

## **Bioingeniería de Suelos: historia y conceptos**

\*Ing. Luiz Lucena, CPESC.

**“Vegetación es utilizada en ingeniería en el control de procesos erosivos y refuerzo en obras civiles. El conjunto de técnicas que utilizan este elemento vivo en ingeniería es conocido por BIOINGENIERIA DE SUELOS.” (Kruedener,1951)**

**El traslado de partículas de suelo ocasiona sedimentación de los cuerpos de agua. Esta es la mayor fuente de contaminación difusa por poluentes (residuos sólidos, nutrientes eutroficantes de cuerpos de agua y otros)**

### **Historia**

Hace muchos años la vegetación es utilizada como protección y refuerzo de obras civiles. En Europa Occidental, China, en el Imperio Romano, varios ejemplos de obras de protección de márgenes de ríos, muros de contención y canales de abastecimiento y drenaje aún resisten al tiempo.

En nuestro continente tenemos registros pre incaicos y los Incas, maestros en el desarrollo de técnicas sencillas y muy eficientes para la conservación del suelo. El hecho de amarrar ramas de árboles e instalar en curvas de nivel con el objetivo de retener sedimentos y reducir la velocidad de la escorrentía, las FAJINAS, tuvieron desarrollo técnico e industrial reciente y se convirtieron en “Wattles” (USA) o “Bermalonga” (Brasil) con el mismo objetivo. No podemos dejar de mencionar las terrazas y los muros de piedra conocidos internacionalmente sobretodo por las ruinas del Cuzco y Machu Pichu.

Podemos decir que la Bioingeniería moderna empezó en 1874 con los trabajos de Wollney, un alemán que estableció los primeros ensayos para la investigación sobre conservación del suelo y agua. Verdadero precursor del conservacionismo, tuvo su trabajo reconocido solamente en 1938 por Baver (USA).

En 15 de abril de 1881 nació Hugh Hammond Bennett, el primer estudioso americano y conocido en este país como el Padre de La Conservación del Suelo. Por esta razón, el día de su nacimiento se convirtió en el Día Mundial de la Conservación del Suelo. Bennett no solamente estudió la conservación del suelo, pero también usó sus habilidades políticas para fomentar el tema estimulando otros científicos en esta investigación y promoviendo la conciencia pública sobre la importancia de la pérdida de suelos. Curiosamente en plena recesión americana publicó “Erosión del Suelo – Una Amenaza Nacional” (Bennett, H.H. and W.R. Chapline, 1928) sobre los efectos de la erosión en la agricultura. Con la elección de Roosevelt, que tenía fuerte apoyo de los agricultores, Bennett fue invitado a conducir la primera institución oficial para tratar del tema de la erosión: el “Soil Erosion Service” (1932) que se incluyó en la política de recuperación de la economía americana conocida como “New Deal”. Los años siguientes fueron los “años de oro” de la investigación sobre el tema de conservación del suelo. Desde ahí, los acontecimientos más importantes fueron: la promulgación de la Ley de Conservación del Suelo (Soil Conservation Act, USA 1935), el desarrollo de formulaciones para estimar la pérdida de suelos (1940 ~ 1960) que resultaron en la USLE – Ecuación Universal de la Pérdida de Suelos (Wischmeier, W.H. 1959), la Ley de Control de Polución del Agua (USA, 1970), el Sistema Nacional de

Eliminación de Polución de Descargas – NPDES (USA, 1972), la fundación de la Asociación Internacional de Control de Erosión y Sedimentos – IECA (USA, 1972), la Ley del Agua Limpia – Clean Water Act (USA, 1977) y el Proyecto de Predicción de la Erosión Hídrica – WEPP (Water Erosion Prediction Project, USA años 80).

Vemos que casi todos los hechos significativos en la historia moderna de la conservación del suelo han ocurrido en los Estados Unidos debido a la participación activa del gobierno durante el proceso.

En Latinoamérica tenemos una gran cantidad de instituciones y científicos involucrados en el tema de los suelos y desarrollos muy importantes, al punto de establecer una “Escuela Tropical de Control de la Erosión y Sedimentos”. Con el desarrollo de productos y tecnologías adaptadas a nuestras condiciones ya tenemos reconocimiento de nuestros hermanos del norte. Desafortunadamente nuestros gobiernos tratan el tema con el interés y enfoque dirigido solamente a la agricultura, el que constituye un atraso para la amplia aplicación de las nuevas tecnologías en ingeniería y protección al medio ambiente y para el desarrollo de normas técnicas y legislación adecuada al sector.

## Conceptos

El principal concepto está vinculado a la definición de erosión: Erosión es un proceso de desagregación, transporte y deposición (sedimentación) de partículas del suelo. De ahí que para impedir o desacelerar el proceso erosivo tenemos que evitar la desagregación de partículas o su transporte.

El cambio de las propiedades físico-químicas del suelo para que sus partículas no se desagreguen ya es conocido y utilizado en ingeniería, principalmente en la construcción de pavimentos (imprimación) a través de la aplicación de polímeros, co-polímeros y resinas que sirven para impermeabilizar y mejorar la cohesión del suelo. Pero, para el tratamiento de grandes áreas, el proceso es caro e impide el desarrollo de la vegetación.

Así nos resta el manejo de las partículas del suelo como solución ideal para el problema de la erosión. La idea es posibilitar el drenaje del agua de los sitios bajo intervención, sin permitir o reducir la movilización de partículas. Es decir, si no hay transporte de partículas de suelo, no hay erosión. Sin embargo, para lograr hacerlo es importante conocer el camino por donde pasa el agua y ponerle barreras drenantes que permitan que el agua pase y retengan los sedimentos. Este procedimiento nos posibilita el dibujo e intervención con mínimo cambio en la geometría de los taludes y laderas el que reduce la necesidad de utilización de equipos pesados, reduciendo el disturbio que se promueve en el suelo durante las intervenciones. Además, los materiales utilizados en asociación con la vegetación son generalmente livianos y no requieren apertura de caminos de acceso para su transporte e instalación. Estos son los factores más importantes para la reducción de costos en los proyectos en donde las técnicas de bioingeniería de suelos son aplicables.

“... debido a su **bajo costo**, a requerimientos técnicos relativamente simples para instalación y mantenimiento y a los beneficios paisajísticos y ambientales, estas operaciones encuentran largo campo de aplicación en zonas tropicales, ya que en ellas las condiciones favorables al desarrollo de la vegetación ocurren durante casi todo el año.” (Golfari y Caser, 1977)

“En locales de difícil acceso o inaccesible a las maquinas, las técnicas de bioingeniería frecuentemente resultan en la **única alternativa técnica viable** para la ejecución de obras de protección de taludes y control de la erosión.” (Coelho, 2004)



**Foto 1:** Cierre de mina: tratamiento de laderas con las técnicas de Bioingeniería de Suelos.

La definición moderna de Bioingeniería de Suelos es: Integración de elementos inertes y vivos en obras de protección y recuperación del suelo. Como elementos vivos también se consideran los microorganismos, principalmente aquellos que se relacionan directamente con la vegetación o alteran las características físico-químicas del suelo.

Desde el enfoque técnico, el problema es que la utilización de la vegetación para el refuerzo y protección del suelo es conocida y considerada la panacea por muchos de los planificadores y ejecutores. Estos no consideran aspectos técnicos importantes como la introducción de especies hostiles al ambiente, diseminación de plagas y enfermedades y también el hecho de que hay efectos negativos sobre la estabilidad del suelo. Por lo tanto, la planificación debe ser multidisciplinaria y debe considerar los varios aspectos del medio físico como: geotecnia, pedología, hidrología superficial y subterránea y del medio biótico: fisiología vegetal y ecología entre otros.

La limitación técnica es justamente el elemento vivo: ya que éstos pueden no nacer o morir. Así, para considerar la vegetación como componente del proyecto de ingeniería tenemos que utilizar productos temporales (degradables) que garanticen las condiciones establecidas en el proyecto, hasta el completo desarrollo de la vegetación. Para cumplir con este requerimiento generalmente se utilizan biomantas y biorretenedores de sedimentos hechos con fibras vegetales y también se establecen en los proyectos un

plazo de monitoreo. En nuestras condiciones tropicales, este plazo dura generalmente de un a dos años después del término de la intervención.

De los principales efectos de la vegetación en la estabilidad del suelo, el único que no tiene “contra-indicaciones” es el **aumento de la cohesión del suelo** por las raíces el que resulta en aumento de la resistencia al cisallamiento del suelo. Los otros efectos de la vegetación en la estabilidad, que presentamos abajo, deberán ser considerados y técnicamente analizados por su posible influencia negativa sobre la estabilidad:

- El **anclaje del suelo por el sistema radical** significa que los esfuerzos de las capas superiores del perfil del suelo son transferidos por las raíces para capas inferiores. Generalmente, cuanto más profunda la capa, más resistente es el suelo. Pero, excepcionalmente tratamos de suelos que tienen buena resistencia en la superficie y que sobreponen otra capa menos resistente. En este caso la transferencia de los esfuerzos de una zona de gran resistencia al cisallamiento para otra de poca resistencia genera condiciones para la ruptura.
- Las **sobrecargas** por especies de gran porte es un efecto que debe ser considerado en los cálculos geotécnicos;
- La **penetración radical** promueve esfuerzos que pueden ser importantes ocasionalmente, dependiendo de la estructura del suelo, de la velocidad de crecimiento de las raíces y de su grosor;
- De los efectos hidrológicos tenemos:
  - o La **extracción de la humedad** del suelo por la vegetación cambia el ángulo de fricción entre las partículas del suelo resultando en más resistencia al cisallamiento. Por otro lado, algunos de los suelos arcillosos dependen de un límite mínimo de humedad para mantener su cohesión. Así, en estas condiciones, la presencia de la vegetación puede acelerar el proceso de fractura del suelo;
  - o La **intercepción de la lluvia** también contribuye para reducir el volumen de agua que llega al suelo y reduce el impacto directo de las gotas. En zonas forestales hasta el 30% del agua de la lluvia puede ser retenida por la vegetación. Por otro lado, hay un proceso de condensación de las gotas en las hojas: el impacto de gotas grandes que caen de las hojas en alturas superiores a un metro del suelo hacen más daño que gotas menores que vienen de la atmósfera;
  - o El **retardo de la escorrentía superficial** resulta en menos esfuerzos de fricción del agua en el suelo. Por otro lado, si hay poca densidad de vegetación, estos esfuerzos pueden resultar más grandes por la turbulencia del flujo superficial (aumento de la rugosidad hidráulica), generando zonas de alta velocidad (entre los individuos) y zonas de baja presión (vórtices) que promueven más desagregación de las partículas del suelo;
  - o El aumento de la **infiltración** reduce el volumen de la escorrentía superficial; en cambio, reduce el ángulo de fricción entre las partículas del suelo lo que lleva a una menor resistencia al cisallamiento;
  - o Un efecto negativo es el **aumento del drenaje sub-superficial** que dependiendo de las condiciones del suelo puede llegar hasta el 80% del total del agua drenada. Este efecto es especialmente importante para el

- análisis del potencial de erosión sub-superficial en proyectos de construcción de líneas de ductos, por ejemplo;
- De los efectos biológicos tenemos:
    - o El **sombreado del estrato herbáceo** por especies más altas y la presencia de **especies alelopáticas** pueden resultar en porciones de suelo desnudas más susceptibles a la erosión;
    - o El incremento de la vegetación generalmente es un atractivo para la fauna. La **acción de organismos foráneos** debe ser analizada ya que nidos y caminos hechos en el suelo por animales como armadillos, conejos, culebras, hormigas, avispas y otros, pueden resultar en el transporte del agua con más volumen y más velocidad para capas más profundas del perfil del suelo;
    - o Efecto similar ocurre con la **caída de árboles grandes** ya que las raíces muertas funcionan como una tubería, alterando la dinámica del agua en el suelo.

## Materiales

En bioingeniería se busca utilizar los materiales disponibles en el local de la intervención tales como el **suelo, madera, piedras**, asociados con vegetación (**semillas, plantones, ramas y estacas vivas**) y otros materiales con el objetivo de mejorar aspectos estructurales o para garantizar condiciones establecidas en el proyecto hasta el total desarrollo de la vegetación. Son ellos:

Geosintéticos

- **Geotextiles** (tejidos y no tejidos)
- **Geogrillas**
- **Geocompuestos** (drenante o bentonítico)
- **Geomembranas**
- **Geoceldas**

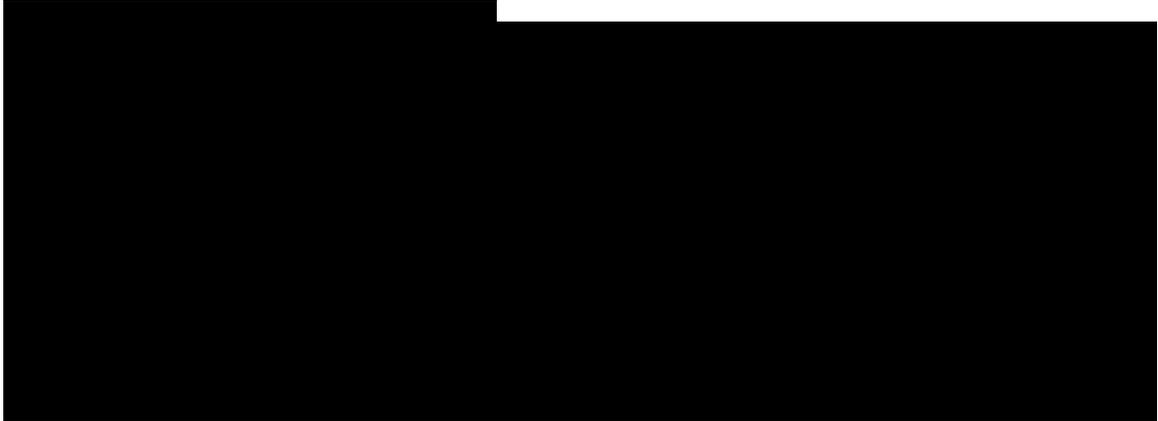


Foto 2: Geocelda

Biosintéticos

- Biotextiles conocidos como **Biomantas** o RECP's (por las iniciales del inglés Rolled Erosion Control Products)
- **Biorretenedores**

\*Ing. Civil Luiz Lucena, CPESC es Director por Brasil del Capítulo Iberoamericano de la IECA y Gerente de Negocios Internacionales de Deflor Bioingeniería – Brasil [lucena@deflor.com.br](mailto:lucena@deflor.com.br)



**Foto 3:** Biomantas

**Foto 4:** Biorretenedores

#### Otros

- Mallas de acero
- Grapas de fijación (plástico, madera o acero)
- Fertilizantes (orgánicos, minerales y químicos)
- Adhesivos orgánicos
- Fibras orgánicas (mulches)

#### Técnicas

Hay un conjunto muy grande de técnicas estructurales y vegetativas utilizadas en la bioingeniería. Sin embargo, casi todas son conocidas de la ingeniería tradicional, civil o agronómica, aunque la finalidad de utilización de las mismas sea un poco diferente: generar condiciones para la rehabilitación ambiental. Es decir: no hay necesariamente que tener estructuras definitivas o cosechar el que se va plantar.

##### Técnicas vegetativas:

- Siembra manual
- Hidrosiembra
- Mulching
- Instalación de biomantas
- Barreras vivas

##### Técnicas estructurales:

- Instalación de biorretenedores
- Palizadas / Trinchos
- Rip rap
- Suelo reforzado
  - o Crib wall
  - o Relleno compactado
- Suelo anclado verde
- Gaviones y otros muros de gravedad

#### Utilización

- Taludes
- Cuerpos de agua
- Áreas degradadas
- Drenaje

## Ejemplos