

CONTROL DE EROSIÓN MEDIANTE TECNICAS DE MENOR IMPACTO - PROYECTO CAMISEA

Gabriel Emilio Amores, Gustavo Osvaldo Salerno — INMAC

Resumen

El eje de este trabajo es identificar las variables que intervienen en los fenómenos de erosión y buscar las construcciones que contemplan el control de las mismas.

Proporciona al comitente una sensibilidad a las variables que debe monitorear y realmente controlar.

Contiene un resumen de soluciones tipo y ejemplos prácticos sobre las obras de control de erosión, técnicas especiales implementadas en zona de fuertes precipitaciones.

Comparación de Soluciones entre Diferentes Técnicas a Saber:

1. Desagües transversales y longitudinales en instalación de ductos, su diseño e implementación, importancia de su presencia.
2. Uso de gaviones y geotextiles, diferentes tipos, su selección.
3. Control de erosión con materiales locales, acueductos de madera, retenciones en caña (paca) y sembrado.
4. Mantas para el control de la erosión, su aplicación, resultados, definición de áreas de drenaje expuestas.
5. Técnicas combinadas de reforestación, implantación de viveros.

Identificación de Causas de Erosión en Zonas de Intensa Precipitación

Drenajes

En base a la experiencia recogida en todas las áreas petroleras que se ha trabajado podemos decir que no hay un diseño previo de los desagües de las locaciones desde el punto de vista del control de la erosión.

En principio a simple vista las locaciones se encuentran con grandes áreas de drenajes concentrados. Esto ocasiona serios trastornos como se lo aprecia en el ejemplo de la foto N°1. Es común en Argentina, pero en proyectos donde hay mayor control ambiental estos desagües son una situación inadmisibles. Entonces identificamos como una importante causa de erosión al diseño de las redes de drenaje.

El proyecto debe seleccionar una intensidad de precipitación, luego en base a ella se toma un área máxima, en la cual caída la lluvia podemos determinar el caudal que saldrá al drenar esa área, limitando los caudales máximos tendremos la variable de diseño definida para los drenajes.

El proyecto de la foto 1 se ubica en un área subtropical en la que ya se debiera haber cubierto de vegetación las partes que se ven desnudas. ¿Por qué no ha sucedido? Sólo por un problema de movimiento de terreno de base en primer lugar y como inmediata consecuencia la ausencia de suelo orgánico.



Rellenos

En las locaciones es muy común la generación de grandes masas de relleno, esto se produce sin duda por la gran economía que constituye cortar suelo para llegar a lograr el área firme con el uso de topadoras (tractores) exclusivamente.

Vemos en la foto N°2 un talud tratado con la ejecución de bermas (banquinas), pero están hechas en suelo sin compactar.

Se mejora la situación del talud de suelo suelto pero se generan problemas de deslizamiento que son una amenaza, eso deriva en serias demandas por daño ambiental e inseguridad de la zona lindera.

Un buen ejemplo son las fisuras que se aprecian en las bermas de la foto N°3, todo ese material se removerá en masa y al hacerlo se interrumpe el sistema de drenajes que se ha constituido con las bermas .

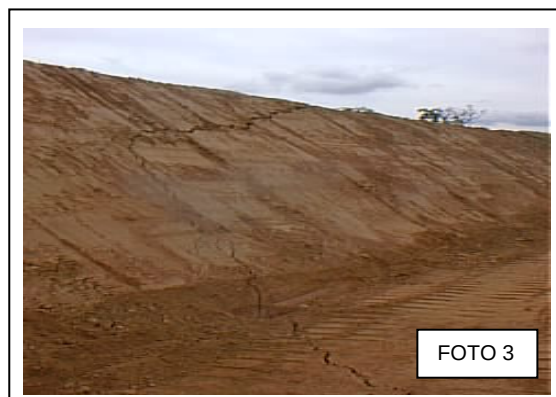
Tenemos dos problemas:

El primero, pérdida de la red de drenaje.

El segundo, aporte de sedimentos a los cursos de agua.

Si se hubieran cortado bermas desde arriba de manera apropiada combinando retroexcavadora con topadora y se compactara el suelo al menos a los parámetros naturales las bermas realmente sirven para estabilizar y llevar el agua por líneas de nivel a los sitios vegetados.

En la etapa de vegetación se produce la pérdida de las especies colocadas y el aporte de suelo fértil, más la mano de obra para todo ello.



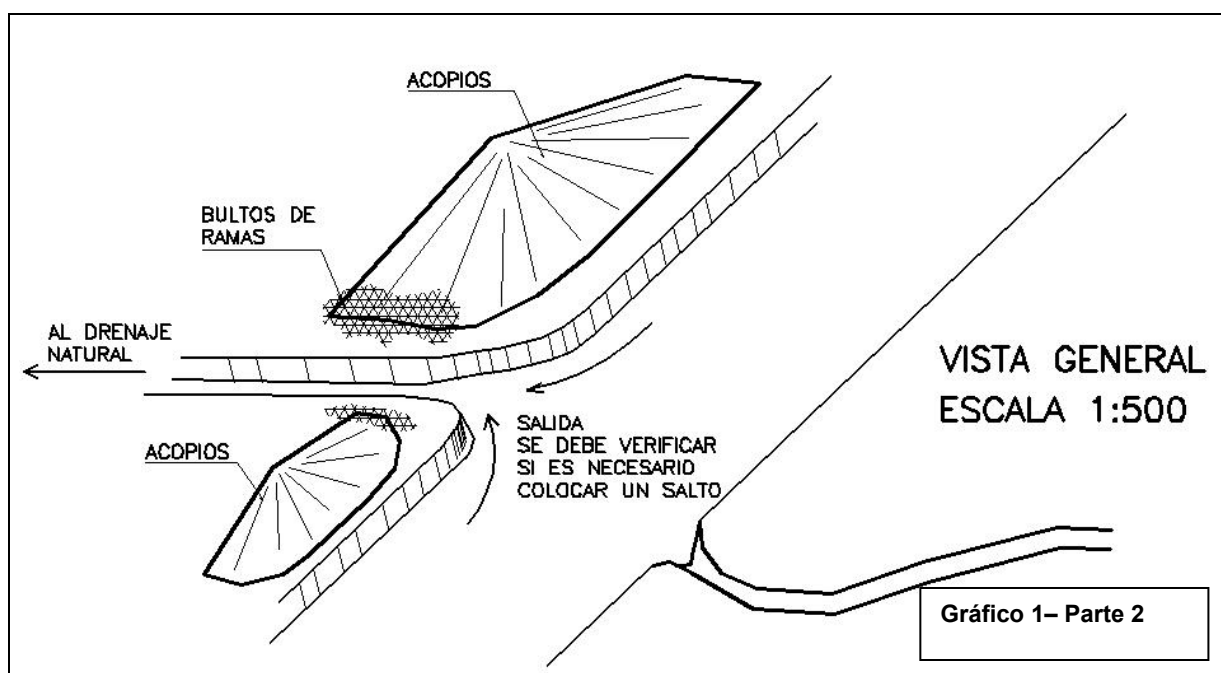
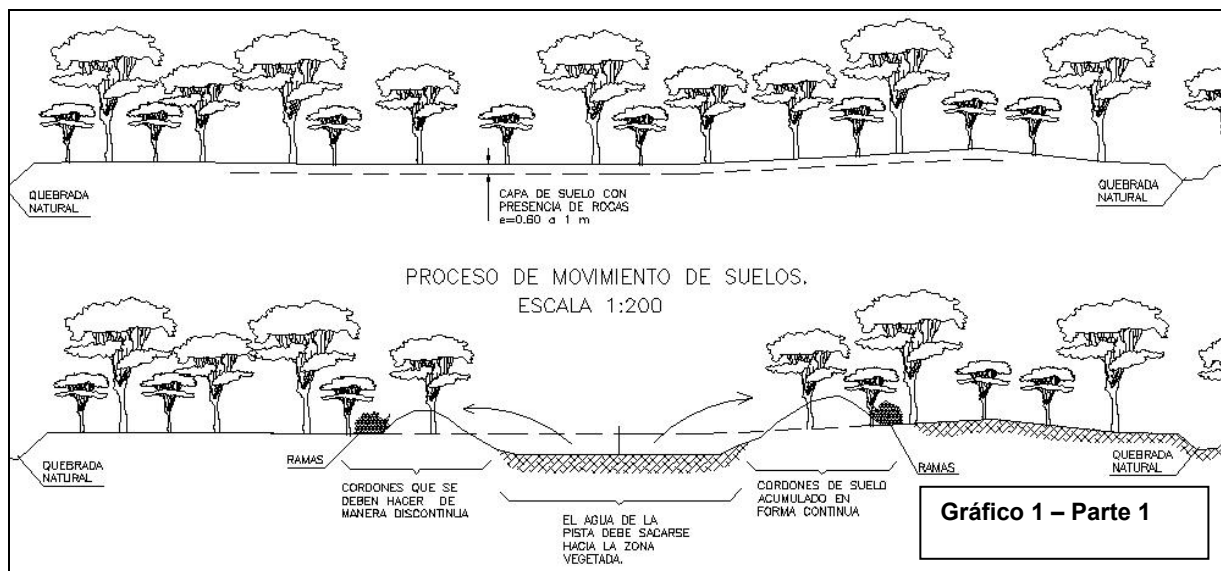
Superficies de Aporte-Drenajes

En los caminos de servicio se tiene una tendencia a realizar diseños con una calidad muy superior a la necesaria para la velocidad directriz, para mantener ese nivel de calidad una de las condiciones es el manejo del drenaje por medio de canales o depresiones longitudinales que concentran el agua para llegar a entregar en cursos naturales.

Se interrumpe y concentra el escurrimiento natural, allí comienzan los problemas de arrastre de sedimentos, erosiones de caminos, canales de desagües.

En el gráfico 1 en el corte superior se aprecia el terreno natural con quebradas o arroyos a los lados que son la red de drenaje natural, cuando hacemos el camino o apertura del derecho de vía tenemos dos opciones con el suelo del corte de la caja, la primera y más segura es retirar ese suelo y llevarlo a lugares de acopio acondicionados para ello (foto4), en la segunda opción colocamos este material a los lados, previo se hace una contención con ramas que puede ir reforzada con un geotextil según el tiempo que dejaré allí este suelo. Pero nunca se materializa con este depósito un dique continuo. Se lo corta entre 4 y 12 m según el régimen de lluvias.

Los depósitos de suelo o botaderos, o depósitos de material disponible se utilizan para acopio de suelo fértil y acopios de todo tipo de excedente debidamente separados.



Con esta construcción se reduce drásticamente el tirado de suelo sobre taludes y sobre terreno vegetado no afectado al proyecto.

En la foto 4 se ha realizado el límite del depósito de suelo con madera proveniente del desmonte, se logra con ello retener sedimentos evitando pérdida de finos, mantener claramente identificado el sitio y prevenirse de deslizamientos en masa que afecten a las zonas vegetadas.

La superficie de aporte es lo que se debe manejar en el proyecto, como se ha dicho, definida la intensidad de precipitación se limitan las áreas que colectan agua y se define el tipo de canales y si es o no necesario aplicar un revestimiento.

Debiera ser ya una exigencia de proyecto tener para cada área definida la intensidad de precipitación.



Monitoreo de Variables que Intervienen en el Desencadenado de los Fenómenos de Erosión

Inicio del Movimiento de Partículas

Vamos a definir en este punto la real importancia de la tensión de corte o fuerza tractiva que solicita a todo terreno sobre el cual se asienta una altura de agua en movimiento.

El agua es poseedora de una cantidad de energía, por lo tanto, toda vez que la concentramos estamos haciendo una acumulación de esa energía, esa sobrecarga genera el desequilibrio en el sistema y éste para volver a recuperarse debe disiparla.

En el caso que nos ocupa, esto se traduce en un inicio de movimiento de componentes del terreno (partículas de suelo, vegetales, rocas).

Se generan de esta manera sedimentos en suspensión (partículas de suelo) y por arrastre de fondo (rocas).

La fuerza que actúa en una corriente líquida sobre la superficie del terreno que la contiene (lecho de río, solera de un canal, etc.) Es directamente proporcional a la altura del agua y a la densidad que posee esa corriente líquida.

$$\tau = \gamma \cdot h \cdot i \quad (1)$$

En la (1)

τ =	Tensión de corte actuando sobre el terreno donde circula el agua.
γ =	Densidad del agua.
h =	Altura de agua sobre el terreno donde circula.
i =	Pendiente expresada en por ciento de la superficie del terreno.

Al tener sedimentos hemos incrementado la densidad por lo que le estamos dando mayor energía que se traduce en un mayor poder erosivo.

Esta es la causa que en cualquier control ambiental se debe esgrimir en primer término para exigir el control de la erosión.

Diseño de la Red de Drenaje

La variable que debemos identificar es el caudal que drenamos de manera tal de no sobrepasar en ningún sitio el tirante máximo resistido por el terreno. No se deben acumular desagües por lo que el ingeniero debe monitorear cuánto es el caudal que drena y dónde lo envía.

La tabla de velocidad Máxima (tabla 1) es un ejemplo de cómo se debe trabajar. La pendiente está en general definida por las condiciones del proyecto, sino estos valores serán nuestra guía. En vertical entramos con el área que drena nuestro canal, cuya sección es fija y está en un esquema en el gráfico N°2. La sección del canal es la que corta una moto niveladora. Es importante entender que se fija la sección de manera práctica para adaptarnos a la realidad de campo.

En vertical está el área que permitiremos su aporte al canal. Luego tenemos en la intersección de cada vertical con horizontal el valor de la velocidad que se registra en el canal en metros /segundos.

Según el tipo de suelo del canal tendremos la velocidad por arriba de la cual hay erosiones (celdas en fondo gris hay erosión).

Con esta tabla 1 se tiene clara certeza de dónde se debe cortar un canal y sacar su caudal al terreno natural. Para construirla como se ha dicho, se debe haber definido previamente la intensidad de precipitación de la cuenca.

TABLA 1

Tipo de suelo: **Arena Fina**

Tabla de velocidad admisible (m/s)

Superficie de aporte (m ²)	Pendiente del canal						
	2%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
36	0,48	0,68	0,88	1,03	1,14	1,24	1,33
72	0,57	0,81	1,05	1,22	1,36	1,48	1,58
108	0,63	0,90	1,16	1,35	1,51	1,64	1,75
144	0,68	0,96	1,25	1,45	1,62	1,76	1,88
180	0,72	1,02	1,32	1,54	1,71	1,86	1,99
216	0,75	1,06	1,38	1,61	1,79	1,95	2,08
252	0,78	1,11	1,43	1,67	1,86	2,02	2,17
288	0,81	1,14	1,48	1,73	1,92	2,09	2,24
324	0,84	1,18	1,53	1,78	1,98	2,15	2,31
360	0,86	1,21	1,57	1,83	2,03	2,21	2,37

La zona gris marca las condiciones erosionables.

TABLA 2

Tipo de suelo: **Arena Fina**

Tabla de longitud máxima de canal longitudinal (m)

Ancho de pista (m)	Pendiente del canal						
	2%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
18	12	4	2				
20	11	4	2				
25	9	3	1				

Para simplificar aún más el trabajo se dispone de tablas como la N°2 donde fijado el ancho del camino se entra con la pendiente y nos da cuánto es el largo que puede tener el canal tipo sin sufrir desbordes y sin necesitar revestimiento. Este trabajo se ha hecho para una intensidad de precipitación de 120 mm/hora, debe notarse que en el caso de un suelo de arena fina como el de los ejemplos la longitud de canal que soporta esa lluvia es muy reducida, a lo sumo podemos llegar a tener 12 m con una pendiente del 2 % cuando el ancho del camino o el derecho de vía es de 18 m, si la pendiente es mayor al 10 % hay que revestir el canal. Esta tabla 2 es un elemento de inspección para que el observador de campo detecte si están bien hechos los canales transversales cortando las áreas para reducir los aportes a los longitudinales.

En el gráfico 2 se muestra la sección que se puede cortar con la cuchilla de la moto niveladora, esto como se dijo se adapta a la práctica que tienen los operadores en el campo que es cortar el canal de salida de agua cuando nivelan los caminos.

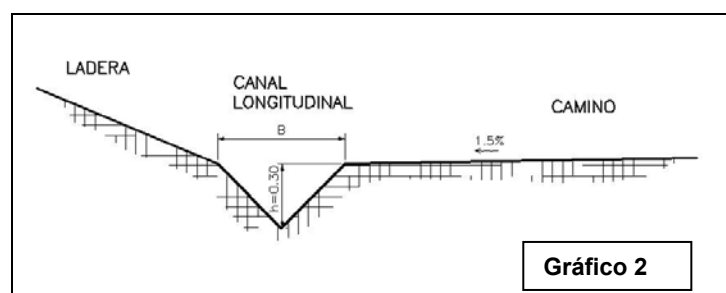


Gráfico 2

Casos Típicos que se Presentan en el Diseño de Caminos y Locaciones

• Corte Tipo Cajón en Desmonte con Pendiente

En el gráfico N°3 se puede ver como se traza la red de canales longitudinales y transversales.

Los últimos continúan por el talud mediante una berma hecha en el terreno o conformada por medio de una estructura a tal efecto para sacar el agua según una línea de nivel. La gran diferencia con los diseños tradicionales es que el agua no va según la máxima pendiente en un canal paralelo al eje del camino sino que es sacada en tramos cortos según líneas de nivel. Esas líneas las debe hacer la retro cuando corta el suelo para excavar los cortes cajón.

• Corte Tipo Cajón en Desmonte

En el gráfico 4 se aprecia en 1) La situación original en el terreno con un sentido de flujo y en 2) La situación no deseada cuando el corte del camino hace un canal, en el punto 3) Está la propuesta para este tipo de corte que consiste en sacar el agua antes de llegar a entrar en el camino o la locación.

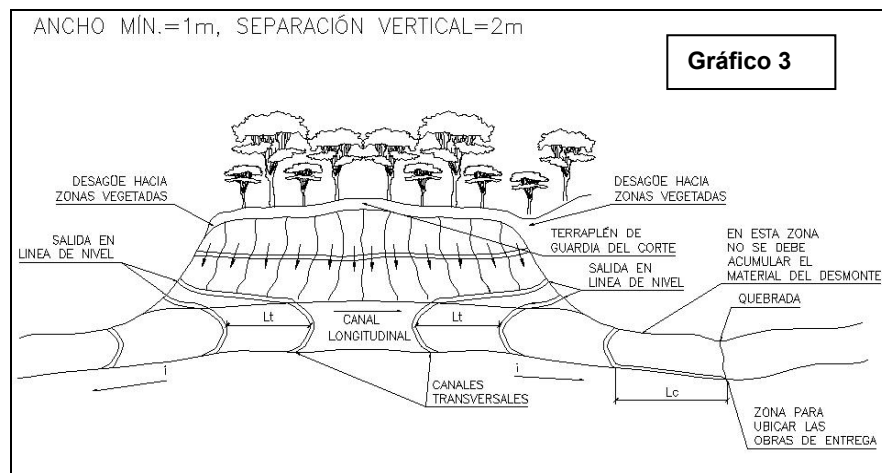
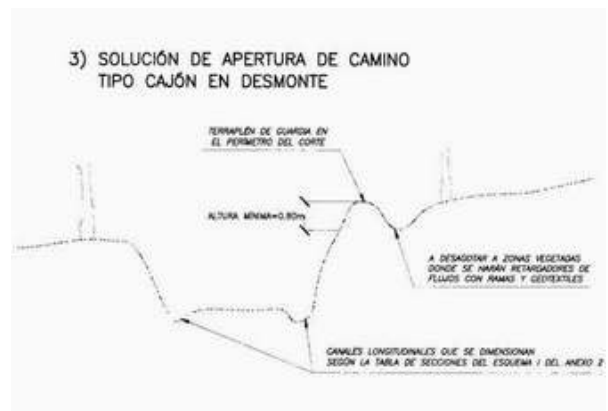


Gráfico 4



2) APERTURA DE CAMINO

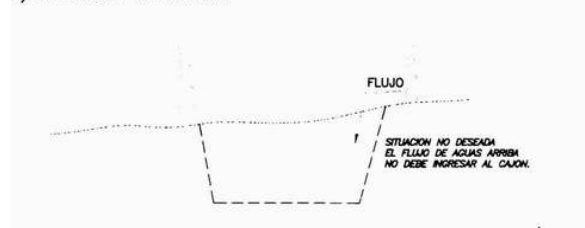
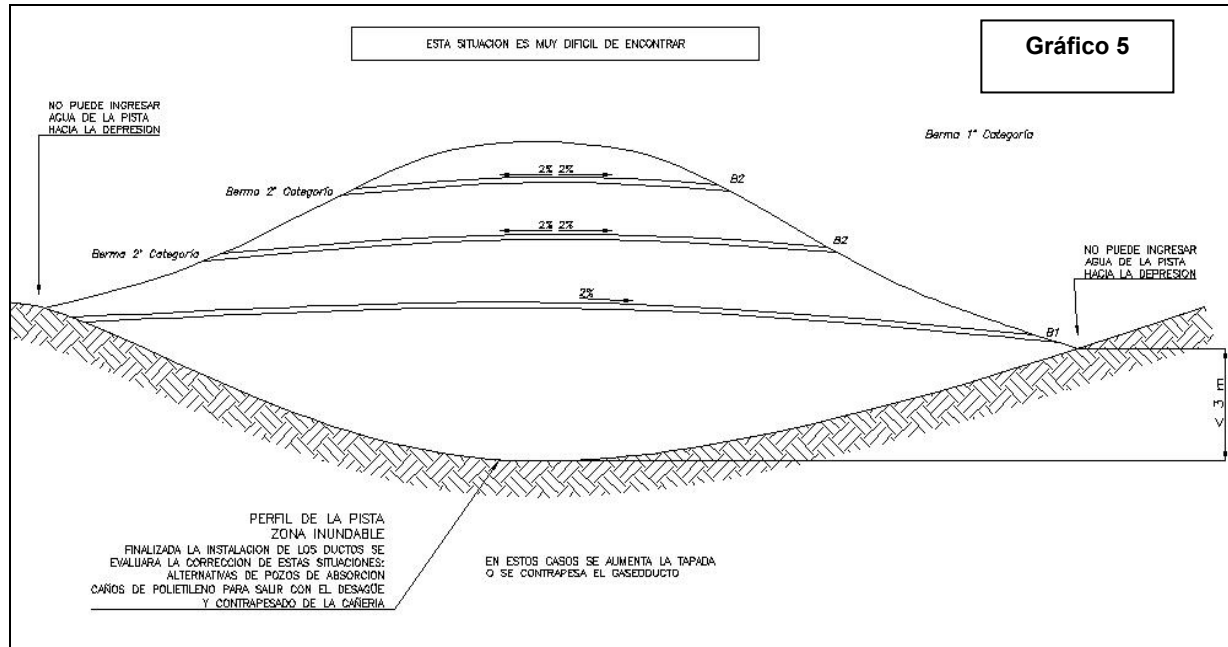


Gráfico 4, en 1 situación natural que marca el plano de drenaje general, en 2 el corte que se hace con el desmonte donde hay dos perjuicios serios primero pérdida de las raíces que forman una geogrilla natural y se genera un canal cortando el sentido natural del drenaje concentrando el agua hacia otras zonas.3 una propuesta para evitar que el agua ingrese al camino

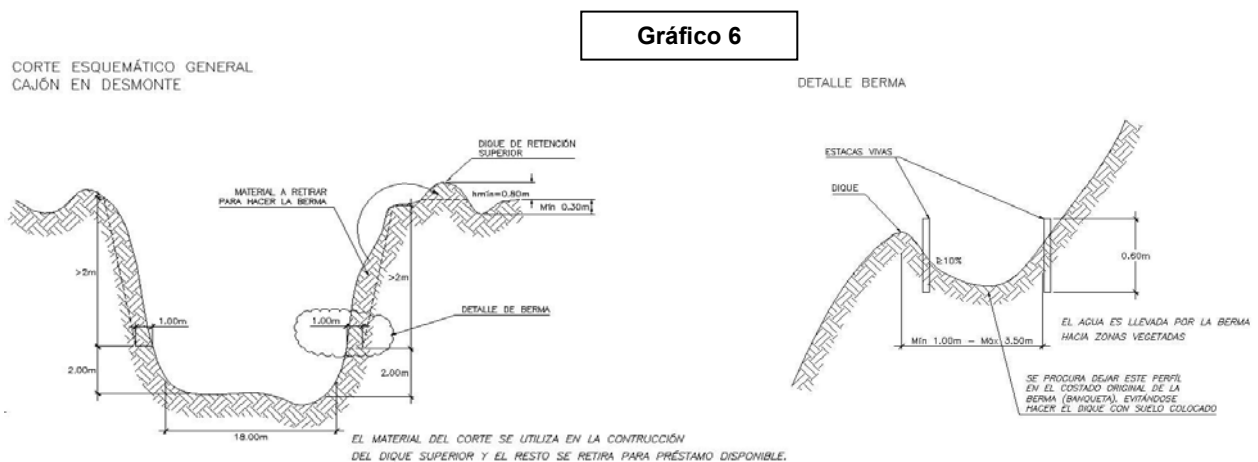
• Corte Cajón Concentrando el Desagüe

En el gráfico N°5 se muestra éste en un corte la situación se resuelve en este caso haciendo bermas a medida que se va bajando el desmonte y se logra así ir sacando el agua por líneas de nivel, las bermas en general no deben ser de alturas mayores a los 2m, y se debe impedir el ingreso de agua a la zona más baja, el ancho mínimo es de 1 m, la pendiente longitudinal es de 2 % en general y la normal es de 10 %.



• Corte Cajón en Desmonte

El agua se saca antes de que llegue por los taludes hasta el camino o la locación, se transporta por bermas dejadas durante la excavación. En las bermas se pueden sembrar estacas vivas durante la construcción de las mismas, ya que luego puede ser muy difícil acceder.



• Camino en Divisoria de Aguas

Se lo suele llamar abismos es una situación bastante común en la zona de la amazonía que complica mucho el trazado de caminos y gasoductos. El agua llega al punto más bajo de la traza y escapa por el talud produciendo cortes que reducen el ancho del derecho de vía o lo anulan a consecuencia. Hay dos problemas a resolver en estos casos el primero es el drenaje y el segundo es la revegetación de los taludes. En el gráfico 7 parte 1 se muestra el caso y en la parte 2 se muestra un tratamiento de taludes con los denominados geotubos.

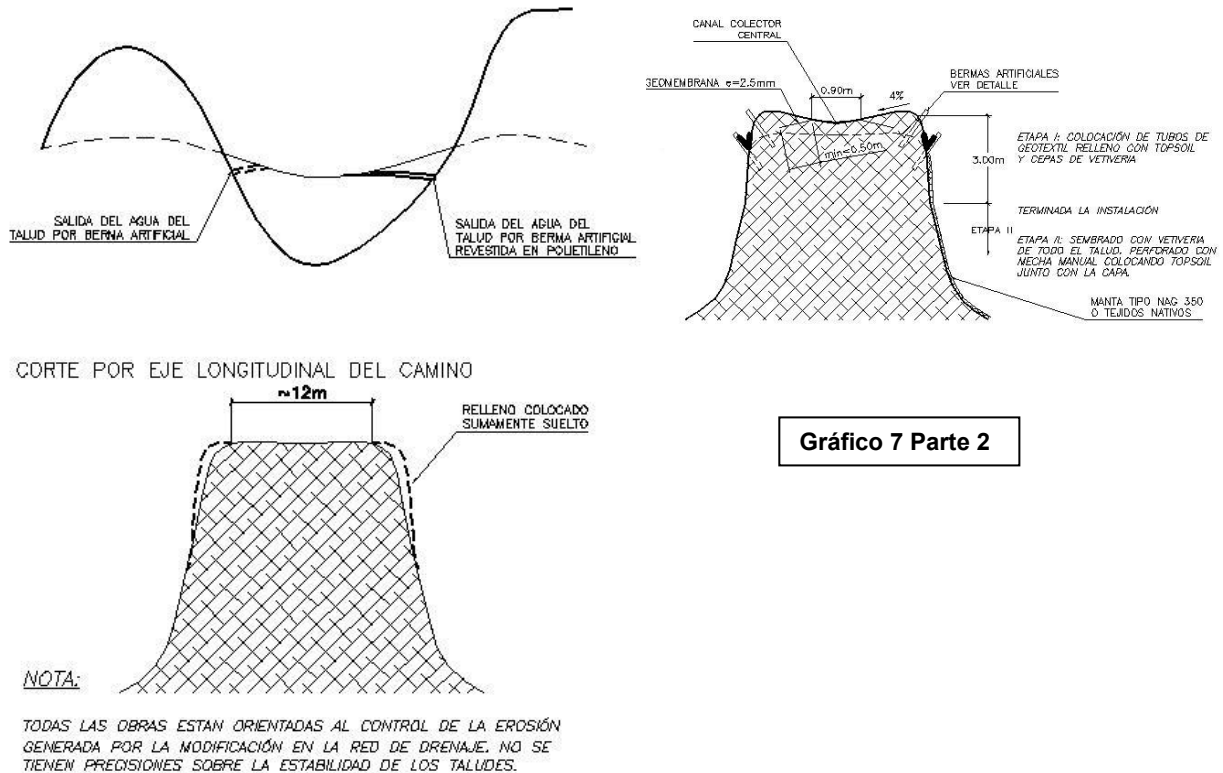


Gráfico 7 Parte 1

Gráfico 7 Parte 2

Geotubos, son hechos con geotextil y dentro llevan suelo fértil, semillas, esquejes y hojas del lugar. Esta fijado al talud con estacas de acero.

Construcciones Tipo en Función de Materiales y Tipo de Solicitaciones

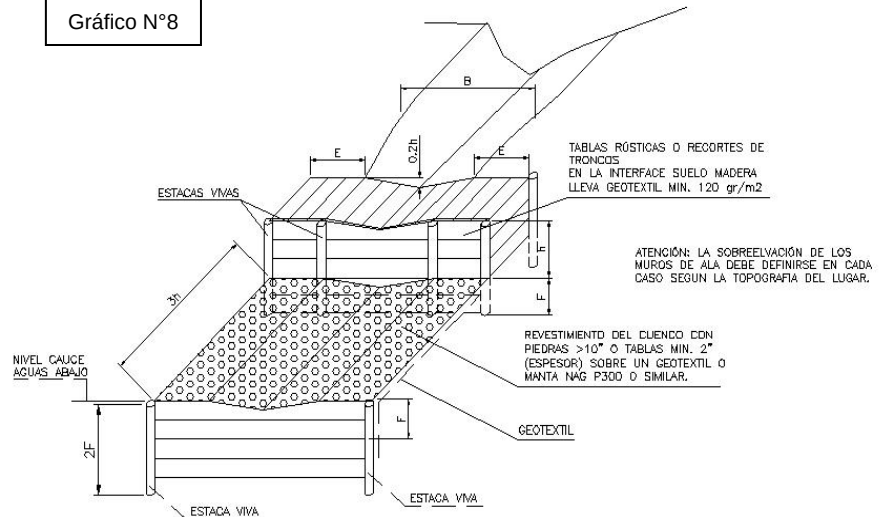
Salto en Materiales del Lugar. En muchos casos se generan serios problemas en el sitio debido al transporte de materiales para hacer la obra, estas construcciones precarias se utilizan cuando es difícil el acceso y la revegetación puede evitarnos la necesidad de esta obra a futuro, en la foto N°5 vemos sencillas construcciones de caña o paca que han cumplido su objetivo como lo muestra la foto 6 un año después cuando ha pasado la etapa de las lluvias y se ha iniciado la revegetación.



Gráfico 8

El canal que llega al salto tiene un ancho B , los laterales a la escotadura son los empotramientos que se toman igual a la mitad del ancho del canal. F = profundidad del empotramiento o fundación de la estructura del salto es tomado como la mitad del salto que se produce con la estructura. El revestimiento de aguas abajo del salto es de 3

Gráfico N°8

**Salto en Gaviones**

En muchos casos es conveniente por el grado de permanencia de la obra, la exigencia de caudales y la posibilidad de tener piedra, construir los saltos en gaviones. Manteniendo las proporciones del gráfico 8 se construyen saltos como los que se muestran en la foto 7. Estas estructuras están colocadas en un canal para disminuir la pendiente controlando así la velocidad. El canal está revestido en colchonetas, pero para bajar el costo de la obra el tramo final del canal se reviste en mantas para control de erosión. Se limita el uso a la abrasión de las mallas, cosa que los proveedores subestiman.

- **Gaviones Rellenos de Suelo**

Cuando se necesita subir verticalmente formando estructuras de contención y no hay piedra recurrimos al uso de gaviones revestidos en geotextil (gráfico 9) y rellenos de suelo del lugar. En la interfase entre la malla y el geotextil puede ir piedra acomodada en las caras que están expuestas al sol ya que el geotextil se degrada en el término de 6 a 8 meses según el material.



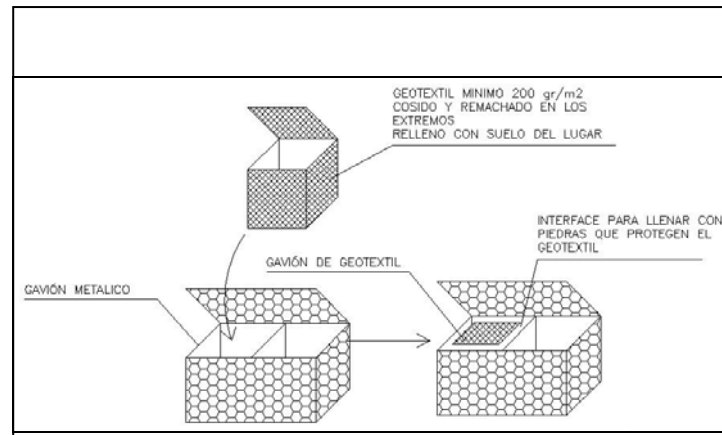
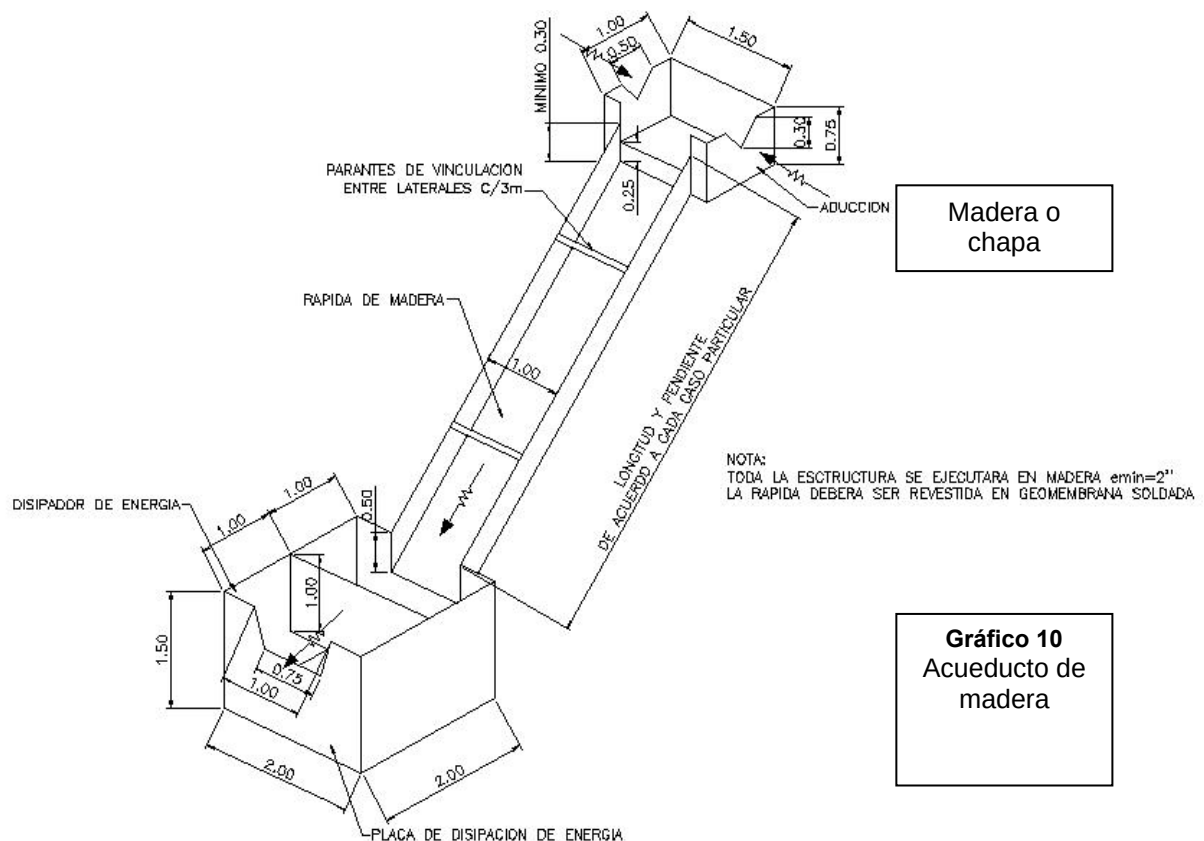


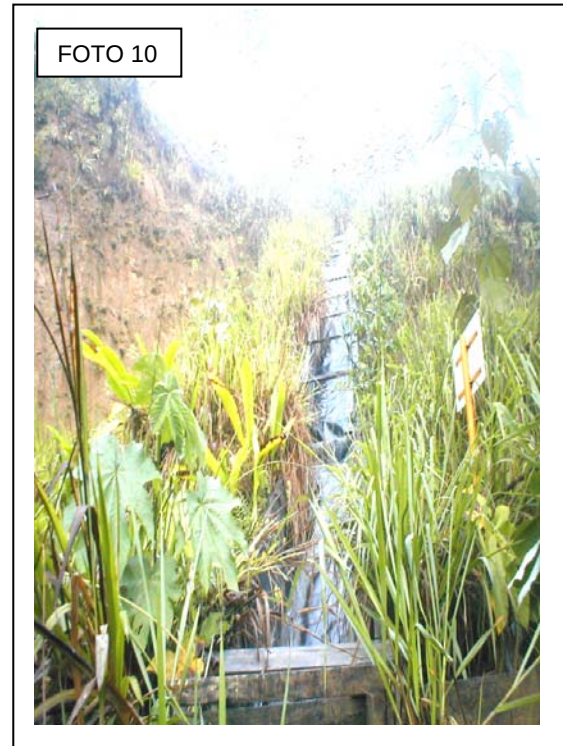
Gráfico N° 9

Canales Materializados Mediante Acueductos de Madera o Caños Livianos de Chapa Ondulada

Cuando hay que llevar un canal por un terreno que no está consolidado no apto para recibir el escurrimiento se coloca este tipo de estructura que se muestra en el gráfico 10.



Estos canales van montados sobre patas de madera que pueden o no llegar a suelo natural, la ventaja es que si se asientan se puede recalzar y poner en servicio. Las cajas de disipación se suelen tratar de colocar en suelo firme. El sedimento que atrapan mantiene contrapesada la trampa dando un punto fijo. Pueden estar contruidos en madera del lugar proveniente de la fracción no comercial del desmonte o se puede hacer con caños corrugados de chapa liviana. Han pasado 2 años entre la foto 9 y la 10, siempre hay tareas de mantenimiento para retirar sedimentos y verificar estructuras. Es importante ver que los taludes verticales de la foto 9 no se trataron con palo a pique y no se cubren de vegetación aún. Ver punto 3.9



Canales Transversales Materializados con Madera y Troncos. Estos canales se ejecutan en madera para que rápidamente estén en servicio de esta manera mientras el equipo avanza para trabajar estamos drenando en las partes más bajas de los abismos que se han mostrado en el gráfico 7 parte 1. En la planta del gráfico 11 tenemos el esquema de estos canales transversales y en la parte 2 su detalle donde en el corte podemos ver que esta lleno de troncos como se aprecia en las fotos 11 y 12, el fondo sobre sale del talud como mínimo 1.2 m se aprecia bien en la planta.

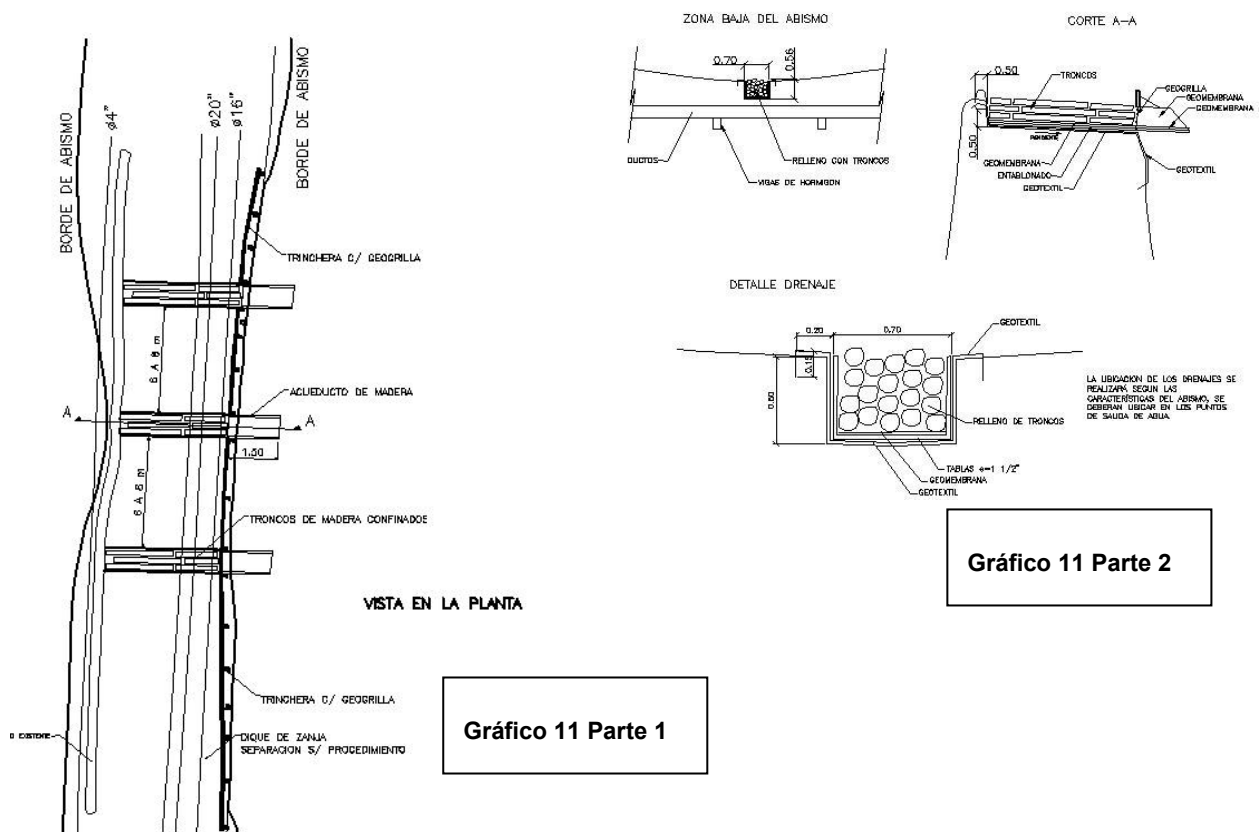


Gráfico 11 Parte 1

En la foto 11 está el canal visto desde arriba apreciándose el relleno de troncos entre los cuales escurre el caudal que viene por el camino y se logra atravesar sobre él sin hacerle daño con los equipos de mantenimiento. En la foto 12 vemos como vuela la descarga respecto del talud y la separación máxima que se puede tener en zonas donde se tiene una precipitación de diseño de 120 mm/hora.



Canales Longitudinales Revestidos con Mantas para el Control de la Erosión. Cuando la velocidad seleccionada con la tabla 1 es mayor que la admisible por el material del canal debemos recurrir al uso de revestimientos artificiales, en general debemos tratar de no colocar revestimientos rígidos como pueden ser hormigón o canales revestidos en asfalto o geomembranas, en las fotos 13 y 14 podemos ver dos tipos de estas mantas colocadas en un canal en la zona de Camisea.



Estas mantas soportan fuertes velocidades instantáneas, no pueden estar expuestas durante una carga importante de tiempo, de allí que en esta zona se las puede aplicar en sectores donde la vegetación se desarrollará rápidamente fijándose el conjunto manta raíz. Cabe destacar que la velocidad de crecimiento se ve disminuida por la presencia de las mantas. Esto ha pasado con todos los tipos de mantas utilizados. Resulta muy importante la colocación de las fijaciones y no es un costo despreciable en el presupuesto.

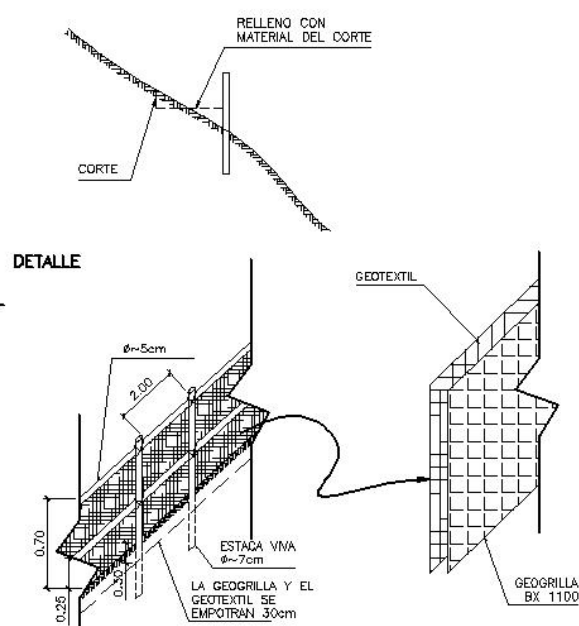
Protección de Taludes Erosionados por la Caída de Lluvia. Bulto de Ramas. Se hace un atado de ramas que se coloca en una canaleta que sigue una línea de nivel, (esto se repite siempre cuando hablamos de desagües y control de erosión) la foto 15 muestra aplicaciones prácticas en taludes del Amazonas, en la foto 16 se aprecia la evolución de estos taludes 1 año después.



Queda confirmado que no resulta posible revegetar mientras hay movimiento de partículas sobre el talud aún en zonas como la amazonía donde es prácticamente una atmósfera de invernadero permanente con lluvias anuales en el orden de los 6000 mm.

Trincheras. Se ha denominado así haciendo el paralelismo de retención de la trinchera bélica, nuestra trinchera detiene la caída del sedimento por el talud, podemos citar cientos de fotos en aplicaciones dentro de diferentes puntos pero indicaremos las más relevadas. En el gráfico 12 está el esquema. El fin buscado es siempre el mismo retirar el agua por una línea de nivel hacia zonas vegetadas y retener en esa línea el sedimento que se desprende del talud. Procediendo a revegetar una vez que se ha logrado evitar la migración del suelo.

DETALLE TRINCHERAS PARA SALIDA DE CAUDALES
UBICACION GENERAL



SEMI VISTA TRINCHERA

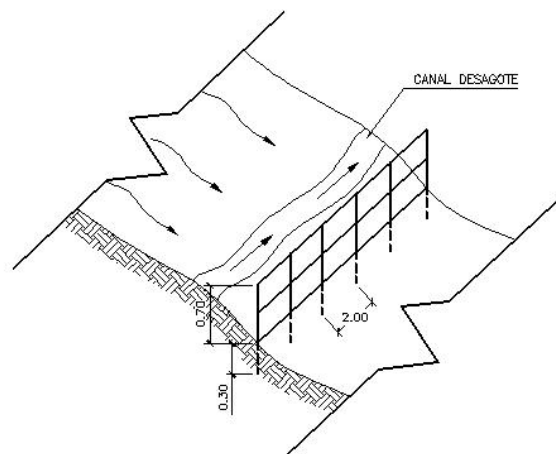


Gráfico 12
TRINCHERAS

Las fotos siguientes demuestran lo que se logra hacer con estas construcciones de retención de finos y transporte de caudales menores hacia zonas vegetadas con una suave pendiente del orden del 2%.



Foto 17



Foto 18

El uso de trincheras se combina muy bien con el palo a pique y el bulto de ramas el operador debe prestar atención a la evolución de los taludes y el avance de la revegetación.

La foto 20 es a los 2 años de la 19. El resto de los taludes que aparece en primer plano fue tratado anteriormente con el mismo sistema pero las retenciones se hicieron con tablas de madera recuperada del lugar. Lo importante es la definición de la separación entre líneas de desagüe y la forma de hacerlas.

Palo a Pique Versión Camisea. Esta es una técnica muy usada en varios países hermanos y la hemos aplicado en pocos sitios aún en el proyecto pero tendrá gran aplicación. El objeto del palo a pique es lograr en taludes sumamente elevados retener suelo y sostener esquejes y semillas buscando a la vez alejar el agua que baja por el talud de la superficie de suelo suelto.

La foto 19 muestra un talud susceptible de tratar con la colocación del palo a pique luego lo vemos hecho en la foto 20 y la vegetación creciendo entre las ramas que se colocan de manera horizontal.



Foto 19



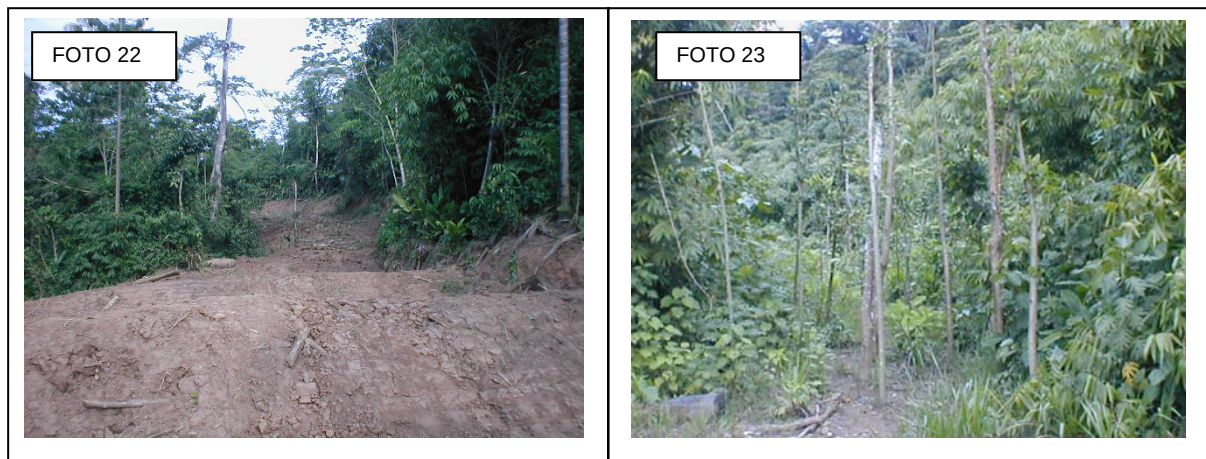
Foto 20



En el talud de foto 20 se han aprisionado hojas de las palmeras que los nativos usan para proteger sus casas y se implantaron esquejes y estacas vivas. Se interrumpió así el aporte de sedimentos que en la foto 19 se aprecia en el pie de la misma. La foto 21 muestra la zona 2 años después.

Cierre de Brechas Mediante Transplantes

Foto 22, acceso a una picada en proceso de cierre, la 23 muestra el cierre mediante transplante 8 meses después.



Conclusiones

El trabajo permite conocer como se originan los problemas de erosión y las diferentes técnicas implementadas y su comparativa con otros sectores en un proyecto de gran monitoreo a nivel control ambiental. Revaloriza recursos locales frente a costosas técnicas mostrando los resultados que permite la implementación de un programa frente a la solución puntual.

Contribuciones Técnicas y Económicas

Contribución Técnica

Conseguir minimizar el costo de remediación y cierre de las picadas abiertas en la Selva, asegurando la aprobación de las auditorías ambientales con resultados evidentes.

Contribución Económica

Disminuir el costo de remediación en un 30% y lograr la aprobación de los fiscales ambientales que significa entonces lograr mejores condiciones de financiación, quiere decir mejores tasas para el proyecto.