

MANEJO AGROECOLÓGICO DEL SUELO EN SISTEMAS ANDINOS *

Carmen Felipe-Morales B. **

1. INTRODUCCION

El Suelo, conjuntamente con el Agua, constituyen sin lugar a dudas dos recursos esenciales para la Agricultura. Pero, a diferencia del agua, recurso que se renueva en un tiempo relativamente breve, a través del ciclo hidrológico, la formación y renovación del suelo exige un mayor tiempo a la escala humana, de tal modo que su escasez actual es determinante para establecer el potencial agrario de un país o una región.

El **suelo**, como se sabe, es una formación natural, producto de la descomposición de las rocas y minerales, a través de un largo período de tiempo. Contiene, además de minerales, un componente muy valioso como es la **materia orgánica** y alberga una población de microfauna y microorganismos que le da, conjuntamente con la materia orgánica, un carácter dinámico y viviente.

Lamentablemente este concepto de **suelo** es poco comprendido en una agricultura con enfoque convencional y rentista, en la cual el suelo es entendido únicamente como el soporte físico de las plantas y el “dador” de nutrientes y si estos no existen en forma natural, se les añade a través de la práctica de la fertilización química.

En tal sentido, el suelo es objeto de numerosas agresiones: labranza intensiva, aplicación exagerada de sustancias químicas, muchas de ellas biocidas para la población orgánica del suelo, riegos copiosos, quema de rastrojos, sobrepastoreo cultivado en sentido de la máxima pendiente, etc. Todo ello ha traído como consecuencia problemas de empobrecimiento, contaminación y erosión del suelo.

Si tomamos el caso de los países de la erosión Región Andina, ellos se encuentran severamente afectados por problemas de , en razón de un mal manejo de sus suelos, agravado por las fuertes pendientes que caracterizan a esta Región. Así en Colombia, se estima que el 75% de su territorio está afectado por erosión en diversos grados de magnitud. En el caso del Perú, el 60% de los suelos de la Sierra o Región Andina, presentan problemas de erosión en grado moderado a severo. Esta situación, es tanto mas preocupante si se tiene en cuenta que en la Sierra Peruana el porcentaje de tierras con potencial agrícola es de solo 3.5% del total de tierras existentes en esta Región.

En una agricultura con enfoque agroecológico, el **suelo constituye la base de su productividad**, en tal sentido, cuidar y conservar el suelo es una tarea fundamental.

2. PRINCIPIOS PARA UN MANEJO AGROECOLOGICO DEL SUELO

Para un manejo agroecológico del suelo es preciso entender algunos principios básicos que rigen el comportamiento del suelo . Estos son:

- **Entender que el suelo es un sistema dinámico y con vida**

Ello significa que el suelo es un **sistema** de complejas interrelaciones reciprocas entre sus componentes físicos, químicos y biológicos, por lo tanto la modificación de uno de ellos trae consigo una alteración del suelo en su conjunto. Si intervenimos irracionalmente, las modificaciones serán inesperadas y adversas. Por el contrario, si manejamos adecuadamente el suelo se podrán lograr resultados altamente beneficiosos.

Por otro lado, se debe concebir al suelo no como un ente estático, soporte de la vegetación, sino como a un ente dinámico con una vida que se debe **conocer, cuidar y respetar**.

* Publicado en “AGROECOLOGIA, el camino hacia una agricultura sustentable”. Ediciones Científicas Sudamericanas. Buenos Aires, 2002 .

** Ing. Agrónoma, Dra. en Ciencias Agronómicas con especialidad en suelos, Agroecóloga.

- **Conceptualizar de manera integral la fertilidad del suelo, la cual no debe restringirse sólo a la fertilidad química sino a la fertilidad física y biológica.**
- **Manejar eficientemente los nutrientes del suelo tendiendo al reciclaje de ellos. En este aspecto cabe destacar el rol fundamental que tiene la materia orgánica.**
- **Asegurar un “Microclima” benéfico al suelo, evitando la exposición directa de éste a la acción de los factores climáticos.**
- **Asegurar permanentemente la conservación del agua y del suelo.**
- **Saber manejar y no exterminar a la población orgánica del suelo.**
- **Tratar de conocer y entender las prácticas tradicionales de manejo del suelo, rescatando aquellas que tengan un enfoque agroecológico.**
- **Todas las medidas que contribuyan a la recuperación de las condiciones favorables del suelo, contribuyen igualmente a la sanidad vegetal.**

3. LA MATERIA ORGANICA: UN COMPONENTE FUNDAMENTAL DEL SUELO

La base de la fertilidad del suelo, entendida en su expresión más amplia, radica en la **materia orgánica** (M.O.) y su transformación en **Humus**. Esta fracción coloidal de la materia orgánica, al ligarse íntimamente con la fracción de arcilla, forma los complejos arcillo – húmicos. Estos a su vez aseguran la formación de agregados estables en el suelo, es decir de una bioestructura favorable a la retención y circulación del agua, a la circulación del aire, y a la penetración de las raicillas de las plantas. Por otro lado, suelos bien estructurados desarrollan una mayor resistencia a la erosión tanto hídrica como eólica.

La fertilidad física del suelo es por lo tanto mejorada con la aplicación de M.O., pero también la fertilidad química y biológica. Es así que, durante el proceso de descomposición de la M.O. hacia la formación del humus, se liberan diversos nutrientes (nitrógeno amoniacal y nítrico, ácidos fosfórico, azufre, calcio, potasio, magnesio, etc.) que las plantas pueden aprovechar.

Por otro lado, la actividad biológica del suelo se incrementa con el contenido de M.O. Se ha constatado así que este incremento de la actividad biológica es una forma de control de ciertas plagas como los nemátodos del suelo (Primavesi A., 1984). Lo que se estaría propiciando es, por un lado, la aparición de enemigos naturales de los nemátodos, y por otro, al favorecer la M.O. el mejor desarrollo y vigor de las plantas, éstas pueden resistir más al ataque de plagas y enfermedades.

En cuanto a la fuente de M.O. a aplicar al suelo, ella puede ser diversa, y ello depende de la disponibilidad existente en cada zona, así como de las condiciones climáticas.

En la Costa Peruana las fuentes de M.O. que se usan mayormente son: el guano de islas; el estiércol de vacuno; la “gallinaza” o estiércol de gallina; así como abonos elaborados como el Compost y últimamente el Humus de lombriz. En la Sierra, las fuentes más abundantes de M.O. son: el estiércol de ovino, seguido por el de vacuno y caprino. En la Selva, el uso de Abonos Verdes, a base de leguminosas, constituye la principal fuente de M.O. asimismo son importantes los residuos de cosecha como la pulpa de café, paja de arroz, etc.

Alegre C. (1977) trabajando en un suelo aluvial de textura Franco Arenosa en Costa Central, bajo condiciones de clima árido, por lo tanto de agricultura con riego, demostró las grandes ventajas de la aplicación de diversas fuentes de M.O. sobre la fertilidad física y química del suelo.

Las fuentes usadas fueron: abonos verdes: *Crotalaria* sp. y Frijol Castilla; estiércol de vacuno (dosis alta, y baja), y compost a base de estiércol de vacuno y rastrojo de frijol (dosis alta, y baja).

Las propiedades del suelo evaluadas fueron: agregación y estabilidad estructural, densidad aparente, porosidad, capacidad de retención al agua, y capacidad de intercambio catiónico. Todos los abonos orgánicos tuvieron un efecto notablemente mejorador de las propiedades físicas y químicas del suelo, destacando el efecto del Compost en la dosis equivalente de aplicación (tabla 1)

Cabe señalar que, para las condiciones de Costa, el incremento de la capacidad retentiva al agua, medida a través de la Humedad Equivalente (HE), así como de la Capacidad de intercambio catiónico

(CIC), son propiedades fundamentales en la fertilidad de dichos suelos, los que se caracterizan por ser retentivos al agua y a los nutrientes.

En este mismo suelo, Chuquiruna S. (1989) evaluó el efecto, además del estiércol de vacuno y del Compost, de otros dos abonos orgánicos: la gallinaza y el bioabono líquido o "biol" (obtenido de un biodigestor tipo Chino), sobre la fertilidad del suelo y el rendimiento de un cultivo de papa cv. "Revolución".

La aplicación de dichos abonos orgánicos al suelo se hizo sobre la base de un aporte equivalente de 360 Kg. de Nitrógeno total/ha. Esta cantidad, que podría parecer alta si se aplicara en forma de un fertilizante químico, no es tal cuando se aplica en forma de abono orgánico, ya que como se sabe, el Nitrógeno contenido en la M.O. no es liberado ni inmediata ni totalmente al suelo. Una parte del mismo (65%) se mineraliza en un tiempo relativamente corto, pero no todo es aprovechado por la planta, ya que también es usado por los microorganismos del suelo que participan en la descomposición de la M.O. El resto (35%) es retenido durante el proceso de Humificación y se libera lentamente en el suelo.

Una vez más, se comprobó el efecto mejorador de los abonos orgánicos, a excepción del Biol, sobre las propiedades físicas y químicas del suelo. Siendo éste un abono líquido carente de Carbono, pero con contenido de Nitrógeno soluble, así como de fósforo, potasio y micronutrientes, su efecto como enmienda del suelo es irrelevante, pero funciona muy bien como fertilizante orgánico.

Los rendimientos obtenidos fueron: 55; 53; 48; 43 y 33 Tm/ha de papa, con la aplicación de Biol, Compost, Gallinaza, Estiércol de vacuno y el suelo testigo respectivamente. Todos los tratamientos superaron al suelo testigo; siendo los mejores el Biol y el Compost. El buen rendimiento presentado por el suelo testigo se debió al hecho de que este suelo estuvo sembrado antes con diversas leguminosas, las que aportaron Nitrógeno al suelo.

En otro experimento conducido en un suelo de textura arenosa afectado por nemátodos, ubicado en el valle de Pachacamac (Dpto. de Lima), Daza J. (1990) comparó el efecto de diversos abonos orgánicos sobre la fertilidad del suelo, en el control de nemátodos, así como en el rendimiento de un cultivo de vainita (*Phaseolus vulgaris*) var. "Bush Blue Lake". Los abonos orgánicos fueron: gallinaza, estiércol de vacuno, Compost, Humus de lombriz y melaza de caña. Ellos fueron comparados con tres tratamientos: fertilización química y melaza; fertilización química y aplicación de un nematicida químico, el Nematicur; y sólo fertilización química.

La cantidad de abonos orgánicos aplicados al suelo se realizó sobre la base de una dosis equivalente a 10 Tm de M.O. / ha. En el caso de la melaza, se aplicó diluido en agua (1:4) en una cantidad de 13.3 lts de mezcla/ha. En cuanto a los tratamientos químicos, dado el alto contenido de fósforo y potasio del suelo, sólo se aplicó Nitrógeno en una dosis de 70 Kg/ha y en forma de urea, tal como acostumbre el agricultor de la zona. El nematicida empleado en el tratamiento correspondiente, fue el Nematicur, a razón de 50 Kg/ha.

Los resultados demostraron una vez más el efecto benéfico de los abonos orgánicos en las propiedades tanto físicas como químicas del suelo, siendo el estiércol de vacuno y la gallinaza los que mejor comportamiento presentaron. El control de nemátodos fue mejor con la aplicación de melaza y gallinaza.

En cuanto al efecto de los tratamientos sobre el rendimiento de vainita, en orden decreciente fueron: urea + melaza > gallinaza > estiércol de vacuno > urea > urea + nematicida > Compost > melaza > humus de lombriz, aunque estadísticamente no hubo diferencias significativas entre los 5 primeros tratamientos.

4. TECNICAS DE MANEJO AGROECOLOGICO DEL SUELO PARA LAS ZONAS ANDINAS

4.1. Labranza conservacionista

En los últimos años se viene difundiendo cada vez con mayor fuerza la labranza mínima e incluso la labranza "cero" del suelo. Esta práctica, conocida también como **labranza conservacionista**, parte del principio de que la excesiva mecanización del suelo ha traído a la larga más perjuicios que beneficios: compactación del suelo; mal drenaje; problemas de erosión; perturbación de la microfauna benéfica del suelo etc.

Curiosamente, en los países en donde más se desarrolló la mecanización se viene dando con mayor fuerza la tendencia a la labranza mínima del suelo. Cabe señalar sin embargo, que los beneficios de esta práctica provienen principalmente del hecho de dejar los rastrojos de los cultivos en el campo (en forma de cubierta inerte o "mulch"), los cuáles al descomponerse van enriqueciendo al suelo de materia orgánica y mejoran las propiedades físicas y biológicas del suelo. La siembra del siguiente cultivo, en este caso, se realiza en forma directa, abriendo un surco entre el rastrojo dejado por el cultivo anterior.

En la agricultura andina tradicional, en cierta forma se practica este tipo de labranza conservacionista al roturar el suelo (después de un período de descanso con pastos), con una herramienta manual llamada la “chaqui tacla”. La semilla, principalmente de papa, es colocada en el hoyo abierto con dicho arado, dejando en el terreno los restos de la pastura.

4.2. Uso de cobertura inerte o “mulch”

En la medida de lo posible el suelo no debe estar expuesto directamente a los rayos solares, ni a las lluvias ni al viento. Una forma de proteger al suelo es mediante una cobertura vegetal densa, principalmente herbácea; o, aplicando una cubierta inerte, principalmente a base de residuos vegetales, conocida en inglés como “mulching” o “mulch”.

El uso de cubiertas vegetales vivas es aplicable a zonas climáticas húmedas, en donde no se da una competencia por el agua entre la cobertura vegetal y el cultivo principal. El uso del “mulch” es recomendable principalmente para zonas climáticas sub – húmedas, semi áridas y áridas, bajo condiciones de riego, y en donde el agua es el factor limitante. En este caso se puede utilizar como “mulch” los rastrojos del cultivo anterior o de las malezas.

Felipe – Morales et al.(1995) determinaron el efecto del “mulch” en base a paja de arroz, en el rendimiento de un cultivo de vainita de verano en el valle de Pachacamac, (de clima árido, propio de La Costa Central), en relación con el mismo cultivo conducido sin “mulch”. Se obtuvo, en todos los tratamientos de ensayo, un incremento notable en el rendimiento de vainita cuando el suelo era protegido con “mulch”. Dichos rendimientos fueron superiores en un rango de 18 al 115 % en relación a los tratamientos sin “mulch”. El tratamiento que respondió más al efecto del “mulch” fue el de una siembra anterior de Marigold (*Tagete erecta*), a fin de controlar el efecto de los nemátodos del suelo en el cultivo de vainita.

Se ha comprobado, por otro lado, que el “mulch” protege eficientemente al suelo de la erosión provocada por el agua o por el viento; disminuye asimismo las pérdidas de agua por evapotranspiración y controla el crecimiento de malezas. En zonas de riesgos de heladas el “mulch” constituye una práctica muy útil para atenuar el efecto de las bajas temperaturas.

A modo de ilustración, en la tabla 2 se dan valores de pérdidas de agua por escorrentía y de suelo por erosión, comparando cultivos con y sin “mulch”.

Tabla 2.- Efecto del “mulch” en la escorrentía, erosión del suelo y rendimiento del cultivo, bajo condiciones de clima sub-húmedo (Localidad de Huancayo, Perú).

CULTIVOS	Tratamiento	Escorrentía (% de lluvia)	Erosión (Tm/ha)	Rendimiento (Tm ha)
PAPA	Sin “mulch”	14.6 %	12.0	29
	Con “mulch”	5.7 %	1.9	36
MAIZ (choclo)	Sin “mulch”	23.0 %	20.0	4
	Con “mulch”	5.0 %	3.0	15

Fuente: Felipe-Morales C. (1994)

4.3. Rotaciones y asociaciones de cultivos

Las rotaciones de cultivos presentan diversos beneficios, y en el caso específico del suelo el efecto más importante radica en el mejor aprovechamiento de los nutrientes.

Al incluir en la rotación una leguminosa, el efecto beneficioso se incrementa, ya que se enriquece al suelo en Nitrógeno, a través de la simbiosis con bacterias fijadoras de Nitrógeno atmosférico.

Las asociaciones de cultivos a su vez, permiten un mejor aprovechamiento del espacio, brindando al suelo una cobertura eficiente con todas las ventajas que ello trae consigo. Por otro lado, una adecuada asociación de cultivos puede constituir un excelente método de control biológico de plagas y enfermedades.

Ambas prácticas ofrecen un vasto campo de investigación, a fin de seleccionar, según las zonas climáticas, el tipo de suelo, y las exigencias del mercado, los cultivos que logren el máximo sinergismo dentro de las rotaciones, asociaciones, e incluso policultivos

4.4 Medidas de conservación del suelo en la agricultura andina

Tanto la Región Andina, como la Selva Alta Amazónica, por sus condiciones topográficas y climáticas, están expuestas a procesos erosivos, que pueden afectar de manera severa a los suelos, si no se aplican medidas oportunas de control de la erosión.

La enorme cantidad de suelo y fragmentos de roca arrastrados por la escorrentía superficial concentrada, la cual discurre a gran velocidad en razón de las fuertes pendientes propias de esas vertientes, se manifiesta en las partes bajas en forma de grandes coladas de barro, conocidas localmente con el nombre de *huaycos*. Estas formas de remoción en masa son expresiones frecuentes de la intensa erosión a la que están sometidas dichas laderas. Los daños causados por ellas son cuantiosos, no sólo en pérdidas económicas, ya que afectan a los terrenos de cultivos bajo riego situados en las partes bajas, a las carreteras, vías férreas, etc., sino que ocasionan pérdidas de vidas humanas.

En los Andes Centrales Peruanos, si bien la intensidad de las lluvias alcanza valores potenciales de erosión relativamente moderados (40-70 t/ha/año) en relación con los Andes Ecuatorianos y Colombianos (que superan las 90 t/ha/año), su efecto, aunado a las fuertes pendientes y a la intensa explotación de sus suelos, se manifiesta en diversas formas de erosión: laminar intensa, cárcavas, derrumbes, deslizamientos, etc.

Esta situación es mucho más grave al afectar a poblaciones que tradicionalmente son las menos favorecidas por su medio ambiente, constituyendo el área demográfica más pobre del país.

Es corriente observar campos de cultivo en laderas con pendientes que sobrepasan el 50 % de inclinación. Esta situación es similar en Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia.

En investigaciones realizadas sobre medida de la erosión en laderas con diferentes pendientes en la comunidad de San Pedro de Casta, ubicada en la Sierra occidental peruana (Chilón, 1987) se comprobó que la pérdida de suelo duplicaba su valor cuando la pendiente pasaba del 60 % al 90 %. Este dato experimental ratifica resultados más o menos similares hallados por Suarez de Castro (1962) en Colombia, en donde se pone de manifiesto el efecto directo que tiene la inclinación del terreno en la erosión del suelo.

Se sabe que la vegetación juega un rol importante de regulación sobre la erosión del suelo. Cuando las plantas tienen un crecimiento próximo al suelo, y desarrollan un buen follaje, actúan como una excelente cubierta protectora del suelo contra la acción erosiva de las lluvias, atenuando además la escorrentía superficial e impidiendo que arrastre las partículas de suelo.

A modo de ejemplo se dan valores de escorrentía y erosión con diversos cultivos, en una ladera experimental con 25 % de pendiente ubicada en la localidad de Huancayo, Sierra central del Perú, con una precipitación promedio de 500 mm/año (Felipe – Morales, 1987), Tabla 3.

Tabla 3. Efecto de diversos cultivos en la escorrentía y erosión del suelo en la Sierra central del Perú.

Tipo de cultivo	Escorrentía superficial (en % de lluvia)	Erosión t/ha/año
Trigo	4	1,7
Avena	18	10,5
Papa	15	12,0
Maíz	23	20,0

Como puede observarse, los cultivos más erosivos son el maíz, seguido de la papa, sobre todo cuando son conducidos en sentido de la máxima pendiente del terreno. Ambos cultivos constituyen la base de la alimentación andina, y son muy extendidos en esta región, instalándose en laderas con pendientes que muchas veces exceden el 50 %.

La tasa de erosión de los suelos en la región andina alcanza cifras verdaderamente alarmantes, que superan ampliamente los límites de tolerancia de pérdida de suelo. Es así que en Colombia, Tossi (1981) calculó que la tolerancia de pérdida de suelos para la región andina (pisos altitudinales montano y subalpino), oscila entre 6 a 12 t/ha/año. Sin embargo, sólo por efecto de las lluvias (factor R de la ecuación universal de pérdida de suelo), la erosión calculada oscila entre 90-700 t/ha/año. Se estima así que el 75 % del territorio colombiano está afectado por problemas de erosión en diversos grados.

En el Perú, el porcentaje de terrenos afectados por diversos grados de erosión en una gran parte de la región andina o Sierra, es la siguiente (ver cuadro 4):

Tabla 4. Superficie de suelos afectada por diversos grados de erosión hídrica en La Sierra Peruana.

Intensidad de los procesos erosivos	Superficie de terrenos	
	Ha	%
Muy ligera	1.842.000	5,0
Ligera	14.150.000	38,1
Ligera a moderada	9.522.000	25,7
Moderada	5.780.000	15,6
Moderada a severa	4.400.000	11,8
Severa	1.400.000	3,8
Total	37.094.000	100,0

Fuente : ONERN, 1986.

Esta situación es tanto más preocupante si se tiene en cuenta que en la sierra peruana el porcentaje de tierras con potencial agrícola es de sólo 3,5 % del total de tierras para esta región.

Se estima que el porcentaje de tierras agrícolas en la mayoría de países andinos (a excepción del Ecuador) es muy baja, en relación con otros países sudamericanos. Dichos valores son: Perú: 2,7 %; Bolivia: 3 %; Colombia: 5,3 % y Ecuador: 18,4 % (Dourojeanni, 1982).

Entre las prácticas erosivas del suelo, las que comúnmente se observan en la región andina son las siguientes:

- Roza y quema indiscriminada de la vegetación natural, principalmente pastos nativos, ya sea para establecer cultivos temporalmente en dichos terrenos, o para “estimular” el rebrote de dichos pastos con fines ganaderos. Al respecto cabe señalar el estudio hecho por Flores et al.(1972) sobre el efecto negativo de la quema de los pastizales andinos. En vez de favorecer el rebrote de los pastos de mejor calidad y palatables para el ganado, se estimula el desarrollo de los pastos menos deseables. Por otro lado, al dejar al suelo desprotegido de su cubierta general, cuando se inicia la estación de lluvias se producen fuertes escorrentías superficiales y erosión de dichos suelos, ubicados en laderas.
- La labranza en el sentido de la máxima pendiente constituye otra práctica muy común de la sierra andina. Las lluvias, al caer en el suelo, se concentran en los surcos y, dada la fuerte inclinación de ellos, el agua fluye con fuerza arrastrando el suelo fino, los abonos e incluso las semillas recién colocadas.
- Otra práctica usual en la región andina es la quema de rastrojos o residuos vegetales poscosecha. Es lamentable constatar cómo se pierden ingentes cantidades de materia orgánica mediante la quema de rastrojos, en vez de utilizarlos ya sea como cubierta inerte protectora del suelo o mulch. Otro uso de dichos rastrojos sería para la preparación de *compost*, el cual constituye, además de un abono orgánico, una excelente enmienda del suelo. Lamentablemente, muy pocos agricultores saben aprovechar convenientemente estos residuos vegetales.
- El sobrepastoreo con ganado introducido o exótico en la agricultura practicada por las antiguas poblaciones andinas. El ganado andino estaba constituido básicamente por camélidos sudamericanos: llamas, alpacas, vicuñas, huanacos. Estos animales tienen la cualidad de aprovechar convenientemente los pastos naturales, de tal modo que lo que unos no comen lo pueden usar los otros. Además, ellos tienen un pisar suave, no erosivo del suelo por donde transitan.

Contrariamente a ello, el ganado introducido por los españoles (vacas, ovejas, caballos, burros, cabras) tiene un hábito de consumo más exigente. Por otro lado, la conformación anatómica de la pata de dichos animales, con pezuñas cortantes, determina que el continuo transitar de ellos en el terreno provoque una compactación y deterioro del suelo. Esta forma de erosión se visualiza nítidamente en las laderas y se conoce como “sendero del ganado”.

El efecto erosivo del ganado caprino en laderas, principalmente en la vertiente occidental andina, constituye el factor más importante de deterioro de dichos suelos.

Las corrientes de barro (conocidos como *huaycos* en el lenguaje folclórico), que frecuentemente asolan las partes bajas de dichas vertientes, son una expresión evidente del deterioro causado por el sobrepastoreo caprino aunado a las condiciones climáticas propias de zonas semiáridas.

- La tala indiscriminada de los bosques con especies nativas, arbóreas y arbustivas, con fines de aprovechamiento de madera para construcción y otros usos, y de leña como combustible, es otra de las prácticas causantes de la erosión del suelo en la región andina. Estos bosques que antes protegían convenientemente las cabeceras de cuenca regulando el flujo de agua a las partes bajas, al ser eliminados determinan que la escorrentía proveniente de las lluvias fluya a gran velocidad, concentrándose en forma de torrentes erosivos hacia las partes bajas. Zonas que antes eran regadas con agua proveniente de manantiales o *puquios* alimentados por el agua de infiltración de dichos bosques ahora no cuentan con este recurso, agudizándose el problema de escasez de agua para los cultivos.

Como consecuencia de la acción erosiva de las prácticas mencionadas, el deterioro de los suelos es cada vez mayor. Ello trae consigo una reducción de la superficie agrícola, una escasez de agua, y, por ende, una disminución de las cosechas.

La vida en el campo se torna cada vez más dura y difícil; los jóvenes campesinos perciben que su futuro es incierto en el campo y optan por migrar a las grandes ciudades en busca de otras oportunidades de empleo, incrementando así la tasa de desocupación y presión social en las ciudades, con todas las consecuencias negativas que de esta situación se derivan.

Felizmente, existen algunas prácticas de conservación de suelos como el surcado en contorno y el “mulch” (o cubierta inerte del suelo) usando de preferencia los rastrojos de cultivos que no sólo controlan la erosión del suelo y favorecen la conservación del agua, si no además, incrementan el rendimiento de los cultivos.

A modo de ilustración, se dan algunos resultados experimentales (Felipe-Morales C., 1981) obtenidos en la localidad de Santa Ana (Huancayo) a una altura de 3,200 m sobre el nivel del mar, en un terreno franco arcillo – gravilloso con una pendiente de 25 % y una precipitación anual para esa campaña agrícola (1976 – 1977) de 480 mm de lluvia.

El cultivo instalado fue maíz para choclo (tabla 5):

Tabla 5. Efecto de algunas prácticas de conservación del suelo en la escorrentía, erosión y rendimiento de un cultivo de maíz- choclo en Santa Ana, Perú.

Tratamiento	Escorrentía (en % de lluvia)	Erosión (en t/ha)	Rendimiento en Maíz/choclo (t/ha)
I. Surcos en máxima pendiente	23 %	20.0	4
II. Surcos en contorno	8 %	5.6	10
III. Surcos con “mulch”	5 %	3.0	15

Como se puede observar, cuando se aplica una práctica de conservación del suelo (tratamientos I y II), no sólo se favorece la mayor infiltración del agua en el suelo y se reduce la erosión sino que se puede duplicar y triplicar el rendimiento del cultivo.

Otro caso digno de ilustración ocurrió en la localidad de San Ramón – Chanchamayo, ubicada en la Selva Alta Central, caracterizada por un clima tropical muy húmedo (ver tabla 6).

Tabla 6. Efecto de diversos tratamientos sobre la escorrentía, erosión del suelo y rendimiento de cultivos.

Tratamientos	Escorrentía (en % de lluvia)	Erosión (en Tm/Ha)	Rendimiento (Tm/Ha)				
			Maíz grano	Frijol grano	Papa	Pasto	Piña
I. Suelo desnudo	10,3	148,0	---	---	---	---	---
II. Rotación: Maíz – frijol – papa (con quema de rastrojos)	9,1	119,0	8,3	1,1	13,1	---	---
III: Pasto (<i>Centrosema pubens</i>)	3,4	1,3	---	---	---	28	---
IV. Rotación: Maíz – frijol – papa (con mulch y aradura mínima)	6,3	46,0	9,2	1,2	13,0	---	---
V. Piña (en sentido de la pendiente)	10,6	72,0	---	---	---	---	16,3

Campaña agrícola 1976/77. Lluvia: 2.154 mm/año.

Pendiente de terreno: 30%

Fuente: Felipe – Morales C.; C. Alegre; R. Meyer (1978)

Como se puede observar, las mayores pérdidas de suelo ocurrieron en el suelo desnudo, sometido a quemas constantes, como es usual en la zona. La menor erosión por el contrario se presenta cuando el suelo está cubierto por un pasto de crecimiento denso como es la *Centrosema* (Trat. II). Por otro lado, cabe destacar la diferencia encontrada en la rotación Maíz-Frijol-Papa, con quema de rastrojos (trat. II) y la misma rotación con “mulch” y aradura mínima (Trat. IV). Mientras en el primer caso la erosión del suelo alcanza 119 tm/ha, en el segundo caso ella se reduce casi a la tercera parte, incrementándose ligeramente el rendimiento de los cultivos.

El cultivo de piña (trat. V) conducido en sentido de la pendiente actúa como un cultivo erosivo; sin embargo, este mismo cultivo conducido en contorno puede actuar como una excelente barrera viva para el control de la erosión.

El Programa Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas y de Conservación de Suelos (PRONAMACHCS), en Perú, ha demostrado que la aplicación de obras de conservación del suelo no sólo es eficiente en el control de la erosión hídrica del suelo, sino que al conservarse mejor el agua en el suelo, ello favorece un mejor desarrollo de los cultivos y una mayor producción. Al respecto ver la tabla 7.

Tabla 7.- Efecto de obras de conservación del suelo en el rendimiento de cultivos, en laderas de la Sierra Peruana

Obras de conservación del	Cultivos	Rend. Del Testigo (Tm/ha)	Rend. Del Tratamiento	Incremento del rend.
---------------------------	----------	---------------------------	-----------------------	----------------------

suelo			(Tm/ha)	en %
Surcos en contorno	Papa	11,872	14,846	25 %
	Maiz	6,100	9,916	63 %
	Lechuga	9,063	18,124	100 %
Terrazas de absorción	Papa	7,533	10,343	37 %
	Maiz	1,705	3,954	132 %
	Olluco	3,378	4,078	21 %
Andenes*	Papa	4,581	11,091	142 %
	Trigo	723	1,113	54 %
	Cebolla	5,500	8,644	57 %

* Sin usar fertilizantes

Fuente: PRONAMACHCS, Ministerio de Agricultura, Lima, Perú.

4.5. Agroforestería

El uso asociado del árbol y/o arbusto con los cultivos de corto período vegetativo, es una práctica agroecológica que ofrece múltiples beneficios.

Reynel C. y Felipe-Morales C. (1987), efectuaron un inventario de prácticas agroforestales que tradicionalmente los campesinos de la Sierra Peruana efectúan. Dichas prácticas cumplían diversas funciones tales como: mejoramiento del microclima; disminución del riesgo de heladas; protección contra la erosión eólica; control de la erosión hídrica; incremento de la fertilidad natural del suelo; control biológico de plagas; aporte de leña, etc. (tabla 8).

Tabla 8. Relación de prácticas agroforestales tradicionales en la Sierra Peruana.

FUNCION DE LA PRACTICA	PRACTICA AGROFORESTAL
I. Producción de madera	1. Cultivo mixto de especies forestales y agrícolas. 2. Rebrotos de cercos vivos para la obtención de varillas.
II. Protección de los cultivos y la Propiedad	3. Cercos vivos para cobijo de los cultivos 4. Cortinas rompevientos 5. Cortinas de vegetación contra las heladas. 6. Cercos de espinos.
III. Protección y Conservación del agua y del suelo en áreas agrícolas.	7. Barreras vivas con formación lenta de terrazas para uso agrícola. 8. Estabilización de cárcavas. 9. Estabilización de taludes para la protección de áreas agrícolas 10. Estabilización de riberas para la protección de áreas agrícolas 11. Bosquetes en las cabeceras de cuenca Para la protección de áreas agrícolas
IV. Mejoramiento de la fertilidad del suelo	12. Follaje de especies forestales como Fuente de abono directo. 13. Bosquetes para la producción de tierra compostada.

V. Estabilización de estructuras de interés Agrícola	14. Canales y acequias estabilizadas con vegetación 15. Muros de andenes estabilizados con vegetación
VI. Almacenamiento y secado de la Cosecha	16. Arboles en horqueta para almacenamiento y secado de la cosecha
VII. Producción de forraje y protección Del ganado	17. Silvopasturas 18. Bosquetes de especies nativas con Sotobosque como forraje. 19. Rebrotos de especies forestales como forraje. 20. Arboles para protección y cobijo de ganado.

5. La racionalidad ecológica de las TECNOLOGIAS PRE – HISPÁNICAS EN EL MANEJO DE LOS SUELOS EN LOS ANDES

En la Región Andina, existen aún evidencias de tecnologías de manejo ecológico del suelo desarrolladas en épocas pre-incas e incas.

El hombre andino, en el transcurso de más de veinte milenios, fue adquiriendo conciencia de las limitaciones ambientales y supo adaptarse a las condiciones ecológicas de su región. Ello naturalmente le implicó un esfuerzo muy grande, si se consideran las restricciones geográficas de los Andes.

Entre las numerosas evidencias de sistemas y adaptaciones que las poblaciones prehispánicas desarrollaron para hacer frente a estas limitaciones, cabe señalar (Brack, 1987):

- El desarrollo de tecnologías apropiadas para resolver la escasez de suelos con aptitud agrícola (andenes, pata – pata).
- Tecnologías para hacer frente al manejo del recurso hídrico, escaso en algunos casos, excesivo en otros (waru – waru, qochas, acueductos, reservorios, canales, etc.).
- Invención de herramientas de labranza de gran eficiencia para el trabajo de suelos en laderas (chaquitaclla).
- Aprovechamiento de la diversidad ecológica mediante un control vertical de pisos ecológicos a través de una gran variedad de cultivos.

Entre las principales tecnologías andinas que caracterizaron a las culturas del antiguo Perú, y que aún subsisten para admiración de propios y extraños, cabe mencionar en primer lugar el sistema de andenerías o terrazas agrícolas, las cuales constituyen uno de los logros más importantes de la agricultura prehispánica en las tierras altas de los Andes.

Los andenes fueron construidos con mucho ingenio y enorme esfuerzo como un reto a la naturaleza, ya que ellos transformaron las faldas y laderas de los cerros en fértiles terrazas. De esta manera se aumentó la producción de los valles amplios y se hicieron productivos los valles estrechos y quebrados, al utilizar las laderas de los cerros para el cultivo.

Las ventajas de los andenes son muchas:

- Permiten ganar tierras de cultivo protegiéndolas de la erosión, provocada tanto por el agua como por el viento.

- Permiten una mayor captación y conservación de las aguas de lluvia así como de las de riego, controlando a su vez el efecto erosivo que tienen cuando se cultiva en laderas.
- Protegen a los cultivos de las heladas.
- Permiten cultivar plantas de diversos pisos ecológicos.
- Constituyen una especie de laboratorios de campo para la aclimatación paulatina de plantas cultivadas.

En los andenes el relleno se hizo de dos formas diferentes (Ravines, 1978):

- Por sedimentación controlada por el muro de contención (práctica que también se conoce como “terrazza de formación lenta”).
- Por excavación, amontonamiento y acarreo de tierra de otros lugares. Este último método fue probablemente el más usual y, según refiere Garcilaso de la Vega, ello estaría en relación con el carácter de zona de agricultura cuando señala que las tierras del inca se encontraban de preferencia en los andenes.

Por otra parte, mediante estudios arqueológicos se ha llegado a constatar que en las terrazas (Ravines, 1978), o andenes superiores se cultivaron siempre especies vegetales menos exigentes en materias nutritivas, y que, además, enriquecían el suelo en nitrógeno (tal es el caso de las leguminosas). En las terrazas inferiores, por el contrario, se cultivaban plantas más extractivas como el maíz, papa, etc., las cuales aprovechaban los nutrientes acarreados de las partes altas. Esto permitió una explotación intensiva de los suelos sin las consecuencias de un empobrecimiento.

Si bien el uso más extensivo de los andes fue con fines de producción de alimentos, cabe señalar sin embargo la existencia de andenes con fines de “experimentación y control”. En esta categoría se encuentran los espectaculares andenes circulares de Moray en el Dpto. del Cuzco, los cuáles vienen siendo estudiados por John Earls (1986).

Se estima que en el Perú existe un millón de hectáreas de tierras con andenes (Masson. 1984). Para tener una idea de la magnitud relativa de esta cifra debe considerarse que el área total de tierra cultivada anualmente es de 2,6 millones de hectáreas.

Otras tecnologías orientadas al aprovechamiento de suelos en laderas, evitando su erosión, se basan en el uso apropiado de la vegetación leñosa (arborescente y/o arbórea) asociada con los cultivos. Estas prácticas, conocidas actualmente como agroforestería, eran manejadas eficientemente por el antiguo poblador andino. Entre ellas cabe destacar la instalación de barreras vivas o pata – pata mediante el uso de plantas arbóreas y arbustivas de crecimiento denso y porte bajo (molle, q’euña, mutuy, huaranguay, chilca, chocho, etc.).

En relación al desarrollo de tecnologías orientadas al manejo adecuado del recurso hídrico, cabe destacar : los camellones o “waru-warú” y las “qochas”.

Los **camellones**, conocidos también como “campos elevados” y en idioma quechua como “Waru-warú”, son superficies cultivadas cuya altura se aumentó artificialmente.

Según Denevan y Turner (1974), fueron construídos para mejorar el drenaje y para lograr modificaciones climáticas y microambientales tendientes a mejorar el suelo, el crecimiento de los cultivos y el control de la humedad del suelo.

Este tipo de sistemas se presentan en diversas regiones tropicales del continente americano, tanto en tierras bajas como en zonas de altura. Alcanzan su mayor frecuencia en zonas que sufren inundaciones temporales, por ejemplo en el Valle de México en dónde se conocen como “chinampas” (J. Jiménez y A. Gómez-Pompa, 1987). Se encuentran también en las sabanas tropicales de los Llanos de Mojos en Bolivia y en las pampas del altiplano del Lago Titicaca, en Perú y olivia. Smith y colab. (1981) indican la existencia de aproximadamente 82,000 has de camellones abandonados en el Departamento de Puno (Perú), la mayoría de ellos ubicados en las márgenes del lago Titicaca. Asimismo, en el altiplano boliviano determinaron la existencia de 3.952 ha de camellones en abandono.

Con este sistema se pudo evitar el daño ocasionado por las inundaciones. Por otro lado, los períodos cortos de estiaje fueron resueltos con la acumulación de agua en los canales.

Las qochas vienen a ser depresiones en la superficie del suelo a modo de grandes hoyos en los que se acumula el agua de lluvia, y que sirven para el cultivo y el pastoreo. Ellas se presentan en el altiplano, por encima de los 3.800 m sobre el nivel del mar.

Uno de los mayores estudiosos de esta tecnología es Flores-Ochoa (1986). Este autor distingue tres formas básicas de qochas:

- La muyu – qocha de forma circular.
- La suyutu- qocha de forma rectangular con extremos en semicírculos.
- La chunta - qocha también de forma rectangular con los extremos irregulares.

El sistema agrícola de qocha se encuentra actualmente en pleno funcionamiento y producción. La población campesina indígena las sigue cultivando en forma intensiva.

El uso de herramientas agrícolas como la **chaqui-taclla** o arado de pie en terrenos de laderas con fuerte declive constituye una alternativa hasta hoy difícilmente superada por otras herramientas (arado con bueyes o el tractor).

El chaqui – taclla permite adaptar perfectamente el trabajo a las condiciones de suelo y de clima, optimizando la humedad del suelo y, al dejar terrones grandes, evita la pulverización y por consiguiente el riesgo de erosión en laderas (Lescano, 1978)

Se puede afirmar que el desarrollo logrado en los Andes en la época prehispánica fue un auténtico **ecodesarrollo** basado en el profundo respeto hacia la tierra y sus recursos, con tecnologías, usos y costumbres adecuadas al medio.

Para lograr este ecodesarrollo evidentemente se tuvo que contar con una sólida organización social basada en la tierra. Es así que el sistema social prehispánico estaba compuesto por un conjunto de cargos relacionados con el control y manejo de las zonas ecológicas a las que tenía acceso cada grupo social o “ayllu”.

Actualmente, si bien todavía subsisten en pocas comunidades indígenas este tipo de organización, en la mayoría de casos éstas se han debilitado.

BIBLIOGRAFIA

- 1) **Alegre Orihuela J.C. (1977)**: “Efecto de enmiendas orgánicas sobre la agregación y estabilidad de de los agregado, porosidad, humedad equivalente y CIC de un suelo de Costa-La Molina”. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo, UNALM, Lima, Perú, 74 p.
- 2) **Brack E., Antonio (1978)** : " Ecología, recursos naturales y desarrollo en la Sierra del Perú ". Taller sobre Desarrollo Rural y uso cuidadoso de los recursos naturales en La Sierra del Perú. Resumen publicado por DSE en Lima, Perú.
- 3) **Chuquiruna Alarcón S.(1989)** : “Efecto de diversos abonos orgánicos sobre el mejoramiento de las propiedades del suelo y el rendimiento de papa(cv “Revolución”). Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo, UNALM, Lima, Perú, 116 p.
- 4) **Daza Julio (1990)** : " Efecto de diversos abonos orgánicos en la fertilidad física y química de un suelo arenoso y en el rendimiento de un cultivo de vainita (var. "Bush Blue Lake") en Pachacamac, Departamento de Lima. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo, UNALM, Lima, Perú, 74 p.
- 5) **Denevan W. (1986)** : " Abandono de terrazas en el Perú Andino: extensión, causas

y propuestas de restauración".

En "Andenes y Camellones en el Perú Andino", CONCYTEC , 1986.

- 6) **Dourojeanni Marc (1982)** : " Recursos Naturales y Desarrollo en América Latina y el Caribe ". Universidad de Lima.
- 7) **Earls John (1986)** : "Experimentación agrícola en el Perú precolombino y su factibilidad de reemplazo".
En "Andenes y Camellones en el Perú Andino", CONCYTEC , 1986.
- 8) **Felipe-Morales y al. (1978)**: " Losses of water and soil under different cultivation systems in two peruvian locations: Santa Ana (Central Highlands) and San Ramon (Central High Jungle), 1975-76".
En "Soil Physical Properties", p. 489-499. Ed. John Wiley and sons, New York.
- 9) **Felipe-Morales B. Carmen (1987)**: "La erosión de los Andes en zonas pobladas de altura".
Publicado en Pensamiento Iberoamericano N° 12 : "Medio Ambiente, deterioro y recuperación", Madrid, p. 97-108.
- 10) -----**(1992)** : "Relaciones Agua/Suelo bajo condiciones del Agroecosistema Andino". Anales del Taller Internacional sobre el Agroecosistema Andino, Lima, 30 de Marzo al 2 de Abril, Centro Internacional de la Papa, p. 139-144.
- 11)-----**(1994)** : "Pérdida de agua, suelo y nutrientes bajo diversos sistemas de cultivo y prácticas de conservación del suelo, en zonas áridas, sub-húmedas y muy húmedas en el medas en el Perú". Publicado en SEPIA V: "El Perú Agrario en debate", Arequipa, p. 637-656.
- 12)-----**(1995)** : "Manejo integrado y ecológico de un policultivo hortícola en condiciones de clima árido y cálido "
Informe de investigación para CLADES, Lima, Perú, 10 p.
- 13)-----**(1997)**: "Concepción y Manejo del suelo en la Agroecología".
Ier Curso de Manejo Ecológico del Suelo, PED/CLADES, Lima, p. 79-87.
- 14) **Flores y al. (1972)** : "Efecto de quemas sobre pastizales naturales alto-andinos".
En Programa de Forrajes, Boletín Técnico N° 13, 19 págs., UNALM, Lima, Perú.
- 15) **Flores Ochoa J. Y Paz Flórez P. (1986)** : "La agricultura en Lagunas (Qocha)".
En "Andenes y Camellones en el Perú Andino", CONCYTEC , 1986.
- 16) **Jiménez-Osornio J. Y Gómez-Pompa A. (1987)** : "Las Chinampas mexicanas".
En "Pensamiento Iberoamericano" N° 12, p. 201-214 , Madrid, España.
- 17) **Lescano R. J. (1978)** : " Tecnología agrícola tradicional en el Altiplano peruano".
IEA, Perú.
- 18) **Primavesi, Ana (1982)** : "Manejo ecológico del suelo" . 5ta edición, Ed. . El Ateneo, Buenos Aires, 499 p.
- 19) **ONERN (1986)** : " Perfil ambiental del Perú", 275 p., Lima, Perú.
- 20) **Ravines Rogger (1978)** : " Tecnología andina".
Instituto de Estudios Peruanos, 1ra Edición, Lima, Perú.
- 21) **Reynel C. y Felipe-Morales C. (1987)** : "Agroforestería tradicional en los Andes del Perú" . Publ. Proyecto FAO/HOLANDA/INFOR, Lima, 154 p.
- 22) **Smith y al (1981)** : " "Antiguos campos de camellones en la región del Lago Titicaca".

En " La Tecnología en el Mundo Andino", A. Soldi y H. Lechtman, México.

- 23) **Suárez de Castro, F. (1968)** : "Conservación de Suelos", Bogotá, Colombia.
- 24) **Tosi O. Joseph (1981)**: " Una clasificación y metodología para la determinación y levantamiento de mapas de la capacidad de uso mayor de la tierra"
Proyecto UNDP/SF-FAO, Col 16, Centro de Educación e Investigaciones Forestales, Universidad Nacional de Colombia, 50 p.

Cuadro 2. Efecto de algunas enmiendas orgánicas sobre diversas propiedades físicas y químicas de un suelo aluvial en la Costa Central Peruana.

MATERIA ORGANICAS APLICADAS	DOSIS Tm/ha de M.O. en materia seca	Dap. (gr / cm ³)	Porosidad TOTAL %	Agregados %	Is*	H.E.	CIC (meq/100 gr.)
Suelo testigo	-	1.8	33.3	5.5	3.1	15.1	10.1
Frijol Castilla (A.V.)	2.5	1.4	45.9	27.9	0.7	25.5	13.1
Crotalaria (A.V.)	2.7	1.3	49.6	31.9	0.6	26.4	13.6
Compost (dosis baja)	2.6	1.3	51.5	27.1	0.7	29.7	16.8
Compost (dosis alta)	5.2	0.7	73.1	40.8	0.4	37.4	22.3
Estiércol (dosis baja)	2.6	1.3	49.7	29.8	0.6	25.5	16.4
Estiércol (dosis alta)	5.2	1.0	62.7	37.5	0.49	34.0	23.9

* Índice de inestabilidad estructural (de Hénin, 1972).
Fuente: J.C. Alegre y C. Felipe – Morales (1977)