movimiento del agua.
- Deterioro de la estructura del suelo.
- Disminución de la disponibilidad del fósforo, boro, zinc y manganeso.

Se ha podido evidenciar que el encalado de los suelos hasta su neutralidad, favorece la formación de agregados más pequeños, lo que puede reducir significativamente las tasas de infiltración. Esta situación hace que ciertos oxisoles, así como ultisoles, se tornen más susceptibles a la erosión.

Por otro lado Ghani et al. (1955), encontró que el enmendamiento con oxido de magnesio disminuía las tasas de infiltración, debido al deterioro de la porosidad no capilar en un suelo laterítico, y no así cuando se utilizaba carbonato de calcio. También el sobre-encalamiento de los suelos ácidos provoca la disminución de la disponibilidad de algunos nutrientes para los cultivos.

El encalamiento del suelo hasta la neutralidad, puede provocar la insolubilidad del fósforo, debido a la formación de fosfato de calcio.

En suelos con revestimientos de óxidos, un sobre-encalamiento aumenta la absorción del boro por las arcillas, reduciendo la disponibilidad de este elemento, así mismo se presenta deficiencia de manganeso, ya que este tiende a precipitar en presencia de hierro y aluminio.

Otro elemento cuya solubilidad disminuye cuando el pH llega a valores de 6 a 7 es el zinc.

5. SISTEMAS AGROFORESTALES

Uno de los mayores problemas en las tierras agrícolas y de pastoreo en tierras de Valles, Trópico y Chaco de Bolivia, es la degradación de sus suelos, por lo que durante la última década se está dando gran importancia a la implementación de sistemas agroforestales particularmente en áreas tropicales y subtropicales.

Los sistemas agroforestales, son técnicas de manejo integrado de la tierra, donde especies perennes semileñosas o leñosas (árboles y arbustos) se asocian con cultivos agrícolas (anuales, bianuales, perennes o árboles frutales), forrajes y ganado de forma simultánea o secuencial, favoreciéndose mutuamente entre sus componentes interacciones biológicas y económicas que ayudan a mejorar la eficiencia del uso de la tierra.

Los sistemas agroforestales para las zonas andinas, según Brack (1993), tienen características diferentes a las que se promocionan en otras zonas del mundo, en razón de que no solo se utilizan especies arbóreas sino también arbustivas y herbáceas (cactus, gramíneas, etc.). Por otro lado los fines que se persiguen son heterogéneos, donde el componente de obtención de madera con frecuencia no tiene gran importancia, usándose más bien especies de uso múltiple, que tienen en algunos casos más de diez usos diferentes.

La agroforestería permite el manejo sustentable de los recursos suelo, agua y vegetación, en virtud de que se protege el suelo de la erosión de la siguiente manera:

Primero, gracias a las diferentes practicas agroforestales, agropastoriles y agrosilvopastoriles, hay un mayor aporte de materia orgánica (hojarasca) al suelo y por consiguiente un reciclaje más equilibrado de nutrientes. Esta materia tiene además una acción directa sobre la propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, tales como:

- Mejor estructuración y por consiguiente mayor porosidad y capacidad para retener agua y nutrientes.
- Incremento de la actividad microbiológica y disponibilidad de nutrientes en el suelo.
- Disminución del escurrimiento y por lo tanto de la erosión del suelo.

Segundo, la vegetación arbórea y/o arbustiva asociada a los cultivos evita la acción directa de la lluvia y la radiación solar sobre el suelo.

Tercero, siendo el agua uno de las limitantes para la producción agrícola en los Andes, los sistemas agroforestales pueden ayudar a retener mayor humedad en los suelos y de esa manera, estos sistemas, podrían contribuir a aminorar los efectos de la sequía en la región.

Es conocido que en los Andes la agricultura es muy riesgosa debido a las condiciones climáticas adversas (lluvias irregulares, granizadas, heladas, etc.), por consiguiente los sistemas agroforestales asociada a estructuras de conservación de suelos, contribuyen a disminuir eficazmente la acción destructora de las lluvias y vientos y ayudan a mitigar el efecto de las heladas al proteger las zonas de cultivo (Padilla,1993).

Para la selección de especies integrantes de un sistema agroforestal según Mariaca (1999) se deben tomar en cuenta los siguientes criterios:

- Recolectar información sobre las características ecológicas del sitio (clima, suelo, y otros).
- Determinar que productos y servicios nos interesan obtener de los árboles.
- Estudiar las especies nativas o exóticas existentes en el área, dando preferencia a las especies locales que son conocidas y manejadas por los agricultores.
- Determinar si las especies del lugar son utilizadas en sistemas agroforestales.
- Mejorar los sistemas agroforestales existentes en lugar de introducir uno nuevo.
- Lograr que los recursos tengan un uso complementario.
- Controlar los efectos alelopáticos de las especies forestales con los cultivos y/o frutales.

Ventajas y Desventajas de los Sistemas Agroforestales

De acuerdo a Budowski, citado por Puerta (1993) los sistemas agroforestales presentan las siguientes ventajas:

- Beneficios económicos adicionales que ayudan a satisfacer sus necesidades de leña, madera para construcción y muebles, frutas, forrajes, flores para miel, productos para medicina, industria, etc.
- Reducción de su dependencia a posibles condiciones climáticas adversas en comparación a cuando el agricultor se dedica solo a un cultivo (monocultivo), el mismo que es más susceptible a condiciones climáticas muy variadas, fluctuaciones de mercado, explosión de plagas, dificultad para adquirir fertilizantes y plaguicidas, etc.
- Crea microclimas favorables para los cultivos protegiéndolos de las heladas, los fuertes vientos y de la evapotranspiración.
- La presencia de árboles disminuye usualmente los costos de control de malezas.
- Algunos esquemas pueden permitir cambios graduales de prácticas destructivas hacia sistemas más estables.
- Existen varias alternativas para mejorar estos sistemas desde el punto de vista productivo (asociaciones más adecuadas de plantas y/o animales en el espacio y tiempo).
- Embellece el paisaje.

Entre las desventajas cabe destacar:

- En áreas deprimidas la recuperación económica toma mayor tiempo que en áreas con cultivos muy rentables, debido al tiempo requerido para plantar o cuidar árboles beneficiosos.
- En territorios densamente poblados y con pocas tierras disponibles, puede existir resistencia para plantar y cuidar árboles.
- El componente arbóreo arbustivo ocupa espacio que bien puede dedicarse a los cultivos, ocasionando pérdidas en la producción.
- Las raíces invaden los suelos ocupados por los cultivos.
- Los árboles y arbustos albergan animales (aves, roedores y otros) que consumen los productos agrícolas.
- El microclima generado en estos sistemas (alta humedad relativa) puede favorecer el desarrollo de microorganismos patógenos y causar plagas y enfermedades.
- Escasez de personal especializado y capacitado en sistemas agroforestales.

- En áreas pequeñas se complica el uso de maquinaria agrícola.

Según Saldías et al. (1994), los árboles o arbustos utilizados en los sistemas agroforestales se clasifican de acuerdo al papel que cumplen en:

- Árboles o arbustos de propósitos múltiples.
- Árboles maderables.
- Cultivos perennes y árboles frutales.

Los árboles o arbustos que se utilizan en los sistemas agroforestales, no siempre caen en una sola categoría, sino pueden pertenecer en algunos casos a dos o más categorías. Es el ejemplo de la castaña del Oriente boliviano, que si bien es un árbol maderable, la producción de frutos de castaña se convierte en la principal actividad debido a su gran demanda en el mercado internacional, siendo la base económica para la subsistencia de los pobladores de Pando, Norte del Beni y La Paz.

Árboles o Arbustos de Propósitos Múltiples

Son árboles o arbustos que se utilizan en los sistemas agroforestales con el propósito de obtener algunos beneficios secundarios como productos (madera, frutos, postes, etc.), aspectos que sobresalen sobre los servicios que estos proporcionan. La obtención de productos resultan ser muy interesantes para el agricultor o ganadero por los beneficios económicos que pueden obtener en forma complementaria.

Entre los servicios y productos que ofrecen los árboles o arbustos utilizados en los sistemas agroforestales tenemos:

Servicios

- Sombra.
- Protección contra el viento.
- Control de la erosión eólica.
- Control de la erosión hídrica.
- Reducción de la evapotranspiración.
- Fijación de nitrógeno.
- Reciclaje de nutrientes.
- Conservación de agua.
- Mejoramiento de suelo.

Productos

- Forraje.
- Madera, leña y carbón.
- Postes.
- Abonos verdes.
- Mulch.
- Miel.
- Frutos.

Según Padilla (1993), las utilidades que proporcionan las especies utilizadas en los sistemas agroforestales en los Andes son:

- Abonos, en forma de abonos verdes o como nitrogenante del suelo.
- Alimentos para animales (forrajes).
- Alimento para los productores (frutos, miel, vitaminas, sales, grasas, etc.).
- Material para viviendas (vigas, postes, paredes, amarres, techos) y materia prima para utensilios de cocina, artesanía y otros instrumentos.
- Energía como leña, carbón, combustible, antorchas y alumbrado.

Rodríguez (1999) reporta para el Altiplano y cabecera de valles del país las siguientes especies de acuerdo a sus utilidades:

a) Medicinales

- Chillca (*Senna aymara*) para luxaduras
- Retama (*Spartium junceum*) para arritmias cardiacas
- Quishuara (*Budlejia coriaceae*) para la prostata y afecciones de los riñones

b) Taninos y Tinturas

- Ñuñumayu (*Solanum nitidum*)
- Tara (*Tara spinosa*)
- Queñhua (*Polylepis sp.*)

c) Frutos para Alimentos Humanos

- Tuna (*Opuntia ficus indica*)
- Guinda (*Prunus serotina*)
- Sauco (*Sambucus peruviana*)

d) Forrajes**

- Quishuara (*Budlejia sp.*)
- Aliso (*Alnus acuminata*)
- Sauce llorón (*Salix babilónica*)
- Atriplex (*Atriplex sp.*)
- Thola (*Parastrephia quadrangulare*)

** Son utilizados como forrajes en épocas seca y cuando no hay otros forrajes.

e) Melíferas

- Retama (*Spartium junceum*)
- Mutu Mutu (*Cassia tormentosa*)

La combinación de árboles maderables con cultivos agrícolas, permite a mediano y largo plazo diversificar los ingresos de los agricultores. Estos árboles maderables al margen de proporcionar materia prima también pueden proporcionar otros servicios y productos.

De acuerdo a Saldías et al. (1994), como las especies maderables de calidad en general tienen un crecimiento lento, es necesario combinarlos con otras especies de menor calidad que se caracterizan por su rápido crecimiento. La inclusión de especies maderables de crecimiento rápido, permite al agricultor contar con ingresos complementarios casi desde un inicio y hacer más atractiva esta práctica, y por otro lado crea condiciones más óptimas para el crecimiento de los árboles maderables de mejor calidad

El proyecto Apoyo al Manejo, Conservación y Explotación de los Recursos Forestales en el Trópico de Cochabamba (1997), de acuerdo a las características edafoclimáticas de las zonas de trabajo

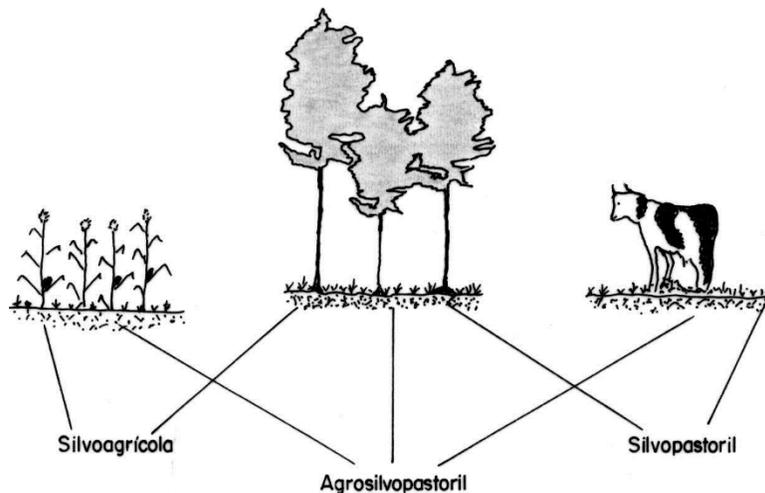
(Chimoré, Villa Tunari, Ivirgarzama y Puerto Villarroel), ha desarrollado sistemas agroforestales y agrosilvopastoriles. Entre las especies maderables manejadas con éxito se tiene a la goma (*Hylea brasiliensis*), mara (*Switenia mara*), tembe (*Bactris gasipae* Kunth), cerebó (*Schilozobium amazonicum*) y almendrillo (*Cordia sp.*), combinado con cultivos anuales (piña, yuca, frijol, maíz y arroz), cultivos perennes (cítricos, banano, palmito), o coberturas vegetales (gramíneas y leguminosas).

Una condición importante es que los árboles maderables sean altos, rectos y poco ramificados y por lo tanto no perjudiquen y compitan con los cultivos anuales o perennes. De todas maneras es necesario realizar podas radiculares para evitar la competencia con los cultivos.

-Cultivos Perennes y Árboles Frutales.

Los cultivos perennes y los árboles frutales cumplen el mismo papel que cuando se utilizan árboles en los sistemas agroforestales, es decir permiten a los agricultores que estos les presten algunos servicios (sombra, evitar la erosión, disminuir la evapotranspiración, protección contra los vientos, etc.) y proporcionen productos (frutos, forraje, mulching, miel, leña madera, etc.), aumentando sustancialmente sus ingresos económicos.

Sistemas Agroforestales



Fuente: Rodríguez (1999)

Según el arreglo espacial, orientación o densidad que se le da al componente arbóreo (arbustivo) en el sistema, estos se pueden clasificar en:

a) Sistema en Callejones

- Cultivos anuales o perennes en callejones.
- Barbechos mejorados.
- Callejones forrajeros.
- Callejones forrajeros de estratos múltiples.
- Cultivos en estratos múltiples.

b) Sistemas Dispersos

- Árboles dispersos en potreros.
- Árboles de sombra para cultivos perennes o frutales.

c) Sistemas en Líneas

- Postes vivos.
- Cortina rompevientos.
- Plantaciones en linderos.

-Sistema de Callejones

Es una práctica que consiste en asociar árboles o arbustos, alternados formando callejones de cultivos (anuales, perennes o pastos). Esta combinación de cultivos con árboles o arbustos permite incidir sobre la fertilidad del suelo al reciclar primero los nutrientes aportados por la materia orgánica de los árboles y el nitrógeno fijado y segundo mejorar las condiciones de humedad, temperatura y otros.

Saldias et al. (1994), indica que en los lugares planos los callejones deberían estar orientados de Este a Oeste para que los árboles puedan captar mejor la radiación, mientras que en las laderas se debe necesariamente seguir las curvas de nivel.

a) Cultivos anuales en callejones

La combinación de cultivos anuales en callejones con árboles o arbustos permite una intensificación del uso de la tierra debido a que se amplía el periodo de producción (verano e invierno) y se disminuye el periodo de barbecho.

De acuerdo a Saldias et al. (1994), en las tierras bajas se recomienda utilizar en la implementación de los callejones árboles como el gallito rojo (*Eritrina poeppigiana*), pacay (*Inga edulis*), cuchi rojo (*Gliricie sepium*), etc. cada 5 m. Los cultivos anuales a sembrarse deben tener un sistema radicular muy superficial para extraer los nutrientes de esta capa, en razón de que estos no son utilizados por los árboles. En general se recomienda que las especies arbóreas en lo posible sean leguminosas, ya que enriquecen el suelo fijando nitrógeno atmosférico.

Es importante que cuando los árboles hayan desarrollado lo suficiente, se inicien las podas periódicas a partir de alturas que fluctúan entre 0,50 a 1,50 m, de acuerdo a la especie utilizada, el cultivo asociado y el objetivo de la misma.

El material vegetal obtenido de la poda puede ser colocado en el callejón (sobre el suelo) para que al descomponerse proporcione nutrientes al suelo, evite la erosión y el enmalezamiento del mismo.

Según los trabajos de investigación llevados a cabo por el CIAT en Santa Cruz, y Saldías et al. (1994), han logrado definir que los callejones entre los árboles o arbustos pueden ser utilizados

hasta para obtener dos cultivos al año de manera más efectiva (ejemplo arroz en verano y frijoles en invierno).

Por otro lado este sistema podría ser utilizado para la mayoría de los cultivos anuales como ser: maíz, yuca, tomate, papa, cebolla, lechuga, zapallo, y otros.

Si en la época seca del año (junio a septiembre) no se siembran cultivos de invierno en los callejones, se puede dejar embarbechar durante este periodo para ser vueltos a sembrar en verano. Para aprovechar este espacio de una manera más eficiente se puede sembrar abonos verdes en invierno para mejorar el suelo y además controlar malezas.

Una vez establecido los callejones con árboles (leguminosas) se puede utilizar no solo para cultivos anuales sino también para cultivos perennes o pastos.

b) Cultivos Perennes en Callejones

La siembra de cultivos perennes en callejones y su combinación con árboles o arbustos es similar al sistema anterior, con la única diferencia de que los árboles deben ser de mayor altura y el distanciamiento en algunos casos mayor.

Al igual que en cultivos anuales, los cultivos perennes se desarrollan mejor en los callejones intercalados con árboles (leguminosas), gracias a que estos aportan nutrientes, además los árboles generan un microclima y protegen a los cultivos del viento. Tal es el caso observado principalmente en el tembe (*Bactris gasipaes Kunth*) que actualmente se está empleando también en el Chapare asociado con el banano. De la misma manera Milz (1998) indica que el tembe (chima o pejebey) en Alto Beni tienen variedades locales importantes para la alimentación de aves (gallinas) y que han comenzado a ser utilizados en sistemas agroforestales, como cultivos de cacao, mejoramiento de cultivos de cítricos, etc.

Si se quiere cambiar los cultivos anuales en los sistemas agroforestales por otros perennes, se recomienda aprovechar de mejor manera el tiempo, el espacio y la mano de obra. En ese sentido se debe sembrar con el último cultivo anual de la rotación en forma asociada a la especie perenne. Una vez que se coseche el cultivo el cultivo perenne queda establecido.

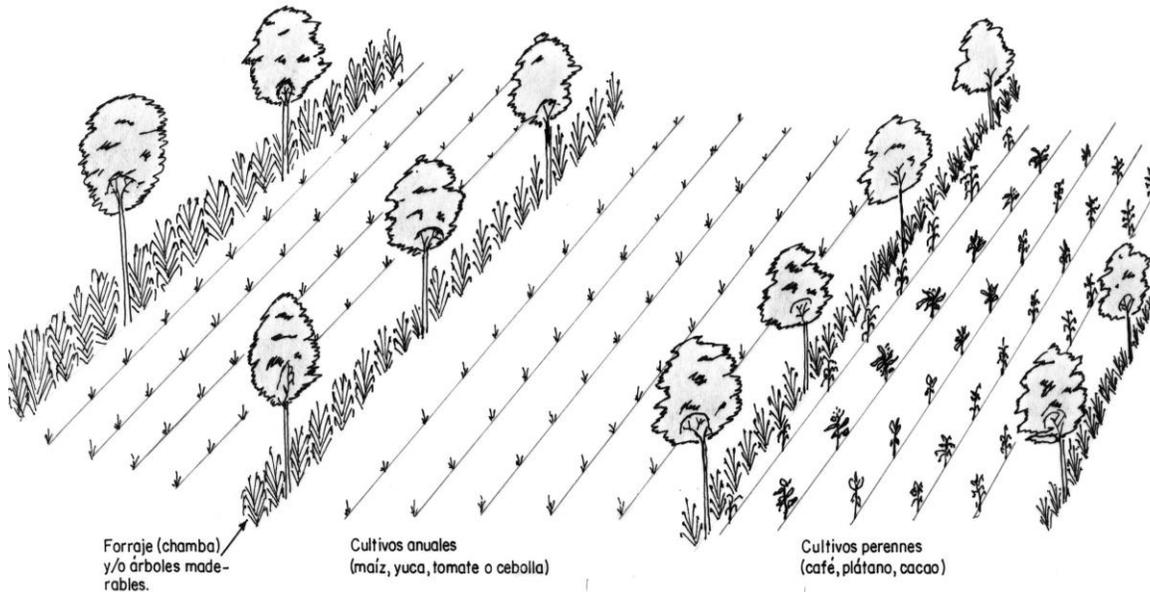
Como ejemplos de estos sistemas tenemos la asociación del café, cacao o plátano con árboles de chamba (*Leucaena leucocephala*), gallito rojo (*Eritrina poeppigiana*), pacay (*Inga edulis*), etc.

En la etapa de establecimiento del cultivo perenne, es recomendable utilizar en el mismo callejón alguna leguminosa de cobertura como el maní (*Arachis pintoi*) o *Desmondium ovalifolium*. Estas coberturas por un lado controlan las malezas, la humedad y la erosión y por otro proporcionan nutrientes al cultivo.

Las especies que han dado mejores resultados en la producción de materia orgánica y su aplicación al suelo en las zonas amazónicas del Perú son: la guaba o el pacay (*Inga edulis*), la amasisa (*Eritrina sp.*) y el choclo de oro (*Cassia reticulata*) en razón de que estas especies soportan de 3 a 4 podas al año y sus desechos orgánicos mejoran la producción de los cultivos al aportar importantes

cantidades de N, P, K, Ca y Mg, además de que controlan las malezas, especialmente por el depósito de materia orgánica sobre el suelo, y también regulan el agua de escurrimiento y evitan la erosión.

Sistema Agroforestal en Callejones



Fuente: Orzag, 2010

c) Callejones Forrajeros

Según Saldías et al (1994), la combinación de pastos con árboles (leguminosas) en callejones ha sido desarrollado en Australia. Este sistema está permitiendo el uso más intensivo de los pastos ya que soportan una mayor carga animal, lo que ha permitido obtener una mayor ganancia de peso y producción de leche por hectárea.

Para establecer estos sistemas, generalmente se siembra el pasto con el último cultivo de la rotación y de esta manera se gana tiempo, espacio y ahorra dinero.

Por otro lado las especies arbóreas utilizadas en este sistema deben ser también forrajeras. Las especies arbóreas forrajeras recomendadas para Santa Cruz son la chamba (*Leucaena leucocephala* Lam. de Wit), el gallito rojo (*Erythrina poeppigiana*), cuchi verde (*Gliricidia sepium* (Jacq) Steud), etc., que tienen alto valor nutritivo.

Esta combinación resulta muy interesante para la producción sostenible en varias zonas ganaderas del país donde existe un periodo seco y húmedo bien diferenciados, en razón de que las especies arbóreas cumplen un papel importante como forraje en la época seca del año, debido a que son menos afectadas que los pastos por sus raíces profundas.

Según Milz (1998) en Alto Beni y Beni se puede sembrar en callejones (cada 1,50 a 1,80 m) hileras de especies arbóreas forrajeras como: ceibo (*Erythrina* ssp.), chamba (*Leucaena leucocephala*),

malva blanca , morera (*Morus alba*), hibisco (*Hibisco ssp.*) ,guazuma (*Guazuma ulmifolia*) y seguidamente arroz o yuca (los primeros años).

d) Sistemas Multiestratos de Especies Mixtas

Son sistemas agroforestales que integran una asociación de árboles con cultivos agrícolas y/o producción de pastos. En Alto Beni se está utilizando en forma conjunta cultivos de plátano, papaya con cacao, tembe y asaí o majó (*Euterpe precatoria*).

e) Barbechos Mejorados

El barbecho en las terrenos agrícolas tiene como función principal ayudar a recuperar la fertilidad natural del suelo a través del mejoramiento de sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

Como en el país y especialmente en el Altiplano y Valles cada vez son más cortos los periodos de descanso debido a la parcelación excesiva de la tierra, es necesario manejar los barbechos mejorados para garantizar que las escasas tierras de cultivo mantengan su capacidad productiva.

Para el establecimiento de barbechos mejorados en las zonas tropicales del país, es necesaria la apertura de sendas en los barbechos naturales y la plantación de árboles maderables, frutales o cultivos perennes dentro el barbecho. La anchura de las sendas depende de la altura del barbecho, por lo general son de 1 a 2 metros de ancho. La distancia entre sendas varía de acuerdo al tipo de enriquecimiento que se piensa realizar, en el Oriente puede ser cada 7 metros para el achachairú (*Garcinia macrophylla Mart*). A 20 metros para árboles maderables como el amarillo (*Aspidosperma australe Mull. Arg.*), verdolago (*Terminalia oblonga*) y cerebó (*Schilozobium amazonicum*). El manejo consiste en el mantenimiento de las sendas y la liberación de los árboles por medio de raleos y podas oportunas.

Una técnica para el enriquecimiento del barbecho es a través del establecimiento de especies económicamente útiles entre los cultivos anuales, previo al abandono del terreno al barbecho. De esta manera se gana tiempo, ya que no es necesario la apertura de sendas en el barbecho y las especies establecidas pueden desarrollarse más rápidamente en la etapa inicial.

Otra forma de mejorar es ayudar al establecimiento mejorado es ayudar a que algunas especies potenciales dentro el barbecho natural se desarrollen más rápidamente que las especies menos deseables, para lo cuál se eliminan a estas últimas.

Se puede combinar el mejoramiento funcional y económico plantando el gallito rojo en hileras con el cultivo anual, en el último año, previo al abandono del barbecho. De esta manera el barbecho se desarrolla más rápido y puede empezarse a sembrar más rápidamente que un barbecho dejado en forma natural.

-Sistemas Dispersos

a) Árboles Dispersos en Potreros

En nuestro medio es bastante común para el establecimiento de potreros y pastos quitar toda la cobertura original (árboles) y por lo tanto en la actualidad se está viendo que se pueden tener mayores beneficios si existen árboles dispersos en los potreros.

Los árboles dispersos no solo proporcionan sombra a los animales, sino aportan materia orgánica al suelo, fijan nitrógeno, ayudan al reciclaje de nutrientes en el suelo y son utilizados como forrajes. De esta manera la implementación de árboles dispersos en los campos ganaderos, ayudan a mantener y/o recuperar la capacidad productiva de los potreros.

Para implementar un sistema de árboles dispersos en potreros hay que tomar en cuenta que estos pueden ser de dos clases:

- Árboles de Propósitos Múltiples.
- Árboles Frutales y Cultivos Perennes.

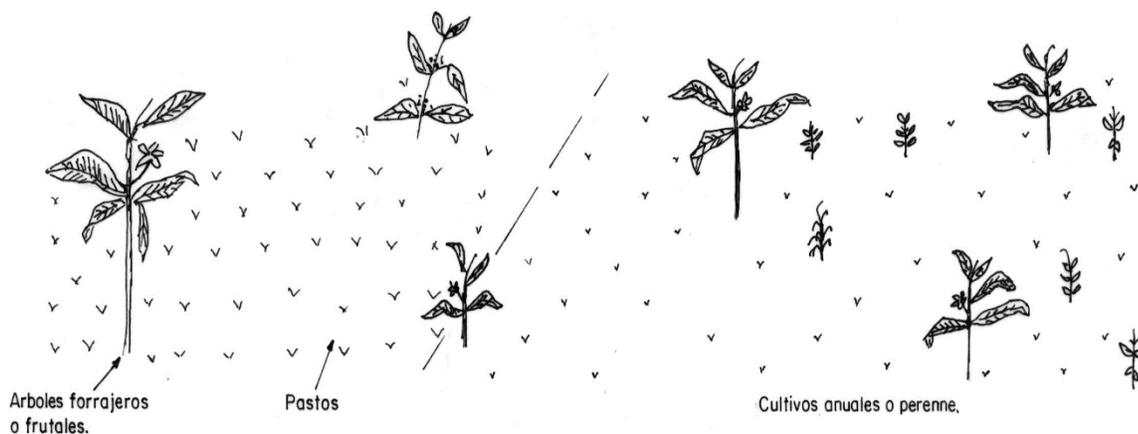
Generalmente en las zonas secas es muy común la combinación en forma natural de árboles dispersos de propósito múltiple en las áreas de pastoreo (potreros). Según Saldias et al.(1994) el uso de cupesí (*Prosopis chilensis*) o penoco (*Albizia saman*) están muy ampliamente difundidas. Mientras que Salm y Liberman (2000) indican que en Tarija es común encontrar el churqui (*Acacia caven*) dispersos en los terrenos en barbecho que son utilizados para el pastoreo.

Como esta práctica no es muy común en el país, es importante para su implementación en los potreros existentes, considerar previo a la plantación retirar el ganado por algún tiempo y además que las especies utilizadas tengan alta capacidad de soportar el ramoneo.

Para zonas húmedas del Oriente del país se recomienda la utilización del gallito de curichales (*Eritrina fusca*).

Para el establecimiento de otro tipo de árboles como el gallito rojo (*Eritrina poeppigiana*), o árboles frutales como el pacay (*Inga ingoides*), el cayú o marañón (*Anacardium occidentale*), es necesario realizar el establecimiento anticipado de estas especies antes de la entrada del ganado. Para tal efecto se recomienda utilizar el periodo de renovación de pastos o cuando se quiere elimina el pasto para la siembra de cultivos. Otra manera es establecer los árboles inmediatamente luego del chaqueo y desmonte.

– Sistemas Agroforestales Dispersos



Fuente :Elaboración propia

b) Sombra para Cultivos Perennes o Frutales

Entre las prácticas agroforestales, el sombrío es una práctica muy importante que se utiliza en el país especialmente para el cultivo de café y cacao, a pesar de que en las últimas décadas en Yungas se difundió variedades de café de porte bajo que no necesitan de esta práctica. Sin embargo, conociendo que el café se cultiva en los Yungas en terrenos accidentados, donde las pendientes altas favorecen la erosión de los suelos, es importante considerar el sombrío no solo para el cultivo perenne sino para la protección general que ejerce sobre el suelo.

Los cultivos con sombrío, tiene las ventajas de un bosque protector (cultivo de semibosque) en la regulación no solo de la temperatura y del agua sino también de la protección de los suelos en las zonas montañosas. El sombrío afecta el crecimiento de malezas y gramíneas que compiten con el cultivo principal, lo cuál permite efectuar deshierbes menos frecuentes y por consiguiente menor inversión. Así mismo los árboles de sombra pueden proporcionar otros productos como frutos. Tal es el caso del pacay que es un fruto comestible y comercial en el país.

En los Yungas es muy común el uso del pacay cola de mono (*Inga edulis*) con el cultivo de café y en Alto Beni se usa el gallito rojo (*Eritrina poeppigiana*) para la sombra del cacao, otro árbol que al margen de proporcionar sombra ofrece madera comercial.

Según FNCC (1975), el follaje del sombrío por si solo no constituye una defensa contra el impacto de las gotas de agua de lluvia sobre el suelo, sino está acompañada de otras prácticas como producción de hojarasca, coberturas vegetales, mulching con coberturas muertas, etc.

El sombrío es una de las prácticas de conservación más efectivas, en la medida que produzcan hojarasca y se complemente con una buena cobertura vegetal. Que impide el arrastre de estos residuos por el agua de escurrimiento y del propio suelo. La hojarasca que produce el sombrío tiene las siguientes ventajas:

- Sirve de amortiguador de la energía que tienen las gotas de lluvia y las que escurren de los árboles del sombrío.
- Forma una especie de esponja que aumenta la retención del agua, disminuye la velocidad y volumen de escorrentía.
- Genera materia orgánica al mineralizarse.

Para mantener un buen sombrío con fines conservacionistas, es necesario combinar con coberturas vegetales, debajo de los cultivos, y efectuar deshierbes periódicos para destruir las malezas competitivas y utilizar el material vegetal como mulching.

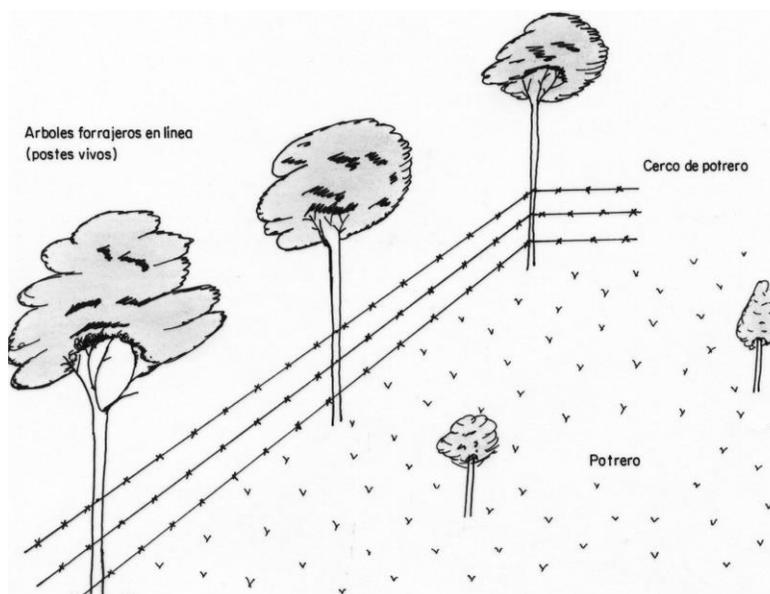
Por lo general se recomienda plantar los árboles de sombra cada 8 m por 8 m. Es decir aproximadamente 150 árboles por ha, hasta 12 x 12 m (70 árboles ha)

-Sistemas Agroforestales en Líneas

a) Postes Vivos

La utilización de postes o setos muertos en las fincas agrícolas y especialmente ganaderas es muy común a pesar de que estos no proporcionan muchas ventajas ya que la durabilidad según Saldías et al. (1994) de los postes es bastante reducida y cada vez son más caros en comparación a las alternativas que ofrecen los sistemas de postes vivos.

Sistema Agroforestal en Línea (Postes Vivos)



Fuente: Elaboración propia

Últimamente en las propiedades agrícolas se han comenzado a utilizar con mayor énfasis los postes vivos, en razón de que no solo cerca el terreno de la invasión de animales, sino que ofrece una serie de ventajas como:

- Producción de forrajes.
- Fijación de nitrógeno.
- Reciclaje de nutrientes.
- Sombra para animales.
- Protección del viento y lluvia.
- Durabilidad.
- Producción de nuevos postes.
- Protección contra heladas.
- Otros.

Sin embargo se debe mencionar que este sistema en comparación al sistema tradicional (postes muertos) requiere tanto para su implementación como mantenimiento mayor cantidad de mano de obra. En ese sentido es necesario contar con estrategias para convencer a los agricultores y ganaderos de sus ventajas a nivel general (forrajes, animales y ganaderos).

Para la implementación de postes vivos, se requiere contar con postes recién cortados de aproximadamente 5 a 12 cm de diámetro y de 2,5 m de altura, los mismos que deben ser plantados a una profundidad de 50 a 80 cm. Una condición importante es que las estacas de las especies seleccionadas tengan alta capacidad de retoñar, como el cuchi verde (*Gliricidia sepium*) o gallito rojo (*Erythrina poeppigina*), especies que últimamente están siendo utilizadas en Santa Cruz.

Una desventaja de este sistema es que se debe esperar bastante tiempo. Para lograr el aumento de diámetro razonable y desde ese punto de vista es importante realizar un manejo adecuado de los postes plantados y no realizar a un inicio podas frecuentes y sucesivas que debiliten su engrosamiento. Sin embargo durante este tiempo se recomienda colocar alambradas con ayuda de alambres de amarre para no dañarlos.

Una vez que los postes han alcanzado el grosor necesario se puede utilizar en los colocados del alambre grapas y se pueden realizar podas más frecuentes.

b) Plantaciones en Linderos

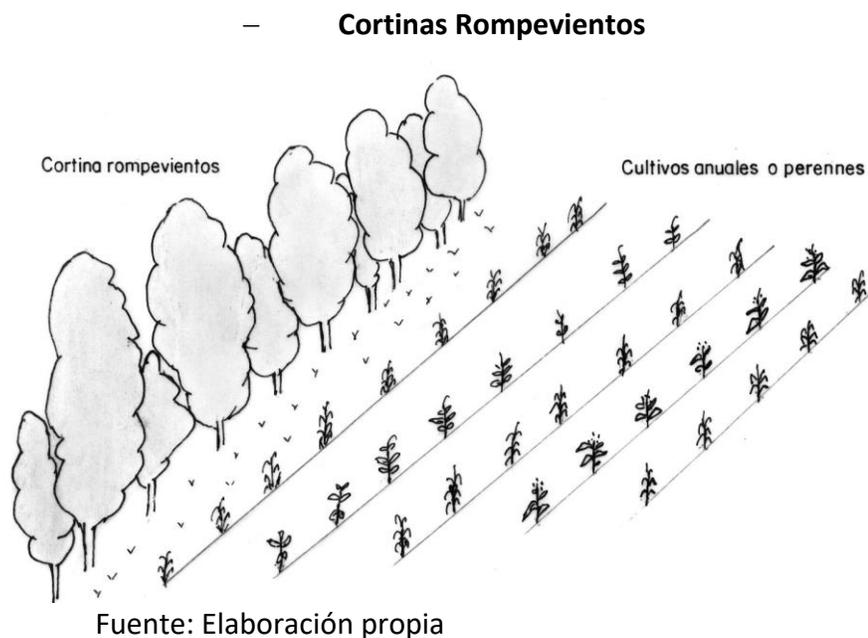
La plantación de árboles, como linderos de las propiedades agrícolas, es una práctica muy difundida en los diferentes valles del país como Cochabamba, Tarija, Potosí y otros departamentos donde se puede observar linderos de eucaliptos, molles, sauces y otras especies.

El objetivo principal de esta práctica es delimitar las propiedades o tierras de cultivo, aprovechar mejor el uso del espacio y favorecer la diversificación agrícola. Además esta práctica favorece la formación de un microclima, y se obtienen de los árboles algunos productos complementarios como madera, leña, forraje, etc.

Para las propiedades ganaderas de Santa Cruz, Saldías et al. (1994), recomiendan la utilización de la chamba para su uso como linderos, en razón de que se puede obtener sombra, forraje y otros beneficios adicionales.

c) Cortinas Rompevientos

La cortina rompevientos es otra práctica agroforestal donde se tienen árboles naturales dejados o plantados en hileras o fajas, las mismas que están ubicadas en uno o más bordes de las parcelas de cultivo (anuales, perennes o frutales), de pastos y ganadería, con el propósito fundamental de reducir la velocidad del viento y de esta manera protegerlos de su acción.



Las cortinas rompevientos permiten además entre otras funciones:

- Crear un microclima por ejemplo en las zonas secas y ventosas evitando la pérdida de agua de la área de cultivo (evaporación directa del suelo y de la transpiración excesiva de los cultivos).
- Evitar daños mecánicos a los cultivos (encamado, pérdida de flores, menor actividad de los insectos polinizadores, etc) al disminuir la velocidad crítica de los vientos.
- Disminuir los riesgos de las heladas

De acuerdo a Mc Call y Gitlin (1973), citado por Barber y Johnson (1992), la velocidad crítica de los vientos y sus efectos son :

Efecto del Viento	Velocidad Crítica (km h-1)*
Erosión eólica	16-24
Reducción en la polinización	16-24
Reducción en la actividad de los insectos	16-24
Daños mecánicos a los cultivos	>24

*Medida a la altura de las plantas.

En ese sentido se recomienda la implementación de cortinas rompevientos en zonas con:

- Presencia de vientos frecuentes.
- Déficit de humedad en la mayor parte del año.
- Suelos susceptibles a la erosión eólica.
- Zonas planas a onduladas.

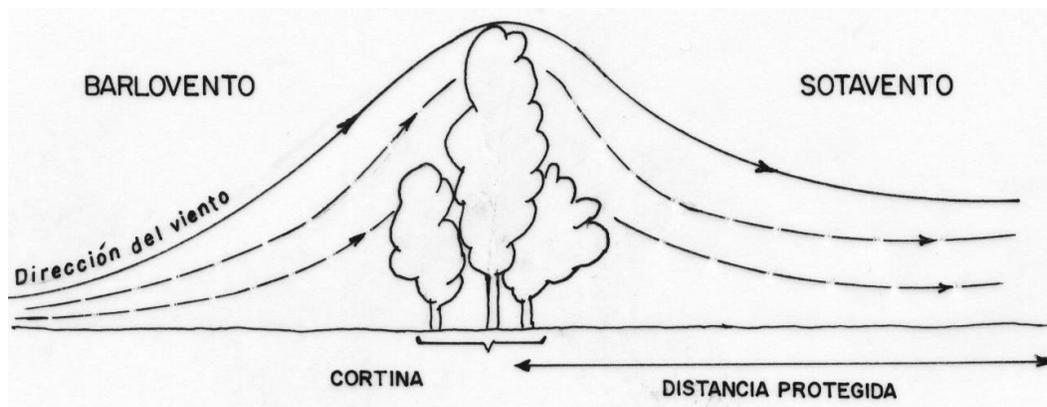
De acuerdo a los autores citados, la reducción de la velocidad del viento juega un papel importante en la producción agrícola, en razón de que, al margen de disminuir la erosión y evitar daños mecánicos a los cultivos, reduce sustancialmente la evapotranspiración. Este aspecto es de suma importancia en los cultivos de invierno ya que la reducción de la velocidad del viento en un 50 % (de 32 a 16 Km h⁻¹) puede significar una reducción de la evapotranspiración en un 33 %, aspecto importante en zonas secas del país donde es necesario evitar pérdidas innecesarias del agua almacenada en el suelo.

Para que la implementación de las cortinas rompevientos sean efectivas se debe considerar los siguientes aspectos:

- Altura de la cortina.
- Permeabilidad.
- Orientación y homogeneidad.
- Longitud de las cortinas rompevientos.
- Estructura.
- Espaciamiento.
- Arreglo.

La altura de la cortina (A), se constituye en uno de los factores más importantes que influye sobre el área protegida y la distancia desde la barrera que queda resguardada del viento (sotavento). Se considera que una cortina rompevientos protege entre 15 a 20 veces más en relación a la altura de la cortina.

Acción del Viento sobre la Cortina Rompevientos



Fuente: Barber y Johnson (1992),

De acuerdo a experiencias obtenidas en varios lugares del mundo, la distancia dentro del cual, la velocidad del viento ha sido reducida cerca al suelo en un 50 % o más, es cuando se ha manejado diez veces la altura de la cortina (10A).

La permeabilidad de la cortina se refiere al porcentaje del viento que puede atravesar la barrera (sotavento) en relación al viento inicial antes de la barrera (barlovento).

La permeabilidad de una cortina va a depender principalmente de su estructura (número, altura, especies y configuración de las hileras de árboles o arbustos que conforman la barrera). Por otro lado la permeabilidad de una barrera también varía en función a la velocidad de los vientos.

Según Barber y Johnson (1992), las cortinas más densas (menos permeables) reducen efectivamente las velocidades del viento inmediatamente detrás de la cortina (sotavento); pero un poco más allá, las velocidades aumentan rápidamente y además generan mucha turbulencia tanto a barlovento (delante) como a sotavento (detrás) de la cortina. De esta manera las cortinas densas protegen escasas áreas detrás de las barreras.

En cambio una cortina de moderada permeabilidad, permite pasar por la misma una mayor proporción del viento, lo que no significa una protección alta inmediatamente detrás de la cortina. Sin embargo los vientos recuperan su velocidad más lentamente dando una mayor distancia de protección (área), mientras que las cortinas de alta permeabilidad dan poca protección al área ubicada en sotavento.

Lo fundamental es que las cortinas con una permeabilidad óptima reduzcan la velocidad del viento por debajo de los valores críticos pero al mismo tiempo alcanzando la mayor distancia posible.

Para que las cortinas cumplan su papel de manera efectiva, es necesario que estas estén orientadas de manera perpendicular a la dirección de los vientos dominantes que se presentan en una zona. Por consiguiente es importante contar con datos relacionados a la dirección y velocidad que estos alcanzan.

De acuerdo a estudios realizados, si la dirección de los vientos cambian en 30° de su perpendicular, la eficiencia de la cortina solo disminuye en una pequeña proporción. Sin embargo cuando la desviación de los vientos es mayor a 45°, la efectividad de la cortina se puede reducir en un 50 %. Por esto es importante contar con información valiosa sobre los cambios de dirección que sufren los vientos.

Los vientos en Santa Cruz, tienen una dirección prevaleciente Noroeste-Sureste, con velocidades superiores al 18 Km h⁻¹. En ese sentido la orientación de las cortinas según Barber y Johnson (1992) debe ser instaladas en forma perpendicular a estos vientos, es decir Sureste-Noroeste para obtener la máxima protección.

El largo o longitud de las cortinas rompevientos, son de gran importancia para proteger un área, en razón de que los vientos al cambiar de dirección inciden sobre el área de sotavento. En caso que el viento sufra una desviación de 45° de la perpendicular, una cortina de 12A de longitud protegerá una menor área en comparación a una cortina de 24A de largo, ya que con esta longitud el área protegida se mantiene uniforme, aún cuando los vientos cambien de dirección.

Para la zona Central de Santa Cruz, donde los vientos son muy variables, recomiendan que la longitud de las cortinas debería ser de 24A (Entonces en caso de que los árboles midan 10 m, la longitud de las cortinas deberá alcanzar los 240 m). Para zonas con mayor variación se recomienda cortinas con longitudes hasta de 50A.

El ancho de las cortinas, según diferentes estudios, tienen poca influencia sobre la reducción de la velocidad del viento, excepto en cuanto a su efecto sobre la estructura y permeabilidad de la cortina.

El ancho de las cortinas dependerá de varios aspectos en los que cabe mencionar la disponibilidad de tierras que el agricultor cuenta, tipo de cultivos a implementar, estructura de la cortina, etc.

Si bien el agricultor piensa que con la implementación de barreras pierde tierras para los cultivos, los incrementos de producción logrados gracias a las cortinas o la producción de madera compensa la disminución de las áreas de cultivo.

Kort (1986), citado por Barber y Johnson (1992), indica que las cortinas no deberían ocupar más del 5 % del área total. Si la propiedad tiene un ancho de 100 metros no deberían entonces instalarse cortinas mayores a 5 m.

Normalmente se establecen cortinas de 1 a 3 hileras de árboles y/o arbustos. Por otro lado es necesario considerar que cortinas de ancho entre 5A y 20A, son menos eficientes debido a la menor permeabilidad alcanzada.

La estructura de las cortinas tiene una gran influencia sobre la permeabilidad de las mismas y por lo tanto dependerá del número de hileras que la conforman, especies, alturas y su espaciamiento.

Según estudios detallados llevados a cabo en varios países, se indica que la mejor forma (corte transversal de la cortina), es aquella que se ve en la figura 9.4, donde la pendiente ubicada hacia los vientos (barlovento) es de menor pendiente, mientras que la ubicada detrás de los vientos (sotavento) es más inclinada. Sin embargo es necesario tomar en cuenta que esta barrera ocupa más campo, por lo que se recomienda formas triangulares para que sean más angostas y con inclinaciones de 45° o más a barlovento.

La instalación de 1, 2 o 3 hileras, dependerá no solo de la disponibilidad de tierra, sino también de algunas características biológicas de las especies a utilizar como altura, distribución del follaje.

En zonas donde la tierra es escasa, sería importante implementar cortinas de una sola hilera, donde los árboles sean de copas angostas y bien distribuidas desde la base hasta la copa. En caso de no contar con este tipo de especies y de disponer mayor superficie, se puede alternar especies arbóreas y arbustivas de manera que se obtenga una permeabilidad moderada.

En caso de que tener cortinas de varias hileras, la altura de una hilera a otra, no debe exceder los 5 m, para que no se forme turbulencia.

La distancia de una hilera a otra puede variar entre 2 a 6 metros. Esto favorece la sobrevivencia de los árboles y estimula el crecimiento rápido de los mismos. Además un mayor espaciamiento permite durante la implementación de la misma la siembra de algunos cultivos entre las mismas.

La distancia que debe existir entre cortinas, depende de varios factores, entre los que cabe mencionar:

- a) Tipos de cultivo.
- b) Sistemas de labranza (labranza convencional, labranza mínima, etc.).
- c) Tipo de suelo y la susceptibilidad a la erosión.

Algunos cultivos protegen más el suelo debido a su cobertura, densidad de siembra o mejor si son cultivos perennes. Por otro lado la siembra convencional en comparación a la siembra mínima no protege tan bien el suelo y por consiguiente la distancia entre las cortinas debe ser menor.

De la misma manera el tipo de suelo y la susceptibilidad a la erosión define el distanciamiento. Así los suelos con mayores contenidos de arena y limo como los arenosos, franco arenosos, arenos francos, franco limosos, limosos, etc., son más susceptibles a la erosión y por lo tanto se recomienda utilizar distancias menores entre cortinas que en el caso de suelos pesados y con buena estabilidad estructural. Según Barver y Johnson (1992) la distancia entre las cortinas debe ser de 10A para suelos susceptibles a la erosión mientras que para suelos menos susceptibles se recomienda utilizar distancias entre cortinas equivalentes a 15A.

Como el establecimiento de las cortinas demora varios años, a un inicio no hay una protección adecuada de las tierras de cultivo contra la acción de los vientos. En ese sentido se recomienda establecer 2 o 3 hileras de cortinas provisionales entre las hileras de árboles.

Para el establecimiento de cortinas se recomienda utilizar especies que tengan un crecimiento rápido como el merkerón (*Pennisetum purpureum* variedad merkeri), que alcanza alturas hasta de 3 m, o caña de azúcar (*Sacharum officinarum*). Estas cortinas provisionales serán retiradas una vez que las cortinas de árboles alcancen 10 m de altura. Cuando la cortina está conformada de varias hileras se recomienda que la hilera central sea de árboles maderables, de porte alto y crecimiento rápido como el cerebó (*Schilozobium amazonicum Huber ex Ducke*) con árboles de crecimiento más lento como la mara (*Switenia macrophylla King*).

La hilera central se rodea con hileras de árboles de porte más bajo que pueden ser de propósito múltiple como la caliandra (*Calliandra calothyrsus*). Para el caso de la ganadería se puede ampliar estas hileras de porte medio y especialmente colocando especies forrajeras en los bordes (ver Apéndice 10 sobre Guía para el Uso de Árboles en sistemas Agroforestales para el oriente del país).

Debido a la heterogeneidad de las parcelas (largo, ancho y orientación), es importante que la implementación de las cortinas sea relacionada con una visión integral; es decir considerando toda la región y no desde el punto de vista de cada parcela o propiedad individual. En terrenos largos y angostos donde las cortinas en cada propiedad son cortas, es muy importante que las cortinas de las propiedades adyacentes sean implementadas de manera continua.

En zonas donde la dirección de los vientos pueden cambiar hasta 90°, se recomienda implementar las cortinas en forma cuadriculada; es decir alrededor de los terrenos.

Cuando las cortinas rompevientos son de una hilera, se precisa utilizar, según Saldías et al. (1994), especies de árboles que tienen una distribución de follaje uniforme, desde el ápice hasta el pie de árbol. Para este fin recomiendan para Santa Cruz especies de propósito múltiple como la chamba (*Leucaena leucocephala*) o cuchi verde (*Gliricizie sepium*). También se pueden utilizar especies maderables de porte más alto como casuarina (*Casuarina cunninghamiana*) o grevillea (*Grevillea robusta*).

Considerando que la implementación de cortinas rompevientos con especies exóticas, requieren de bastante tiempo e inversiones económicas importantes, Barber y Johnson (1992) recomiendan dejar durante el desmonte de los bosques, franjas de bosques nativos. Para determinar el ancho, longitud, orientación, espaciamiento y arreglo de estas cortinas naturales se deberá realizar algunos estudios y análisis previos a su implementación o ubicación, para definir y evaluar la dirección de los vientos prevaecientes, tipo de suelos, cultivos a implementarse, etc.

De acuerdo a estos autores, se recomienda dejar cortinas naturales de 1,5A hasta 2A de ancho y no menos de 30 metros de ancho.

Si la cortinas son de un ancho equivalente a 1A, es posible enriquecerlas artificialmente con ayuda de árboles de porte altos en dos líneas paralelas a la cortina y a unos 5 metros hacia adentro de cada borde.

10.6.1 .

Según Muschler (1996), todos los componentes del sistema agroforestal deben estar en equilibrio para favorecer interacciones positivas a nivel ecológico y económicas.

Entre los criterios a tomar en cuenta en un sistema agroforestal se debe tomar en cuenta:

- a) Características del Componente Agrícola
 - Adaptación ecológica del cultivo (suelo, clima, factores bióticos, otros.)
- b) Características de las Especies Arbóreas Forrajeras
 - Valor nutritivo.
 - Buena respuesta al ramoneo y poda.
 - Forma arbustiva fijación de nitrógeno.
 - Buena sombra para el ganado y pastos.
 - Producción de vainas.

Requisitos de los Sistemas Agroforestales

Como uno de los objetivos principales del sistema agroforestal es de recuperar los rasgos ecológicos del bosque para crear un microclima similar para producir en forma sostenible, los sistemas agroforestales deben cumplir los siguientes requisitos:

- Ser productivos (para ser atractivos para los agricultores).
- Tener factibilidad económica (no ser demasiado caros para su fácil implementación).
- Ser sostenible en el tiempo (evitar la degradación del medio).

6. COSECHA DE AGUA

Considerando que el agua dulce en los continentes es cada vez más escaso, no solo por el aumento continuo de la población y la demanda creciente, sino también por la contaminación que sufren los recursos hídricos superficiales y subterráneos que limita su uso en varias zonas del mundo. Así mismo, los cambios climáticos (sequías y lluvias más concentradas) están limitando la alimentación o recarga de los ríos y acuíferos.

Las aguas superficiales en el país pertenecen a tres cuencas importantes: 66 % del territorio nacional corresponde a la cuenca del Amazonas, 21 % a la del Río de la Plata y 13 % a la cuenca endorreica del Altiplano. La disponibilidad de agua en estas tres cuencas son de un 88 %, 11,5 % y 0,5 % respectivamente.

En el Altiplano, Valles y El Chaco, las precipitaciones pluviales son muy variables y escasas, y se concentran en pocos meses, esto origina un déficit hídrico en la mayor parte del año, lo que conjuntamente con otros aspectos climáticos, hace que la actividad agropecuaria (especialmente en el Altiplano) sea muy riesgosa, y que no permite la práctica de una agricultura intensiva. Además como la parte occidental del país es montañoso con suelos superficiales y degradados, gran parte del agua de lluvia se pierde por escurrimiento sin poder ser aprovechado en el mismo sitio.

Ante esta situación crítica, es cada vez más importante no solo el cuidado de este importante recurso sino su manejo adecuado e integral, dentro de la gestión de una (micro) cuenca. Sin embargo el manejo sostenible de este recurso no ha de ser posible si no se cuenta con disposiciones normativas adecuadas a la realidad nacional y tener una motivación social local.

Para evitar pérdidas innecesarias de agua en la naturaleza y lograr su máximo aprovechamiento en el sitio, se debe minimizar el escurrimiento y mejorar la infiltración y almacenamiento del agua en el suelo, a través de la implementación de prácticas de manejo y conservación de suelos. Esta mayor acumulación del agua en los horizontes inferiores del suelo permitirá no solo alimentar a las plantas en forma adecuada, sino recargar los acuíferos y vertientes.

Los otros componentes del ciclo, como la precipitación y transpiración de las plantas son más difíciles de controlarlos.

En las zonas montañosas del país, las escasas lluvias se pierden generalmente por escurrimiento (más aún si los agricultores siembran en sentido de la pendiente), y no son aprovechadas eficientemente en el sitio por el hombre, animales, suelo y plantas. En tal sentido, la cosecha y almacenamiento de agua con diferentes prácticas de conservación de suelos y otro tipo de obras complementarias es fundamental no solo para aprovisionar mejor en la época seca a los cultivos,

el hombre y animales con este elemento, sino también para evitar la erosión de los suelos (al disminuir el agua de escurrimiento).

-Cosecha de Agua

La cosecha de agua se debe entender como la captación del agua de lluvia o de otra fuente en un sitio o suelo, evitando su escurrimiento y pérdida de un lugar determinado. Esto con el propósito de almacenarla directamente en las tierras agrícolas durante la época de crecimiento de las plantas o depositarlas con ayuda de algunas obras de captación para diferentes usos (riego, consumo humano y animal).

Entre las formas de cosecha de agua de lluvia se tiene:

- Cosecha directa del agua de lluvia en suelos de cultivo, praderas o áreas (re)forestadas.
- Cosecha en reservorios, atajados o q'ochas.

La siembra de cultivos con ayuda de surcos en contorno, la (re)siembra de pastos y plantación de árboles con zanjas de infiltración y plantación de cultivos perennes y/o árboles frutales en terrazas individuales y terrazas de absorción, es una forma directa de cosechar el agua de lluvia en los suelos de ladera de las zonas secas.

La implementación de estas prácticas agronómicas y mecánicas en forma puntual, tienen el propósito de evitar que el agua de lluvia se pierda por escurrimiento en las tierras de cultivo y se almacene en los horizontes inferiores del suelo para garantizar el crecimiento de los cultivos anuales y perennes, pastos y árboles (ver prácticas agrícolas , físicas y biológicas).

-Atajados

Los atajados (q'ochas, ahijaderos o vigiñas), son reservorios de agua contruidos con ayuda de terraplenes de tierra, para cosechar y almacenar el agua de escurrimiento o de otras fuentes (quebradas, ríos y vertientes) durante la época húmeda del año para su uso en la época seca del mismo.

Debido a las sequías, lluvias escasas e irregulares, agua de mala calidad por problemas de contaminación natural minera e industrial, no se dispone con suficiente agua durante los meses secos del año y por lo tanto cada vez hay una mayor demanda por este vital líquido. En ese sentido varias instituciones y ONGs han difundido el uso de los atajados en los Valles de Cochabamba (Aiquile y Mizque) Santa Cruz (Comarapa y Valle Grande) Tarija (cuenca del Río Camacho) La Paz (Lahuachaca) y el Chaco, donde han mostrando ser de gran utilidad para los pobladores rurales, especialmente cuando se las construye de acuerdo a criterios técnicos.

El agua almacenada en estos reservorios, se utiliza particularmente para el riego de pequeñas parcelas de cultivos como hortalizas y otros, consumo doméstico y animal en los meses más secos (junio – octubre)

Según Tammes, Villegas y Guamán (2000) y Verweij (2001), para la planificación, diseño y construcción de los atajados se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Propiedades y Derechos de Tierra y Agua y Organización Campesina.
- Ubicación.
- Topografía.
- Características del Suelo.
- Área de Aporte.
- Fuente de Agua.

Según estos autores conocer los derechos de propiedad y uso de los recursos tierra y agua de la zona o (micro) cuenca de interés, es fundamental para lograr el funcionamiento sostenible del atajado o un sistema de atajados y evitar así problemas no solo durante la construcción sino especialmente durante su funcionamiento (captación de agua, almacenamiento y distribución).

El agua de escorrentía según estos autores, está muy ligada al derecho de la tierra, sin embargo, cuando se almacena en los atajados agua de ríos, acequias, vertientes, etc., se tendrá que determinar los derechos de esta agua almacenada y para tal efecto es importante sostener reuniones con los usuarios (tanto aguas arriba como aguas abajo), autoridades locales y provinciales, encargadas de este recurso para que su uso no afecte a ningún usuario.

Definir la ubicación de la(s) q'ocha(s) en la (micro)cuenca es muy importante, ya que esto permite a la larga garantizar su funcionamiento y uso sostenible. En ese sentido es necesario evaluar técnicamente no solo el sitio de la futura construcción (pendiente, tipo de suelo, etc.), sino también el área de aporte y del área beneficiada. Todo este trabajo necesariamente debe ser realizado en forma conjunta con los pobladores de la zona y con una visión de (micro)cuenca.

A fin de garantizar el almacenamiento de agua en el atajado, es necesario que el lugar seleccionado tenga una baja capacidad de infiltración (suelos pesados). Mientras que el área de aporte no debe presentar problemas de erosión (presencia de cárcavas, sifonamientos, derrumbes y otros), ya que puede haber un aporte significativo de sedimentos hacia los reservorios y por lo tanto en pocos años puede disminuir drásticamente la capacidad de almacenamiento del reservorio por sedimentación y colmatación.

Las q'ochas en lo posible no deben ser construidas en zonas demasiado planas donde no existe una depresión natural, ya que requerirían movimientos de tierra elevados y costosos.

Como en las zonas semiáridas, áridas y subhúmedas del país existen varios meses secos (5 a 7 meses), las pérdidas de agua por evaporación son bastante importantes. En ese sentido, los atajados o ahijaderos no deberían tener espejos de agua demasiado amplios y de escasa profundidad.

De acuerdo a Tammes, Villegas y Guamán (2000) y Verweij (2001), los atajados deben ser construidos con preferencia en terrenos cuya pendiente oscila entre 5 a 15 %, en razón de que pendientes mayores se necesita hacer mayor movimientos de tierra. Además en estas condiciones, existe mayor inestabilidad del reservorio y mayor riesgo de colapso en casos extremos (ej:

temblores). Por lo indicado a mayor pendiente, la capacidad de almacenamiento debe ser menor para garantizar su estabilidad, tal como se indica en la tabla 12.1.

– **Relación Volumen de Diseño y Pendiente del Terreno**

Volumen Mínimo (m ³)	Volumen Máximo (m ³)	Pendiente Mínima (%)	Pendiente Máxima (%)
500	1600	4	15
1600	2000	4	12
2000	2500	4	9
2500	3000	4	8

Fuente: Tammes, Villegas y Guamán (2000)

Los suelos más adecuados para la construcción de los reservorios según Tammes et al. (2000) y Verweij (2001) son los suelos arcillosos (Contenidos desde 55 %) y de tipo caolinitico ya que estas, no tiene una alta capacidad de absorción y además no se expanden y contraen como las montmorilonitas y vermiculitas. Sin embargo según Orsag y Blanco (2000) indican que las arcillas que más predominan en la mayor parte de los suelos de los valles del país son las ilitas y en los horizontes inferiores del Altiplano y Valles las arcillas expandibles (tipo 2:1), las que se contraen si el suelo esta seco.

Así mismo, se debe evitar la construcción de atajados en suelos arenosos, gravosos y rocosos, debido a su alta permeabilidad o en suelos con problemas de sifonamiento (suelos con altos contenidos de sales y otros materiales solubles). En ese sentido es imprescindible contar con un estudio del suelo con ayuda de calicatas para conocer la textura y estratificación de sus horizontes o capas, en razón de la estrecha relación existente entre la dinámica del agua y su textura.

El tipo de suelos de las áreas de aporte no es tan importante como el caso del sitio de construcción, especialmente cuando los suelos están cubiertos de vegetación que lo protege del impacto directo de las gotas de lluvia y de su arrastre, pero en lo posible no deberían ser suelos con alta susceptibilidad a la erosión o estar erosionados.

Las fuentes de agua utilizadas para alimentar los atajados, según y Verweij (2001), pueden provenir de las siguientes fuentes:

- Agua de escorrentía de un área de aporte.
- Ríos, quebradas, acequias, cunetas, etc.
- Vertientes.
- Fuentes mixtas.

Como en las zonas secas del país, existe una fuerte escasez de agua, es conveniente que se trate de asegurar la alimentación de los atajados o ahijaderos con dos o más fuentes.

Para definir el diseño y la capacidad del atajado se debería conocer los coeficientes de escurrimiento de los suelos que componen el área de aporte, y de esta manera determinar la cantidad de agua de escurrimiento que se puede generar durante la época lluviosa. En caso de que

el escurrimiento sea escaso será necesario ver la posibilidad e incrementar el área de aporte o disminuir la capacidad del atajado.

Un método común que se utiliza para determinar el volumen de escurrimiento que se genera en un área de aporte, es la que relaciona la superficie del área de aporte con la precipitación mensual o anual de la zona de interés y el coeficiente de escurrimiento de sus suelos (el que depende de la textura de los suelos, pendiente del terreno y cobertura vegetal o uso de la tierra). Para el cálculo del volumen de agua de un atajado se usa la siguiente fórmula:

$$V = C * (0,8 * P) * A$$

Donde:

V = Volumen de escurrimiento anual o mensual (m³ año⁻¹ o mes)

C = Coeficiente de escurrimiento promedio del área de aporte.

0,8 = Factor de ocurrencia de la lluvia.

P = Precipitación anual o mensual mm año⁻¹, mes⁻¹.

A = Superficie del área de aporte m².

Uno de los datos más difíciles de obtener y conocer con cierta precisión es el coeficiente de escurrimiento promedio del área, que se refiere al porcentaje del agua de lluvias que no llega a infiltrarse y almacenarse en el suelo. Como los coeficientes de escurrimiento se los obtiene a partir de varios años de mediciones en parcelas de escurrimiento, a manera orientativa se puede utilizar la siguiente tabla de coeficientes que propone Torres-Ruiz (1981), o calcular este coeficiente de acuerdo a la metodología propuesta en el anexo 1.

Coeficientes de Escurrimiento según el Tipo de Suelo, Pendiente y Cobertura Vegetal

Topografía y Vegetación	Textura del Suelo		
	Ligera	Media	Pesada
Bosque			
Plano (0 – 5 %)	0.10	0.30	0.40
Ondulado (5 – 10 %)	0.25	0.35	0.50
Escarpado (10 – 30 %)	0.30	0.50	0.60
Pastizales			
Plano (0 – 5 %)	0.10	0.30	0.40
Ondulado (5 – 10 %)	0.16	0.36	0.55
Escarpado (10 – 30 %)	0.22	0.42	0.60
Terrenos Cultivados			
Plano (0 – 5 %)	0.30	0.50	0.60
Ondulado (5 – 10 %)	0.40	0.60	0.70
Escarpado (10 – 30 %)	0.52	0.72	0.82

Fuente: Torrez-Ruiz (1981)

En caso de que se utilice para almacenar agua de los ríos, quebradas o vertientes, también es necesario conocer los caudales de estos en los meses húmedos del año para ver que cantidad de agua se puede desviar hacia los atajados, sin provocar problemas a los comunarios ubicados aguas abajo.

Un problema muy frecuente con el que se choca en las áreas rurales, es la falta de información suficiente a nivel de clima, suelos y caudales para poder definir las características de las obras.

b) Uso del Agua

El agua de los atajados en la mayor parte de las zonas donde se han construido es utilizada de la siguiente manera:

1. Riego.
2. Consumo humano.
3. Consumo animal.
4. Uso combinado.

La construcción de los atajados se utiliza en general para varios usos y en algunos casos especiales puede servir para la cría de peces y patos (cuando existe agua permanente). En los valles de Aiquile y Mizque (Cochabamba) y Torrecillas, Comarapa (Santa Cruz) los atajados han permitido a los agricultores no solo proveer con agua a su ganado en la época seca del año sino diversificar su agricultura y producir hortalizas y frutilla bajo riego respectivamente.

c) Capacidad de los Atajados

Para definir las dimensiones que debe tener un atajado se debe partir de dos aspectos fundamentales:

- La capacidad de las fuentes de agua (oferta).
- Los requerimientos de agua para los diferentes usos de la familia o grupo de familias.

Con base a las fuentes de agua disponible, requerimientos de agua en un sitio, se puede calcular las dimensiones que debería tener la q'ocha o ahijadero. Sin embargo no debemos olvidar las características del sitio (pendiente, tipo de suelo, etc.) para construir una q'ocha de dimensiones definidas.

Para determinar los volúmenes de agua a almacenar en un atajado se deben sumar los volúmenes de todos los requerimientos individuales calculados (riego, consumo animal y consumo humano) a los que se debe sumar las pérdidas por evaporación e infiltración que se dan en la q'ocha. Sumando estos volúmenes individuales se determina la capacidad total que debe tener el atajado.

Luego de conocer la capacidad requerida de agua que se debe almacenar especialmente para los meses secos del año, se puede entrar a la parte de diseño, definiendo el ancho, largo y profundidad del atajado y las características de sus taludes.

- Construcción del Atajado

Conociendo las dimensiones geométricas del atajado como su ancho, largo y profundidad e inclinaciones de los taludes se puede calcular la cantidad de tierra a ser removida.

También se debe definir el volumen de corte en la pendiente y el volumen de relleno (conformación de los terraplenes).

Una vez que se ha definido la construcción del atajado se recomienda seguir los siguientes pasos:

- Sacar la capa superficial orgánica del lugar donde va ir el atajado.
- Emplazar el tubo de desfogue.
- Excavación del atajado y conformación de los terraplenes compactos.

Esta es la parte más costosa e importante de la obra, por consiguientes se debe dar gran importancia a su construcción. La compactación se debe hacer, no solo del fondo, sino principalmente de los terraplenes y por capas que no excedan los 0,5 m. para lograr la máxima compactación.

Construcción de las obras complementarias (Canal de captación, sedimentador, canal de ingreso, sistema de desfogue, cámara disipadora de energía, aliviadero, y cerco de protección).

e) Obras Complementarias.

Los atajados para que tengan un funcionamiento adecuado y sostenible deben tener algunas obras complementarias, los mismos que deben ser construidos en forma paralela al atajado. Estas obras complementarias tiene como objetivo principal captar y distribuir las aguas del atajado de manera eficiente.

Las obras complementarias son:

- Canales de captación o aducción.
- Sedimentador.
- Canal de ingreso.
- Sistema de desfogue.
- Cámara disipadora de energía
- Aliviadero.
- Canal de conducción.
- Bebederos y otros.

– Canales de Captación o Aducción

Los canales tienen el objetivo de captar y conducir el agua desde el área de aporte o un río hasta el atajado. Los conductos en la mayoría de los casos son de tierra y si es posible se los debe revestir con piedra o vegetación para evitar el socavamiento

El agua hacia los atajados en lo posible deben ser conducidos por pendientes suaves entre 0,5 a 1 % para evitar la erosión de los suelos de los canales.

Los canales de captación se diseñan con ayuda de la fórmula de Mannig-Stickler los que nos permiten calcular los caudales $m^3 s^{-1}$ que se pueden transportar de manera eficiente y considerando las características del material de los canales y las velocidades permitidas.

Sedimentador

Al final del canal de conducción, y antes de que ingrese al atajado (5 m de distancia mínima), se incorpora una caja con el objeto de disminuir la velocidad del agua y favorecer al mismo tiempo que el material arrastrado por el agua se sedimente y no lleguen a colmar el reservorio, disminuyendo su vida útil.

Canal de Ingreso

A fin de evitar que las paredes de los taludes se erosionen durante el ingreso del agua al atajado, se recomienda construir un canal de ingreso de cemento desde el sedimentador hasta el fondo del reservorio. La forma de este canal es rectangular y en el fondo se recomienda colocar piedras para evitar la erosión. De la misma manera que para el canal de aducción se utiliza la fórmula de Mannig-Stickler para calcular los caudales de entrada.

Sistema de Desfogue

Para evacuar el agua del atajado en forma eficiente y sin causar erosión del ahijadero, se recomienda construir un sistema de desfogue que puede ser un sifón colocado por encima del talud interior. Para tal fin se recomienda utilizar un tubo de PVC o material galvanizado de un diámetro aproximado de 5 cm, colocado en el fondo del atajado.

Este tubo de desagüe debe tener una pendiente baja (1-2 %) para garantizar el flujo continuo de agua y permitir su autolimpieza. En el borde del tubo que queda dentro del atajado, se debe colocar un filtro para evitar la obstrucción del tubo y en la parte exterior del tubo (fuera del atajado) se debe colocar una llave de paso con seguro para evitar su manipulación por niños o personas ajenas y así evitar el desperdicio de agua.

El tubo de desagüe, se debe colocar antes de la construcción del atajado.

Cámara Disipadora

A fin de disipar la fuerza del agua que sale por el sistema de desfogue, se recomienda construir una cámara disipadora de energía. En algunos casos estas cámaras son utilizadas como abrevaderos o para lavar; sin embargo en lo posible es importante evitar su uso y construir depósitos para usos como: lavandería o abrevaderos a distancias prudentes.

Aliviadero

El aliviadero es un canal o vertedor que permite eliminar las excedencias de agua. Este canal de desvío, se construye con el objeto de manejar adecuadamente las excedencias de agua y de

mantener un nivel (espejo) de agua constante en el atajado. Esto evita su llenado completo hasta el borde de la corona e impedir que la obra colapse en el tiempo.

Entre las recomendaciones que se deben tomar en cuenta para su construcción se tiene:

El nivel del aliviadero debe estar ubicado como máximo medio metro por debajo del borde superior de la corona.

- Debe estar ubicado necesariamente sobre tierra firme y no en el terraplén.
- De acuerdo al tamaño del atajado y la cuenca de captación se debe determinar la dimensiones del aliviadero.

A fin de evitar problemas de erosión en la cercanías del atajado, el aliviadero debe estar conectado con un canal de drenaje natural. El aliviadero debe estar recubierto preferentemente con vegetación para evitar su socavamiento y evacuar en un sitio seguro.

Canales de Conducción

Sirven para llevar el agua desde la cámara disipadora a los terrenos de cultivo de manera eficiente. En lo posible se recomienda tener unos desvíos hacia los abrevaderos o sitios para lavar ropa, etc y así evitar la contaminación del agua para consumo humano. Para calcular las dimensiones de los canales se deben tomar en cuenta los posibles caudales de riego y utilizar las mismas fórmulas que para los canales de aducción.

f) Protección y Manejo del Atajado

Cerco Perimetral

Como el ingreso directo de los animales hacia el atajado produce serios daños a los terraplenes y la contaminación del agua, se recomienda construir un cerco alrededor del atajado. Como mínimo se debe mantener una distancia de 5 m desde el pie del talud exterior y por lo tanto la llave de paso debe quedar dentro del área cercada.

El cerco debe tener por lo menos una altura de 2 m y se puede construir con alambre de púas, malla olímpica y postes de madera o cemento. Como estos materiales tienen un costo adicional también se puede utilizar materiales locales como troncos, piedras, adobes, ramas espinosas, tapias, etc.

Así mismo se debe reforzar estos defensivos con la plantación de árboles.

No debe olvidarse de la protección del área de aporte del atajado, ya que Orsag (2000), ha podido constatar que una de las causas de la colmatación de los atajados construidos por PROBONA en varios lugares de Cochabamba (Chajra Corral; Potosí (Uyuni y Janchillani) y Chuquisaca (Molani), se ha debido a la alta degradación y deterioro del área de aporte por el pastoreo indiscriminado de ganado caprino y vacuno.

Protección de los Terraplenes

Se recomienda proteger taludes exteriores del atajado con ayuda de pastos locales o piedra (muro de contención). Esto favorece la estabilización del terraplén y su producción sostenible. Kurmi (2002), ha logrado resultados halagadores con la siembra de *falaris* en los taludes externos del terraplén, gracias a la humedad existente.

Para que el manejo de los atajados y todo el sistema sea sostenible en el tiempo, se debe tomar en cuenta las siguientes actividades:

- Control de canales y bordes durante y después del llenado.
- Mantenimiento y limpieza de canales, desarenador y aliviadero.
- Control periódico de los terraplenes para determinar si no hay problemas de infiltración.
- Control de canales colectores durante el llenado del atajado.

Entre los problemas más frecuentes que se presenten en los atajados se tiene:

- Filtración en la base, los bordes o alrededores del tubo de desfogue.
- Asentamiento del terraplén y su colapso.
- Sedimentación del atajado.
- Poca cosecha de agua.
- Erosión de los taludes exteriores.
- Deslizamiento de los bordes.

h) Recomendaciones

Entre las recomendaciones que indican estos autores se debe tomar en cuenta para el buen funcionamiento del atajado las siguientes:

- El primer llenado no debe ser de golpe para evitar su colapso y permitir su asentamiento paulatino.
- Evitar el sobrepastoreo y extracción excesiva de leña o madera en el área de aporte, para mantener una buena cobertura vegetal y no se produzca problemas de erosión y arrastre de materiales hacia el atajado.
- Controlar los canales de conducción y ver si funcionan bien y no contribuyan a la erosión de la zona.
- Manejar eficientemente el agua almacenada controlando las entregas de agua para evitar conflictos entre los comunarios.

Construcción de Pozos Cisternas

Como en gran parte de las áreas rurales no existe agua potable ni para riego y sus pobladores tienen que recorrer grandes para conseguir este líquido, una alternativa para acumular agua para consumo humano y otros usos es la construcción de pozos cisterna.

La construcción de pozos de un diámetro aproximado de 2,5 m, revestido de piedra y si es posible colocando en su interior material aislante doble de polietileno de 0,20 mm. El pozo puede estar tapado con una cobertura de madera o de cemento. El agua se cosecha por medio del escurrimiento que se logra en los techos de calamina o con aducciones desde algunas vertientes.

Beneficios:

- Se puede almacenar agua durante la época de lluvias.
- Se puede realizar en lugares marginales y alejados.
- Contribuye a procesos de reactivación ecológica por medio del crecimiento de árboles, pastos o cultivos.

Como estos pozos se han construido en zonas montañosas como en la cuenca de Potobamba (Potosí) por el Proyecto Loyola, es posible utilizarlos para riego de pequeñas parcelas (hortalizas) con ayuda de aspersores caseros gracias a la presión que se genera por la variación de altura.

La fabricación de aspersores caseros es muy fácil, solo se necesita tubos de PVC de diferente diámetros y poxipol.

En la construcción de los pozos se tiene limitaciones que son las siguientes:

Se ha visto que solo es posible realizar en aquellas zonas donde los campesinos tienen un techo de calamina en sus viviendas o cuentan con vertientes o arroyos.

Los costos pueden ser una limitación para una gran parte de los pobladores rurales de las zonas más pobres de Bolivia.

Así mismo se recomienda lo siguiente:

- Para mantener el buen estado de la estructura del pozo y la calidad del agua se debe controlar periódicamente las paredes y tapa del depósito y evitar la entrada de basura y animales pequeños.

7. RECOMENDACIONES PARA PROYECTOS DE RIEGO

Un tema importante se refiere a la situación de impacto ambiental que se presenta en varios proyectos de riego que se desarrollan principalmente en la cuenca del río Pilcomayo y que corresponde a iniciativas que se ubican en las regiones de valles y el Chaco. A continuación, se presenta un conjunto de recomendaciones para mitigar impactos ambientales que están ocurriendo con proyectos de riego en la zona indicada:

- Los proyectos implementados en el país, en la mayoría de los casos han sido puntuales y por lo tanto aislados dentro de la cuenca o microcuenca en la que se encuentran. Como no se los maneja en forma integral, surgen en el tiempo, algunos problemas, entre los que destacan los conflictos entre los diferentes usuarios aguas abajo y aguas arriba.
- Numerosos proyectos de riego en la región la cuenca del río Pilcomayo (Departamentos de Potosí, Chuquisaca y Tarija) que incluye las zonas de valles y Chaco donde el recurso agua en muchos casos es considerado solamente desde el punto de vista de su cantidad y no tanto de su calidad, o solo se toma en cuenta las características fisicoquímicas tradicionales, olvidando de que en muchos sitios del país se utilizan aguas afectadas por sales y metales pesados. Numerosos estudios señalan que sus ríos principales y sus afluentes presentan elevados contenidos de cadmio, plomo, zinc, arsénico y otros. Esta situación, podría limitar

las posibilidades de usar este recurso para fines de riego, principalmente en la época seca del año, cuando aumentan la demanda de agua y época en la que generalmente se los ríos presentan generalmente presentan menores caudales y mayores concentraciones de contaminantes. Por lo tanto, es necesario que proyectos de riego en esa cuenca deban considerar incluir en sus presupuestos los análisis de metales pesados previo a la otorgación de recursos.

- Todos los proyectos de riego deben considerar un acompañamiento en la capacitación de los regantes para el manejo a nivel parcelario ya que en muchos casos a mediano y largo plazo surgen problemas de degradación de suelos (salinización, sodificación, compactación, pérdida o disminución de la fertilidad, contaminación o erosión).
- Se debe realizar un seguimiento de proyectos de riego por parte de técnicos del PAR II identificando los cambios que se registran en el tiempo y que pueden estar sufriendo los suelos regados por el uso de aguas contaminadas o por el mal manejo de suelos. Resultados sistematizados permitirían identificar en el tiempo las causas y magnitud de la degradación de los suelos, y por lo tanto prevenir algunos inconvenientes en los nuevos proyectos de riego.
- La falta de mantenimiento de los canales de riego por parte de los usuarios provocan pérdidas de agua considerable, situación que disminuye la oferta de agua y la eficiencia del riego. Por lo tanto se debe realizar un seguimiento de las actividades de los usuarios por parte del proyecto.
- En muchos casos la gestión de riego por parte de los usuarios no ha sido la más adecuada debido a diversos factores como la débil organización de los regantes, problemas internos, incumplimiento de los reglamentos; razón por la cual se deben fortalecer estos aspectos de organización.
- El recurso suelo no es considerado con el suficiente rigor técnico en los proyectos de riego (principalmente en los de micro riego), y considerando que en varias zonas, los suelos ya presentan impactos negativos (salinización/alcalinización, acumulación de metales pesados y por otro lado problemas de aguas de calidad dudosa y mal manejo de suelos y agua a nivel parcelario. En este sentido es necesario contar con estudios básicos de los suelos, con el objeto de determinar que tipo de prácticas se deben utilizar para evitar su degradación.
-
- Al margen de considerar la calidad del agua, mencionados en los párrafos anteriores es importante considerar, la tolerancia de estos a la salinidad, sodio, boro y a otros elementos tóxicos presentes.
-
- En los proyectos de riego es necesario evaluar las condiciones de drenaje del área de riego, en razón de que los excedentes de agua utilizados para evacuar las sales (fracción de lavado) deben tener asegurada un drenaje para que las sales no se acumulen en el mismo suelo o dañen a zonas aledañas.

- Para que los proyectos de riego sean sostenibles en el tiempo es necesario que se tenga un apoyo técnico constante en lo que se refiere al acompañamiento que deben tener en la parte productiva y organización de regantes. También se debe trabajar con las autoridades municipales en la gestión de la cuenca o microcuenca de manera integral, para que a mediano y largo plazo no se tengan conflictos entre los diferentes usuarios por el aumento de las demandas y contaminación de este recurso tan importante.

BIBLIOGRAFÍA

- Abruña, F.; Pearson, R.W.1970. Crop response to soil acidity factors in Ultisols and Oxisols. I.Tobacco.Soil Sci. Soc.Amer.Proc.34.
- Andrew, C.S.; Johnson,A.D.; Sandland,R.L. Effect of aluminium on the growth and chemical composition of some tropical and temperate pasture legumes. Aust.J. Agr. Res.24.
- Ayala,G.; Aranda, B. 1999.Manual de Manejo y Conservación de Praderas Nativas. SID. La Paz, Bolivia.
- Ayers,R.S.; Wescott, D.W.1987. Water quality for agriculture. FAO, Irrigation and drainage paper N°8 29. Roma-Italia.
- Banco Mundial, 1990.Vetiver, la Barrera Contra la Erosión. BM.Washington,D.C.
- Barber, R.;Johnson, J.1992.Aspectos Técnicos Sobre la Instalación de Cortinas Rompevientos Para la Producción de Cultivos Anuales. CIAT, MBMT. Informe Técnico N° 2. Santa Cruz, Bolivia.
- Brack, A. 1993.Plantas Utilizadas en el Perú en Agroforestería. Revista Bosques y Desarrollo, Año 4. N° 8, Cali-Colombia, p 22-34.
- Bragagnolo,N.1995.Manual Integrado de Prácticas Conservacionistas. Proyecto Regional CP/RLA/107/JPN "Apoyo para una Agricultura Sostenible Mediante Conservación y Rehabilitación de Tierras en América Latina. FAO Oficina Regional, Santiago de Chile-Chile.
- Callagher,J. L. 1985. Halophitic crops for cultivation at seawateer salinity.Plant and Soil 89: 323-336.
- Centro de Datos para la Conservación.1995. El Pastoreo y los Recursos Forrajeros de Bolivia. CDC. Bolivia.
- CIAT; NRI. 1999. Manejo de Coberturas en el Departamento de Santa Cruz. CIAT, NRI. Santa Cruz, Bolivia.
- Epstein, E. 1983. Crops tolerant of salinity and other stresses. In better crops for food. Pitman Books, London,UK.
- Epstein,E. 1985. Salt tolerants crops: origin, development, and prospects of the concept. Plant and Soil 89: 187-192
- Espinoza,J.; Molina, E. 1999. Acidez y Encalado de los Suelos. INPOFOS.
- Espinoza,T. 2000. Efectos del Pasto Falaris (Phalaris tuberoarundinacea) Como Barrera Viva en el Control de la Erosión en Suelos de Ladera. En Memorias Primer Congreso Boliviano de la Ciencia del Suelo. 28-31 de julio de 1999.La Paz, Bolivia
- FAO, 1980 Metodología Provisional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos. Roma, Italia.
- FAO, 1989. Manual de Campo para el Manejo de Cuencas Hidrográficas. Medidas y Practicas para el Tratamiento de Pendientes, Roma, Italia.
- FNCC.1975. Manual de Conservación de Suelos de Ladera. CENICAF. Chinchia, Caldas, Colombia.
- Fundación Sartawi. 1992. Pachamama no te Mueras. Programa de Recuperación y Conservación de Suelos. La Paz, Bolivia.
- Glenn, E.P. and O' Leary, J. W. 1985. Productivity and irrigation requeriments of halophytes grown with seawater in the Sonoran Desert. Journal of Arid Environments. 9(1):81-91.

- Hervé, D.; Mita, V.; Paz, B. 2000. Sistemas de Labranza para Suelos Salinos. En Primer Congreso Boliviano de la Ciencia del Suelo. 28- 31 de julio de 1999. La Paz, Bolivia.
- Hervé,D. ; Ledezma, R. ; Orsag, V. 2002. Limitantes y Manejo de los Suelos Salinos y/o Sódicos en el Altiplano Boliviano. IRD, CONDESAN. La Paz, Bolivia.
- Kamprath,E.J. 1970. Exchangeable aluminium as a criterion for liming.Int.Soil Testing Program Tech. Bull.4, North Carolina State University,Raleigh.
- Kurmi.2002.Cosecha de Agua Pluvial en Comunidades Aymara del Altiplano Central. Secretariado Rural, Perú-Bolivia.
- Labrousse,R.1993. Diagnóstico de la Erosión de Suelos.Técnicas de Conservación. PELT, BDPA-SCETAGRI. La Paz, Bolivia.
- Ledezma, R. 1995. Influencia del Riego en los Procesos de Salinización y Sodificación en Suelos de la Provincia G. Villarroel, Tesis de Grado. Fac. de Agronomía-UMSA. La Paz, Bolivia.
- Liberman, M. 1989. Desertificación en Bolivia. Liga de Defensa del Medioambiente. La Paz.
- Mariaca, R. 1999.Criterios Básicos para el Diseño de Sistemas Agroforestales CIAT, Santa Cruz, Bolivia.
- MDSMA-Secretaría Nacional de Recursos Naturales y Medio Ambiente -Secretaría de Conservación de Tierras 1996 Mapa Preliminar de Erosión de Suelos - Región Árida, semiárida y Subhúmeda Seca de Bolivia (Memoria Explicativa). Centro de Información para el Desarrollo. La Paz, Bolivia.
- Miltz,J. 1998. Guía para el Establecimiento de Sistemas Agroforestales en Alto Beni, Yucumo y Rurrenabaque. NOGUB-COSUDE, DED. La Paz, Bolivia.
- Miranda, F.; Canahua, A. 2001. Instalación de Pastos Cultivados y Mejoramiento de Pastizales CARE, INIA, Proyecto PPMA, Boletín N° 1. Puno, Azángaro - Perú.
- Miyamoto,S.et al. 1984.Overview of saline water irrigation in far west Texas.In Proceeding of irrigation and drainage specially conference.ASCE,Flagstaff, Arizona.
- Norris, D. O. 1967. The intelligent use of inoculants and lime pelleting for tropical pastures.Trop.Gras1.
- Ocampo, R.; Medina, C.; Lovatón, G.1996. Manual de Conservación de Suelos y Agua. Asociación Arariwa. Cuzco, Perú.
- Orsag, V. 1994. Consideraciones sobre la Contaminación Química de los Suelos Circunlacustres al Lago Poopó, ILDIS-UTO-COPLA. Seminario Taller Regional Sobre el Lago Poopó, Oruro, Bolivia. 21 –23.
- Orsag, V.; Molina, P.; Quino, E. 1993. Caracterización Hidrofísica Preliminar de un Aridisol (Typic Paleargid) del Altiplano Central. En Revista Jiltañani, Facultad de Agronomía-UMSA, año 1, N°1. La Paz, Bolivia. pp 10-15.
- Orsag, V; Miranda,R. 2000. Evaluación del Impacto de Riego con Aguas del Río Desaguadero sobre la Salinización, Sodificación y Acumulación de Metales Pesados en Suelos y Vegetación. Informe Principal. ALT. La Paz, Bolivia.
- Orsag,V.; Blanco,M. 2000. Caracterización Físico-química de Algunos Suelos del Bloque Andino Oriental de Bolivia y Mineralogía de sus Arcillas. En Memorias del Primer Congreso Boliviano de la Ciencia del Suelo.28 - 31 de julio de 1999.La Paz, Bolivia.
- Padilla,S.1993.Realidad de la Agroforestería en los Andes. Bosques y Desarrollo, Año 4. N° 8,Cali-Colombia, p.44-46.
- Pasternak, D. 1987. Salt tolerance and crop production – a comprehensive approach. Anual Review of Phytopathology 25:271-291.
- PELT. 1993. Plan del Sistema TDPS, Estudio de Contaminación e Hidroquímica. INTECSA, AIC PROGETTI,CNR. CCE Y PELTS BOLIVIA y PERU.
- Pizarro, F. 1977. Drenaje Agrícola y Recuperación de Suelos Salinos. Madrid, España.
- Porta, J.; López-Acevedo, M. ; C. Roquero, 1994. Edafología Para la Agricultura y el Medio Ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. MADRID.

- Primavesi, A., y Primavesi, O. 2002. En Brasil, Optimizando las Interacciones entre el Clima , el Suelo, los Pastizales y el Ganado. Revista Leisa
- PROFOCE. 2001. Multiplicación de Falaris en Viveros Familiares. Estrategias Para la Producción de Forraje y Control de Erosión Como Complemento de Manejo de Malezas en Laderas. PER-ASPERA-AD-ASTRA, UMSS, DFID, SRI. Cochabamba, Bolivia.
- PROFOCE.2001. Barreras Vivas Asociadas a la Conservación de Suelo, Agua y
- PROFOCE.2001. Barreras Vivas. Estrategias Para la Producción de Forraje y Control de Erosión como Complemento de Manejo de Malezas en Laderas. PER-ASPERA-AD-ASTRA,UMSS, DFID, SRI. Cochabamba, Bolivia.
- Programa Nacional de Conservación de Suelos y Aguas en Cuencas Hidrográficas.1985 Manual Técnico de Conservación de Suelos. Ministerio de Agricultura. Convenio Perú-AID 527-0220.Lima, Perú.
- PROMIC, 1997. Primer Seminario — Taller Metodología y Experiencias sobre Manejo de Cuencas en Cochabamba.
- Puerta, R. 1993.Sistemas Agro- Silvopastoriles. Bosques y Desarrollo, Año 4.Nº 8, Cali-Colombia,p14-16.
- Quintanilla, J.; Coudrain-Ribstein, A.; Martinez,J. ; Camacho, V. 1995. Hidroquímica de las Aguas del Altiplano de Bolivia. Bull Inst. Fr. Etudes andines, 24 (3) 461-471.
- Quisbert, M. 1980.Clasificación y Mapeo de Suelos con Fines de Salinidad Compreendida entre Tomás Barrón , Papel Pampa y Chilahuala. Tesis de Grado. Universidad Mayor San Simón, Cochabamba, Bolivia.
- Rocabado, M. 2001. Impacto del Riego Tradicional con Aguas del Río Desaguadero en Suelos y Vegetación de la Comunidad de Santa Ana (Provincia G. Villarroel). Teésis de Grado. Facultad de Agronomía –UMSA. La Paz, Bolivia.
- Rocha, R y V. Orsag. 1992. Tolerancia de Tres Variedades de Papa al Contenido de Sales en el Agua de Riego. En Primera Reunión Nacional de la Papa Amarga. ORSTOM, La Paz-Bolivia.
- Rodríguez, J. 1999. La Agroforestería una Alternativa para la Conservación de Suelos. 1mer. Congreso Departamental de la Ciencia del Suelo. SDCS, UTO. Oruro.
- Saldías, M. Et.al.1994. Guía para Uso de Árboles en Sistemas Agroforestales para Santa Cruz, CIAT-MBAT, Santa Cruz-Bolivia.
- Salm, H.; Liberman, M. 2000. Recuperación de Suelos Bajo Vegetación de Acacia Caven. En Memorias del Primer Congreso Boliviano de la Ciencia del Suelo.28- 31 de julio de 1999.La Paz, Bolivia.
- Torrez- Ruiz, E.1981.Manual de Conservación de Suelos Agrícolas. Ed. Diana. Ciudad de México-México.
- Tracy, F.; Perez, R. 1986. Manual Práctico de Conservación de Suelos. Proyecto Manejo de Recursos Naturales Tegucigalpa, D.C.Honduras.
- Vacher, J.J.: Imaña, E.; Canqui, E. 1994. Las Características Radiativas y la Evapotranspiración Potencial en el Altiplano Boliviano. UMSS.Revista de Agricultura 24:4-11.
- Verweij, M. 2001 Cosechar Lluvia. Guía de Implementación y Uso de Lagunas –Atajados . Corporación Agropecuaria Campesina, Aiquile.
- Yensen, N. 1988. Halophytes of Latin América and the World: Their Use with Saline & Waste Waters and Marginal Soils. Centro de Investigación de Alimentación y Desarrollo.Tucson, Arizona, USA.