

Por su parte el camino privado, propiedad de la empresa Plywood Costarricense S.A, se caracteriza por ser un camino de finca maderera, donde no hay cercas divisorias a lo largo de la vía, poco manejo de aguas de escorrentías y curvas con radios muy cerrados. A lo largo del camino, el lastre está en algunos segmentos, pero en otros éste ha sido lavado por la lluvia, por lo que el suelo está expuesto. Con las lluvias el camino tenderá a volverse fangoso y de difícil acceso. Su ancho útil es de aproximadamente 3 m, aquí no se puede establecer un derecho de vía ya que es propiedad privada, el ancho va a depender de la servidumbre agrícola que se compre (de 10 a 14 m).

Figura 5.64
Condición actual del camino privado que conduce al sitio de campamento



Fuente: Tomada por el Ing. Johnny Ríos, P.H. Reventazón.

En este sector del camino, se atraviesa la quebrada Tres Amigos que actualmente se pasa por un vado, no hay alcantarilla ni puente, en esta parte habría que diseñar y construir una alcantarilla de paso.

Figura 5.65
Paso actual por Quebrada Tres Amigos



Fuente: Tomada por el Ing. Johnny Ríos, P.H. Reventazón.

Camino a la Plywood

Este camino tiene una longitud de 4900 m y todo está en propiedad de la Plywood. Es una vía muy importante dentro del sistema de comunicación vial del proyecto, ya que éste va a ser el eje principal para tener acceso a las distintas obras, escombreras, salida y entrada de los túneles de desvío, a la toma principal, al quebrador principal y a los sitios de extracción de materiales. Su inicio es en el sitio de campamento y finaliza en la intersección del camino público que comunica al sitio Lajas.

Este camino se puede dividir en tres tramos, donde cada uno está en diferentes condiciones.

Tramo 1

Este primer tramo sería de 1800 m, iniciaría en el campamento y finalizaría en la escombrera N° 3. Es un camino transitable durante la época de verano, ya que tiene sectores en donde no hay lastre solo suelo y ésta condición junto con la lluvia lo vuelve un camino fangoso y de difícil transitar. Durante la época de invierno, para poder acceder, se ocuparía un vehículo 4X4. En cuanto a las pendientes, presenta un pequeño sector cerca de la escombrera N° 2 con pendientes del 15%, el resto son pendientes suaves que no pasan del 5%. A lo largo de este tramo, estarían ubicados los accesos a las escombreras N° 2 y N° 3 y N°8, así como a la salida de los túneles de desvío, en la margen derecha del río Reventazón. Este tramo está en malas condiciones, falta de lastre, ausencia de sistemas de drenaje de escorrentía, y es necesario el mejoramiento de alcantarillas de paso.

Fotografía 5.66
Vista del tramo 1 de la finca de La Plywood.



Fuente: Tomada por el Ing. Johnny Ríos, P.H. Reventazón.

Tramo 2

Este tramo tiene una longitud de 1 000 m, presenta pendientes fuertes del 19% y al igual que el tramo 1, está en malas condiciones. Gran parte del camino no cuenta con lastre ni sistemas de drenaje, la mayor parte está en pendiente y su ancho es de aproximadamente 6 m. En tiempo de verano se puede transitar con vehículos 4X4 y en invierno no hay paso para vehículo. A lo largo de este tramo, no se tendría acceso a ninguna obra del proyecto, sin embargo, la línea de centro del túnel principal pasa muy cerca de este camino, por lo cual se está utilizando para acceder a los sitios de perforaciones sobre el túnel.

Fotografía 5.67
Vista del tramo 2 de la finca de La Plywood.



Fuente: Tomada por el Ing. Johnny Ríos, P.H. Reventazón.

Tramo 3

Este tramo tiene una longitud de 2 100 m, presenta pendientes variadas que no pasan del 12%. En este tramo encontramos mejores condiciones que los otros dos anteriores. Se puede acceder durante todo el año, no cuenta con un sistema de drenaje adecuado, su ancho aproximado es de 4 m. A lo largo de este tramo, estarían ubicados los accesos a las escombreras N° 4 y N° 5, así como a la toma principal, a la entrada de los túneles de desvío, al sitio presa, y a los sitios de extracción de materiales.

Fotografía 5.68
Vista del tramo 3 de la finca de Plywood



Fuente: Tomada por el Ing. Johnny Ríos, P.H. Reventazón.

Camino al sitio Lajas

Es el segundo acceso hacia las obras del proyecto a partir de la Ruta N° 10. La entrada está a 4,5 Km hacia Turrialba de la entrada al Plantel Central y es conocida como calle Tajo. La longitud total para llegar al sitio Lajas es de 5,6 Km, de los cuales 3,6 Km son camino público, el resto es camino privado propiedad de Inversiones Artemisa S.A. (ver fotografía 5.69 y 70).

En cuanto al camino público, éste tiene un promedio de derecho de vía de 10 m y la superficie de rodamiento está deteriorada. Esta vía conduce también a la Escombrera N° 5. En cuanto los trabajos a realizar en este camino, se ampliará hasta donde sea posible, respetando el derecho de vía y se mejorarán los sistemas de drenaje y la superficie de rodamiento.

Fotografías 5.69 y 5.70
Estado actual del camino a sitio Lajas.



Fuente: Tomada por el Ing. Johnny Ríos, P.H. Reventazón.

Camino a la presa (margen izquierda)

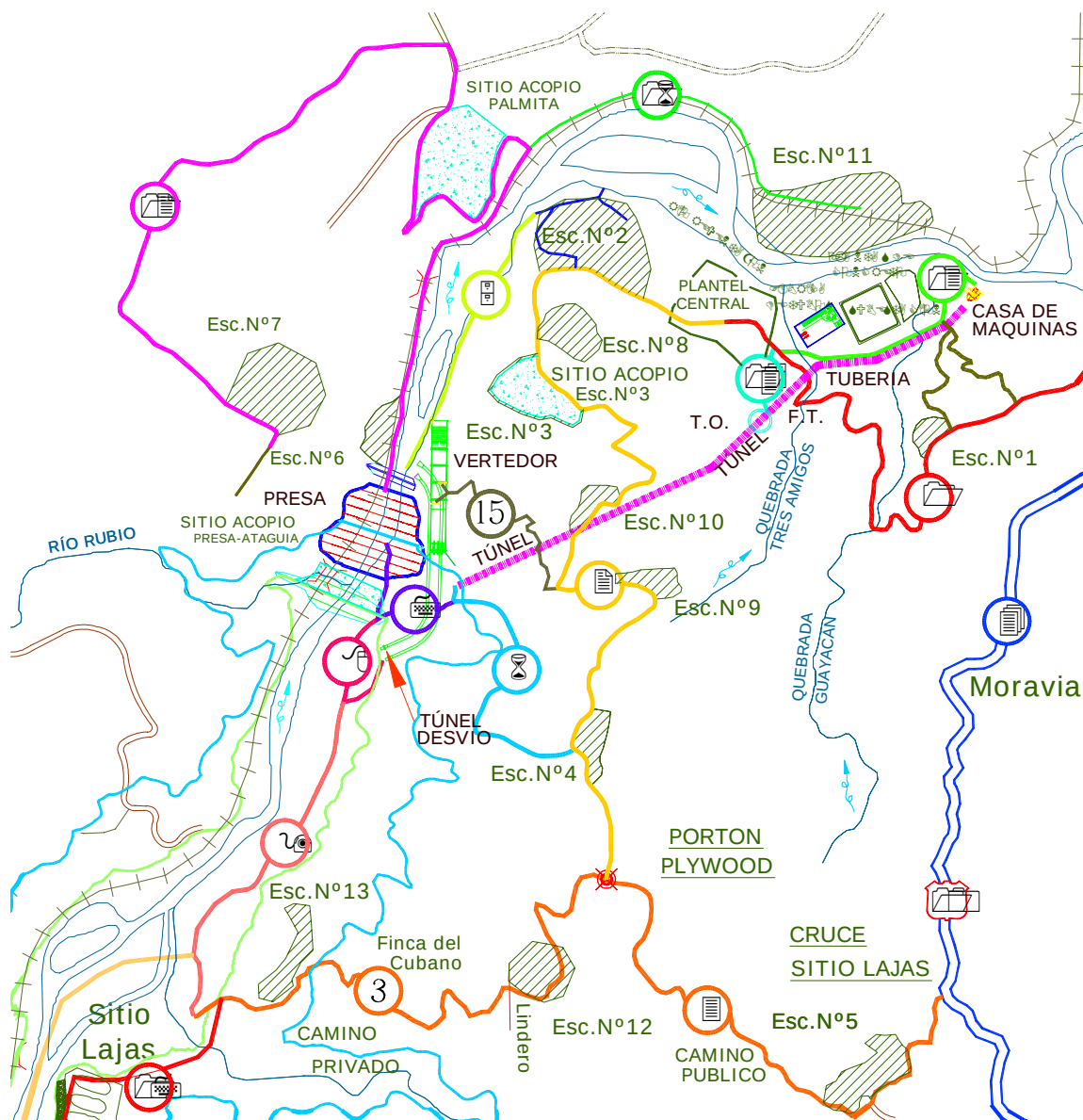
A partir del sitio denominado como El Cruce, en la ruta N°415, se usaría un camino hacia el poblado de La Florida, el cual permite el acceso hasta la margen izquierda del río. En esta área, se ubica la escombrera N° 6, los sitios de acopio N° 2 y 4 y la presa. El tramo a utilizar es el comprendido entre La Florida y la presa, con una longitud de 3,5 Km en camino lastrado.

Camino a escombrera N° 7

Otra vía a usar, es la comprendida entre La Florida y la Escombrera N°7, para una longitud de 2,9 Km, con superficie de lastre y un pequeño tramo asfaltado en mal estado. Esta vía será mejorada y ampliada a 7,0 m.

En la figura 5.79 se muestra la ubicación de cada una de estas rutas:

Figura 5.79
Ubicación de las rutas internas existentes para acceder a las obras del proyecto



Fuente: Departamento de Topografía, P.H. Reventazón

En el siguiente cuadro, se muestran las longitudes totales de las rutas internas existentes para acceder a las obras del proyecto, así como el número de camino según lo señalado en la figura 5.79.

Cuadro 5.27
Longitudes de las rutas internas existentes para acceder a las obras del proyecto

Número de camino	Camino	Tipo	Longitud	Ancho de calzada
1	Plantel Central	Público	2 250 m	10 m
		Privado	1 050 m	
2	La Plywood	Privado	4 900 m	14 m
3	Sitio Lajas	Público	3 600 m	10 m
		Privado	2 000 m	14 m
12	Margen izquierda de la presa	Público	3 500 m	7 m
	Escombrera N°7	Público	2 900 m	7 m
Total			20 200 m	

Fuente: Elaboración propia, Ing. Mauricio Morales. P.H. Reventazón.

De este total, 12,2 Km. corresponden a caminos públicos y 8 Km. a caminos en terrenos privados.

Mano de obra

A continuación se presenta la distribución del personal por obra y de la parte de áreas de servicio del proyecto, en el momento pico del proyecto.

Cuadro 5.28
Distribución de la mano de obra por obra

Obra	De la zona	De afuera de la zona	Total de personal
Presa	591	394	985
Túnel	71	70	141
Tanque de oscilación	48	51	99
Tubería de presión	50	46	96
Subestación	72	48	120
Casa de máquinas	108	72	180
Sitios de préstamo	32	9	41
Áreas de servicio			
Plantel central	51	34	85
Total			

Fuente: Elaboración propia, Ing. Mauricio Morales. P.H. Reventazón.

Otros**5.7.3 Disposición de desechos y residuos ordinarios, especiales, industriales y peligrosos**

Cuadro 5.29
Clasificación de los principales tipos de residuos en las obras

Tipo de desecho	Almacenamiento	Manejo	Disposición final	Medida de prevención
Ordinarios	En bolsas plásticas o recipientes como estañones.	Se recolectarán diariamente.	En rellenos sanitarios del sistema municipal	Clasificar para recuperación y reuso. Manejar los desechos orgánicos en composteras.
Inertes	No existe	Conforme se avance la excavación de las obras se enviarán a las escombreras.	En escombreras manejadas por el proyecto.	No almacenar material de excavación en terrenos cercanos a bosque o cuerpos de agua.
Peligrosos				
<i>Pinturas, solventes, hidrocarburos</i>	En lugares bajo techo con losas de concreto.	Solamente por personal capacitado.	En el plantel del proyecto para su posterior disposición según reglamentación institucional.	Manejar en las obras solo la cantidad requerida.
<i>Explosivos</i>	En polvorines.			Efectuar charlas al personal para el manejo de estos desechos.
<i>Biológicos</i>	En recipientes para manejo de material biopeligroso.		Recolección por parte de empresa especializada.	

Fuente: Elaboración propia, Ing. Mauricio Morales. P.H. Reventazón.

Sólidos

Durante la construcción del proyecto se generan una serie de desechos sólidos de diversa índole, para lo cual será necesario implementar un proceso de clasificación, separación y disposición final.

En general se seguirá el siguiente tratamiento para los residuos sólidos generados:

Cuadro 5.30
Tratamiento para los tipos de desechos a generar

Grupo de residuo	Tratamiento
Varilla, RT - Perlin, Vigas, Angulares, Malla Electrosoldada, Láminas de zinc y otros aceros	Si se puede aprovechar más del 50 % se enviará al almacén. De lo contrario será enviado al almacén de materiales usados, al patio de chatarra del plantel o al Almacén de Recuperación de Materiales en Colima, dependiendo del estado final.
Estructuras de viga soldadas	Serán devueltas al patio de chatarra.
Cobre y alambre	Si se puede aprovechar más del 50 % se enviará al almacén. De lo contrario será enviado al almacén de materiales usados, al patio de chatarra del plantel o al Almacén de Recuperación de Materiales en Colima, dependiendo del estado final.
Madera, derivados o restos	Si se puede aprovechar más del 50 % se enviará al almacén. De lo contrario se podrá disponer finalmente en las escombreras.
Tubería PVC	Si se puede aprovechar más del 50 % se enviará al almacén. De lo contrario será enviado al almacén de materiales usados o si al final es considerado como desecho, se dispondrá en los rellenos sanitarios del sistema municipal.
Desechos ordinarios (<i>papel, cinta y grapas, cartón, galones de pintura vacíos con pintura seca, recipientes plásticos, sacos de cemento, plástico negro, restos de bolsas, desechos de comedor u otra basura común</i>)	Se procurará reciclar materiales como papel, cartón y plástico. El material considerado como desecho se dispondrá en los rellenos sanitarios del sistema municipal.
Estañones plásticos	Serán enviados al almacén de materiales sin cargo.
Estañones metálicos	Serán enviados al patio de chatarra.
Mangueras	Si se puede aprovechar más del 50 % se enviará al almacén. De lo contrario será enviado al almacén de materiales usados o si al final es considerado como

Grupo de residuo	Tratamiento
	desecho, se dispondrá en los rellenos sanitarios del sistema municipal.
Llantas	Si se puede aprovechar más del 50 % se enviará al almacén. De lo contrario será enviado al plantel para su envío al Almacén de Recuperación de Materiales en Colima.
Repuestos varios (<i>piñones, piezas metálicas, adaptadores de acero y otros repuestos metálicos</i>)	Si se puede aprovechar más del 50 % se enviará al almacén. De lo contrario será enviado al almacén de materiales sin cargo o al Almacén de Recuperación de Materiales en Colima, dependiendo del estado final.
Fibrolit, Postes de concreto o Blocks	Si se puede aprovechar más del 50 % se enviará al almacén. De lo contrario será enviado al almacén de materiales usados o si al final es considerado como desecho, podrá destruir y los restos ser usados en losas o rellenos pobres.
Empaques y otros materiales derivados del hule	Si se puede aprovechar más del 50 % se enviará al almacén. De lo contrario será enviado al almacén de materiales sin cargo o si al final es considerado como desecho, se dispondrá en los rellenos sanitarios del sistema municipal.
Mecate de cabuya , nylon	Si se puede aprovechar más del 50 % se enviará al almacén. De lo contrario será enviado al almacén de materiales sin cargo o si al final es considerado como desecho, se dispondrá en los rellenos sanitarios del sistema municipal.
Baterías	Se enviarán al plantel para su disposición según reglamentación institucional.
Biodegradables	Se crearán composteras para los desechos orgánicos del comedor.
Biológicos	Se contratará una empresa externa para la recolección de los desechos infectocontagiosos generados en el dispensario.

Fuente: Elaboración propia, Ing. Mauricio Morales. P.H. Reventazón.

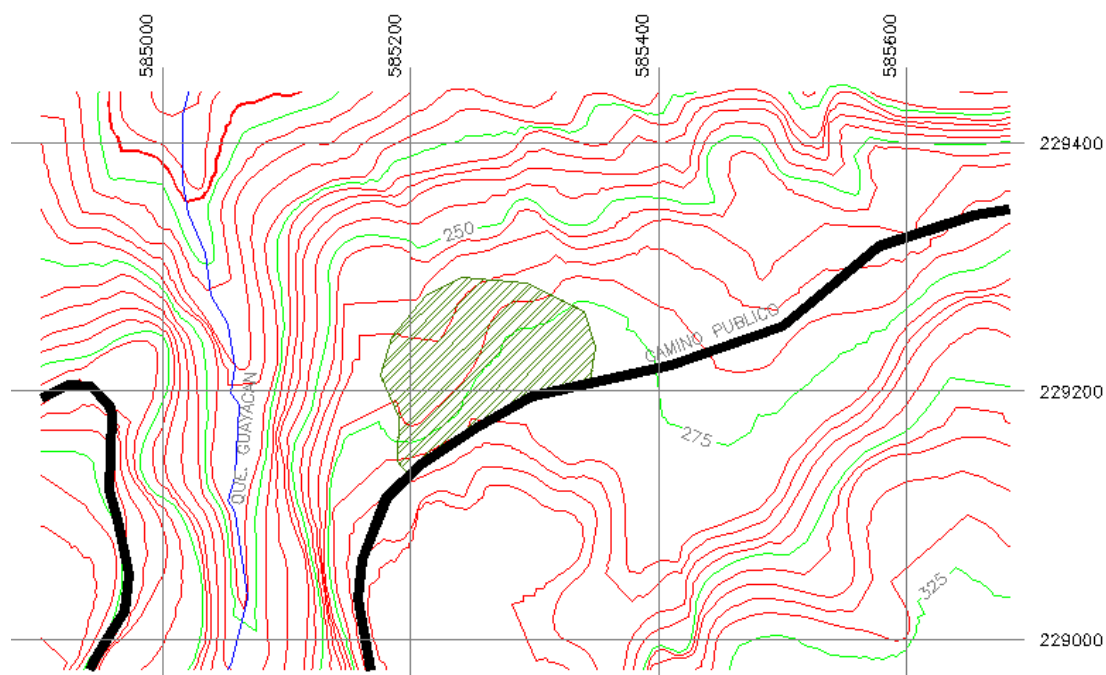
En relación al material de excavación se establecen 14 posibles sitios de escombrera.

Escombrera 1

Esta escombrera se ubica en las coordenadas Lambert Norte 229 200 N y 585 200 E, ubicada a 850 m del cruce con la carretera nacional a Turrialba, a la altura del poblado de El Coco. Tiene una capacidad de 150 000 m³ y se estiman depositar 88 000 m³ de material, proveniente de la excavación del camino a la casa de máquinas. La distancia de acarreo sería de 1207 m.

El relieve de este sitio es quebrado y se encuentra cubierto con pasto y algunos árboles aislados. El área a utilizar se estima en 1,1 ha.

Figura 5.80
Topografía de la escombrera N°1



Fuente: Departamento de Topografía, P.H Reventazón

En las fotografías 5.71 y 72 se muestra una vista del sitio.

Fotografías 5.71 y 5.72
Sitio escombrera 1



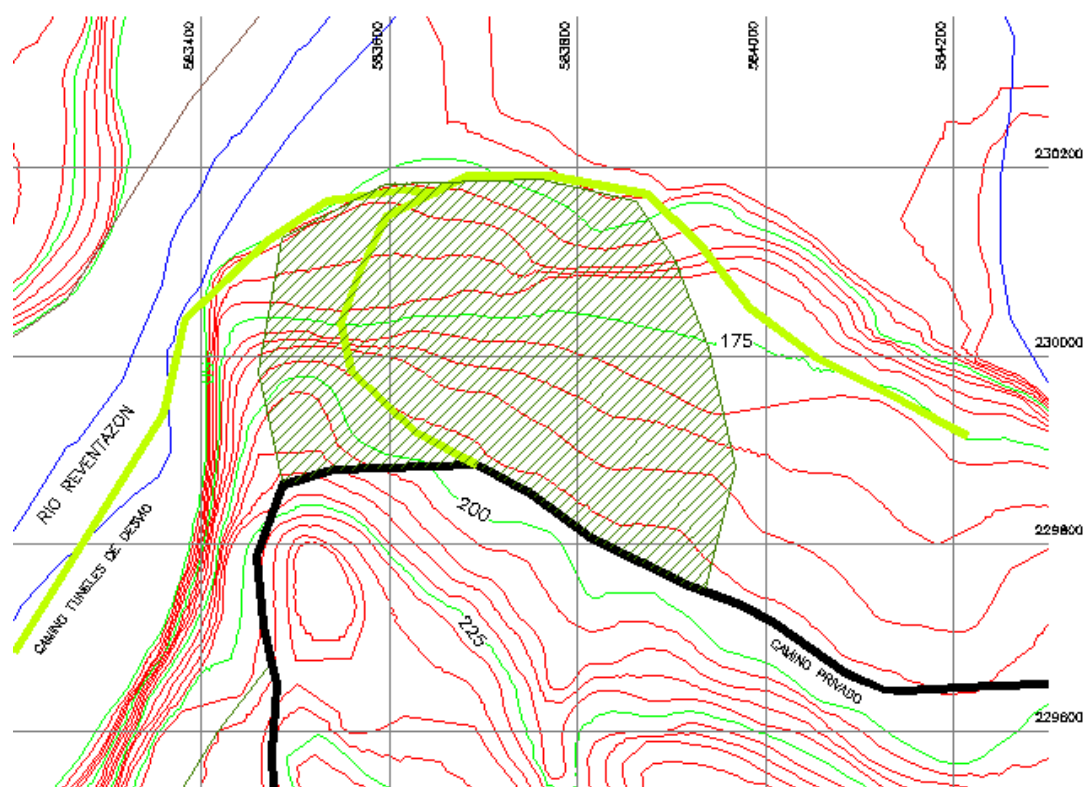
Fuente: Tomada por el Ing. Johnny Ríos, P.H. Reventazón.

Escombrera 2

Está ubicada en las coordenadas Lambert Norte 230 000 N y 583 800 E. Tiene una capacidad de 2 000 000 m³ y se estima colocar 1 647 131 m³ de material suelto proveniente de las excavaciones del portal y túnel principal (FT), túneles de desvío, tanque de oscilación, tubería de presión, subestación, casa de máquinas y los caminos para el tanque de oscilación, subestación y salidas de túneles de desvío. La distancia de acarreo máximo será de 4,6 Km. El relieve de este sitio es quebrado y se encuentra cubierto principalmente con regeneración natural y algunos parches con vegetación menor.

El área a utilizar se estima en 12,2 ha.

Figura 5.81
Topografía de la escombrera N°2



En las fotografías 5.73 y 74 se muestra una vista del sitio.

**Fotografías 5.73 y 5.74
Sitio escombrera 2**

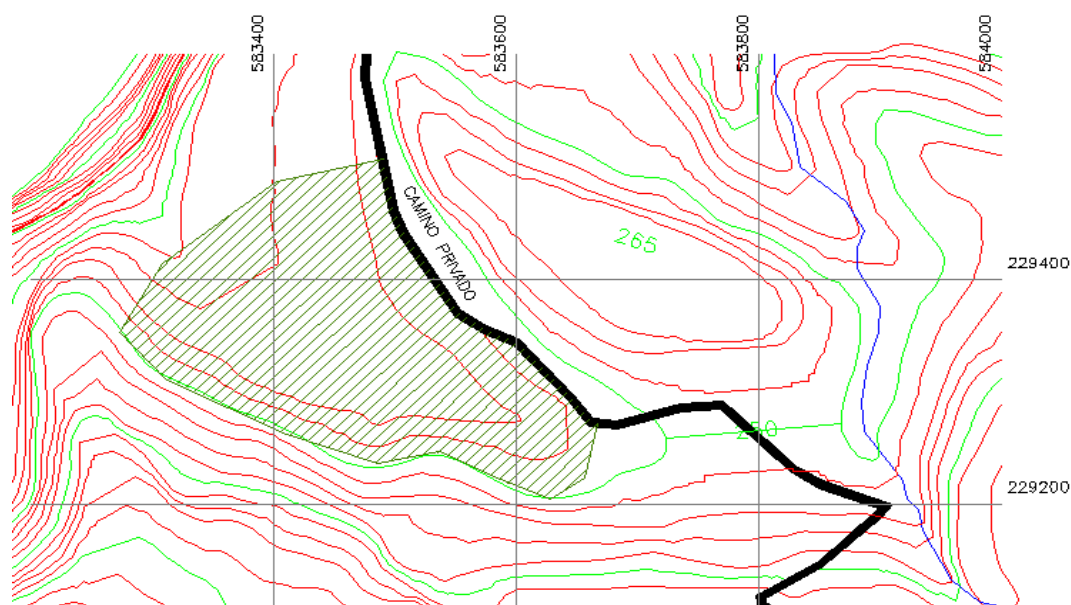
Fuente: Tomada por el Ing. Johnny Ríos, P.H. Reventazón.

Escombrera 3

Esta escombrera se ubica en las coordenadas Lambert Norte 229400 N y 583400 E. Permitirá el depósito de unos 1 000 000 m³ de material, proveniente de las excavaciones del tanque de oscilación, subestación y camino a la presa. . La distancia de acarreo sería de 5,4 Km.

El relieve de este sitio es plano y se encuentra cubierto principalmente por una antigua plantación de laurel, donde posteriormente se estableció regeneración natural. El área a utilizar se estima en 5,4 ha.

**Figura 5.82
Topografía de la escombrera N°3**



Fuente: Departamento de Topografía, P.H. Reventazón

En las fotografías 5.75 y 76 se muestra una vista del sitio.

**Fotografías 5.75 y 5.76
Sitio escombrera 3**



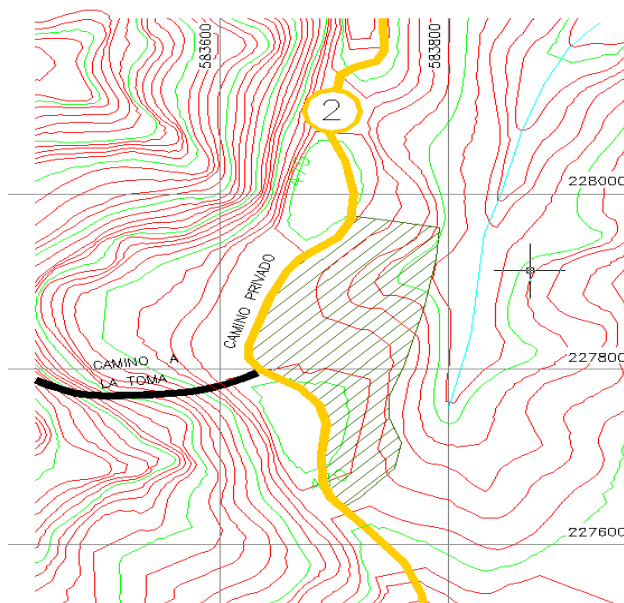
Fuente: Tomada por el Ing. Johnny Ríos, P.H. Reventazón.

Escombrera 4

Esta escombrera se ubica en las coordenadas Lambert Norte 227800 N y 583800 E. Permitirá el depósito de unos 3 400 000 m³ de material, proveniente de la excavación de la fundación de la presa. La distancia de acarreo sería de 2,2 Km.

El relieve de este sitio es quebrado y se encuentra cubierto principalmente por una plantación de laurel, donde posteriormente se estableció regeneración natural. El área a utilizar se estima en 3,4 ha.

**Figura 5.83
Topografía de la escombrera N°4**



Fuente: Departamento de Topografía, P.H. Reventazón

En las fotografías 5.77 y 78 se muestra una vista del sitio.

Fotografías 5.77 y 5.78
Sitio escombrera 4



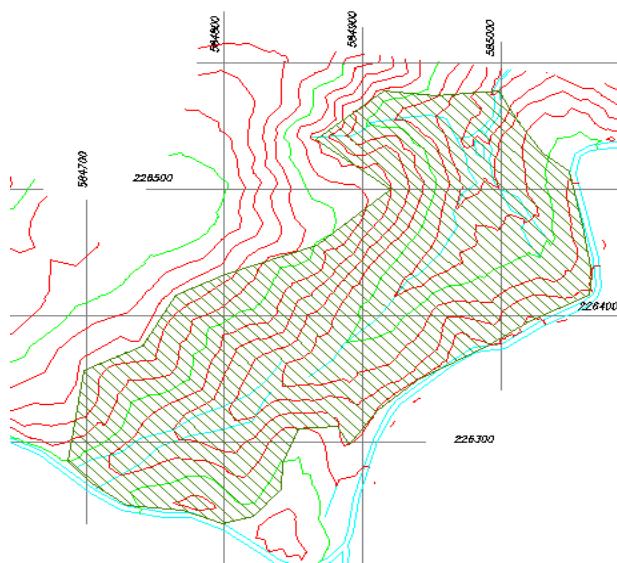
Fuente: Tomada por el Ing. Johnny Ríos, P.H. Reventazón.

Escombrera 5

Está ubicada a 550 m del cruce con la carretera nacional a Turrialba, a la altura del poblado Moravia en las coordenadas Lambert Norte 226400 N y 584900 E. Tiene una capacidad estimada de 1 000 000 m³ de material suelto proveniente de las excavaciones del camino de acceso y toma de los túneles de desvío, captación y presa.

El relieve de este sitio es quebrado y se encuentra cubierto principalmente por pastos con árboles aislados. El área a utilizar se estima en 7,3 ha.

Figura 5.84
Topografía de la escombrera N°5



Fuente: Departamento de Topografía, P.H. Reventazón

En las fotografías 5.79 y 80 se muestra una vista del sitio.

Fotografías 5.79 y 5.80
Sitio escombrera 5



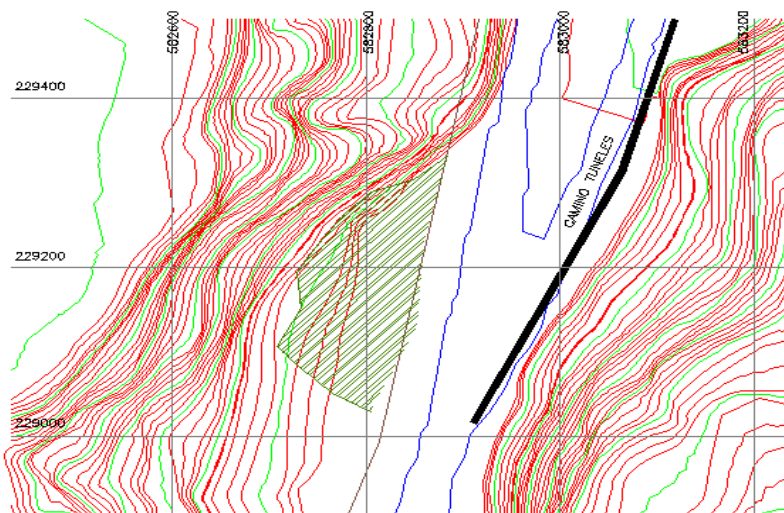
Fuente: Tomada por el Ing. Johnny Ríos, P.H. Reventazón.

Escombrera 6

Está ubicada en las coordenadas Lambert Norte 229 200 N y 582 800 E. Tiene una capacidad estimada de 1 000 000 m³ de material suelto proveniente de la presa. La distancia de acarreo sería de 500 m.

El relieve de este sitio es plano y se ubica cerca de la margen izquierda del río Reventazón. Se encuentra cubierto principalmente por pastos con árboles aislados. El área a utilizar se estima en 4 ha.

Figura 5.85
Topografía de la escombrera N°6



Fuente: Departamento de Topografía, P.H. Reventazón

En las fotografías 5.81 y 82 se muestra una vista del sitio.

**Fotografías 5.81 y 5.82
Sitio escombrera 6**



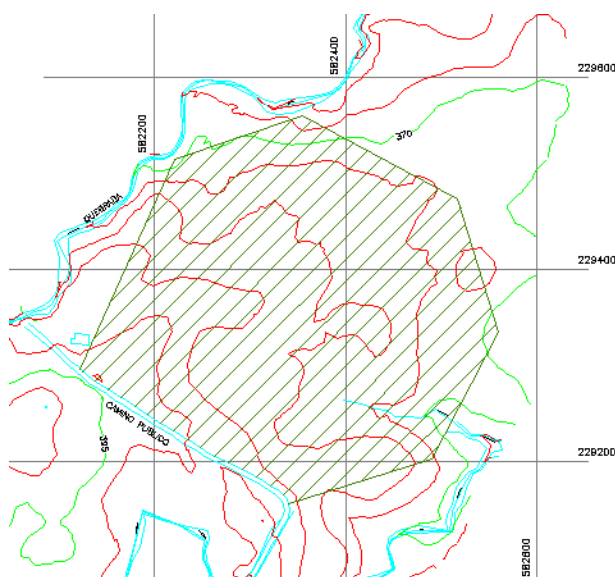
Fuente: Tomada por el Ing. Johnny Ríos, P.H. Reventazón.

Escombrera 7

Esta escombrera se ubica en las coordenadas Lambert Norte 229 400 N y 582 400 E, ubicada a 2,7 Km. del poblado La Florida. Permitirá el depósito de unos 2 600 000 m³ de material, proveniente de la excavación de la fundación del vertedor y presa margen izquierda. La distancia de acarreo sería de 6 Km.

El relieve de este sitio es plano y se encuentra cubierto principalmente por pastos. El área a utilizar se estima en 16 ha.

**Figura 5.86
Topografía de la escombrera N°7**



Fuente: Departamento de Topografía, P.H. Reventazón

En las fotografías 5.83 y 84 se muestra una vista del sitio.

**Fotografías 5.83 y 5.84
Sitio escombrera 7**



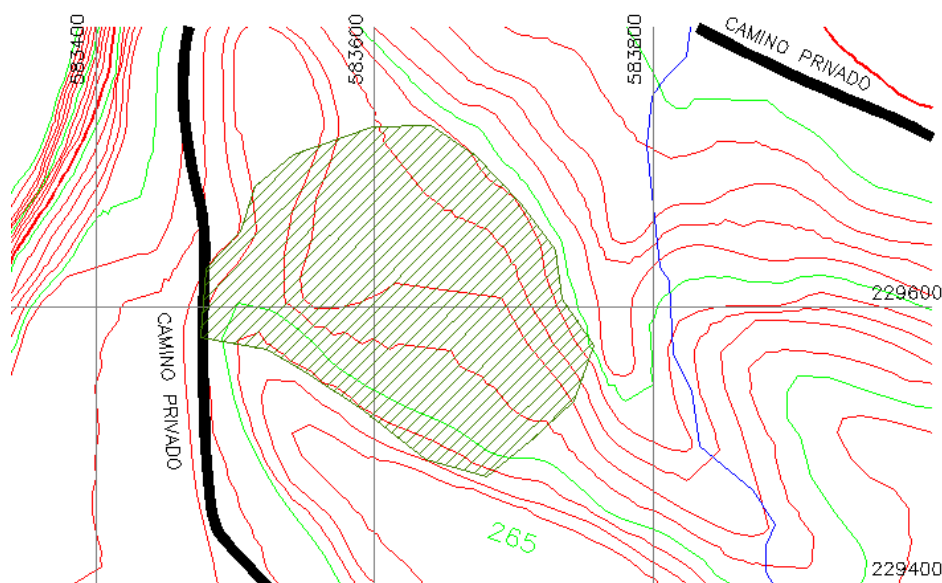
Fuente: Tomada por el Ing. Johnny Ríos, P.H. Reventazón.

Escombrera 8

Está ubicada en las coordenadas Lambert Norte 229 600 N y 583 600 E. Tiene una capacidad estimada de 700 000 m³ de material suelto proveniente de la excavación de la fundación de la presa. La distancia de acarreo máxima sería de 5,4 Km.

El relieve de este sitio es ondulado y se encuentra cubierto principalmente regeneración natural mezclada con laurel. El área a utilizar se estima en 4,6 ha.

**Figura 5.87
Topografía de la escombrera N°8**



Fuente: Departamento de Topografía, P.H. Reventazón

En las fotografías 5.85 y 86 se muestra una vista del sitio.

Fotografías 5.85 y 5.86
Sitios escombrera 8



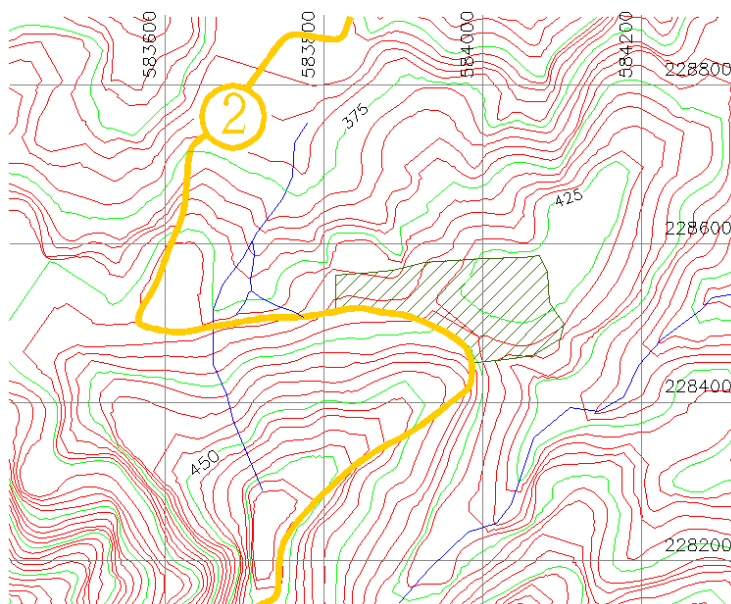
Fuente: Tomada por el Ing. Johnny Ríos, P.H. Reventazón.

Escombrera 9

Está ubicada en las coordenadas Lambert Norte 228 500 N y 584 000 E. Tiene una capacidad estimada de 360 000 m³ de material suelto proveniente de la excavación de la fundación de la presa. La distancia de acarreo sería de 1,2 Km.

El relieve de este sitio es ondulado y se encuentra cubierto principalmente por regeneración natural. El área a utilizar se estima en 2,4 ha. En este sitio también se tiene planeado colocar parte de las instalaciones provisionales de la presa, las cuales se ubicarán una vez conformada la escombrera.

Figura 5.88
Topografía de la escombrera N°9



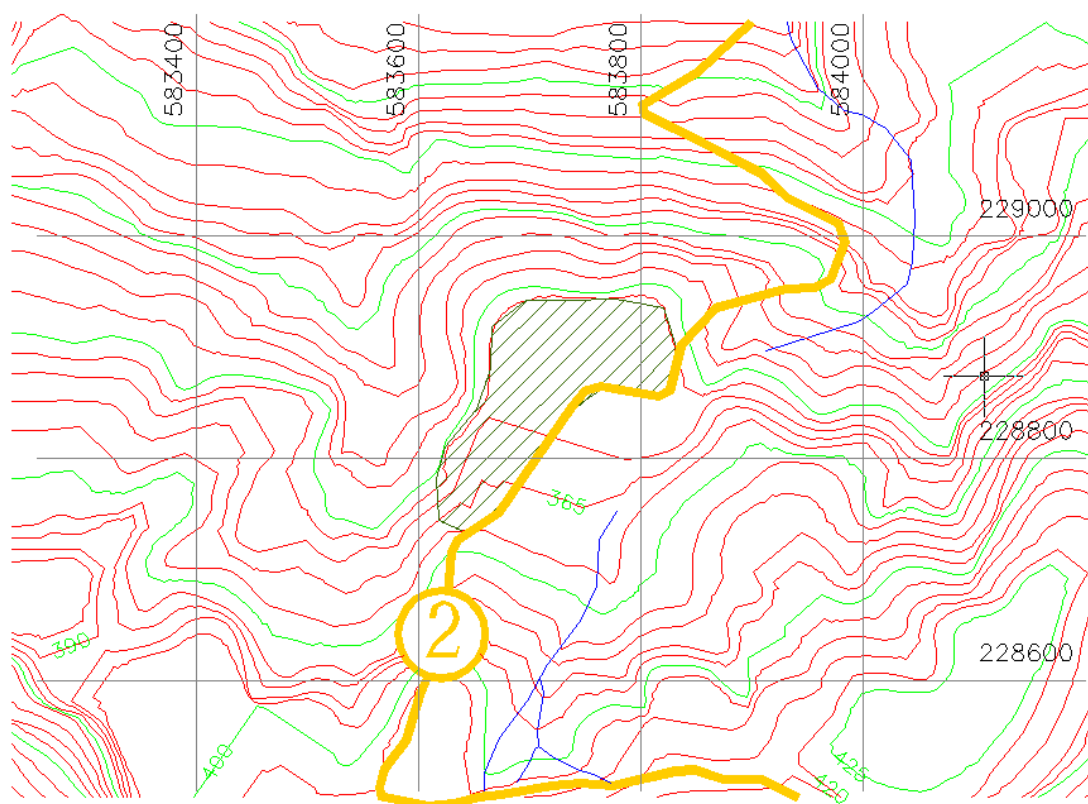
Fuente: Departamento de Topografía, P.H. Reventazón

Escombrera 10

Está ubicada en las coordenadas Lambert Norte 228 900 N y 583 700 E. Tiene una capacidad estimada de 345 000 m³ de material suelto proveniente de la excavación de la captación. La distancia máxima de acarreo sería de 4,2 Km.

El relieve de este sitio es plano y se encuentra cubierto principalmente por regeneración natural. El área a utilizar se estima en 2,3 ha.

Figura 5.89
Topografía de la escombrera N°10



Fuente: Departamento de Topografía, P.H. Reventazón

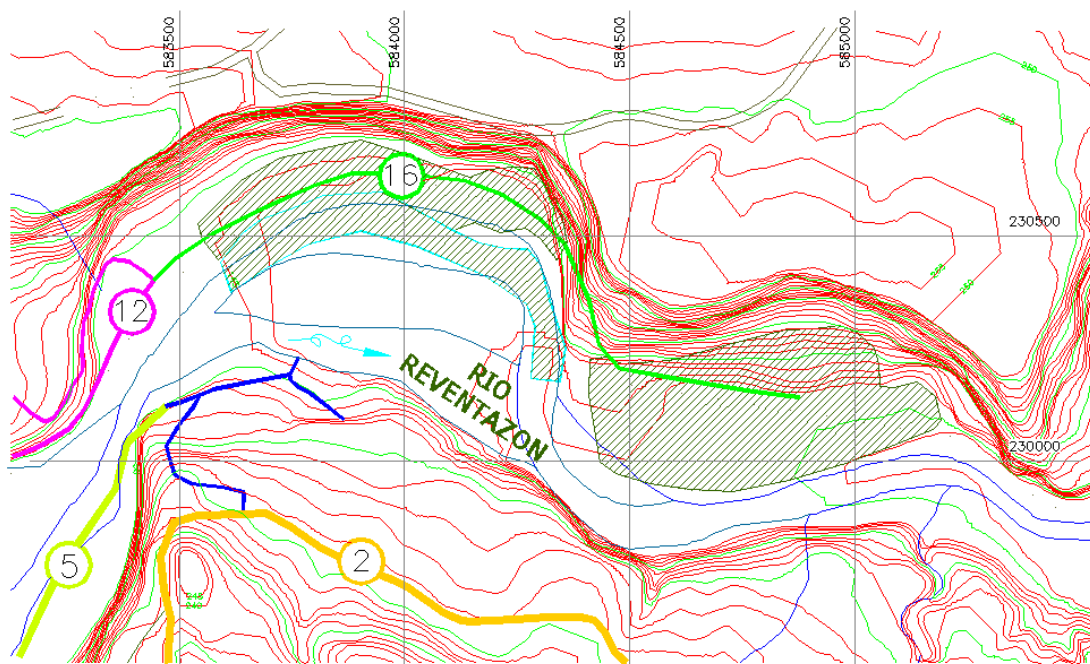
Escombrera 11

Está ubicada entre las coordenadas Lambert 230 000 y 230 500 N y 583 500 y 585 000 E. Tiene una capacidad de 4 500 000 m³ en la terraza del río y 1 150 000 m³ en el brazo del cauce y se estima utilizar la capacidad máxima del área de la terraza. El material vendrá de la excavación de la margen izquierda y central de la presa. La distancia máxima de acarreo sería de 1,8 Km.

El área propuesta en el brazo del río, será utilizada solamente en caso de que las otras escombreras ubicadas en margen izquierda lleguen a su capacidad máxima.

El relieve de este sitio es plano y se encuentra cubierto principalmente por repastos. También se aprovecharía el área de un brazo del río Reventazón ubicado cerca de la margen izquierda. El área a utilizar se estima en 30 ha para la terraza y de 7,6 para el brazo del río.

Figura 5.90
Topografía de la escombrera N°11



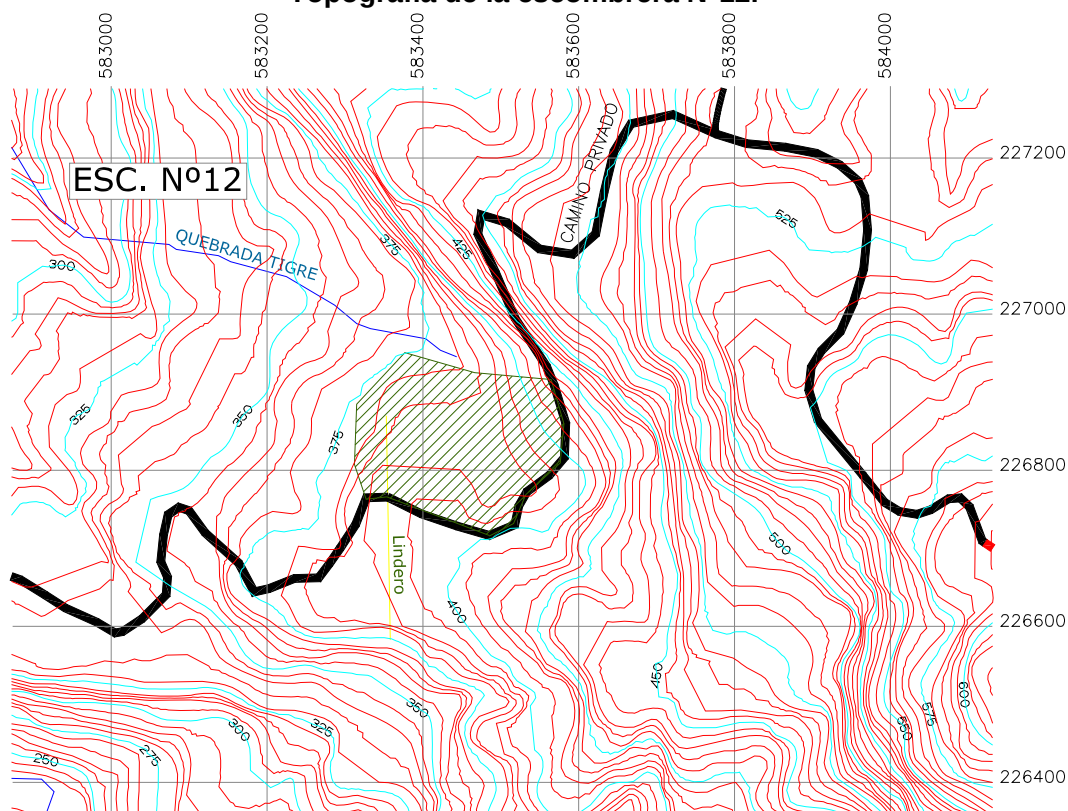
Fuente: Departamento de Topografía, P.H Reventazón

Escombrera 12

Está ubicada entre las coordenadas Lambert Norte 226 800 N y 583 400 E. Tiene una capacidad de 570 000 m³ de material y se estima aprovechar su capacidad máxima, proveniente de la excavación de la margen derecha de la presa y el vertedor. La distancia máxima de acarreo sería de 4,2 Km.

El relieve de este sitio es ondulado y se encuentra cubierto principalmente por repastos. El área a utilizar se estima en 4,5 ha.

Figura 5.91
Topografía de la escombrera N°12.



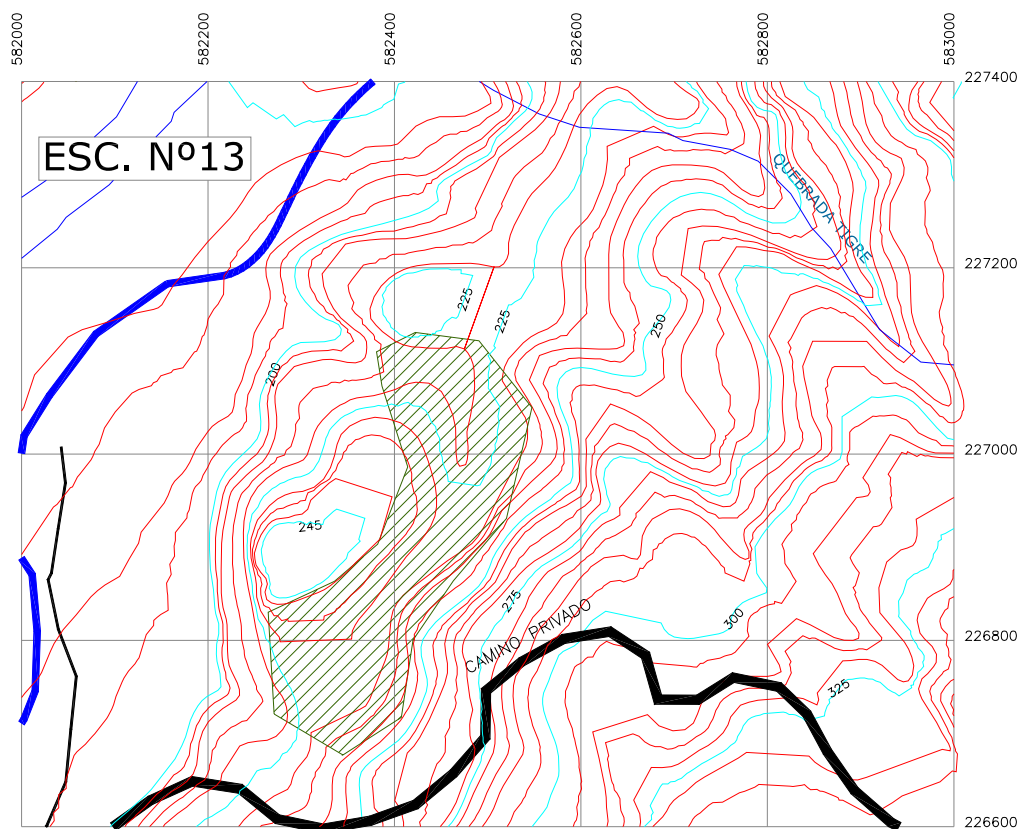
Fuente: Departamento de Topografía, P.H Reventazón

Escombrera 13

Está ubicada entre las coordenadas Lambert 227 000 N y 582 400 E. Tiene una capacidad de 725 000 m³ de material y se estima utilizar su capacidad máxima, proveniente de la excavación de la margen derecha de la presa y el vertedor. La distancia máxima de acarreo sería de 5,7 Km.

El relieve de este sitio es ondulado y se encuentra cubierto principalmente por repastos. El área a utilizar se estima en 5,8 ha.

Figura 5.92
Topografía de la escombrera N°13



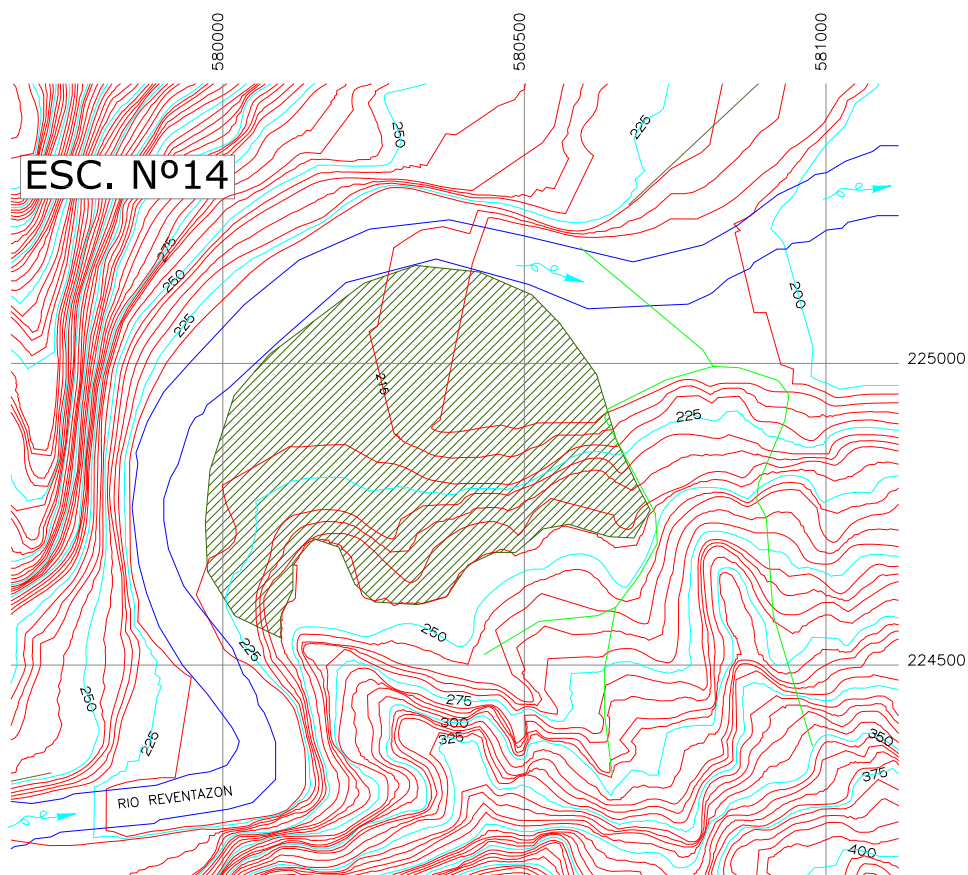
Fuente: Departamento de Topografía, P.H. Reventazón

Escombrera 14

Está ubicada entre las coordenadas Lambert 225 000 N y 580 250 E. Tiene una capacidad de 2 600 000 m³ de material y se estima depositar 905 000 m³ proveniente de la excavación de la margen derecha de la presa y el vertedor. La distancia máxima de acarreo sería de 7 Km.

El relieve es ondulado y se encuentra cubierto principalmente por repastos. El área a utilizar se estima en 20,7 ha. Este sitio se ubica en una terraza del río Reventazón, por lo que en primera instancia se utilizará como sitio de extracción de materiales y posteriormente se preparará el lugar para su uso como escombrera.

Figura 5.93
Topografía de la escombrera N°14



Fuente: Departamento de Topografía, P.H Reventazón

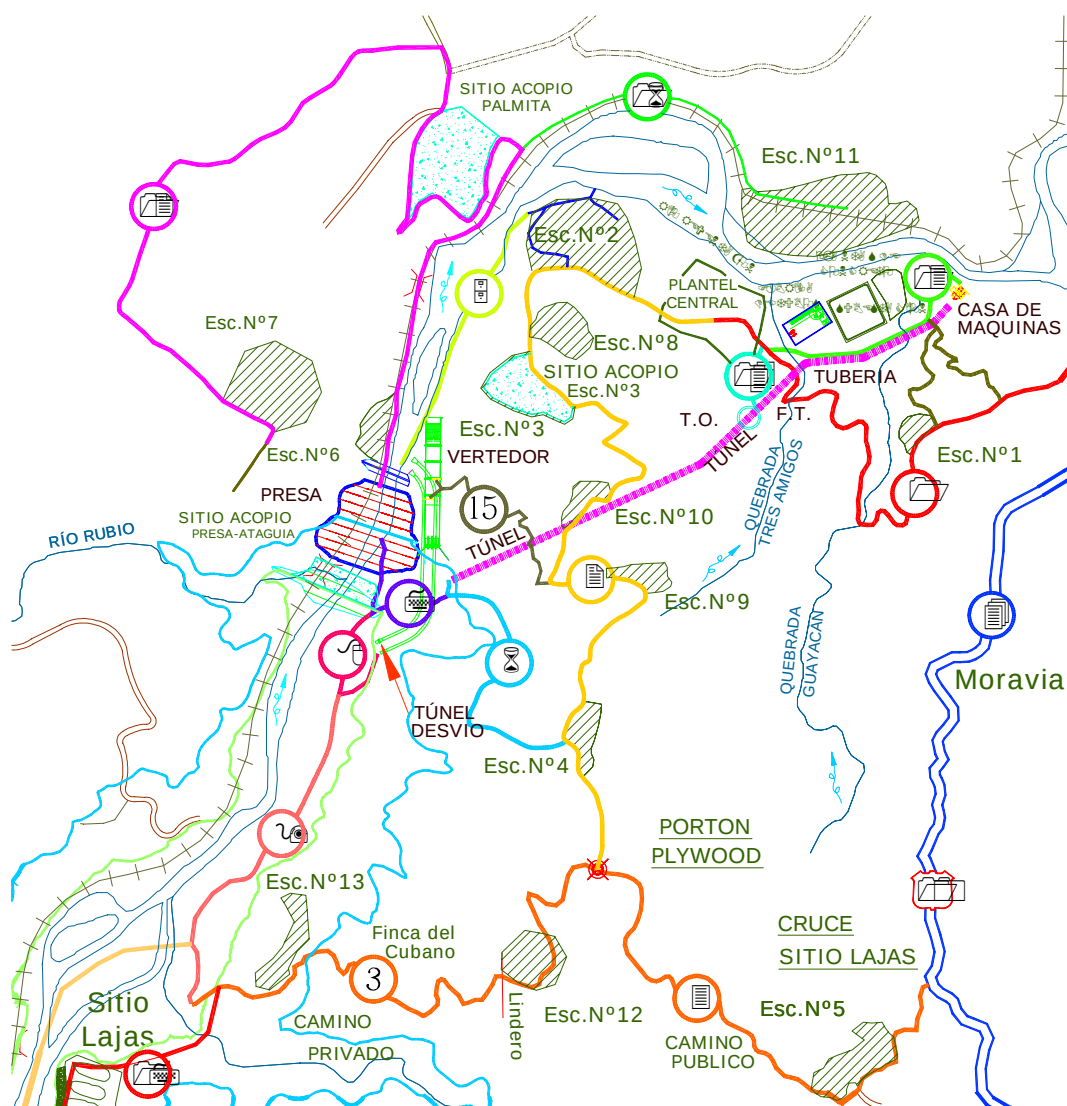
En el cuadro 5.31 se muestran los volúmenes totales a depositar por escombrera.

Cuadro 5.31
Volúmenes totales a depositar por escombrera

Escombrera	Área (ha)	Capacidad (m³)	Volumen depositado (m³)
N° 1	1,1	150 000	88 000
N° 2	12,2	2 000 000	1 647 131
N° 3	5,4	1 000 000	1 000 000
N° 4	3,4	510 000	510 000
N° 5	7,3	0	0
N° 6	4,0	600 000	400 000
N° 7	16,0	2 600 000	0
N° 8	4,6	700 000	700 000
N° 9	2,4	360 000	200 000
N° 10	2,3	345 000	50 000
N°11	37,6	5 650 000	4 500 000
N°12	4,5	570 000	570 000
N°13	5,8	725 0000	725 000
N°14	20,7	2 600 00	905 000
Total		20 810 000	11 295 131

Fuente: Departamento de Topografía, P.H Reventazón

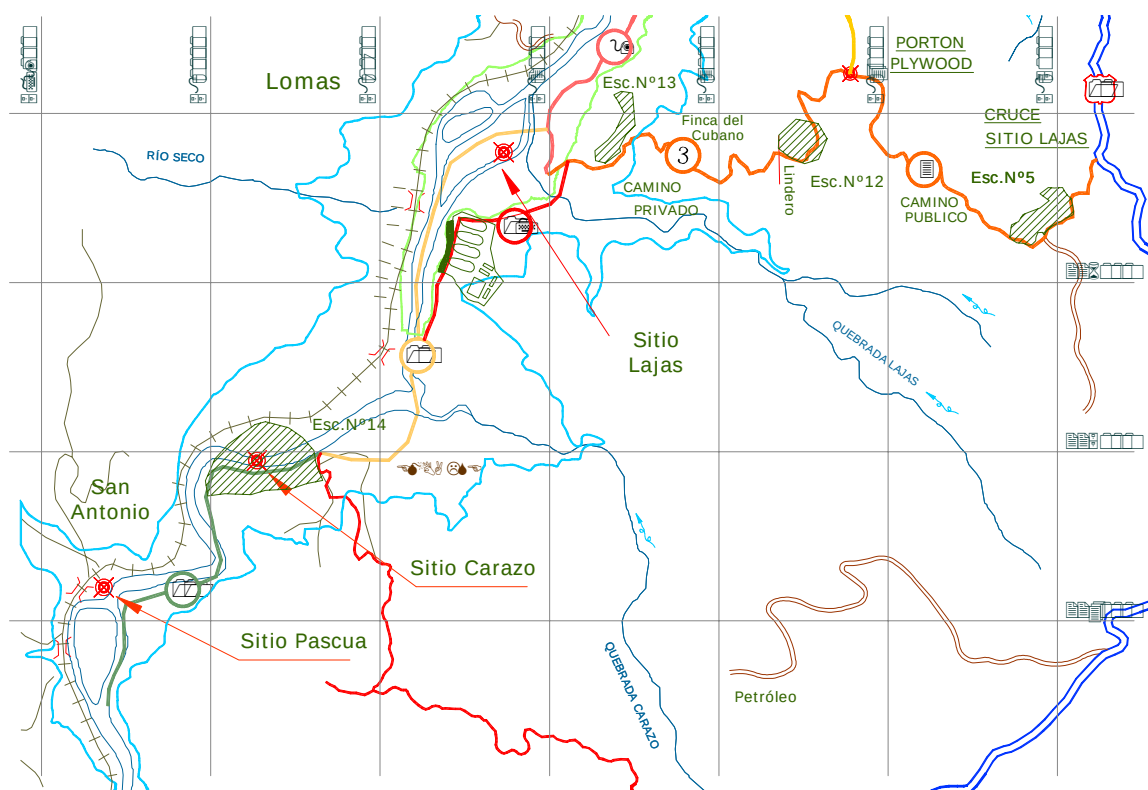
También en la figura 5.94, se muestra la ubicación de cada uno de los lugares

Figura 5.94

Fuente: Departamento de Topografía, P.H Reventazón

En la siguiente figura se muestra la ubicación de la escombrera N°14.

Figura 5.95
Ubicación de la escombrera 14



Fuente: Departamento de Topografía, P.H. Reventazón

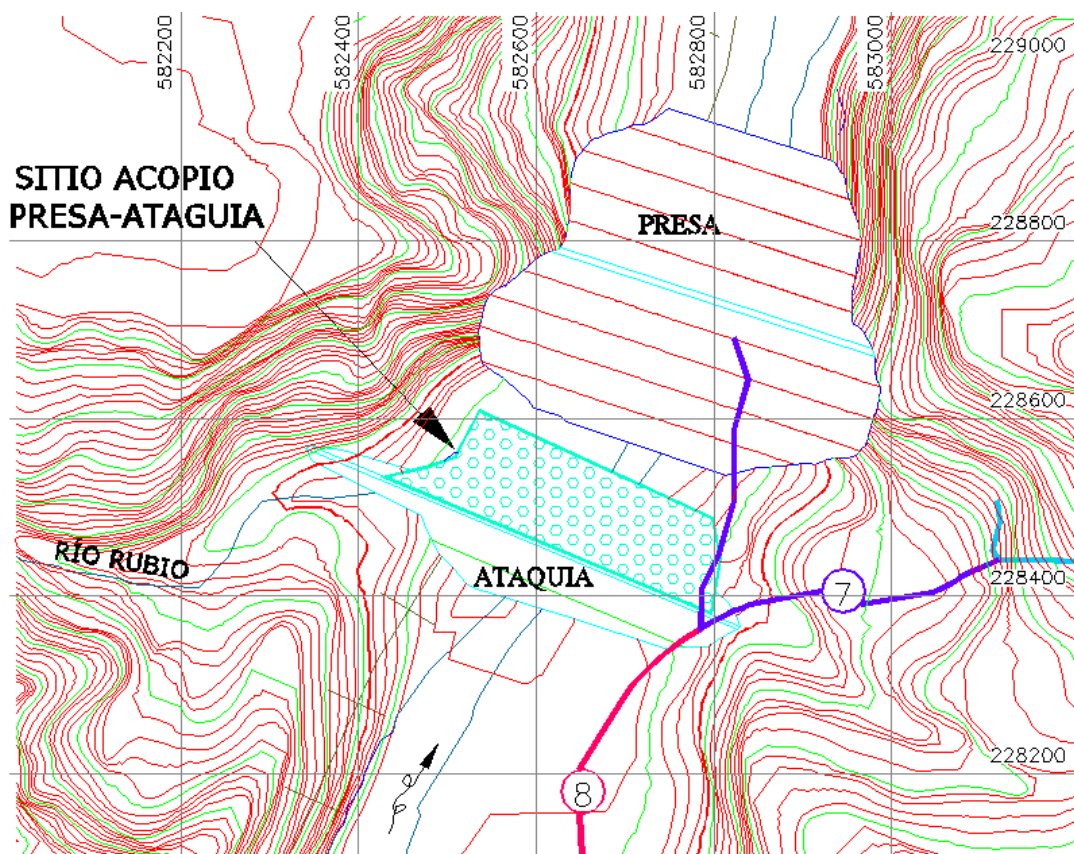
Para el material de excavación de la presa y vertedor, que cumpla con las especificaciones requeridas para ser utilizado en la conformación del enrocado de la presa, se habilitarán tres sitios temporales de acopio. De estas áreas, posteriormente se acarreará dicho material hasta la presa.

Sitio de acopio 1

Está ubicado en las coordenadas Lambert Norte 228500 N y 582600 E. Tiene una capacidad de 800 000 m³ de material clasificado proveniente de la excavación de la presa y vertedor.

Para este sitio se aprovechará el espacio entre la ataguía y la zona de excavación de la presa. El área a utilizar se estima en 3,4 ha.

Figura 5.96
Topografía del sitio de acopio N°1



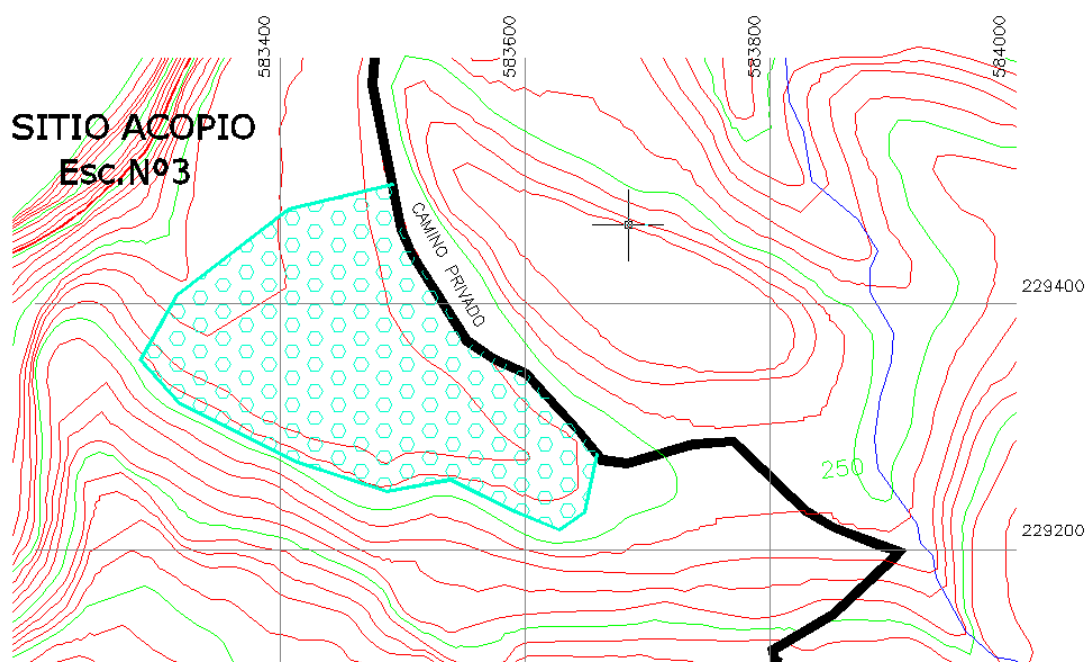
Fuente: Departamento de Topografía, P.H. Reventazón

Sitio de acopio 2

Este sitio se ubica en las coordenadas Lambert Norte 229 400 N y 583 400 E. Permitirá el depósito de unos 700 000 m³ de material clasificado proveniente de la excavación de la presa y vertedor. La distancia de acarreo sería de 5,4 Km.

La idea es colocar el material a reutilizar, sobre el área conformada de la escombrera N° 3, una vez que se concluya el depósito del material en este sitio. El área a utilizar se estima en 5,4 ha.

Figura 5.97
Topografía del sitio de acopio N°2



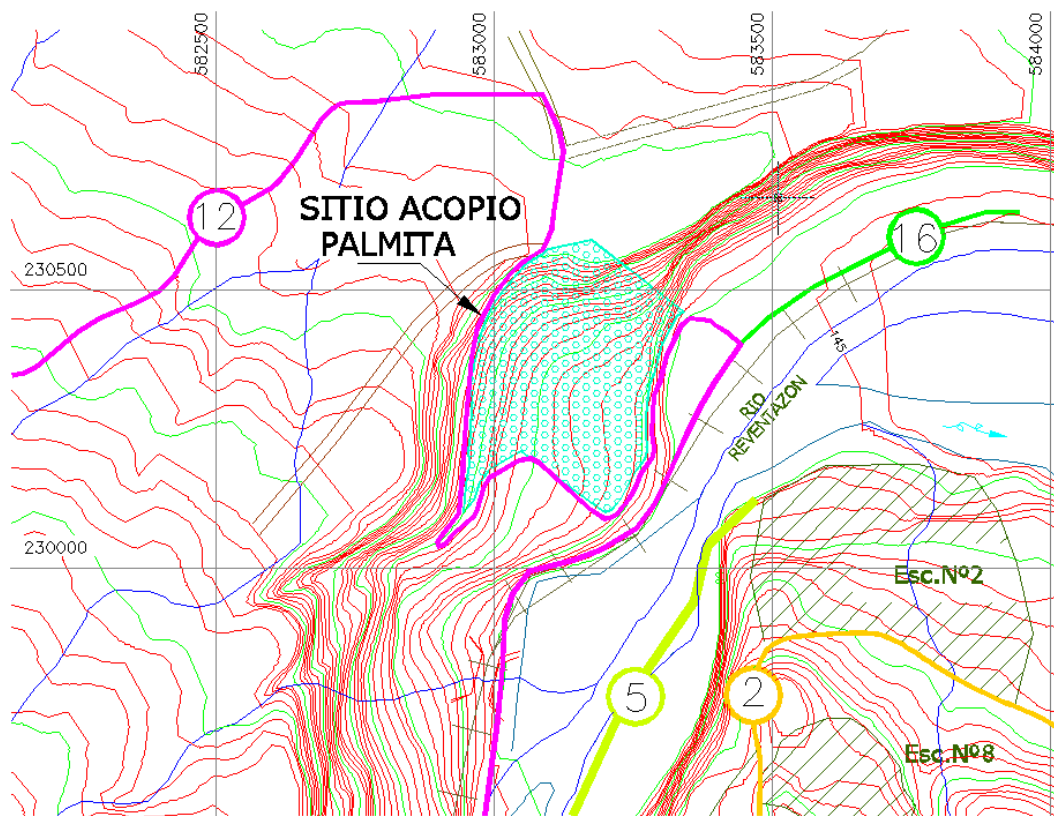
Fuente: Departamento de Topografía, P.H. Reventazón

Sitio de acopio 3

Está ubicado en las coordenadas Lambert Norte 230250 N y 583400 E. Tiene una capacidad estimada de 1 500 000 m³ de material clasificado proveniente de la excavación de la presa y vertedor. La distancia de acarreo sería de 1,5 Km.

El relieve de este sitio es ondulado y se encuentra cubierto principalmente por potreros arbolados y hay presencia de infraestructura como corrales. El área a utilizar se estima en 10 ha.

Figura 5.98
Topografía del sitio de acopio N°3



Fuente: Departamento de Topografía, P.H. Reventazón

En el cuadro 5.32 se muestran los volúmenes totales a depositar temporalmente en los sitios de acopio.

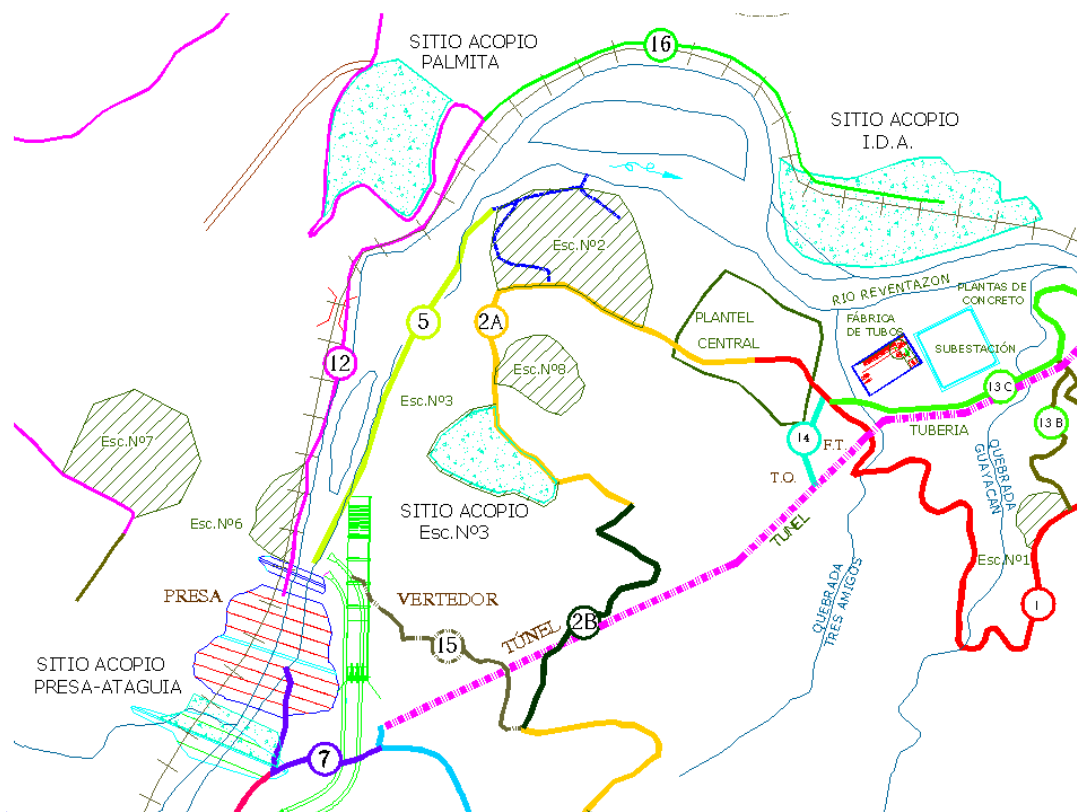
Cuadro 5.32
Volúmenes totales a depositar temporalmente en sitios de acopio

Escombrera	Área	Capacidad (m ³)	Volumen depositado (m ³)
N° 1	3,4 ha	800 000	800 000
N° 2	5,4 ha	700 000	700 000
N° 3	10 ha	1 500 000	1 500 000
Total	18,8 ha	3 000 000	3 000 000

Fuente: Departamento de Topografía, P.H. Reventazón

También en la figura 5.99, se muestra la ubicación de cada uno de los lugares.

Figura 5.99
Ubicación de los sitios de acopio



Fuente: Departamento de Topografía, P.H. Reventazón

Líquidos (incluyendo drenajes)

En general los desechos líquidos que se generarán recibirán el siguiente tratamiento:

Cuadro 5.33
Tipo de tratamiento para los desechos líquidos

Grupo de residuo	Tratamiento
Aceite usado	Se enviarán al plantel para su disposición según reglamentación institucional.
Aguas residuales	Para las obras se instalarán tanques sépticos o cabañas sanitarias. Para el área del plantel se instalará planta de tratamiento.
Aguas con sedimentos	Se excavarán y construirán sedimentadores para la retención de partículas en etapas de excavación.
Sobrantes de pintura	Se deberán usar en otras obras o actividades del proyecto.

Fuente: Elaboración propia, Ing. Mauricio Morales, P.H. Reventazón.

Gaseosos

Los gases producidos durante la realización de la obra, consistirán principalmente en el monóxido de carbono que emane la maquinaria, como vagonetas, tractores, cargadores, excavadoras, vehículos y otros. En cuanto a la cantidad, no se cuenta con un valor determinado, pero para su disminución, durante la ejecución se contrata maquinaria que sea de los últimos 10 años o en dado caso, se advierte al contratista sobre mejoras en su maquinaria para disminuir la afectación ambiental.

Reciclables y/o reusables

El tratamiento a seguir para este tipo de materiales se explica en el cuadro correspondiente al manejo de desechos sólidos.

5.7.4 Inventario y manejo de materias primas y sustancias peligrosas

En el siguiente cuadro se presenta la información correspondiente:

Cuadro 5.34
Características de las materias primas y sustancias peligrosas

Nombre	Grado de peligrosidad	Características	Métodos de almacenamiento
Explosivos	Alto	Explosivo	En polvorines alejados de construcciones habitadas en 1000 m para el polvorín central y a 350 m en los polvorines de las obras.
Solventes	Moderado	Tóxico e inflamable	Zona ventilada, lejos de calor y otras fuentes de ignición.
Aceites y combustible	Alto y moderado	Tóxico e inflamable	Zona ventilada, lejos de calor y otras fuentes de ignición. Se debe considerar trampas para su manejo
Pinturas	Moderado	Tóxico e inflamable	Zona ventilada, seca y lejos de calor y otras fuentes de ignición
Ácidos	Alto	Tóxico e inflamable	Zona ventilada, seca y lejos de calor y otras fuentes de ignición

Fuente: Elaboración propia, Ing. Mauricio Morales, P.H. Reventazón.

Fase de cierre constructiva

Descripción de las actividades propuestas para el cierre

En general para el cierre de todas las obras se establece un único procedimiento, el cual se detalla a continuación:

- *Recolección de materiales en patios de acopio y bodegas de obra:* este sobrante se enviará al plantel central para su reutilización en otras dependencias de la institución.
- *Desmantelamiento de instalaciones provisionales:* por tratarse de sistemas modulares, todas las instalaciones como oficinas, comedor, bodegas, puestos de vigilancia serán desmanteladas de manera ordenada, de forma tal que se pueda recuperar la mayor cantidad de paneles y materiales para ser utilizados en otros proyectos de la institución.
- *Recolección de tendido eléctrico, banco de transformadores y cable eléctrico:* estos materiales se trasladarán a los almacenes eléctricos del plantel central.
- *Recolección de desechos:* se realizará una clasificación para su disposición final, según se explicó en el capítulo de disposición de desechos.
- *Eliminación de losas de concreto:* una vez retiradas todas las instalaciones provisionales, se eliminarán las losas de concreto, para favorecer la recuperación ambiental de las áreas de obra. Los desechos de concreto serán enviados a alguna de las escombreras del proyecto.
- *Colocación de capa orgánica de suelo:* en los sitios donde sea requerido, se colocará una capa de suelo orgánico, previamente almacenado.
- *Reforestación:* Una vez realizada la actividad descrita anteriormente se sembrarán árboles de la zona, producidos en viveros del proyecto o adquiridos en viveros cercanos.

- **Cronograma de aplicación**

Depende directamente de la finalización de cada una de las obras. En cada programa de trabajo particular, se incluye una actividad de desmantelamiento de instalaciones.

- **Responsables**

Cada encargado de obra será el responsable de ejecutar esta fase de la construcción de las obras. Es usual que al final de esta etapa, se forma internamente una comisión de cierre de proyecto, la cual supervisa y garantiza que se cumplan las disposiciones institucionales establecidas.

Las fases explicadas en los párrafos anteriores, aplican para el caso de instalaciones provisionales, ya que cuando la planta entre en operación, se requiere de instalaciones permanentes para uso administrativo y de mantenimiento como talleres y bodegas. Además, estos módulos cuentan con calles internas, zona de parqueos y áreas verdes. También cuentan con sistemas de aguas pluviales con alcantarillado y tanques sépticos o plantas de tratamiento para el adecuado manejo de las aguas negras.

5.8 Fase de operación

5.8.1 Equipo y materiales a utilizar

Materiales a utilizar

Durante la fase de operación los materiales a utilizar son principalmente líquidos, donde se incluyen solventes, pinturas, aceites, ceras y desinfectantes. También se utilizan sólidos como madera, plástico, vidrio, papel, metales (hierro, acero, cobre, aluminio y zinc), cemento, arena y piedra en diversos diámetros.

Con respecto al equipo y maquinaria se puede listar lo siguiente: vehículos de transporte y de carga, botes, motores, compresores, aires acondicionados, equipo de cómputo, herramientas y equipo mecánico y eléctrico.

De los materiales a utilizar algunos son peligrosos para el ambiente, específicamente: baterías, detergentes, materiales ferrosos, agroquímicos, pinturas, solventes. Estos estarán ubicados en los almacenes respectivos y estos almacenes deben cumplir con las normativas ambientales vigentes como lo son el Decreto 33477-S-MP Desechos sólidos de interés público así como el Decreto 19049-S Reglamento de manejo de basuras, así como la Ley Orgánica del Medio Ambiente. Para el caso de los aceites de desecho, deberá construirse un centro de acopio temporal que incluya las características ambientales para su manejo (ver fotografía 5.87):

- Ser techado
- Tener separaciones en diferentes áreas de acopio de desechos
- Su tamaño dependerá del volumen de desechos
- Tener protecciones antiderrames para los desechos líquidos
- Todos el sistema de manejo de líquidos y aguas debe ir a una trampa de grasas y aceites

Fotografía 5.87
Centro de acopio para aceites de desecho



Fotografía 5.88
Centro de acopio para materiales de bajo riesgo



Para el manejo de otros materiales contaminantes de bajo riesgo, madera, vidrio, papel, metales, deberá construirse un centro de acopio temporal para luego ser trasladados a los centros de acopio permanentes de la Institución.

En el **Anexo 5.1** se incluye el Plan de Manejo de Desechos Sólidos RIOCAT.

Rutas de movilización de equipo

Las rutas de movilización del equipo deben ser internas y sus características son caminos lastrados y en algunos sectores de difícil acceso (pendiente) deben ser pavimentados. Estos caminos deben ser diseñados con drenajes y alcantarillas, para su mantenimiento en el tiempo. Respecto al número de vehículos de transporte son cuatro vehículos rurales 4x4, dos motocicletas, una microbús, un cuadríciclo, vehículos de carga de 2 a 4 toneladas, un chapulín con carreta y un tractor de llantas. El periodo de uso de estos vehículos es permanente.

5.8.2 Necesidad de recursos de agua en esta fase

La cantidad de agua a utilizar para consumo humano debe ser de 25 litros por persona, en el caso de contratar 50 empleados para la fase de operación de la Planta la cantidad aproximada sería de 1250 litros por día, para el sistema de enfriamiento de las unidades sería del mismo caudal que consumiría la planta, después del proceso de generación. El uso sería industrial.

Para el consumo humano se deben identificar las fuentes de agua en la zona y posteriormente su respectiva tramitación ante el Departamento de Aguas del MINAE. De no existir disponibilidad mediante acueducto, se deberá presentar el Estudio Hidrogeológico que demuestre la potencialidad del sitio para el abastecimiento del proyecto.

Energía eléctrica

El consumo eléctrico promedio por mes de una planta hidroeléctrica como la del proyecto Reventazón es de 290 000 kWh, la cual se utiliza para alimentar eléctricamente todos los equipos necesarios para la producción de la electricidad.

Alcantarillado (aguas servidas)

Respecto al manejo de aguas de acuerdo a la ley hay dos tipos (Reglamento de vertido y reutilización de aguas servidas N° 33601 MINAE-S): agua residual de tipo ordinario y agua residual de tipo especial. Las aguas llovidas que son de tipo ordinario se pueden manejar mediante un sistema de alcantarillado que se comunique finalmente con el canal de restitución o desfogue

Para las aguas jabonosas y domésticas se deben construir trampas industriales necesarias y con sus respectivos drenajes de tal manera que no contaminen los efluentes y mantos acuíferos

Para las aguas industriales (talleres) se deben construir trampas industriales con sus respectivos drenajes. Estas trampas se deben limpiar cada mes y los residuos de aceites se deben envasar en estañones o canicas especiales. Esto requiere la construcción de un centro de acopio temporal.

Se deberá construir una planta de tratamiento, tanto para las aguas jabonosas como para las domésticas e industriales, posterior a pasar por las trampas específicas y antes de que el efluente sea vertido al alcantarillado o a la fuente de agua final o sea reutilizada en los procesos industriales de la planta.

Mano de obra

La generación de empleo estimada para la etapa de operación oscila entre 50 y 60 personas, se estima que un 90 % del personal contratado deber ser de la zona donde se ubica la Planta, el otro 10 % corresponde a personal calificado de otras zonas geográficas de Costa Rica.

Otros

Otros servicios a utilizar serán el Sistema Médico Regional (SIMERE), servicio de transporte del personal que laboraría en la planta, servicio contratación chapeas mecanizadas y manuales para caminos de acceso, canales, picadas, colonias de operadores, siembra de árboles, siembra de maní forrajero, limpieza y mantenimiento de tuberías de presión, lavado de edificios y tanques de oscilación, construcción de mallas ciclónicas, construcción de caminos y edificios.

5.8.3 Disposición de desechos y residuos ordinarios, especiales, industriales, peligrosos.

Sólidos

Para el almacenamiento de desechos sólidos, debe asignarse un lugar dentro de las instalaciones de Casa de Máquinas y establecer un centro de acopio. Luego se deben clasificar los materiales y posteriormente enviarlos al Almacén Regional de Paraíso.

Antes de efectuar esta actividad se debe confeccionar un Programa Manejo Desechos Sólidos, donde se establezcan los lineamientos y políticas a seguir; se incluye el Programa Desechos sólidos solicitado por el Ministerio de Salud (Reglamento General para el Otorgamiento de Permisos Sanitarios de Funcionamiento # 33240- S del 30 de junio del 2006).

Líquidos

Para tratar las aguas negras se exige la construcción de tanques sépticos de acuerdo a la cantidad del personal que laborará en dicha planta, esto de acuerdo al manual o folleto Tanques Sépticos Conceptos Teóricos Base y Aplicaciones (autor Elías Rosales Escalante). Estos tanques deben limpiarse con cisternas y de acuerdo a su necesidad, el manejo y descargas de estos desechos recaen sobre quien ofrece el servicio. No se debe autorizar la descarga de estos desechos sobre cuerpos de agua.

Para obtener el permiso de funcionamiento sanitario para dicha Planta, debe tramitarse ante el Ministerio de Salud, de acuerdo a los requisitos solicitados en el Reglamento General para el Otorgamiento de permisos Sanitarios de Funcionamiento # 33240-S.

Gaseosos

Para este apartado, las emisiones generadas en esta planta aplican pues la generación eléctrica se producirá con caudal hídrico.

Reciclables y/o reutilizables

1- Madera, 2- Metales, 3- Vidrio, 4- Plástico, 5- Papel, y 6- Materia orgánica.

Sustancias peligrosas serían:

Agroquímicos, 2- Resinas, 3- Solventes, 4- Material corrosivo, etc.

El tratamiento o manejo de estas sustancias se describen en el Programa Manejo Desechos Sólidos RIOCAT.

CAPÍTULO 6

6. Legislación y normas técnicas y ambientales que regulan el proyecto o el espacio físico en el que se desarrollará

INTRODUCCION

En el presente subcapítulo se analizará la normativa ambiental aplicable al Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, que servirá de guía al Instituto Costarricense de Electricidad, para la toma de decisiones y consecuentemente la obtención de los permisos requeridos una vez obtenida la aprobación por parte de la Secretaría Técnica Nacional Ambiental.

El análisis comprende la legislación ambiental aplicable, tanto en la etapa de construcción como en la operación del Proyecto.

6.1 DISPOSICIONES CONSTITUCIONALES

Desde este punto de vista, la Constitución Política es la norma de mayor rango jurídico, que sirve de base para el desarrollo y la convivencia social y político, que permitirá al Estado mediante sus estructuras orgánicas e institucionales hacer efectivas las disposiciones contempladas en el ordenamiento jurídico (leyes o reglamentos).

En ese sentido el artículo 50 constitucional, resulta de vital importancia en la ejecución del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, puesto que en él confluyen una serie de factores y componentes de nuestra sociedad, en donde el Estado procurará el mayor bienestar de sus habitantes, organizando y estimulando la producción procurando el más adecuado reparto de la riqueza. Durante más de cincuenta años el Instituto Costarricense de Electricidad como ente descentralizado del Estado ha contribuido con lo aquí dispuesto al lograr que un 98% de la población tenga acceso a un servicio público como lo es la electricidad, servicio cuya demanda se incrementa conforme aumenta la población y el desarrollo, lo que implica una necesidad de fortalecer el sistema eléctrico existente y llegar a cubrir aquellas áreas que aún no cuentan con dicho servicio, en aras de satisfacer las necesidades actuales y futuras del país en esa materia.

Lo anterior será posible en el tanto y en el cuanto se actúe con total respeto al principio constitucional del que gozan los habitantes del país como lo es el derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, el que en caso de sufrir daño alguno implica para quien lo cause la obligación de repararlo, de allí la necesidad de cumplir con las disposiciones que el ordenamiento jurídico defina en defensa del ambiente, toda vez que el desarrollo sostenible implica una utilización adecuada, integral y armónica de todos sus elementos y su relación con aspectos: económicos, políticos, culturales, sociales y tecnológicos.

En el caso específico del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón por su magnitud, implicará provocar impactos sobre el entorno físico, biótico y social, hecho que a su vez podría causar detrimento de la condiciones de vida de las poblaciones dependientes de los recursos afectados. Es claro entonces que los trabajos que realice el ICE vinculados con la obra, tienen el potencia de afectar ese derecho ciudadano a disfrutar de un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, no obstante ello, será a través de la medidas ambientales vertidas en el PGA presentado, que se evidencian las acciones que la

Institución adoptará para evitar, atenuar, o compensar los impactos que podrían afectar el derecho plasmado en la Constitución.

Ahora bien, como parte de las acciones a realizar, resulta necesario tener claro además de lo dispuesto en el artículo anterior, lo dispuesto en el artículo 45 también constitucional relacionado a la tutela de la propiedad privada, esta norma viene a tutelar un derecho cuya afectación podría producirse únicamente cuando se trate de un interés público legalmente comprobado como resultaría ser la construcción del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón. En ese sentido, la afectación de ese derecho implica para la Institución que sus actuaciones se realicen de conformidad con el ordenamiento jurídico, debiendo indemnizar al propietario del inmueble y tomar en cuenta que de encontrar oposición por parte del propietario, la ley le faculta para que actúe conforme con lo que al efecto establece la Ley de Expropiaciones, No 7495 y la Ley de Adquisiciones, Expropiaciones y Servidumbres del Instituto Costarricense de Electricidad, No. 6313.

Lo anterior significa para el ICE un atento respeto tanto a las disposiciones constitucionales, principios constitucionales y normas sean éstas de carácter legal o reglamentario, por el principio de legalidad constitucional.

6.2 TRATADOS INTERNACIONALES

- **Convenio 7416: (ley 7416): Convenio sobre la Diversidad Biológica**

Las actividades constructivas a desarrollar por el Proyecto, son susceptibles de ocasionar alteraciones sobre la diversidad biológica, lo que significa que de conformidad con el artículo 6 del citado convenio el ICE desplegará las medidas necesarias a efectos de conservar y utilizar de forma sostenible de las área afectadas respetando por ende los instrumentos jurídicos nacionales vigente sobre biodiversidad.

Es en cumplimiento de lo anterior y de conformidad con lo que establece el artículo 14 del presente Convenio y como lo exige la Ley Orgánica del Ambiente, que el PGA, contendrá las medidas necesarias a fin de reducir al máximo los posibles efectos que sobre el ambiente genere la construcción del Proyecto Reventazón.

- **Convenio 7513: Convenio Centroamericano Regional sobre Cambio Climático**

Su aplicación resulta vinculante para construcción del Proyecto Reventazón desde el punto de vista técnico, en el sentido del efecto o aportes que generará la maquinaria y equipos con motor de combustión interna que lleguen a usarse en forma prioritaria en la fase constructiva, y en menor proporción en la fase operativa, puesto que los gases generados favorecen el calentamiento global (inmisión de contaminantes atmosféricos). Adicionalmente, deberá observarse para tal efecto lo dispuesto en la Ley Orgánica del Ambiente, el Reglamento sobre inmisión de Contaminantes Atmosféricos 30221, entre otros.

6.3 AMBIENTE

- **Ley Orgánica del Ambiente No 7574**

Siendo la ley marco en materia ambiental para nuestro país, constituye la norma de más amplio alcance e influencia en el control del desempeño ambiental del Proyecto en cualquiera de sus fases susceptibles de generar impactos ambientales sean estos positivos o negativos (factibilidad, construcción y operación).

El cuerpo normativo en mención exige al desarrollador en este caso al ICE, someterse al Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental bajo la responsabilidad tutelar de la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA); por cuanto los impactos ambientales que ocasione la obra, deben ser valorados por este ente rector a efecto de que determine si la propuesta presentada para su análisis, es compatible o incompatible con el estatus ambiental (biótico, físico y social a ser impactados) y si requiere ajustes (bajo la forma de medidas de control ambiental de evitación, atenuación o compensación) que permitan a esta alternativa alcanzar un adecuado desempeño ambiental y por ende obtener la viabilidad-licencia ambiental para proceder de conformidad con lo planeado por el desarrollador.

De igual forma la presente ley establece que la obra cuente con un Responsable Ambiental, quien dará seguimiento a las medidas de control ambiental comprometidas por el ICE en el Plan de Gestión Ambiental, así como la necesidad de informar periódicamente a la SETENA sobre el estado de cumplimiento de los compromisos ambientales, incluyendo aquellos casos de agresión contra el ambiente que estén asociados a la fase del proyecto regentada.

Adicionalmente este cuerpo normativo toma en cuenta aspectos técnicos dentro de los cuales se encuentran: a) la obligación de llevar una bitácora ambiental de la obra; b) la obligatoriedad de hacer efectivo un depósito de garantía ambiental (que en función del monto global de la inversión, permita al Estado hacerle frente a las medidas preventivas y correctivas que el ICE pudiese haber omitido y que haya degenerado en un daño ambiental que deba ser resarcido y c) la obligación de suscribir una Declaración Jurada de Compromisos Ambientales, mediante la cual el proponente se compromete a cumplir las medidas ambientales inscritas en el PGA aprobado por La SETENA.

• **Ley General de la Salud N° 5395.**

La presente ley incluye la regulación de distintos tópicos que afectan el ambiente y en consecuencia la salud humana, en ese sentido según las actividades a realizar por el Proyecto deberá tomar en cuenta lo que al respecto dicte el instrumento en materias como habitación, operación de infraestructura destinada al manejo de combustibles, lubricantes y otros químicos utilizados en los distintos procesos de construcción estén estos a cargo del ICE o por eventuales contratistas.

Adicional a lo anterior, el ICE debe tener presente las normas generales definidas en la presente ley dirigida regular el manejo de desechos (orgánicos e inorgánicos, contaminantes o inocuos), contaminación del aire (por emisiones atmosféricas provocadas por maquinaria y equipo que emplea motores de combustión interna; así como la generación de ruido por estos componentes), en materia de suelos (durante labores de excavación, remoción superficial, relleno, compactación, etc.) y de aguas (vertido de aguas de uso doméstico de campamentos o aporte de sedimentos arrastrados por la lluvia o que por efecto de la gravedad alcanzan diversos tipos de cauces hídricos), así como la protección de la salud de las personas (en este caso los trabajadores y vecinos de los frentes de obra o de instalaciones de trabajo), debiendo implementar las medidas de control que procedan para cumplir con los alcances de esta norma en esos campos, así como su vínculo con las distintas actividades susceptibles de generar desechos o impactar los elementos ambientales: aire, agua, suelos y ser humano.

De igual forma, se obliga de conformidad con el artículo 305 de la presente ley, a que los campamentos de trabajo en los que albergará a sus trabajadores estarán provistos de los elementos de saneamiento básico para protegerla salud y bienestar de sus trabajadores y evitar la constitución de focos de infección o contaminación del ambiente.

La existencia de otras normas jurídicas particulares para la protección de elementos como: suelos, aire y agua hace que la ley general de la salud se convierta en el punto de convergencia de las mismas, bajo un enfoque de protección de la salud de los habitantes de la nación. Esta relación es también conocida por el ICE e implica el que las actividades constructivas, operativas y de mantenimiento de esta obra de generación se ejecuten de tal manera que se asegure el disfrute de las comunidades vinculadas a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado.

- **Ley de Conservación de la Vida Silvestre N° 7317 y Reglamento a la Ley de Conservación de (a Vida Silvestre N° 26435 — MINAE.**

Como disposición general en el artículo 132 , establece la prohibición de arrojar aguas servidas, aguas negras, desechos o cualquier sustancia contaminantes en manantiales, ríos, quebradas, arroyos permanentes o no permanentes, lagos, marismas y embalses naturales o artificiales, esteros, turberas, pantanos, aguas dulces, y salobres o saladas, debiendo impedirse además, que los desechos sólidos o aguas contaminadas destruyan la vida silvestre, aspecto que deberá tomarse en cuenta por el ICE en la ejecución de sus obras. En ese sentido, y en atención del principio precautorio, habrá que implementar medidas con el propósito de prevenir infracciones.

- **Ley Forestal y sus Reformas N° 7575.**

Su relación con este proyecto radica en la necesidad de que las obras a construirse requerirán de tala de árboles, misma que se realizara en forma planificada y en total cumplimiento con los trámites de permisos que exige la ley ante la Administración Forestal del Estado.

Estas actividades serán fiscalizadas por un profesional en ciencias forestales (Regente Forestal), quien ejecutará los inventarios forestales, llevará a cabo los trámites ordinarios ante el MINAE y presentará periódicamente al Colegio de Ingenieros Agrónomos, mediante informes regenciales, el estado de ejecución de las labores de tala.

La presente ley establece una excepción para la corta de árboles en bosque cuando se trate proyectos de infraestructura estatales o privados, dentro de los cuales se encontraría el Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, en razón de la conveniencia nacional de que reviste el mismo, según el artículo 19 inciso b), en cuyo caso la corta del bosque sería limitada, proporcional y razonable para los fines que requiera la obra.

- **Ley de Biodiversidad N° 7788.**

El objetivo de la presente ley es conservar la biodiversidad y el uso sostenible de los recursos, así como distribuir en forma justa los beneficios y costos derivados. En relación con el Proyecto, ante la magnitud de sus obras, mismas que tendrán efectos sobre la flora y fauna en algunas áreas de forma directa y en otras de forma indirecta, deberá mantenerse durante el proceso constructivo del Proyecto una vigilancia permanente a través de la Regencia Ambiental, velando por el cumplimiento de las medidas de control ambiental plasmadas en el PGA, donde se fomente el respeto por todas las formas de vida, como bien lo apunta la presente ley.

Los criterios de aplicación de la ley de biodiversidad (el criterio preventivo, el criterio precautorio o *in dubio pro natura*, el criterio de interés público ambiental, criterio de integración), han de ser necesariamente tomados en cuenta para la elaboración del PGA, además de los artículos de conservación de especies *in situ*, y conservación de especies *ex situ*, en lo que respecta a las medidas en las áreas forestales y biológicas.

- **Reglamento a la Ley Forestal N° 25721 — MINAE.**

En el presente reglamento se delega en la Administración Forestal del Estado la concesión de permisos de uso del patrimonio natural y forestal del Estado únicamente en aquellos proyectos que no requieran aprovechamiento forestal y que no afecten los ecosistemas, la vida silvestre, los suelos, los humedales y los sistemas acuíferos, excepto las actividades expresamente permitidas por la Ley 6084 de Parques Nacionales y la Ley 7317 de La Vida Silvestre. Excepciones adicionales se permitirán únicamente en el interés público y sujeto a un estudio de impacto ambiental y al cumplimiento de sus recomendaciones.

Por otra parte establece las responsabilidades y las funciones de los regentes forestales, dentro de las cuales se encuentra el velar por el cumplimiento de los planes de manejo. En ese sentido las recomendaciones y observaciones del regente durante la ejecución del plan resultarán de carácter obligatorio para el ICE.

En cuanto a controles, el reglamento establece que las oficinas sub-regionales de las Áreas de Conservación, como parte de la Administración Forestal del Estado, tendrán bajo su responsabilidad el auditoraje del plan de manejo. Para ello podrán ingresar al inmueble donde se ejecuta las veces que considere conveniente.

- **Reglamento General sobre Procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA). Decreto Ejecutivo No 31849-MINAE-S-MOPT-MAG-MEIC.**

Este instrumento es de alcance general para todo proyecto de desarrollo susceptible de generar impactos ambientales sobre el entorno, por lo que constituye el marco metodológico técnico y de procedimientos reglamentarios, de referencia obligatoria, que el Proyecto Hidroeléctrico Reventazón ha empleado, o empleará a fin de garantizar a las partes interesadas (desarrollista, Estado, comunidad costarricense y comunidad internacional -por los alcances de los distintos convenios vigentes en materia de gestión enfocada a la protección del ambiente-) que en el Proyecto implementará y operará, dentro de un marco de respeto a la normativa ambiental y social de distinta índole, que está relacionada con esta obra.

- **Formato Informes Regenciales, Proceso Auditoría y Seguimiento Ambiental, Res. N° 1254- 2003-SETENA.**

Este instrumento normativo establece los aspectos de forma y de fondo (contenido), que deberán aplicarse durante el proceso de seguimiento ambiental que evalúa el estado de cumplimiento de las medidas de control adoptadas en el PGA de este proyecto. Este contempla además la consideración de las disposiciones técnicas y jurídicas de normas nacionales aplicables a la temática ambiental que conformen el marco legal de este proyecto y que por ende son complementarias al PGA resultan de acatamiento obligatorio y también están sujetas por parte del Responsable Ambiental, al proceso de verificación de su cumplimiento por parte del desarrollista de la obra (o sus contratistas y los subcontratistas de éstos últimos).

Básicamente se regulan con esa resolución, las actividades correspondientes a: Presentación de Informes de Regencia Ambiental (IRA), Inspecciones de SETENA y Procesos de Auditoría Ambiental.

- **Políticas Ambientales del Instituto Costarricense de Electricidad; y Lineamientos Ambientales del Sector Energía del ICE.**

Resume la política ambiental que la institución promulgó mediante Acuerdo del Consejo Directivo, artículo 2, sesión No. 5388 del 19 de marzo de 2002, las cuales fueron modificadas mediante el artículo 1, sesión No. 5486 del 11 de febrero de 2003; así como los Lineamientos Ambientales particulares del Sector Eléctrico institucional, promulgados mediante nota de la Subgerencia de Sector a los directores de UEN, No. 9110.55795.2002 del 1° de noviembre de 2002.

En ellos la institución se compromete a llevar a cabo las actividades que la ley de su creación le encomendó en materia de desarrollo de los servicios eléctricos y telefónicos; asumiendo una filosofía y procesos de trabajo que aseguren el menor impacto ambiental sobre el entorno en el que se: analizan, ejecutan y operan sus proyectos.

Este impacto considera no solamente factores ecológicos y sus interrelaciones, conformados por los componentes bióticos, físicos y químicos potencial o evidentemente afectados por sus proyectos, sino también los elementos e interrelaciones de índole socio-económico que igualmente puedan ser potencial o evidentemente afectados por la implementación, operación y mantenimiento de las obras.

Dado que el ICE desarrolla sus proyectos de telecomunicaciones y de generación, transmisión y distribución eléctrica, en un amplio ámbito de condiciones ambientales, existe en consecuencia múltiples probabilidades de ocasionar impactos ambientales sobre una variada gama de elementos del entorno; razón por la cual, todas sus actividades deben ser alineadas por un solo eje central de acción en materia de resguardo, protección y uso racional de los recursos naturales y sociales presentes en el área de influencia de sus proyectos; lo que se pretende a través de la promulgación, divulgación, concientización e implementación operativa de su política ambiental.

Esta política ambiental a su vez se divide en ocho principios elementales, que corresponden a los sub-ejes de acción que toda actividad y funcionario de la Institución deberá velar porque se apliquen en sus labores diarias, de modo que las obras de

desarrollo se sigan ejecutando, sin que su implementación u operación resulte contraproducente al disfrute que tienen los ciudadanos de la nación, a que el Estado les garantice un ambiente sano y ecológicamente equilibrado. Bajo esta misma línea de pensamiento y acción, se establecen lineamientos ambientales particulares para los proyectos desarrollados exclusivamente dentro del Sector Eléctrico del ICE (Proyectos de Generación, Transmisión y Distribución eléctrica), que establecen las bases generales de los aspectos técnicos y/o lógicos que deberán aplicarse a esos proyectos, a fin de garantizar que el componente ambiental será adecuadamente considerado en toda toma de decisiones que implique afectaciones potenciales o comprobadas (positivas y negativas) sobre el entorno de los proyectos eléctricos.

Siendo el ICE un ente directamente vinculado al marco de acción del Estado, resulta ser uno de los primeros llamados en garantizar que las propias iniciativas de desarrollo promovidas por aquel a través de ésta institución, no violenten la obligación constitucional que tiene el Estado de superponer el deber de resguardo de esas condiciones de sanidad y equilibrio ecológico, sobre cualquier interés de otra índole que afecte la calidad de vida de sus gobernados.

Atendiendo a lo anterior, las distintas fases del ciclo de vida del Proyecto (v.g. prefactibilidad, factibilidad, ejecución, operación-mantenimiento), deberán apegarse al cumplimiento, en todo momento y sin mediar excepción, de la Política y Principios Ambientales que la institución asumió, así como los lineamientos Ambientales propios del Sector Eléctrico y que constituyen en su conjunto integrador, su compromiso público de garantizar que obras como ésta, además de satisfacer las necesidades de desarrollo del país, lo harán con eficiencia ambiental y apego al marco legal vigente, bajo una filosofía y proceso de mejoramiento continuo de la gestión, encaminada al logro del desarrollo sostenible.

• **FETER, Proyecto Hidroeléctrico Reventazón Res. N° 1204 - 2008 SETENA.**

Este instrumento establece los apartados técnicos y jurídicos mínimos que debieron ser considerados durante la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, los cuales fueron definidos a partir de los resultados de la Evaluación Ambiental Preliminar que hiciera la SETENA sobre esta alternativa de Proyecto, contra los cuales la SETENA hará una valoración del Impacto Ambiental Global del Proyecto, a fin de determinar:

- a) Si la alternativa ambiental presentada a estudio, tal y como se presentó, puede obtener la viabilidad ambiental.
- b) Si se requiere ahondar en detalles técnicos y jurídicos que permitan a SETENA determinar si aún con enmiendas al EslA original, el proyecto logra alcanzar la viabilidad-licencia ambiental.
- c) Rechazar de lleno el proyecto, porque el mismo genera más impactos socio-ambientales negativos, que positivos (resultado de la Evaluación Global del Impacto Ambiental), aún con la aplicación de medidas ambientales de control, que eviten, atenúen y/o compensen los impactos más significativos (el impacto ambiental residual no puede ser absorbido por el entorno, por lo que se genera un daño ambiental significativo, que no se puede permitir)

- **Convenio Constitutivo de la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo, Ley No. 7226.**

Este convenio internacional firmado conjuntamente por Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua, está vinculado al proyecto de una forma indirecta, con el que se busca que los países signatarios establezcan mecanismos de cooperación a nivel regional que contribuyan a la utilización racional de los recursos naturales, el control de la contaminación y el restablecimiento del equilibrio ecológico, todo ello contemplado dentro del marco de Desarrollo Sostenible.

Para estos efectos, cualquier proyecto de desarrollo a implementar por los países signatarios, será susceptible de adoptar medidas tendientes a garantizar el cumplimiento de los objetivos que dicho convenio persigue en materia de: uso juicioso de los recursos naturales, prevención y reducción de la contaminación y restauración ambiental.

Como consecuencia el proyecto de marras, incluirá una serie de medidas ambientales que, a escala de aplicación local, contribuirán a no contravenir los compromisos que Costa Rica adquirió al suscribir éste convenio. Así mismo, el Convenio CCAD contempla la regionalización de la necesidad de adopción de Procesos de Evaluación de Impacto Ambiental más uniformes, basados en instrumentos normalizados y que sean aplicables en todos los países firmantes; es que el presente EsIA responde en su contenido y alcance, a los puntos que en materia de evaluación de impacto ambiental se ha considerado como mínimo que deben cumplir los proyectos de desarrollo de este tipo, condición que ha sido adoptada a nivel de todos los países firmantes del convenio.

6.4 CONSTRUCCIONES

- **Ley de Construcciones. N° 833.**

Debe indicarse que la aplicación de esta Ley para el proyecto en cuestión contiene artículos que por la naturaleza de las obras de construcción que se desarrollan, tiene suficientes alcances para aplicarse. En principio esta Ley alberga o rige para todo edificio o estructura que se pretenda construir, así como a obras de movimientos de tierra y demoliciones.

Por otra parte, contiene regulaciones concernientes a la necesidad de que las construcciones que se realicen deben de acatar todas las disposiciones referentes al respeto de las vías públicas y los alineamientos establecidos, a sí mismo establece la prohibición que existe de acumular desechos provenientes de diferentes fuentes o procesos en sitios públicos o privados no autorizados para este fin; y la obligación de respetar los lineamientos que emite el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos con respecto a materiales de construcción y la figura de un profesional responsable a cargo de las obras de construcción, así como la responsabilidad de reparar todo daño que durante los procesos constructivos se causen sobre infraestructura privada y de uso público.

La norma exime a los entes públicos a tramitar los permisos de obras de construcción ante las Municipalidades, en el entendido que cada institución designará un profesional en el diseño e inspección de las obras. No obstante, en el caso del ICE como institución

descentralizada, coordinará y comunicará las obras que vaya ejecutar a las Municipales según lo establece el artículo 6 del Código Municipal.

- **Ley Orgánica del INVU. N° 1788.**

Su aplicación para efectos directamente vinculados al proyecto es prácticamente nula debido a que ella rige los planes de desarrollo urbanístico del país, a través de los diferentes entes ligados a esta actividad. No obstante, existe un vínculo indirecto, por cuanto la normativa de dicho desarrollo urbano tendría aplicación en los casos donde el ICE como medidas de compensación por los daños que causare con el desarrollo del proyecto, deba construir viviendas, salones comunales, Iglesias, o cualquier otra estructura destinada al servido, vivienda o sitios de reunión de terceras personas, debiendo consultar a ese Instituto según establece el artículo 4 inciso e) de la ley.

- **Ley de Planificación Urbana. N° 4240.**

Al igual que la norma anterior, está orientada a los planes y reglamentos del desarrollo urbano, los cuales se encuentran fuera de la línea de acción del presente Proyecto, al no contar el área de influencia del Proyecto con un plan regulador.

- **Ley General de Caminos Públicos. N° 5060.**

Su aplicación resulta de vital importancia en el Proyecto puesto que contempla aspectos que deben tenerse claros al momento de formular, planificar y desarrollar un Proyecto como el presente. Este cuerpo normativo permite identificar los distintos tipos de redes viales identificadas, las normas aplicables y organismos facultados para su administración según tipo. A su vez faculta tanto a entes privados como descentralizados para que ejecuten labores de reparación de las vías existentes e incluso la construcción de nuevas vías, en el tanto el desarrollador cuente con la autorización emanada del rector como lo es Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT).

En MOP tendrá la facultad de valorar y aprobar o rechazar solicitudes presentadas por instituciones descentralizadas dirigidas a hacer uso de servidumbres de vías públicas o variar los alineamientos de ley.

Adicional a los temas anteriores, la presente ley regula el tránsito de equipos especiales que por su naturaleza o su peso, pongan en peligro el estado o calidad de las vías, obligando a los interesados a transportar dichos equipos en dispositivos aprobados. Así mismo, incluye regulación dirigida cierres parciales y totales de vías de acceso, lo cual es comúnmente requerido en las actividades propias de construcción, por lo que se debe recurrir a las entidades correspondientes cada vez que se requiera una acción de este tipo.

- **Ley para el Establecimiento de un Código Antisísmico en Obras Civiles. N° 6119.**

Cualquier construcción a realizar en el territorio nacional debe regirse por normas mínimas que aseguren un buen desempeño de las estructuras en el momento que sean solicitadas por factores naturales. Es por esta razón que el ente rector (en este caso el Estado y en su momento el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos) debe aplicar una normativa para poder llevar a cabo dichos procesos y controles que aseguren una buena calidad en la construcción.

Para el caso específico del Proyecto, desde el momento del diseño hasta su construcción ha de tenerse claro el cumplimiento de las normas mínimas establecidas, responsabilidad del personal del ICE que se encargara de revisar y controlar su calidad y nivel de cumplimiento de las exigencias formadas, entre ellas, lo que tiene que ver con el diseño antisísmico de las estructuras.

- **Código Sísmico para el Análisis, Diseño y Construcción de Estructuras Sismorresistentes.**

Cualquier obra civil a realizarse en Costa Rica debe ir acorde con la normativa del Código Sísmico, el cual da las pautas a seguir desde el diseño de la estructura hasta su finalización. Durante la construcción del Proyecto, presenta una serie de peculiaridades en los tipos y clases de suelos presentes, además cada tipo de suelo presenta características diferentes que varían de un lugar a otro.

Es aquí donde el Código Sísmico dicta las pautas a seguir en el diseño con una serie procedimientos previamente establecidos para diseñar las estructuras según el lugar en que se encuentren para que resistan un evento sísmico. Además el Código establece las especificaciones mínimas requeridas durante el proceso constructivo de las obras civiles.

- **Ley de Catastro Nacional. N° 6545.**

El uso que se realice del Catastro Nacional, será para identificar a los propietarios legales de los inmuebles afectados por la construcción del Proyecto, además de inscribir los planos ante el Registro Nacional de la Propiedad, cuando proceda catastrar propiedades o servidumbres a favor del ICE.

Debido a su carácter de órgano definido para el resguardo del interés público, con fines jurídicos y económicos (Art.2), el ICE solicita planos y estudios para revisar la concordancia entre poseedor y dueño registral haciendo uso del servicio del Catastro Nacional (Art. 32). Los documentos tales como: mapas, planos, o cualquier otro documento que funcione para tales fines, es solicitado al Catastro Nacional (Art. 3). Las fichas registrales son uno de estos documentos, en los cuales se encuentra información literal de cada finca (Art. 9). La certificación registral permite certificar que el inmueble está inscrito a nombre de alguna persona física o jurídica (Art. 10). Esta ley obliga al Registro Nacional de la Propiedad a establecer una concordancia entre Registro Publico y Catastro, esta concordancia (Art 18) establece que los planos o documentos que el ICE (o cualquier persona jurídica o física) tramite, se vean reflejados en las bases de datos; estableciendo las diferentes servidumbres o compras de terrenos a favor de la institución.

- **Reglamento a la Ley de Catastro. N° 13607.**

Su rango de acción esta dirigido a los documentos que tramita el Catastro Nacional como: certificaciones, constancias, planos catastrados y planos a catastrar al igual que su almacenamiento y control. Este reglamento regula lo concerniente a los formatos de planos y su ejecución, al igual que los tiempos de entrega de los documentos del Registro a los usuarios, aspecto a considerar por el desarrollador en la planificación y ejecución de sus obras.

El contenido de la información de los planos a catastrar debe ser coincidente con la información que el Catastro suministra, previa revisión de los antecedentes de la finca (Art 11). En lo referente a los estudios previos, se deben solicitar estudios de registro o certificaciones donde se especificará para qué se solicitan (Art. 14). Estas certificaciones en algunos casos son para el personal encargado de la ejecución de los Avalúos o las Regencias Forestales. Su validez es de un mes (Art 19). Los costos de estos documentos dependen del tipo de documento, sea plano o certificación catastral (Art. 20).

Los alcances del establecimiento de este reglamento van dirigidos a establecer una cartografía y un banco de datos confiable (Art.22) donde cada predio sea delimitado por los poseedores o colindantes (Art..26), de tal forma que el plano catastrado garantice al Propietario y al Estado la forma inequívoca de la parcela o predio (Art42), lo cual se utiliza para calcular los Avalúos generados por los daños o adquisiciones.

Todos los planos que se inscriben a favor de la institución están ajustados a la Ley de Planificación Urbana, excepto aquellos en los que el INVU otorgue el visado respectivo. En el caso de este Proyecto y del ICE, debemos acogernos a esta excepción de aplicación para el caso de las servidumbres que suelen quedar enclavadas en fincas donde no siempre se tiene salida a calles públicas, requerimiento básico para catastrar cualquier propiedad (Art.43).

Los responsables de ejecutar las labores de Catastro son los colegiados del Colegio de Ingenieros Topógrafos de Costa Rica y deben cumplir con las normas y deberes que esto conlleva (Art. 48). El topógrafo es responsable de la información que contenga el plano que se legalice (Art. 49). Los estudios previos a la ejecución del Plano Catastrado deben realizarse con base en los datos del Catastro Nacional para revisar la fidelidad de la información que se le insertará a los documentos (Art. 50). Los levantamientos deben registrarse en el Protocolo de Agrimensura (Art 52) y una vez realizado el levantamiento, debe hacerse el plano catastro bajo las normas establecidas por el reglamento (Art. 57). Los datos insertados en este plano quedan bajo la fe pública y responsabilidad del profesional (Art68). Una vez realizado este proceso, el Catastro Nacional certificara la propiedad (Art. 75 y Art. 80).

Una vez catastrado el plano, el Registro Público suministrara servicios de copias (Art.88), certificaciones (Art.90) y servicio de microfilmado (Art.91). Como punto importante para el Proyecto esta la obligación de los entes del Estado, que hagan expropiaciones, adquisiciones o permutas de bienes inmuebles a inscribir los planos correspondientes en el Catastro Nacional (Art. 95).

- **Manual Técnico para el Desarrollo de la Obra Pública. N° 02.0.001.1999.**

Todo proyecto debe tener una estructura capaz de planear, dirigir, ejecutar y velar porque las obras se ejecuten de la mejor forma posible, esto en avance de obra o la forma de utilizar los recursos eficientemente.

Para ejecutar un proyecto se debe realizar un estudio o plan que justifique su construcción, esto incluye la definición de obras a realizar, el por qué de ellas, cómo se realizará, el plazo así como los recursos con se cuenta, donde se aplica el Manual Técnico para el Desarrollo de la Obra Pública. Cuando se habla de estudios, debe entenderse los de Factibilidad, Estudio de Impacto Ambiental, Plan de Gestión Ambiental,

los cuales darán una serie de pasos a seguir para mitigar los efectos del Proyecto en las áreas de influencia directa e indirecta.

El Proyecto llevará controles internos con los cuales se pretende fiscalizar las obras, permitiéndole conocer el estado del mismo y como se han gastado los recursos, definiendo para ello una estructura administrativa capaz de organizar *un* sistema, que permita el proyecto en todos los ámbitos.

- **Código Municipal, N° 7794.**

De conformidad con lo que establece el artículo 6 del Código Municipal, el ICE deberá coordinar con la Municipalidades respectivas las acciones necesarias en las obras a ejecutarse por el Proyecto Hidroeléctrico Reventazón.

En cuanto a la ejecución propiamente de la obra, deberá el Proyecto realizar actividades tendientes a mantener la limpieza durante y después éstas y dejar en las mismas condiciones en que se encontró el lugar y a su vez mantendrá los bienes inmuebles de su propiedad o a su cargo respetando las condiciones mínimas de salubridad, cercará sus terrenos y los mantendrá sin maleza.

6.5 REGENCIAS

- **Ley del Colegio de Ingenieros Agrónomos, N° 7221.**

Esta norma tiene relación con el Proyecto, por la facultad del Colegio de velar por el buen desempeño de los agremiados que estando vinculados laboralmente a éste, ejerzan influencia para la toma de decisiones o lleven a cabo acciones que puedan afectar negativamente y en desapego a sus obligaciones profesionales, a aquellos procesos productivos agrícolas y pecuarios que fueron concebidos con el objetivo de promover y lograr el fomento y desarrollo del sector agropecuario, mediante el uso óptimo, racional y eficiente de los recursos de capital, de tierra, de mano de obra y de administración.

Particularmente regula el trabajo de los Ingenieros Forestales, Ingenieros Agrónomos y Economistas Agrícolas que ejerzan como: Regentes o Peritos en acciones vinculadas al Proyecto Hidroeléctrico Reventazón. Este proceso comprende las fases de investigación, de estudio, de planeamiento, de inversión, de producción, y de mercadeo para propiciar el fomento y el desarrollo de las actividades del agro, sin que se ocasione perjuicio al ambiente; para que se mantenga y se fortalezca el balance y el equilibrio naturales y para que se evite el deterioro ecológico; todo ello en beneficio del País y de sus habitantes.

Así las cosas, esta norma faculta al Colegio para fiscalizar a los profesionales que intervienen en el proyecto cuyas áreas de especialidad profesional se rigen por su normativa, como inscripción para el ejercicio legal de la profesión, respeto de los derechos y deberes del profesional para con el Colegio y la sociedad misma, sobre la actividad en la que interviene y que pueda estar generando impactos o alteraciones.

- **Reglamento de Regencias Forestales del Colegio de Ingenieros Agrónomos, N° 26870- MINAE.**

Según avance cada una de las actividades donde se requiera corta de árboles, el Proyecto procederá a solicitar ante la Administración Forestal cumpliendo para ello con lo que al efecto dispongan las normas correspondientes.

En cuanto a recolección de información en el campo, análisis y confección del informe de los árboles a cortar, se llevará un registro e informará periódicamente a la oficina respectiva para su revisión y posterior aprobación del permiso de corta. Esta actividad requiere que el profesional responsable sea miembro del Colegio de Ingenieros Agrónomos, con especialidad en Ingeniería en Ciencias Forestales, para lo cual actuará como Regente Forestal, debiendo recibir instrucción formal para el puesto y estar inscrito como tal en el registro que al respecto mantiene el colegio profesional; como consecuencia de esta labor deberá supervisar, controlar y velar porque las actividades forestales vinculadas al Proyecto se ejecuten de acuerdo con la Ley Forestal N°. 7575, su reglamento y sus reformas; la ley del Colegio de Ingenieros Agrónomos, su reglamento, así como lo que dicten las leyes conexas y cualquier otra norma jurídica que se vincule directamente con su accionar y con las actividades regentadas.

El Colegio tiene la facultad de registrar la relación entre el regente y el regentado mediante un Formulario de Regencia Forestal, elaborado para tal efecto por el Colegio, que contiene las responsabilidades mutuas.

Cuando el regente ha acordado lo correspondiente a su contratación con el regentado (en el caso del ICE, los propietarios de los árboles confieren un poder al Apoderado Forestal Institucional, a efecto de que este funja como regentado, es decir, como el contratante de los servicios regenciales, pues es el ICE y no el propietario registral, el que está interesado y requiere llevar a cabo acciones que demandan la intervención de este profesional), presentará el Formulario al Colegio para su respectivo registro, previo cumplimiento de los requisitos de presentación establecidos en el Formulario. Por ello, todo regente deberá presentar un informe regencial por cada visita que realice al predio según lo convenido en el Formulario de Regencia. Para este fin adquirirá en el Colegio un libro de fórmulas para informes debidamente numerado.

- **Reglamento Técnico RTCR 227, N° 25985 - MEIC-TSS.**

Dada la variedad de materiales combustibles como: madera, tela, papel, plástico y caucho, presentes en el Proyecto que eventualmente podrían generar un riesgo, como medida precautoria se colocarán se ubicarán en lugares accesibles debidamente cargados e identificados los extintores portátiles, con el fin de controlar un fuego creado o accidental, tomando en cuenta que la seguridad de la población laboral potencialmente afectada es primordial.

6.6 AGUAS

- **Ley de Aguas. N° 276.**

De conformidad con el artículo 17 de la presente ley, para el aprovechamiento de las aguas públicas resulta necesario contar con la respectiva autorización, requerimiento exigible tanto para empresas de interés público o privado. Por esta razón se hace

necesario identificar los diferentes frentes de trabajo de la fase constructiva que requerirán del recurso atendiendo la naturaleza de las distintas labores a ejecutar. Para tal efecto, según el artículo 22, la concesión que se otorgue no podrá aplicarse a un fin distinto del autorizado.

Los artículos 145 al 159, tratan sobre las medidas referentes a la conservación de árboles para evitar la disminución de las aguas, lo que se complementa con lo dispuesto en la Ley Forestal 7575, debiendo conservar los árboles, en la orilla de los ríos y en los sitios donde nace el agua, se prohíbe la corta de árboles que se encuentren en pendientes, a orillas de las carreteras y demás vías de comunicación, a excepción de lo estipulado en el artículo 19 inciso b). Además, de lo que al efecto establece el Decreto Ejecutivo número 25721 del 17 de octubre de 1996, donde se declara a las actividades de generación, transmisión y distribución de electricidad como de conveniencia nacional. Esta declaración le da al ICE potestad de cortar, de ser estrictamente necesario, árboles de especies en peligro de extinción, en áreas de protección y de intervenir áreas de bosque, siempre y cuando se guarde la proporcionalidad en la corta, es decir, que no exceda los requerimientos estrictamente técnicos para la habilitación de la obra principal.

- **Ley General del Agua Potable. N° 1634.**

En la construcción del Proyecto, será necesario ubicar campamentos cercanos a los sitios de obra, los cuales deberán reunir las condiciones necesarias para satisfacer las necesidades básicas de los trabajadores dentro de las cuales se encuentra el abastecimiento de agua así como su potabilidad.

En caso de no existir cañería y se deba perforar pozos, se realizarán los trámites correspondientes incluyendo pruebas de agua para garantizar que ésta pueda ser ingerida sin que represente algún problema de salud para los trabajadores.

- **Ley Constitutiva del Instituto de Acueductos y Alcantarillados. N° 27256.**

El Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados (AyA) se crea como institución autónoma, con el fin de dirigir, fijar políticas, establecer y aplicar normas, realizar y promover el planeamiento, financiamiento y desarrollo y de resolver todo lo relacionado con el suministro de agua potable y recolección y evacuación de aguas negras y residuos industriales líquidos, lo mismo que el aspecto normativo de los sistemas de alcantarillado pluvial en áreas urbanas.

Entre otros aspectos de importancia para la construcción y operación del Proyecto, la Ley regula lo correspondiente al control de la contaminación de los recursos de agua; vela porque se aproveche, utilice, gobierne o vigile, según sea el caso, todas las aguas de dominio público y hace cumplir la Ley General de Agua Potable.

Todo proyecto de construcción, ampliación o modificación a sistemas de abastecimiento de agua potable y disposición de aguas servidas y pluviales, público o privado, deberá ser aprobado previamente por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, como por ejemplo: sistemas de manejo de aguas residuales y servidas de campamentos de trabajadores, tanto del ICE como de las empresas contratistas.

El abastecimiento de agua potable para campamentos, oficinas, talleres y lugares de trabajo del personal del ICE, dependerá de las posibilidades de suministro y desarrollo

que tenga en AyA o los acueductos rurales administrados bajo la tutela de dicho Instituto. En ese sentido es imperiosa la necesidad de coordinar acciones y entablar relaciones con las Oficinas encargadas para lograr buenos resultados.

- **Ley de Creación del SENARA, N° 6877.**

El Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA), en términos generales tiene como objetivos: Procurar el aprovechamiento óptimo y justo de los recursos de tierras y aguas -tanto superficiales como subterráneas- en las actividades agropecuarias del país, sean éstas de carácter privado, colectivo o cooperativo. Promover la utilización de los recursos hídricos del país, sin perjuicio de las atribuciones legales del Instituto Costarricense de Electricidad, del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados y del Servicio Nacional de Electricidad.

Las decisiones que por ese motivo tome el Servicio, referentes a la perforación de pozos, y a la explotación, mantenimiento y protección de las aguas -que realicen las instituciones públicas y los particulares- serán definitivas y de acatamiento obligatorio. No obstante, tales decisiones podrán apelarse dentro del décimo día por razones de ilegalidad, ante el Tribunal Superior Contencioso Administrativo.

Adicionalmente tiene competencia para elaborar, con base en criterios técnicos, los estudios especializados referentes a la conveniencia y procedimiento sobre los cuales se procederá a recuperar, expropiar o comprar las tierras en que asienten o subyazcan recursos hídricos; las tierras en que se construyan obras de protección contra inundaciones, obras de riego o avenamiento y las tierras en donde se construyan otras obras y construcciones complementarias, en donde el Estado haga inversiones como carreteras, caminos, puentes, tendido eléctrico y otras.

Por las razones anteriormente mencionadas, el ICE, debe asesorarse a través del SENARA, con el fin de asegurarse que los terrenos por donde se planea construir el Proyecto, no posean restricciones y solicitar a su vez los permisos necesarios para el uso de agua, en caso de que se requiera la perforación de pozos tanto para la construcción como para solventar necesidades de consumo donde se establezcan los frentes de trabajo y los campamentos.

- **Ley de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos, N° 7593.**

La presente ley establece en su artículo 14 las obligaciones de los prestatarios de servicios públicos dentro de los cuales a efectos de la construcción del Proyecto interesa lo dispuesto en el inciso e) correspondiente a la obligación de proteger, conservar, recuperar y utilizar racionalmente los recursos naturales relacionados con la explotación del servicio público, de conformidad con la normativa vigente; al igual que la Ley Orgánica del Ambiente establece la obligatoriedad de presentar un estudio de impacto ambiental.

6.6.1 AGUAS RESIDUALES

- **Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales No 26042.-S-MINAE**

Con la presente norma se pretende proteger el recurso hídrico y a su vez la salud del hombre y la vida sobre la tierra como elemento sustancial para alcanzar el desarrollo

sostenible del país, a fin de brindar una mejor calidad de vida a la futuras generaciones reduciendo para ello los altos índices de contaminación.

En ese sentido, siendo el Proyecto un potencial ente generador entendido éste último como “persona física o jurídica pública o privada, responsable del reuso de aguas residuales, o de su vertido en un cuerpo receptor o alcantarillado sanitario” se encuentra sujeto a la aplicación de lo que establece la Ley General de Salud y al artículo 132 de la Ley de Conservación de Vida Silvestre, en consecuencia los edificios, establecimientos a su cargo deberán estar provistos de sistemas de tratamiento para aguas residuales, evitando con ello perjuicios a la vida silvestre, a la salud, o al bienestar humano.

En cumplimiento de lo anterior, el ente generador (el Proyecto) deberá confeccionar reportes operacionales, los cuales deberán presentarse ante la División de Saneamiento Ambiental del Ministerio de Salud si el afluente es reusado o vertido a un cuerpo receptor y si el efluente es vertido a un alcantarillado sanitario al Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados y al ente administrador del alcantarillado.

En cuanto a los informes, estos deberán ajustarse a las guías que redacte la División de Saneamiento Ambiental del Ministerio de Salud y a los reportes de laboratorio de análisis de aguas residuales donde los parámetros de análisis obligatorio deberán provenir de laboratorios acreditados.

Además de lo expuesto, la normativa establece una serie de condiciones que según se trate deberán cumplirse como: parámetros de análisis obligatorio, muestreo, análisis y reportes operacionales, límites para el vertido de aguas residuales; establece el reuso de aguas residuales para lo cual autoriza su reuso en el tanto no se deteriore la calidad de las aguas superficiales y subterráneas y establece una clasificación que podría ser utilizada en algunas de la obras a ejecutarse por Proyecto.

Finalmente, se establecen prohibiciones a partir del artículo 37 y siguientes y sanciones cubiertas por los artículos 43 y siguientes.

- **Reglamento del Canon Ambiental por Vertidos, Decreto Ejecutivo No.34431-MINAE-S**

Este instrumento normativo tiene como objetivo regular el uso del recurso hídrico, para verter sustancias contaminantes denominado Canon Ambiental por Vertidos, aplicable a personas físicas o jurídicas, sean públicas o privadas, que utilicen los cuerpos de agua para introducir, transportar y o eliminar vertidos, que puedan modificar la calidad física, química o biológica del agua, según artículo 1 y 2.

Los supuestos bajos los cuales procede el pago del canon ambiental por vertidos están establecidos en el artículo 6 y se definen así: a) que exista un vertimiento puntual, b) que el vertimiento se realice a un cuerpo receptor y c) que la carga contaminante neta vertida en alguno de los parámetros sujetos al cobro del canon, resulte con valores positivos. Para el caso en estudio de cumplirse cualquier de estos supuestos el Proyecto deberá cancelar lo que corresponda.

En ese sentido se tendrá claro que el canon se calcula por kilogramo de carga contaminante neta vertida, de los parámetros de contaminación seleccionados, tomando

en cuenta una serie de elementos definidos en artículo 7 y siguientes del presente Decreto.

Adicional a lo anterior, el Proyecto requiere contar con un permiso de vertidos que emite el MINAE, según artículo 12 por su condición de persona física o jurídica, pública o privada según artículo 15. Para el caso de vertido de sustancias contaminantes deberá sujetarse a lo dispuesto en el Decreto Ejecutivo 26042-S-MINAE, relacionados con los límites permisibles para sustancias contaminantes.

De conformidad con el artículo 18, el Proyecto estaría exonerado de la solicitud de permiso de vertidos, si las aguas residuales: a) se descargan a un alcantarillado, b) son reusadas de conformidad con el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales, c) descargadas a un tanque séptico, o d) entregadas a un tercero para su tratamiento y vertimiento final, debiendo cumplir eso sí, con la presentación de una solicitud de exoneración ante el MINAE.

Para la aplicación del presente canon se requiere que de conformidad con el artículo 22 del presente Decreto, el MINAE mediante resolución administrativa, defina las cuencas o subcuentas o tramos de cuenca que constituirán las zonas de aplicación del canon, en ese sentido, de comprobarse la exclusión del Proyecto por encontrarse bajo este supuesto, no significa que queda excluido de la aplicación del Reglamento de Vertido de Reuso de Aguas Residuales Decreto Ejecutivo 26042-S-MINAE.

6.7 ENERGÍA

- **Ley de Regulación de Uso Racional de la Energía N° 747 y Reglamento para la Regulación del Uso Racional de la Energía N° 5584 — MP-MINAE-H.**

La aplicabilidad de esta norma para efectos del Proyecto de marras radica en los alcances que este instrumento pueda tener sobre las regulaciones aplicables a los vehículos, maquinaria, equipos e instrumentos consumidores de energía eléctrica y combustibles que el ICE, el contratista o los subcontratistas importen al país para efectos de los procesos de construcción y operación de este proyecto (Artículo 15).

Esas regulaciones y multas se aplican sobre los equipos e instrumentos que no estén dentro de la lista (Artículo 13) que el Ministerio regulador (antes MIRENEM ahora MINAE) ha preparado y en la que se consignan solo los que favorecen el uso racional de la energía, tal como lo promulga la referida ley.

El ICE está obligado a acatar estas disposiciones, por cuanto así lo dicta la Ley, al indicar que para asegurar un consumo energético eficiente, las instituciones y las empresas públicas, centralizadas y descentralizadas, deberán acatar las disposiciones que dicte el Poder Ejecutivo en materia energética, especialmente en lo relativo al uso y la adquisición de materiales, equipo, maquinaria, vehículos y en cuanto al tendido de nuevas instalaciones eléctricas.

También resulta aplicable esta norma al Proyecto, en lo concerniente a las disposiciones sobre el control de emisión de gases (Artículo 27), al que deberán someterse los equipos, *vehículos* y maquinaria consumidora de combustibles que se emplee durante la construcción y operación de este proyecto; cuando los límites permitidos no estén contemplados en la Ley de Tránsito por Vías Públicas Terrestres N°7331

- **Ley de Creación del ICE N° 449 de 1948.**

Esta norma es aplicable al Proyecto, en tanto que este proyecto constituye una obra más de las que el Instituto Costarricense de Electricidad está llamado a desarrollar, como parte de las obligaciones que la misma ley de creación le confiere a esta institución.

Es claro el artículo 2 de esta norma, en sus subíndices a) y b), al indicar que las principales gestiones del Instituto se encaminarán a llenar el objetivo de satisfacer las necesidades energéticas de la nación, usando para ello todos los medios técnicos, legales y financieros necesarios, y su programa básico de trabajo será el de construcción de nuevas plantas de energía hidroeléctrica y de redes de distribución de la misma. Esta tarea será llevada a cabo dentro de los límites de las inversiones económicamente justificables.

Además, se plantea la necesidad de unificar los esfuerzos separados para satisfacer la necesidad de energía eléctrica mediante procedimientos técnicos que aseguren el mejor rendimiento de los aprovechamiento de energía y sus sistemas de distribución, actividades todas que se realizarán utilizando en forma racional los recursos naturales como lo indica el inciso c i) del artículo citado supra.

El presente Proyecto responde cabalmente a esas obligaciones facultadas por la ley constitutiva del ICE, en tanto que su implementación ayudará a resolver las necesidades de distribución eficiente de la energía, para efectos de satisfacer la demanda donde se esté originando, a la vez que se contribuye al fortalecimiento del Sistema Nacional Interconectado.

- **Reglamento para Regular Campos Eléctricos y Magnéticos en Obras de Transmisión de Energía Eléctrica, N° 29296-SALUD-MINAE; publicado en el Alcance N° 10 de La Gaceta N° 30 del 12 de febrero de 2001.**

Este reglamento resulta aplicable a la línea de transmisión eléctrica que forma parte del conjunto de obras que se requiere para la puesta en operación del Proyecto. El Decreto de cita específica los requisitos técnicos y ambientales que deberá contemplar el diseño, construcción y operación de la futura obra de transmisión eléctrica de alto voltaje.

En sus artículos 14 y 15, trata ampliamente el asunto del deber de informar a las comunidades, que tiene el dueño de la obra, sobre las nuevas LT y ST que discurrirán sobre los espacios comunales, así como la necesidad de divulgar los resultados de las últimas investigaciones que se vayan obteniendo en torno de los Campos Electromagnéticos (CEM) y sus efectos sobre el entorno, incluido el ser humano.

Vale la pena resaltar el énfasis que hace el instrumento jurídico, en que el desarrollista procure siempre que le sea posible, alejar el corredor de ruta de su nueva obra, de centros poblados, de modo que se aplique el Principio de Evitación Prudente, reduciendo hasta donde sea factible, el nivel de exposición de las personas a estas fuentes emisoras de CEM.

En el mismo se indican además los límites máximos de exposición al campo eléctrico y al campo magnético que deberá respetar el operario de las obras de transmisión una vez que la energía empiece a trasegarse.

- **Interés Público de Proyectos de Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica. DE 26728 -MP-MINAE.**

De gran importancia por cuanto abre la posibilidad de solicitar la autorización de corta de aquellos árboles que interfieren y afectan la fase de construcción y operación de las obras de generación y transmisión eléctrica y que se ubiquen en zonas de protección de ríos y quebradas; por constituir las mismas, obras consideradas de conveniencia nacional.

Incluye la posibilidad de extraer árboles de especies legalmente vedadas o en vías de extinción y de intervenir sitios cubiertos de bosque, cuando las necesidades constructivas así lo requieran.

Por las condiciones propias de la líneas de transmisión, las cuales normalmente impactan zonas de protección de ríos y quebradas al atravesarlas perpendicular o paralelamente, este decreto garantiza un trámite ágil (no excluye la necesidad del trámite de obtención de permisos de corta de árboles) en las oficinas Sub-regionales de las áreas de conservación y siguiendo lo establecido a tal efecto en la Ley Forestal vigente.

6.8 TRANSPORTE DE CARGA

- **Ley de las Obras Públicas y Transportes y sus Reformas N° 3155.**

De manera general esta ley establece las funciones generales del MOPT, el cual es el ente que construye, supervisa y regula las actividades de las vías públicas. El Proyecto requerirá principalmente en su fase constructiva el empleo de una serie de vehículos que transitarán por las vías públicas y acatar el cumplimiento de todo lo estipulado por este ministerio.

Adicionalmente, si como consecuencia del proceso constructivo de esta obra se produjera alguna afectación sobre bienes ubicados en el área de dominio de este ministerio, entre ellos: a) vegetación implementada por ASECAN; b) carreteras y sus zonas de amortiguamiento y c) infraestructura complementaria a obras viales: puentes, sistemas de drenaje, etc., administradas por CONAVI; deberá coordinarse de previo toda acción con este ministerio y sus dependencias, a fin de garantizar la recuperación de los bienes alterados al menos hasta su condición inicial y que las alteraciones provocadas no privarán del derecho de circulación y seguridad de los usuarios de estas obras públicas.

- **Reglamento de Transporte de Automotores de Carga Local N° 15624.**

Este reglamento menciona los aspectos generales a cumplir con los vehículos destinados al transporte de carga sobre el territorio nacional, establece las condiciones generales que debe acatar, las clasificaciones y las condiciones que deben cumplir las empresas que se dediquen a esta actividad.

En el presente caso, se requerirá transportar una serie de materiales necesarios para las distintas obras como: alimentos, combustibles, estructuras, conductores, equipos de construcción y materiales de construcción. Esto se realiza generalmente en camiones de dos ejes C2, camiones de tres ejes C3 y camiones de tres ejes con remolque de dos ejes C3R2.

- **Reglamento RTCR 305, 1998: Para el Transporte Terrestre de Productos Peligrosos.**

Define las principales señalizaciones que deben tener los equipos de transporte de materiales peligrosos como combustibles, productos inflamables, oxidantes, explosivos. Entre las señalizaciones está el código de material y peligrosidad, basada en la normativa norteamericana NFPA, establece la posición y tamaños de los rótulos informativos exigidos.

Ante la cantidad de materiales que se requiere trasladar hacia los diferentes frentes de trabajo del proyecto, como es el caso de combustibles, pinturas, diluyentes, equipos radioactivos y explosivos, deberá tomarse en cuenta que su transporte se realice de manera adecuada y debidamente rotulados para su fácil identificación y prevención de accidentes.

- **Señalización de las Unidades de Transporte Terrestre de Materiales y Productos Químicos Peligrosos N° 27008-MEIC-MOPT.**

Este decreto hace mención a la aprobación del reglamento RTCR 305, 1998 sobre la señalización del transporte terrestre de los productos peligrosos mencionado anteriormente.

Al igual que el reglamento, este decreto define la señalización de los equipos de transporte de materiales peligrosos como combustibles, diluyentes y equipos radioactivos que son utilizados en el proyecto, y que para su adecuado uso, deben acatar las disposiciones establecidas.

- **Ley de Tránsito por Vías Públicas y Terrestres, N° 7331.**

Esta ley es de uso general y compete tanto a este proyecto como cualquier otra actividad que requiera de medios de transportes, establece las pautas generales en el trazo de las vías públicas, así como los requisitos legales y físicos que deben cumplir los vehículos, conlleva una serie de criterios en el caso de accidentes de tránsito, así como el establecimiento de la póliza obligatoria y las infracciones.

En este Proyecto, el movimiento de personal y materiales en las diferentes áreas y etapas, es diario y se contará con una serie de vehículos institucionales y alquilados para este fin, tanto aportados por la Institución (fase constructiva y operativa), como los que ponga en servicio el contratista responsable de la fase constructiva, sobre los que se velará que cumplan con las exigencias que la presente ley establece.

6.9 SUELOS

- **Ley de Uso, Manejo y Conservación de Suelos N° 7779 y su reglamento DE N° 29375.**

Mediante esta ley se fomenta la protección del recurso suelo, su conservación y mejora de gestión integrada y sostenible con los demás recursos naturales, lo cual habrá de tenerse en cuenta a la hora de realizar el proceso constructivo, estableciendo para ello

medidas preventivas o correctivas ante la posible degradación o contaminación en detrimento de la capacidad de uso del suelo.

Cabe destacar que el proyecto afecta distintos usos de suelo como: pastizales, carraltacotal, áreas reforestadas, cultivos y suelo descubierto, que obligan al Proyecto a incluir en el PGA las medidas de mitigación o compensación correspondientes a la afectación que sufran sea por acciones directas o indirectas.

La norma establece la obligatoriedad de aplicar técnicas adecuadas de manejo de aguas que favorezcan la infiltración en los terrenos o la evacuación de las aguas sobrantes hacia causes naturales, disminuyendo la degradación del suelo por erosión, asentamiento, salinización, hidromorfismo, u otros efectos perjudiciales y establece la necesidad de eliminar residuos sólidos, y realizar el lavado de herramientas y maquinaria que contaminen el suelo en lugares seguros, aspectos todos a tomarse en cuenta en cada una de las obras a ejecutarse.

- **Ley de Promulgación del Código de Minería, N° 6797 y su Reglamento DE 29300-MINAE.**

A pesar de que el subsuelo y los recursos minerales que este posee, le pertenecen al Estado, éste puede otorgar concesiones para la exploración y explotación de los mismos. Esta ley se vincula al proceso de avalúos cuando se debe adquirir derechos sobre un tajo que se encuentra en uso bajo una concesión vigente, en este caso el ICE debe reconocer e indemnizar el material del banco afectado.

Cuando el tipo de proyecto que ejecuta el ICE implica la explotación del subsuelo, la institución debe acatar las disposiciones expuestas en el Código de Minería en cuanto a las normas de exploración, explotación y en especial a las de protección del ambiente, el incumplimiento de las disposiciones legales implica la extinción de la concesión.

La explotación o exploración que se realice al margen de ley implicará una inhabilitación de la persona física o jurídica por diez años, sin perjuicio de las sanciones penales que establezca la ley.

La concesión que al efecto se solicite y otorgue la Dirección de Geología Minas se constituye en un derecho para real para el ICE, que le faculta su defensa ante terceros, En igual orden de ideas únicamente quien aparece como titular inscrito tiene la facultad de ejecutar la concesión.

Por tratarse de un bien de dominio el que tutela la presente ley, las concesiones no podrán ser grabadas, hipotecadas, ni traspasadas en ninguna forma.

De conformidad con lo que establece el artículo 19, “el Estado por medio de sus instituciones, podrá explorar cualquier área del territorio nacional, en cualquier momento y para la búsqueda de cualquier sustancia”, facultación extensible al ICE, en su condición de ente autónomo.

Esta facultación le permitirá al Proyecto gestionar las concesiones para la explotación de tajos o concesiones en cauce de dominio público que requiera para la ejecución de sus obras, permitiéndole el aprovisionamiento de materiales no metálicos (lastre y agregados). Para tal efecto el ICE, deberá gestionar los permisos correspondientes de explotación que

exige tanto la Ley como el Reglamento, para ello deberá considerar que la licencia se otorga por un plazo no mayor a tres años, el cual podrá prorrogarse por dos más de ser necesario.

Además debe tenerse claro, que la norma establece un límite de exploración de superficie máxima de 20 km² según la clasificación del material.

6. 10 DESECHOS

- **Reglamento sobre el Manejo de Basuras N° 19049-S.**

El manejo de basuras en un Proyecto como el presente, incluye desechos domiciliarios, sólidos comerciales, sólidos institucionales, sólidos industriales, sólidos combustibles y sólidos inflamables, por lo cuál la organización debe buscar soluciones prácticas a la generación de estos desechos, asegurándose que su disposición final en la medida de lo posible causará el menor impacto.

En ese sentido se deberán de designar responsabilidades y obligaciones así como también de mantener las condiciones óptimas en el manejo de los desechos no solo en los sectores habitacionales y oficinas sino también en los procesos constructivos.

Tomando en cuenta los efectos de un deficiente manejo de la basura, deberá valorarse la capacitación del personal, las condiciones de logística y equipo técnico para la labor. El ICE como institución comprometida con el medio ambiente deberá de velar por el cumplimiento de las disposiciones de este reglamento, incluyendo estas disposiciones en el PGA y dándole seguimiento al cumplimiento de esas medidas. Para esto deberá considerar el criterio técnico de expertos quienes actuarán en un grupo interdisciplinario en la elaboración, cumplimiento y seguimiento de estas medidas.

La organización se deberá comprometer a mitigar el impacto que con sus actividades le haga al ambiente involucrando: el manejo, almacenamiento y transporte de la basura y el cumplimiento de esta normativa. En cuanto a los residuos de explosivos, los manejará según lo declarado en el procedimiento del área de salud ocupacional para tal fin, si en algún momento se requiriese emplear este tipo de sustancias.

En las instalaciones que el Proyecto habilite, ya sea en la figura Institucional o por parte del contratista responsable de la construcción, se designará un lugar específico para el almacenamiento de basuras generadas durante las labores constructivas ordinarias. El mismo contará con los acabados de pisos, paredes y techo, requeridos para permitir su fácil limpieza e impedir la formación de ambientes propicios para la proliferación de vectores de enfermedades y malos olores. Este contará con sistemas de ventilación efectivos, de suministro de agua, así como drenaje, entre otras características.

- **Reglamento para el Manejo de Desechos Peligrosos Industriales N° 27001-MINAE y Reglamento sobre Características de Desechos Peligrosos Industriales N° 27000-MINAE.**

Los procesos constructivos deberán de cumplir e identificar los desechos de carácter peligrosos que se produzcan. No obstante, debe tenerse claro que el proceso de logística del manejo de estos desechos y los mismos deben procesarse de la mejor forma posible.

El proyecto debe tener claro en que proceso se generan estos desechos, para posterior a ello acumularlos o almacenados conforme lo estipula este reglamento y luego proceder a transportarlo para tratarlo y darle una disposición final adecuada. El manejo y descarte de desechos peligrosos se hará según lo dicten los procedimientos GSO del Sistema de Salud Ocupacional en las obras constructivas, independientemente de que los desechos hayan sido generados por el ICE, por sus contratistas, o por los subcontratistas de éstos.

6.11 PERMISO DE FUNCIONAMIENTO

- **Reglamento General para el Otorgamiento de Permisos de Funcionamiento por parte del Ministerio de Salud N° 27569-5.**

La aplicación de este reglamento guarda relación con los servicios de alimentación que se brinden en las instalaciones que al efecto construya el ICE o el contratista que para la entrada en operación deberán cumplir con lo dispuesto en artículo 4. Consecuentemente, según la categoría que se le asigne contará con un Plan de Gestión Ambiental que a su vez contemple el manejo de desechos, atención de emergencias y un plan de salud ocupacional, los cuales serán tratados en el presente documento según las normas que los regulen.

6.12 CONTAMINACIÓN

RUIDO

- **Reglamento para el Control de Contaminación por Ruido, DE 28718-S**

Tomando en cuenta que existe un límite para la realización de actividades que afectan la salud humana en razón de tratarse de un bien jurídico tutelado por el Estado, el Proyecto deberá observar en todo momento las disposiciones que establece el presente Reglamento. Para ello, se asegurará que sus actividades se ejecutarán dentro de los límites establecidos en el artículo 20, en caso contrario deberá implementar acciones correctivas y llevar la situación a los límites permitidos, y será el ente rector Ministerio de Salud el que realice las acciones tendientes a normalizar la situación, el incumplimiento de lo aquí dispuesto se estará a lo dispuesto a las sanciones que establece la Ley General de Salud.

A tomar en consideración, el artículo 23 exime de la presentación de requisitos establecidos en el artículo 22, si se cumple con algunos supuestos allí establecidos como: a) si el ruido generado se realiza en el período diurno comprendido entre las 6:00 hora y las 20:00 hrs; cuando se trate de sonidos temporales para reparación y mantenimiento de hogares y sus dependencias, sonidos producidos por el disparo de armas livianas de fuego en polígono autorizados entre otros.

- **Reglamento para el Control de Ruidos y Vibraciones N° 10451 -TSS.**

Se deben señalar todos los sitios de trabajo que emitan ruido en niveles superiores a setenta y cinco dB (A), con el objetivo de evitar la exposición por personas sin equipos de protección auditivos debidamente certificados. Así mismo, se debe capacitar a todos los trabajadores sobre técnicas de uso y mantenimiento de equipo de protección auditiva, la cual deberá ser exigida en todo momento de exposición.

En los sitios del Proyecto destinados a comedores o dormitorios deberán estar protegidos contra contaminación acústica, en los niveles regulados en el Reglamento de Higiene Industrial.

6.13 SALUD OCUPACIONAL

- **Reglamento de Seguro de Salud**

Todo personal que se contrate, de forma temporal o permanente, para desempeñar actividades de trabajo, deberá estar asegurado, bajo el principio de que el seguro de salud es universal, obligatorio y forzoso. Ningún colaborador del proyecto, o de empresas proveedoras del proyecto estarán exentas de esta disposición, de acuerdo con los requisitos establecidos en este reglamento, que regulan la cobertura y prestaciones médico-sanitarias, la responsabilidad, los subsidios, y otorgamientos de incapacidades.

- **Reglamento sobre las Normas Internas de las Relaciones y Condiciones Laborales en los Centros de Trabajo N°4- MTSS.**

Para la planificación de prevención de riesgos laborales dentro de las instalaciones y frentes de trabajo del Proyecto, se aplicarían las normas de seguridad e higiene dispuestas en el reglamento anterior. Esas normas de seguridad e higiene han sido elaboradas por el Sector de Electricidad y la Unidad de Negocios Proyectos y Servicios Asociados (Plataforma del Sistema de Gestión en Prevención de Riesgos Laborales), tomando como referencia lo indicado en dicho reglamento del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social.

- **Reglamento sobre Higiene Industrial N° 11492-S.**

Este instrumento establece distintas disposiciones que deberán respetarse según actividad que se ejecute dentro de los cuales se pueden citar:

Trabajos de soldadura ocasional sobre vías públicas, durante la ejecución de las actividades planificadas para la construcción de algunas obras que así lo requieran, se dispondrá de un plan de acción para el control del riesgo, que regule la protección y prevención de riesgo eléctrico, proyección de partículas incandescentes y daños a la vista.

En las instalaciones y centros de trabajo donde se dispone de agua para consumo humano, se debe realizar de forma periódica estudios de potabilidad bacteriológica y química que garanticen la calidad del agua, además se debe asegurar un abastecimiento suficiente para atender las necesidades de personal.

En las instalaciones y centros de trabajo del proyecto, se debe disponer de servicios sanitarios separados de acuerdo al género, a razón de uno por cada veinte trabajadores, y de lavamanos a razón de uno por cada veinticinco.

Los desechos orgánicos e inorgánicos (basura y desperdicios) de los procesos operativos del proyecto serán evacuados a lugares que cumplan las disposiciones de la municipalidad correspondiente, con una periodicidad continua. Para el manejo de desechos industriales el proyecto debe mantener regulaciones internas que sean debidamente aprobadas por las autoridades competentes.

Los comedores institucionales, que funcionen para dar servicio a los colaboradores en la construcción del Proyecto, deberán cumplir con los requisitos establecidos por el Ministerio para el otorgamiento de permisos sanitarios. Si los comedores son construidos y operados por un Contratista, el ICE deberá asegurarse de que los mismos cumplen con lo estipulado en este reglamento para estos efectos, independientemente de que el servicio de comedor sea privado.

En el caso de actividades extraordinarias que se desarrollen antes de las seis horas y después de las dieciocho horas, se debe mantener un control de las emisiones de ruido producido por maquinaria, con el objetivo de garantizar la protección a la contaminación acústica en zonas habitacionales cercanas, por medio de emisiones inferiores a cuarenta dB (A). Durante el desarrollo de las actividades ordinarias se deberá mantener un control periódico sobre emisiones de ruido garantizando emisiones a zonas habitacionales inferiores a los setenta y cinco dB (A).

- **Norma Oficial para Colores en Seguridad y su Simbología N° 12715- MEIC.**

Durante la realización de las distintas actividades constructivas en particular aquellas vinculadas a procesos industriales, se deberá utilizar la simbología y los colores de seguridad formados para la señalización y rotulación en el uso, transporte y almacenamiento de: Materiales peligrosos (materiales industriales). Así mismo se deberá utilizar la simbología y colores de seguridad para la identificación e información de: pasillos principales y secundarios en talleres, áreas con riesgo de incendio, áreas con riesgo eléctrico (alta y baja tensión), equipos de extinción (portátiles y fijos), áreas con desniveles, caminos públicos (carreteras, autopistas, calles, y caminos dedicados al paso vehicular), zonas de trabajo con maquinaria y/o equipo especial, equipos de protección Personal, puertas y salidas de emergencias (rutas de evacuación).

- **Reglamento General de los Riesgos del Trabajo N° 13466 – TSS**

Se debe asegurar a todo el personal que presta servicios al proyecto, para la cobertura de riesgos del trabajo (accidentes o enfermedades laborales), de acuerdo con las directrices internas del Instituto Nacional de Seguros.

Toda medida de prevención de riesgos que se señale por parte de las autoridades competentes será remitida al servicio de seguridad ocupacional del proyecto y éste deberá comunicarla a la dirección para su implementación.

En las instalaciones y centros de trabajo se mantendrá un equipo de atención pre-hospitalaria en caso de accidente. Si no se tiene personal especializado en atención de primeros auxilios, se mantendrá un botiquín básico con los artículos regulados en el artículo 24 de este reglamento.

- **Reglamento de Seguridad en Construcciones N° 25235-MTSS.**

De conformidad con este instrumento, el Proyecto debe de mantener los procedimientos y regulaciones para la seguridad e higiene en los procesos de trabajo, atención de emergencias naturales y antrópicas, para el suministro, capacitación, uso y mantenimiento de equipos de protección personal y equipos auxiliares de seguridad. A su vez, implementará las medidas de seguridad e impartir capacitación en técnicas básicas de

almacenamiento de materiales a granel, estructuras metálicas, materiales peligrosos, herramientas, materiales de construcción (varillas, tubos, entre otros).

Adicionalmente, elaborará y capacitará en procedimientos de seguridad para la realización de excavaciones temporales, durante la construcción de torres de transmisión, los procedimientos deben contemplar la señalización y advertencias, técnicas de estabilización y de retención de las paredes de la excavación, del diseño de la fosa o zanja, y de disposiciones de trabajo seguro cerca de maquinaria en movimiento.

Siendo que en la construcción del Proyecto el personal contratado asciende a un número mayor a cien, se deberá brindar los servicios de medicina de empresa en el lugar de trabajo, siempre que los sitios de trabajo queden alejados de un centro urbano.

Se debe elaborar, capacitar e implementar procedimientos de seguridad en técnicas básicas de levantamiento manual y mecánico de cargas, que regulen las especificaciones y factores de seguridad en equipo auxiliar de cargas (cuerdas, eslingas, ganchos, cadenas, ascendedores, sistemas de tracción, sistemas de elevación). Se debe elaborar, capacitar e implementar procedimientos de seguridad para la protección contra riesgo eléctrico de baja y alta tensión (instalaciones eléctricas, maquinas y equipos eléctricos, contacto directo o indirecto con electricidad, banco de transformadores, líneas de distribución y transmisión energizadas, equipos energizados. Se debe especificar, certificar, suministrar, capacitar y supervisar el uso, mantenimiento y almacenamiento seguro de los equipos de protección personal, de acuerdo a las características de exposición y probabilidad del riesgo identificado en: manipulación de concreto, levantamiento manual de cargas, excavación a cielo abierto, estructuras prefabricadas, entre otros.

- **Extintores Portátiles contra Fuego N° 25986- MEIC.**

Los equipos de extinción portátil, tales como extintores, que se coloquen en las instalaciones y centros de trabajo donde se valore la carga de *fuego* y se estime el riesgo de los contenidos, deben cumplir con los requisitos de clasificación, selección, instalación, inspección, mantenimiento, pruebas y señalización en conformidad con el tipo de fuego identificado y la necesidad de cobertura del área.

- **RTCR 292 —1992; Seguridad, Incendios y Señalización N° 26204-MEIC.**

Se debe implementar programas de señalización para la prevención, mitigación y evacuación a áreas de seguridad en caso de incendio, además de las regulaciones contempladas en la norma de colores de seguridad para señales de prevención e información.

Lo anterior deberá habilitarse en los campamentos e instalaciones que el contratista o el ICE habilite durante las actividades constructivas y operativas asociadas a esta LT, independientemente de que se trate de instalaciones temporales.

- **RTCR 297 —1997; Seguridad contra Incendios N° 26494.**

En las instalaciones habilitadas como campamentos temporales (siendo inclusive casas de habitación rentadas para tal fin), se debe establecer, capacitar e implementar programas de señalización de evacuación, salidas habituales y de emergencia, áreas de

seguridad en conformidad con el Manual de Seguridad Humana para la Protección contra Incendios del Cuerpo de Bomberos del Instituto Nacional de Seguros de Costa Rica.

- **Reglamento Técnico RTCR 287 N° 26495-MEIC.**

En todo centro de trabajo del proyecto se debe clasificar el tipo de fuego de acuerdo con el riesgo de los contenidos de la instalación, y servirá de insumo para la selección del agente extintor.

- **Reglamento General de Seguridad e Higiene del Trabajo.**

Todas las máquinas y equipos especiales que se utilicen durante el desarrollo de proyecto deberán revisarse para asegurar el funcionamiento de los dispositivos eléctricos y mecánicos de protección.

Se deberá desarrollar en los centros de trabajo del proyecto módulos de capacitación técnica y gerencial, para el control de los riesgos identificados en la obra. Elaborar un procedimiento para el mantenimiento y revisión de las condiciones de seguridad en los locales de trabajo, pasillos, puertas y escaleras, salidas de emergencias (en edificios temporales), aberturas y zanjales, iluminación, sobre el orden y limpieza, en actividades con riesgo eléctrico, operación y mantenimiento de líneas conductoras de energía peligrosa, sustancias combustibles, manipulación de materias orgánicas, escaleras portátiles y móviles, protección especial.

Se deberá colocar inodoros, lavamanos, duchas en las áreas que por la actividad o proceso que se ejecute las autoridades competentes lo establezcan (comedores, dormitorios, oficinas, entre otros).

- **Reglamento sobre Oficinas o Departamento de Seguridad Ocupacional.**

En razón, de existir una población superior a cincuenta trabajadores en la Construcción del Proyecto se conformará una oficina de Salud Ocupacional, que estará a cargo de elaborar y actualizar un diagnóstico de las condiciones de seguridad de la obra, los factores causales de accidente, y enfermedades (medicina de empresa).

Se debe presentar los índices de accidentabilidad de la obra (Frecuencia, Incidencia y Gravedad de los accidentes), Tasa de ausentismo laboral, y los indicadores de implementación del programa de Seguridad en conformidad con lo que establece la norma INTE 31-09-09-00 Guía para la elaboración del programa de Salud y Seguridad en el trabajo. Aspectos Generales.

6.14 PATRIMONIO HISTÓRICO CULTURAL

- **Constitución Política, artículo 89, incisos 3 y 18.**

Según esta disposición constitucional entre “los fines culturales de la República están: proteger las bellezas naturales, conservar y desarrollar el patrimonio histórico y artístico de la Nación, y apoyar la iniciativa privada para el progreso científico y artístico.” En ese sentido la construcción se incluye en el proceso de estudio de impacto ambiental estudios arqueológicos y socioculturales que aseguren el conocimiento de dicho recurso en la zona para su manejo adecuado, que incluye pautas de diagnóstico, conservación y desarrollo

del patrimonio mediante la generación y divulgación científica y pública del conocimiento científico generado.

- **Convención sobre el Patrimonio Mundial Cultural y Natural, N° 5980.**

La Convención para la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural, Ley 5980 del 16 de noviembre de 1976, establece que los Estados Partes reconocen la obligación de identificar, proteger, conservar, rehabilitar y transmitir a las generaciones futuras el patrimonio cultural natural situado en su territorio, con lo cual el Estado Costarricense deberá producir e implementar normas y reglamentos específicos que permitan cumplir las pautas intrínsecas de esta Convención.

Con esta Convención se establece el Comité Intergubernamental de Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural, el Fondo para la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural, se instauran las condiciones y modalidades de asistencia internacional y se establece la obligatoriedad de implementación por parte de cada Estado, programas de educación y de información que permitan estimular en los diferentes pueblos el respeto y el aprecio del patrimonio cultural y natural.

- **Convención sobre la Defensa y Conservación del Patrimonio Arqueológico, Histórico y Artístico de las Naciones Americanas, N° 6360.**

La Convención de Defensa del Patrimonio Arqueológico Histórico y Artístico de las Naciones Americanas, Ley 6360 del 5 de septiembre de 1979, tiene como objeto la identificación, registro, protección y vigilancia de los bienes que integran el patrimonio cultural de las naciones americanas, para impedir la exportación o importación ilícita de bienes culturales y promover la cooperación entre los Estados Americanos para el mutuo conocimiento y apreciación de sus bienes culturales.

Con esta convención la República de Costa Rica acepta implementar varias labores en aras de proteger sus bienes culturales, a saber: promover un registro de colecciones y del traspaso de los bienes culturales sujetos a protección, un registro de la transacciones que se realicen en los establecimientos dedicados a la compra y venta de dichos bienes y una prohibición de importar bienes culturales procedentes de otros Estados sin el certificado y la autorización correspondiente.

Así mismo, se establece el compromiso de preparar disposiciones legislativas y reglamentarias que se necesiten para proteger eficazmente dicho patrimonio contra la destrucción por abandono o por trabajos de conservación inadecuados, de crear organismos técnicos encargados de la protección y vigilancia de los bienes culturales, formalizar y mantener un inventario y un registro de los bienes culturales que permitan identificarlos y localizarlos, crear y desarrollar museos, bibliotecas, archivos y otros centros dedicados a la protección y conservación de los bienes culturales, delimitar y proteger lugares arqueológicos y de interés histórico y artístico y de explorar, excavar, investigar y conservar lugares y objetos arqueológicos.

- **Ley del Patrimonio Arqueológico Nacional, N° 6703 del 18 diciembre de 1981 y el Reglamento de la Comisión Arqueológica Nacional, Decreto No.19016-C.**

La Ley 6703 constituye inicialmente la definición de Patrimonio Nacional Arqueológico, norma con la se organiza la custodia de objetos arqueológicos por parte de particulares,

creándose el Registro Público del Patrimonio Nacional Arqueológico, dependiente del Museo Nacional de Costa Rica y se constituye la Comisión Arqueológica Nacional, como ente institucional (Museo Nacional de Costa Rica) que autoriza, aprueba, desaprueba y supervisa las investigaciones arqueológicas del país.

Así mismo, se determina la obligatoriedad de la ciudadanía de dar aviso al Museo Nacional de Costa Rica sobre hallazgos arqueológicos a partir de excavaciones para ejecutar obras públicas privadas y se determinan sanciones por proceder de manera diferente a lo estipulado en la ley.

En este sentido, a efectos de la construcción del Proyecto, los diagnósticos arqueológicos, que forman parte de los compromisos del proceso de Estudio de Impacto Ambiental, deben implementarse según las directrices establecidas por la Comisión Arqueológica Nacional, para lo cual también es vinculante en este proceso el Reglamento de la Comisión Arqueológica Nacional, Decreto No.19016-C.

Esta formalización incluye la inscripción del respectivo diagnóstico arqueológico y la debida autorización por parte de la Comisión Arqueológica Nacional y el cumplimiento posterior de todos y cada uno de los procedimientos aprobados por la mencionada Comisión.

Asimismo, parte del diagnóstico arqueológico incluye muestreos que en algunas ocasiones genera la colecta de restos arqueológicos, los cuales, sin importar su calidad, cantidad o antigüedad forman parte del Patrimonio Nacional Arqueológico, por lo que se tiene que proceder con lo dispuesto en este sentido en la Ley 6703.

Por su parte, dado que la arqueología es una ciencia falible, si en lugares donde se ha estimado una baja potencialidad de hallazgo de restos arqueológicos, se tiene la aparición fortuita de materiales de esta índole, los trabajadores y encargados de las obras deben detener las mismas y dar parte al Museo Nacional de Costa Rica, tal y como lo indica la norma en mención.

- **Ley de Patrimonio Histórico Arquitectónico, N° 7555, del 4 de octubre de 1995 y su reglamento, Decreto No.32749 del 14 de marzo del 2005.**

Esta ley tiene como objetivo conservar el patrimonio histórico-arquitectónico del país, entendiendo éste como los bienes inmuebles clasificados en la declaratoria que haga el Ministerio de Cultura como edificaciones, monumentos, centros históricos, conjuntos o sitios de relevancia histórica comprobada. Su reglamento se avoca a especificar de una manera ágil y apegada al ordenamiento jurídico el cumplimiento de la ley de Patrimonio Histórico-Arquitectónico.

De tal forma, esta ley y su reglamento deben incorporarse a la legislación comprendida para la fase operativa del Proyecto que incluye la incorporación de compromisos ambientales contemplados en el PGA de esta obra.

6.15 CORTA DE ÁRBOLES EN BOSQUES Y POTREROS.

- **Ley Forestal y sus Reformas, Ley 7575 y su Reglamento DE 25721 -MINAE.** (Ver apartado 6.3)
- **Ley Orgánica del Ambiente, Ley 7574.** Ver apartado 6.3
- **Ley de Biodiversidad, Ley 7788.** Ver apartado 6.3
- **Reglamento General del MINAE, DE 24652-MIRENEM.**

Según el Sistema Nacional de Legislación Vigente (SINALEVI) de la Procuraduría General de la República, este Reglamento no está vigente al día de hoy, por cuanto fue sustituido por el DE-25066-MINAE del 21-03-1996, el cual a su vez es modificado por el DE-31676MI, el cual crea la Oficina Costarricense de Implementación Conjunta como una dependencia del Ministerio de Ambiente y Energía con el fin de dar seguimiento a los acuerdos del Protocolo de Kioto.

El Reglamento General del MINAE es publicado en el DE-30077-MINAE del 16 de enero del 2002 y en el se establece la estructura de funcionamiento del Ministerio del Ambiente y Energía, cuya injerencia sobre las actividades de un proyecto viene desde varios sentidos:

- a. A través de la Secretaría Técnica Ambiental (SETENA), en lo que al trámite de los Estudios de Impacto Ambiental y las Licencias Ambientales de construcción se refiere.
 - b. A través de las Oficinas Regionales y Sub-regionales del Sistema Nacional de Áreas de Conservación, en especial por los permisos de captura y recolección de flora y fauna (para estudios ambientales de prefactibilidad y factibilidad, autorizaciones de corta y eliminación de vegetación).
 - c. A través de la Dirección General de Geología y Minas, por el trámite de autorización de tajos o canteras de donde se extraerá parte del material constructivo utilizado en la habilitación de accesos y en la nivelación de algunos cimientos de torres que así lo requieran.
 - d. A través del Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO), entidad que regula y establece los lineamientos y autorizaciones en caso de propiedades privadas o estatales sometidas a los pagos por servicios ambientales, que puedan verse afectadas por la construcción y operación de una planta hidroeléctrica.
 - e. A través de la Contraloría Ambiental y el Tribunal Ambiental, órganos encargados de imponer las sanciones administrativas contenidas en la Legislación Ambiental.
- **Veda a Especies Forestales. DE N° 25700 MINAE.**

Este Decreto establece una limitación de corta para 18 especies debido a sus reducidas poblaciones en el país, lo cual impide su corta, transporte y comercialización; además de definir los mecanismos de que dispone el propietario para buscar una indemnización por tal afectación.

No establece este decreto, sin embargo, que los proyectos considerados de conveniencia nacional puedan proceder a su tala o eliminación. Conocida la necesidad

que tiene el Proyecto de llevar a cabo la corta de árboles que pudieran representar un riesgo para la fase constructiva; resultará de suma necesidad tener presente este decreto de veda, una vez que se ejecuten los inventarios forestales, particularmente si alguna de las especies vedadas estuviese dentro del listado de árboles ubicados en las áreas a ocupar; ello para efecto de someter la necesidad de corta a la valoración específica del MINAE.

- **Ley de Protección al Ciudadano del Exceso de Requisitos y Trámites Administrativos, No. 8220.**

La principal ingerencia que tiene esta norma con el Proyecto, es el efecto que la promulgación de la misma tuvo sobre el Proceso de Evaluación de Impacto Ambiental.

Anteriormente, cuando debía presentarse a la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA) el Formulario de Evaluación Ambiental Preliminar -FEAP- (ahora sustituido por el documento DI), era necesario que el proyectista llevara a cabo, mediante notas escritas, una serie de consultas a diversas instituciones del Estado: SENARA, Museo Nacional, Comisión de Emergencias, AyA, etc.

El propósito de estas misivas pretendía que las instituciones consultadas dictaminaran, desde el punto de vista de su respectivo quehacer, si el área seleccionada para la implementación y/u operación de un determinado proyecto, tenía limitantes severas para su implementación, tales como: a) presencia de áreas naturales protegidas, b) sitios arqueológicos, c) amenazas naturales importantes: fallas, inundaciones, licuefacción, etc., d) áreas de recreo, e) presencia de mantos acuíferos, etc.

Una vez que las instituciones emitían sus respuestas a tales consultas (mediante notas oficiales escritas), éstas eran adjuntadas al FEAP y formaban parte de los criterios de decisión de la SETENA acerca de la viabilidad ambiental preliminar del proyecto propuesto y sobre el tipo de estudio de impacto ambiental a solicitar, en caso de que las restricciones no resultaran limitantes.

Con la promulgación de la Ley 8220, el trámite se simplificó, y en lo sucesivo la SETENA mediante un formulario electrónico realiza las consultas correspondientes en forma directa a las instituciones involucradas, liberando de esta forma al proyectista de tener que hacer el trámite de consulta personal.

6.16 EXPROPIACIONES

- **Ley de Expropiaciones, Ley 7495 y Ley de Adquisiciones, Expropiaciones y Servidumbres del Instituto Costarricense de Electricidad, Ley 6313.**

Al igual que la Ley de Jurisdicción Agraria, estas dos normas se relacionan con el proceso de solicitud, confección y trámite de avalúos. Ambas se indican en el apartado 7 (Normativas aplicables) del Reglamento sobre Procedimiento para la Solicitud, Confección y Trámite de Avalúos (La Gaceta N° 109, del 07106105, acta de la sesión N° 5669 del Consejo Directivo del (CE, celebrada el 10105105), como de aplicación obligatoria para el Proyecto en todas sus etapas.

La figura de expropiación como figura jurídica se entiende como el desposeimiento o privación de la propiedad por causa de utilidad pública legalmente comprobada o interés

preferente a cambio de una indemnización que represente el precio justo de lo expropiado.

En ese sentido y tomando en cuenta la naturaleza de los diferentes proyectos y sus exigencias, es que el Instituto Costarricense de Electricidad ejecuta (proyectos hidroeléctricos, líneas de transmisión, líneas de distribución, otros) en la mayoría de los casos existe la necesidad de adquirir derechos sobre los terrenos privados requeridos para la ejecución de la obra, razón por la que deberá acudir a la figura jurídica de la expropiación, y cumplir de esta forma con sus fines.

Ambas leyes permiten al ICE como institución pública, realizar el avalúo de adquisición de derechos y el mismo puede seguir por el camino de la expropiación administrativa cuya gestión se realiza en sede administrativa y por acuerdo entre las partes o bien, puede tomar el camino de expropiación judicial cuya gestión se lleva a cabo en la vía jurisdiccional por no haber un acuerdo entre las partes.

CAPÍTULO 7

7. Descripción del ambiente físico

7.1 Geología

7.1.1 Aspectos geológicos regionales

Generalidades

Las unidades de roca que forman la cuenca de Limón y donde se ubica el Proyecto Hidroeléctrico Reventazón, han experimentado procesos de formación y tectonismo que les brindan características geométricas y físicas particulares, por lo que se ha requerido analizar el área en detalle para poder establecer el escenario geológico donde se ubicarán las obras del proyecto y las condiciones geomecánicas del medio rocoso.

A nivel regional se han desarrollado estudios de variada connotación y dirigidas por diferentes instituciones u organizaciones, académicas, públicas y privadas. Los primeros estudios en detalle se remontan a finales del siglo XIX por Gabb (1881), quien describe unidades que actualmente corresponden con rocas de la cuenca de Limón. Olsson (1922) también realiza un estudio geológico y denomina algunas de las unidades que hoy en día mantiene su nomenclatura propuesta. Lo siguen campañas de índole académico y de interés comercial. Instituciones como la Universidad de Costa Rica, la Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE) y el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) han aportado material científico que han contribuido al entendimiento geológico de este sector del país.

El ICE ha participado en estudios geológicos de varias cuencas hidrográficas, en especial las de los ríos Reventazón y Pacuare, con el fin de desarrollar plantas hidroeléctricas. La mayoría de estos estudios tienen una orientación geotécnica, aunque se puede rescatar información que brinda datos sobre la geología regional.

Para el P.H. Reventazón es muy importante clarificar el escenario geológico, con el fin de establecer las amenazas y riesgos de eventuales sismos, poco frecuentes pero de magnitudes que pueden afectar seriamente el comportamiento de las estructuras civiles. De igual forma importa la distribución de las unidades dentro del área de influencia, pues cada una posee características físicas intrínsecas que favorecen o desfavorecen el comportamiento geomecánico, enmarcadas en la susceptibilidad a producir laderas inestables, su capacidad de soporte y la estanqueidad del embalse.

En este sentido, se realizó localmente una campaña de levantamiento geológico de campo para detallar la geología del proyecto. La información geológica obtenida se ha confrontado con los modelos regionales para articular esta geología dentro del contexto geológico de Costa Rica actualmente vigente.

La geología de la cuenca de Limón es compleja, particularmente debido a los procesos de deformación a las que ha estado sometida. La complejidad se incrementa cuando se trata de encontrar buenos afloramientos para conformar un modelo geológico del área. El clima tropical brinda satisfacción para el desarrollo de la biodiversidad, sin embargo, produce grandes espesores de suelos que solapan la información de las unidades de roca y las estructuras geológicas. La calidad y estructura de las rocas, el efecto de las lluvias, el sol y la sismicidad se

ha confabulado para permitir el desarrollo de amplias áreas de deslizamientos, que igualmente ocultan información de la geología de la zona. Por tanto, se requiere de mucha experiencia para lograr obtener un modelo cercano a las condiciones geológicas reales.

El modelo geológico actual de Costa Rica dibuja un límite de placa que se desplaza en un corredor que sigue gran parte del cauce del río Reventazón. Los estudios aquí desarrollados aportan información que permite aclarar parte de este modelo. Las rocas en este sector se encuentran fuertemente deformadas y su calidad física es endeble, los afloramientos no son muy buenos y se encuentran deslizamientos distribuidos a lo largo de toda la zona, por lo cual las unidades de roca que se encuentran en la mayor parte del área de estudio poseen parámetros geomecánicos bajos.

Unidades litoestratigráficas

La secuencia de rocas encontradas pertenece a las diferentes unidades geológicas definidas para la cuenca de Limón. Esta cuenca se ha caracterizado por poseer un registro del proceso de formación de la Placa del Caribe que culmina con el cierre de la conexión entre el pacífico y el mar Caribe con una edad alrededor de los 3,5 millones de años (Denyer, Montero & Alvarado, 2003).

Esta secuencia muestra una cuenca en proceso de colmatación. En la parte media baja del río Reventazón se encuentra documentado (área del proyecto), del periodo Mioceno Medio al Reciente. Hacia aguas arriba, cerca de la ciudad de Turrialba, aparecen unidades del Eoceno (Formación Las Ánimas y el Oligoceno Formación Punta Pelada). Tómese en cuenta que cuando se habla de la geología del proyecto, esta comprende desde las Lagunas de Bonilla hasta la ciudad de Siquirres.

Es interesante mencionar que el registro geológico de la cuenca del río Reventazón varía con respecto a lo que ha sido documentado tanto para las cuencas adyacentes que se ubican al SE (Pacuare) como las del NW (faldas del volcán Turrialba). En el caso de los ríos Pacuare y Barbilla, es común encontrar formaciones del Paleoceno, Eoceno y Oligoceno que no se encuentran en el río Reventazón, estas son: Tuis, Senosri y Calizas Dacli. En las cuencas al NW predominan los depósitos del cuaternario recientes.

La columna estratigráfica (figura 7.1.1) está constituida tanto por rocas sedimentarias como por rocas volcánicas, aunque ocasionalmente aparece una mezcla de ambas. Las unidades más viejas corresponden con secuencias de sedimentos formados en procesos marinos a costeros. La unidad más representativa es la Formación Uscari (secuencia de lutitas neríticas), la cual aflora a lo largo de todo el sector del embalse. También se encuentra la Formación Río Banano, dispersa en gran parte del proyecto. Estas unidades se encuentran plegadas y falladas.

Sobreyaciendo las unidades sedimentarias de ambiente marino, aparece una secuencia de lavas alcalinas constituidas por varias coladas de lava, afloran cerca del sitio de presa del proyecto y en la localidad de Guayacán, sitio que le dio el nombre de Formación Guayacán. En esta unidad se incluyen estructuras de intrusivos distribuidos a lo largo de todo el área de estudio.

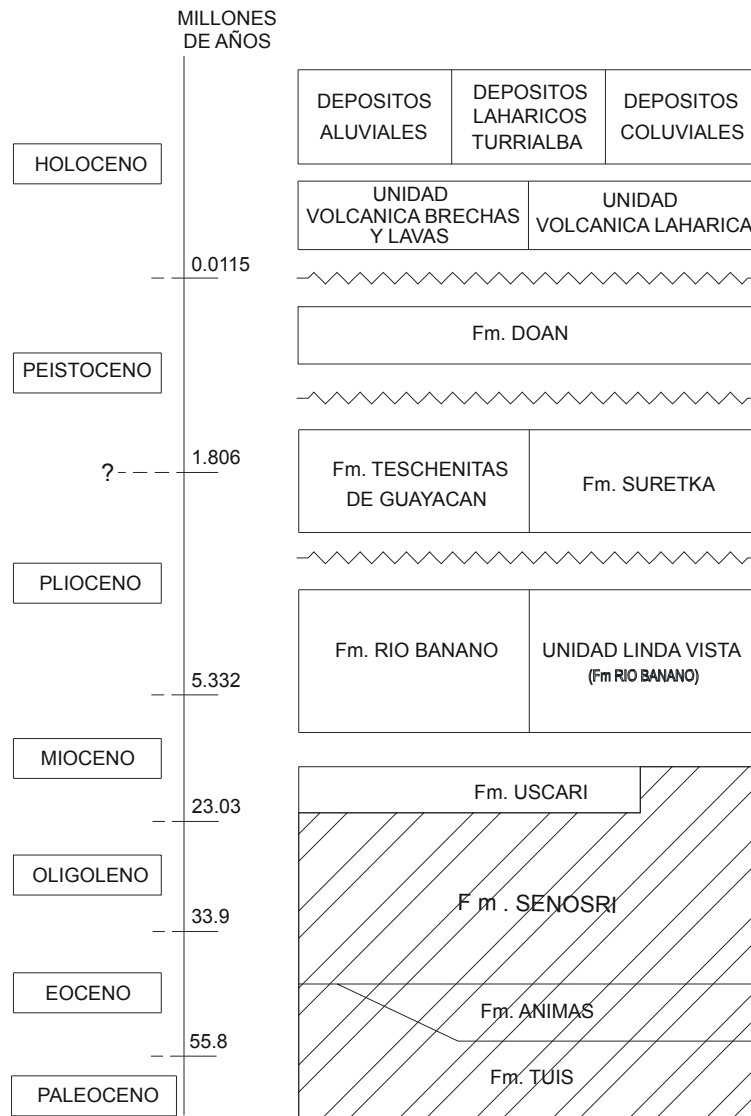
Arriba en la secuencia estratigráfica de las lavas se encuentran unidades de ambiente continental. Primero es común encontrar conglomerados formados en abanicos aluvionales (Formación Suretka) y segundo por flujos laháricos que están incorporados dentro de lo que se

llama Formación Doán, unidad que aglutina diversos procesos asociados a la actividad volcánica de la época, en conjunto además de procesos aluvio – coluviales.

La secuencia se corona con los diversos productos volcánicos emanados de la actividad volcánica de la cordillera volcánica y que su foco más cercano al proyecto es el volcán Turrialba. Lo constituyen flujos de lava, flujos piroclásticos y flujos laháricos. Estos últimos se encuentran en el sitio de presa y se “mezclan” con los flujos laháricos atribuidos a la Formación Doán.

Los productos volcánicos del cuaternario cubren las formaciones más antiguas y sus estructuras geológicas. Su distribución es principalmente a lo largo de la margen izquierda del río Reventazón, aunque ocasionalmente se observan relictos en sectores de la margen derecha. Se ha interpretado que estos productos volcánicos se emplazaron hasta un límite estructural (alto relieve), que actualmente coincide con la traza del río Reventazón.

La erosión ha sido fuerte a lo largo de varios milenios en este límite, y ha actuado en general en rocas de la Formación Uscari, constituidas por lutitas friables de baja resistencia, por eso es común encontrar afloramientos de esta unidad en el lecho del río Reventazón. Es muy probable que algunas otras estructuras contribuyan en su morfología, aspectos que serán tratados en detalle más adelante.



Presento: Geól. J.F. Morera L.

Figura 7.1.1: Columna cronoestratigráfica.

Formación Uscari

Formación definida por Olsson (1922), para describir una secuencia predominantemente de lutita y limonita arcillosa expuesta en la quebrada Uscari en el Valle de Talamanca. Taylor (1975) la describe como una unidad constituida por lutitas arcillo – limosas, pobremente endurecidas y con abundancia de foraminíferos planctónicos.

Fernández (1987) la utiliza para cartografiar sedimentos asociados a las facies transicional estuario/plataforma. Está constituida por lutitas friables y limonitas de color verdoso, intercaladas con areniscas finas y calcarenitas (fotografía 7.1.1). Tienen una estratificación de milimétrica a decimétrica. Es rica en foraminíferos bentónicos y planctónicos, ocasionalmente bivalvos, gasterópodos, erizos, ostras y dientes de tiburón. Esta unidad se formó en un ambiente nerítico y posee una edad de Mioceno Medio a Superior. Aflora en la zona de embalse del P.H. Reventazón, en gran parte de su cauce y en las quebradas, Lajas, Carazo, Tigre y también en los ríos Blanco y Bonilla.

Esta formación al igual que la de Río Banano se encuentra plegada y fallada. Su condición físico-mecánica y tectónica, la hacen ser susceptibles a los efectos de la dinámica externa. Primero, la erosión actúa fuertemente sobre estas rocas, formando valles extensos y en segundo lugar, es altamente susceptible a formar deslizamientos de diferentes magnitudes. En general se encuentran zonas de deslizamientos constituidos por varios planos de despegue y no uno principal, a todo lo largo de donde aflora. En el área de la quebrada Carazo y San Antonio son ejemplos muy claros de estos procesos.

Fotografía 7.1.1

Estratos de limonitas intercaladas con niveles de areniscas calcáreas de la Formación Uscari. Río Guayabo.



Durante los levantamientos de campo no se detectaron deslizamientos que puedan poner en peligro la estabilidad del embalse, sin embargo, van a representar zonas donde el aporte de sedimentos al embalse va a ser muy alta.

La distribución de esta formación hacia la margen izquierda del río Reventazón está limitada y cubierta por los productos volcánicos cuaternarios. Parece que existió un límite morfotectónico en este sector que restringió el emplazamiento de los flujos volcánicos.

Formación Río Banano

Definida por Taylor en 1975 y sujeta a varios estudios en los últimos años. Las rocas de esta unidad tienen mucha controversia, pues incluyen una amplia gama de ambientes de formación que van desde depósitos costeros hasta sedimentos deltaicos, algunas veces hasta plataformas carbonatadas.

Según Taylor (1975) la Formación Río Banano es “una serie de facies clásticas marinas someras y de arrecifes de coral interdigitadas”. Litológicamente subdivide a la Formación en 5 facies, a saber:

- Facies de areniscas
- Facies de conglomerados
- Facies de arrecifes de coral
- Facies de arcilla
- Arenas de Pueblo Nuevo

Fernández (1987) utilizó el nombre de la Formación Río Banano para identificar las facies de ambientes estuarios, las cuales están intercaladas dentro de Facies de la Formación Lutitas Uscari, las facies de ambiente de bahía con sedimentación carbonatada y a series de plataforma siliciclástica asociadas, agrupando de esta manera facies siliciclásticas del ambiente circalitoral hasta parálito.

Recientemente McNeil et al (2000), realiza un estudio en la zona del sector de Limón y La Bomba y propone una nueva nomenclatura, dividiendo parte de esta formación. De forma particular propone el nombre de Formación Quebrada Chocolate para denominar un paquete de arrecifes de coral que consisten en su parte inferior por capas arrecifales enterradas por sedimento siliciclástico y en la parte superior de construcciones arrecifales con relativamente menor matriz siliciclástica. Mantiene el Miembro Arenas Pueblo Nuevo de Taylor (1975), apoya la denominación de Formación Moín de Cassel & Gupta (1989) y denomina los Miembros Arrecifal Buenos Aires, Arrecifal Empalme y Arrecifal Lomas del Mar.

Dado que no es el objetivo de este trabajo entrar en una discusión técnica, aquí se le ha denominado Formación Río Banano a aquellas rocas que muestran una influencia fuerte de ambiente costero de depositación con predominancia de depósitos siliciclásticos con pocos carbonatos. Las facies que afloran en este sector no contienen unidades arrecifales.

Está constituida por una secuencia de areniscas y lutitas, con estratificación decimétrica y gran cantidad de fósiles. También se incluyen estratos de calizas bioclásticas (calcarenitas biodendríticas, con abundante microfauna y bioturbación, interpretada como facies de bahía con sedimentación carbonatada por Fernández, 1987). Estas últimas forman un horizonte guía que permiten trazar estructuras geológicas plegadas, que de otra forma fuese difícil seguir

(fotografía 7.1.2). Aflora en Bajos de Bonilla, cerca de las Lagunas de Bonilla, Linda Vista, cerca de las Quebradas Carazo y Lajas.

Fotografía 7.1.2.
Estratos de caliza bioclástica de la Formación Río Banano. Margen derecha del río Reventazón – Finca Carazo.



El espesor que estima Fernández (1987) de esta unidad en la hoja cartográfica Tucurrique es de 200 m y una edad de Mioceno Inferior al Pleistoceno Inferior. Taylor (1975) le brinda una edad de Mioceno Superior a Pleistoceno Inferior. Cassell & Gupta (1989) Mioceno Superior tardío a Pleistoceno. Coates et al (1992) Mioceno Superior a Pleistoceno. McNeill et al. (2000) Mioceno Superior tardío a Pleistoceno inferior. Desde el punto de vista geomecánico tiene las mismas virtudes y defectos que la Formación Uscari, excepto los estratos de caliza bioclástica que forma un horizonte de alta resistencia y sobresale en la superficie del terreno, formando un relieve positivo.

Formación Teschenitas de Guayacán

Las rocas de esta formación afloran en algunos sectores del río Reventazón, aunque sus mejores afloramientos se encuentran en la parte media baja del río Pacuare. Son descritas por primera vez en detalle por Azembre & Tournon (1977) y las describen como un conjunto de rocas hipoabisales alcalinas (diques y sills), con un espesor de 30 m dentro de rocas sedimentarias del Terciario Inferior. Según información de Tournon (1984), durante la construcción del ferrocarril se tomó una muestra que fue analizada por Wolf en 1896 (en Tournon, 1984), describiéndola como una teralita.

Cervantes (1989), describe una secuencia de flujos de lavas alcalinas delgadas y que suman un espesor total de 300 m en el sector del sitio de presa del P.H. Pacuare. Estas mismas rocas se encuentran aflorando en algunos sectores donde se ubica el P.H. Reventazón, particularmente en el sector de la quebrada Guayacán, quebrada Rubio y algunos sectores en las márgenes del río Reventazón (fotografía 7.1.3). Las perforaciones realizadas en el sitio de presa encuentran los flujos de lava alrededor de 50 m bajo el nivel de fundación actual.

De igual forma a lo largo de toda la zona de embalse se encuentran cuerpos intrusivos, en su mayoría diques que atraviesan las secuencias estratificadas de las Formaciones Uscari y Río Banano. Producen en la mayoría de los casos fisuración de la roca adyacente y forman halos de alteración hidrotermal. Este efecto en la roca aumenta los problemas de inestabilidad de taludes que han sido determinados en el área de estudio.

Fotografía 7.1.3.
Lavas alcalinas de la Formación Guayacán (Quebrada Guayacán).



Formación Suretka

Esta formación se encuentra aflorando en casi todo el frente de montaña de la Cordillera de Talamanca. Sus mejores exposiciones se encuentran en la zona de Siquirres y Turrialba, aunque su estrato tipo se encuentra en la zona de Suretka. Fue Berry (1921, en Taylor, 1975) quien lo refirió como conglomerado de Suretka.

Esta secuencia sedimentaria forma parte de la culminación del proceso de colmatación de la cuenca de Limón y el levantamiento de la Cordillera de Talamanca. Está constituida principalmente por estratos de conglomerados formados en un ambiente aluvional (abanicos aluvionales). Tiene estratificación decimétrica a métrica, ocasionalmente laminación cruzada en los lentes de areniscas. También es común encontrar capas de tobas retrabajadas e interdigitación de flujos laháricos.

Los conglomerados están compuestos por bloques predominantemente de rocas volcánicas bien redondeadas y buena esfericidad, también hay intrusivos y ocasionalmente bloques de roca sedimentaria. La matriz es de arena media a gruesa, aunque se pueden encontrar todas las granulometrías. El tamaño máximo de los bloques es de 60 cm., el mínimo de 2 cm. y el diámetro promedio de 15 cm. La relación de bloques / matriz es de 65% / 35 % (fotografía 7.1.4). Su espesor estimado en el sitio de presa es de 65 m a 130 m (Instituto Costarricense de Electricidad, 2002)

Estos depósitos no presentan graves problemas de estabilidad, de hecho se pueden encontrar taludes subverticales (60°), de 50 m de alto y estables. Sin embargo, es común observar grietas de descompresión paralelos al talud que pueden desprenderse durante procesos de lluvias intensas y/o fuertes sismos. Lo que sí es común observar es el desprendimiento de bloques cuando la matriz es erosionada, aspecto que es necesario tener en cuenta durante procesos de excavación.

Fotografía 7.1.4.
Conglomerado de Suretka en la margen izquierda del sitio de presa.



Formación Doan

Consiste de brechas y conglomerados con gran aporte de materiales volcánicos, también se encuentran capas de tobas, su nombre se le atribuye a Escalante (1966), que tomó el nombre del cerro Doan, localizado cerca de la ciudad de Orosi. Las brechas están formadas en una gran parte a partir de flujos laháricos.

Su distribución geográfica es amplia y se observan afloramientos desde la zona de Orosi – Cachí, Turrialba hasta el sector de Siquirres. Existe una tendencia de incluir en esta unidad todas aquellas rocas volcánicas de texturas brechosas que aparecen en los sectores indicados y que no están relacionadas con formaciones ígneas conocidas. Según Fernández (1987) esta unidad posee un espesor de 500 m.

Alvarado, E. & Pérez, W. (1999) ejecutan una revisión exhaustiva de esta unidad y la definen como una unidad compuesta en un más de un 80% por depósitos volcanoclásticos (piroclásticos y epiclásticos), así como coladas de lava y diques subordinados. Las rocas poseen una composición basáltica hasta andesítica y basalto traquiandesítico hasta traquiandesitas. Los depósitos piroclásticos y autoclásticos (brechas volcánicas, tobas y tobas de lapillo) consiste en depósitos de flujos de bloques y cenizas, flujos ricos en líticos y cristales, posibles avalanchas volcánicas e intercalaciones de cenizas (caídas y oleadas). Además contiene la formación extensos depósitos epiclásticos, los cuales contienen flujos de escombros (lahares), así como tobitas, conglomerados y brechas tobáceas.

En el informe de prefactibilidad del P.H. Reventazón (Instituto Costarricense de Electricidad, 2002) se presenta un estudio de esta unidad en detalle con base en los núcleos de perforación obtenidos de los sondeos exploratorios. Se proponen 3 facies de brechas establecidos a través de 3 episodios laháricos.

La facies A (brecha superior) se caracteriza por poseer alrededor de 15-40% de bloques y el resto de matriz. La matriz es muy bien compacta, de composición limo-arenosa.

La facies B está subdividida en 3 niveles (brecha intermedia):

Facies B1: caracterizada por contener clastos entre los 50 y 80%. La matriz es poco compacta o semicompacta y de composición tobácea.

Facies B2: estratificaciones de sedimentos epiclásticos (estratificación decimétrica).

Facies B3: es una brecha similar a la primera aunque puede variar en el porcentaje de clastos y su nivel de compactación.

La facies C (brecha inferior) se caracteriza de manera similar a la brecha superior, aunque con una tendencia a estar menos alterada y más compacta.

Después de revisar los afloramientos que aparecen en el sector de sitio de presa y sus alrededores, es complejo lograr establecer una estratigrafía interna en los depósitos de brechas. Morfológicamente se observa que en este sector existe la confluencia de al menos 2 eventos separados en el tiempo y que posiblemente provienen de fuentes diferentes. La fotografía 7.1.5 muestra como normalmente lucen en estas litologías en núcleos de perforación.

Hay que considerar que los flujos laháricos tienden a ser muy heterogéneos y que varían en composición de forma rápida, tanto horizontal como verticalmente. El establecimiento de facies deberá tener en cuenta el proceso de formación y las condiciones del flujo. Las perforaciones son muy puntuales y por lo general, se deben de correlacionar con otros elementos para asegurar la estratigrafía. La fotogeología señala que los flujos laháricos cuaternarios provenientes de la cordillera volcánica central invaden los valles existentes en ese momento y que el límite aproximado del alto relieve se encuentra muy cercano del sitio de presa. Es la propuesta de esta revisión que existen dos eventos, uno que se le puede atribuir a los depósitos que dan nombre a la Formación Doan y el otro a los depósitos cuaternarios. De

hecho el espesor en la margen derecha (90 m) del sitio de presa es mayor que el que se ha medido en la margen izquierda (175).

Los depósitos encontrados en la margen derecha corresponden en general con brechas de la Formación Doan. En la margen izquierda encontramos en la parte inferior brechas de la Formación Doan y en la superior brechas de los depósitos cuaternarios. El contacto entre ambas no es establecido en este documento, sin embargo, es una tarea que queda pendiente como parte de las actividades que están en proceso. La edad de la Formación Doan es de 1 m.a. (Alvarado, comunicación personal).

Fotografía 7.1.5.
Detalle de las brechas de Doan, núcleos de perforación de sitio de presa.



Es interesante lo que ocurre con los depósitos del cuaternario, pues vienen a cubrir las unidades pleistocénicas a más viejas. Esta situación hace que estructuras como fallas o pliegues no puedan seguirse o detectarse en algunos sectores en la zona de estudio. Las estructuras más viejas y sin actividad no pueden observarse en las unidades nuevas. Las estructuras viejas y actualmente activas, todavía no logran tener expresión sobresaliente sobre el terreno.

Productos volcánicos cuaternarios

Se trata de una gama de materiales volcánicos que se encuentran distribuidos a lo largo de la zona de estudio, particularmente se distribuyen en la margen izquierda del río Reventazón. Los mismos provienen de la actividad volcánica establecida durante el cuaternario y su fuente principal ha sido el macizo del Turrialba y el volcán Dos Novillos.

La actividad del volcán Turrialba ha sido de tipo estromboliana, pliniana y freatomagmática, y ha producido depósitos piroclásticos, flujos de lava y flujos laháricos (Soto, 1988).

De acuerdo a la distribución de los materiales, se puede asumir que durante el proceso de formación de los depósitos volcánicos existía una barrera morfológica hasta donde los materiales pudieron llegar. Excepto para algunos casos los materiales se encuentran esparcidos a lo largo de la margen izquierda del río Reventazón. Se interpreta que actualmente este río se desplaza por el paleolímite. La erosión ha permitido la presencia de ventanas donde las secuencias sedimentarias apenas pueden ser observadas.

Hacia la zona del embalse se encuentran depósitos de brechas y lavas, productos de flujos piroclásticos y coladas de lava. En algunos sectores como en lagunas de Bonilla se pueden encontrar flujos laháricos, aunque estos últimos son más comunes hacia la zona del sitio de presa y casa de máquinas.

Como ha sido expresado anteriormente estos depósitos cubren los depósitos sedimentarios y por tanto, ocultan estructuras geológicas que afectan formaciones más viejas o actuales, pero no han permitido una expresión prominente sobre el terreno todavía.

Depósitos recientes

Los depósitos recientes lo constituyen coluvios y aluviones esparcidos a todo lo largo del área del proyecto. Se suman además conos de eyección que se ubican en la desembocadura de los principales tributarios del río Reventazón.

Depósitos aluvionales

Los mayores espesores se encuentran ubicados en las márgenes del río Reventazón, particularmente hacia aguas abajo del puente sobre la carretera Saopín. Están constituidos por bloques de lavas e intrusivos con excelente redondez, buena esfericidad que están inmersos en material granular, arena de grano medio a grueso (fotografía 7.1.6). A veces se observa contacto entre bloques. En sectores donde el río pierde energía, pueden encontrarse bancos de arenas.

El diámetro de los bloques máximos puede alcanzar los 2 m, en el sector del sitio de presa y hacia aguas arriba, aunque en promedio tienen un diámetro de 70 cm. Hacia aguas abajo la tendencia es que el diámetro máximo disminuye y en promedio los bloques alcanzan un diámetro de 50 cm.

El espesor de los depósitos oscila cerca de los 10 m, y el área es amplia alcanzando en sumatoria varias hectáreas. Representa una muy buena fuente de material para la construcción.

Fotografía 7.1.6.
Depósitos aluvionales en las márgenes del río Reventazón.



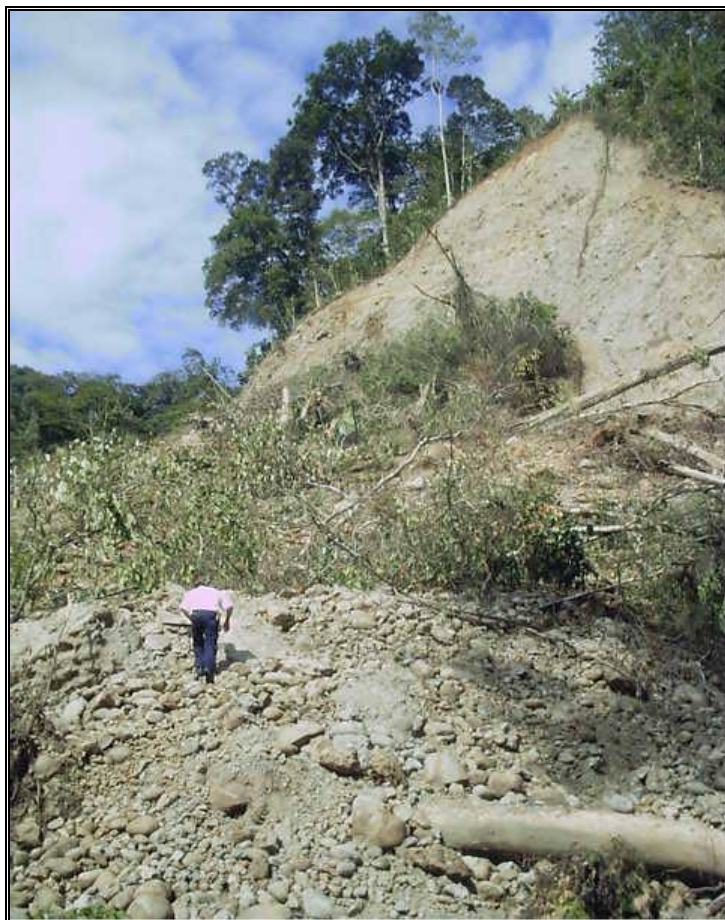
Depósitos de coluvio

Estos depósitos están ampliamente desarrollados en la zona, debido a la pendiente de los taludes, a la composición de la roca y a su grado de meteorización, a la disposición estructural y estratigráfica, a los efectos tectónicos y a las condiciones climáticas. Estos elementos se confabulan para producir espesores considerables y áreas extensas en toda la zona que comprende el presente estudio.

La composición de los materiales sedimentarios y su grado de trituración por tectonismo permiten el desprendimiento de masas de roca que se depositan al pie de las laderas o en las márgenes del río Reventazón. Dado que estos materiales están por debajo de litologías volcánicas que son un poco más resistentes, hacen que algunas veces movilice mayores volúmenes al ser erosionada la base de los terrenos (fotografía 7.1.7). En otras ocasiones cuando el problema persiste se convierte en sectores con inestabilidad permanente. Las lutitas y arcillolitas de la Formación Uscari presentan normalmente a lo largo de todo el área donde afloran, problemas de este tipo.

Fotografía 7.1.7.

Desprendimiento de gran volumen de materiales de Doan y Suretka debido a fisuras de descompresión. Q. Rubio 300 m aguas arriba sitio de presa.



En las Formaciones de Suretka, Doan y Depósitos Volcánicos cuaternarios los taludes tienden a ser de alto ángulo y en ellos se favorece el desprendimiento de volúmenes de roca bajos a medios, aunque continuos que coadyuvan en este proceso la alteración de la superficie expuesta, la lluvias y los sismos. Tal como ha sido indicado, el alineamiento del río Reventazón parece corresponder con una zona de debilidad tectónica. Esta condición afecta progresivamente la resistencia de los materiales e igualmente contribuyen al proceso de formación de depósitos coluviales.

La Formación Uscari y en algunos casos Río Banano, son unidades que presentan problemas de estabilidad de laderas permanentes. Normalmente donde estas afloran, se encuentran zonas deslizadas. No son deslizamientos de gran magnitud, pero si son áreas grandes (varias hectáreas), el espesor es variable, aunque en promedio se estima de 5 m. Se dibujan como zonas complejas, con muchos escarpes que indican secciones independientes con movimientos diferenciales, aunque interconectadas entre sí. En San Antonio de Siquirres y el área alrededor de la quebrada Carazo son ejemplos de este tipo de comportamiento de suelos (fotografía 7.1.8).

Fotografía 7.1.8.**Escarpe producido por el movimiento de masa a través de capas de la Formación Uscari.****Conos de deyección**

Son depósitos que se localizan en la desembocadura de las quebradas tributarias al río Reventazón. Se debe a la fuerte erosión que experimentan las márgenes de las quebradas, debido a la baja resistencia de las rocas y la trituración por efecto del tectonismo (principalmente). Durante la época de verano y lluviosa pero con baja precipitación, se desprenden bloques de las laderas y se depositan en el lecho, durante torrenciales estos son arrastrados con violencia a lo largo del cauce y proyectados hacia su desembocadura formando estructuras en forma cónica y de pendiente baja que invaden algunas veces el cauce principal del río Reventazón.

Por su naturaleza, los materiales están constituidos por bloques angulares de composición variada, la cual depende de los tipos de roca localizados aguas arriba, hay muy poco material fino y el contacto es entre bloques. Con frecuencia se encuentra árboles formando parte del depósito. Estos depósitos son típicos en la desembocadura de la quebrada Bonilla, donde invadió parte de la infraestructura del pueblo de Bajos de Bonilla (fotografía 7.1.9). También han sido observados en río Blanco (San Antonio), quebrada Lajas y río Guayabo.

Fotografía 7.1.9.
Cono de deyección: río Bonilla, invadió el puente del ferrocarril y desplazó la línea férrea.



7.1.2 Modelo geotectónico

En la región Caribe de América se presentan varias placas y microplacas cuyas interacciones y fronteras son aún hoy en día motivo de controversia (Montero, 2001). Para el Cuaternario existen diversos modelos para explicar los límites de la placa Caribe. Una de las regiones controversiales es la región de Costa Rica – Panamá.

Adamek et al. (1988) propusieron formalmente la existencia de la microplaca de Panamá, como un bloque tectónico ubicado entre las placas Nazca y Caribe. Diferentes propuestas existen con respecto al límite oeste de esta microplaca. Vergara (1988) lo ubicó en el límite transversal a la zona fronteriza de Panamá con Costa Rica. Montero & Dewey (1982) consideraron la posible existencia de una zona de fallamiento siniestral uniendo la Fosa Mesoamericana con el Cinturón Deformado del Norte de Panamá. Astorga et al. (1991), propusieron que Costa Rica se puede dividir en dos bloques: Costa Rica Norte y Costa Rica Sur, y que la frontera entre ambos bloques es una zona de fallamiento siniestral transversal a la región central de Costa Rica, que denominaron la falla transcurrente de Costa Rica.

Con el terremoto de Limón (1991) se propuso que el borde oeste de la microplaca de Panamá corresponde con una zona de cizalle siniestral, que atraviesa transversalmente la región central de Costa Rica (Montero, 1990; Goes et al., 1993; Fan et al., 1993; Güendel & Pacheco, 1992; Fisher et al., 1994; Montero 1994) Fernández (1996) y Fernández & Pacheco (1998) no consideran que la sismicidad y sismotectónica del centro de Costa Rica apoyen el modelo anterior.

La placa del Coco se subduce bajo el margen pacífico de América Central, a partir de la fosa Mesoamericana. Hacia el sureste, la zona de subducción termina en un punto triple. Al sur del mismo interaccionan la placa del Coco con la placa Nazca, a lo largo del sistema de falla transformada dextral de Panamá, de rumbo N-S. Al este, la placa de Nazca se subduce en forma oblicua bajo el pacífico panameño. En Costa Rica, la subducción de la placa del Coco tiene diferentes características geométricas a lo largo de su rumbo (Protti et al., 1995). Bajo el noroeste del país, se subduce corteza oceánica de batimetría suave, originándose una zona de Benioff con temblores de profundidad intermedia (150-200 km). Bajo la región central, ocurre la subducción de la frontera rugosa-suave, formada en el punto triple entre las placas Coco-Pacífico-Nazca. También se subducen levantamientos oceánicos como el de Quepos (von Huene et al., 1995). Además, la zona de Benioff bajo el centro del país es menos profunda (hasta 100 km). Bajo el sur de Costa Rica, la subducción del levantamiento oceánico del Coco, origina un proceso tectónico tipo colisión (Suárez et al., 1995). Montero (1994), Kolarsky et al. (1995) y López (1999), propusieron que esta interacción ha originado la indentación del área continental central-sur del país, generando sistemas de fallas entre el Pacífico y el Caribe cuyos desplazamientos son controlados por la geometría del indentador y de la zona indentada.

La microplaca de Panamá limita al norte con la placa Caribe a lo largo del Cinturón Deformado del Norte de Panamá; al este con la placa suramericana, a lo largo del cinturón Deformado del Este de Panamá (Mann & Kolarsky, 1995); al sur con la placa Nazca, a lo largo de una zona con convergencia oblicua en su sector suroeste y de desplazamiento siniestral hacia el sureste. La ubicación del límite de la microplaca de Panamá ha sido localizado en diferentes sectores entre el oeste de Panamá y Costa Rica. Varios coinciden que dentro de la corteza continental del centro de Costa Rica, existe una zona de deformación de rumbo aproximado este-oeste, que incluye un complejo sistema de fallas activas de diversas geometrías, las cuales definen el límite incipiente oeste de la microplaca Panamá (figuras 7.1.2 y 7.1.3). Montero (2001) plantea un modelo cinemático, en el cual el movimiento relativo del bloque sur con respecto al norte, origina compresión a lo largo del país, tanto en el sector norte de la cordillera volcánica Central, como a lo largo del margen caribe, desde puerto Limón hacia el sureste, a lo largo del cinturón deformado del norte de Panamá. Los desplazamientos horizontales anteriores resultan en fallas predominantemente siniestrales, aunque otros tipos de fallas contribuyen al proceso de interacción tectónico.

Sistema de fallas regionales

Montero (2001) enumera las fallas más importantes hasta el momento propuestas que delimitan el borde de la microplaca con Panamá, estas son las siguientes:

Valle Central y borde norte de la cordillera de Talamanca

Sistemas de fallas de Puriscal y alrededores

Sistema de fallas de los montes del Aguacate y la falla La Garita

Falla Jaris

Sistema de fallas Escazú – Belo Horizonte – Aserri – Jericó

Falla Frailes

Sistema de fallas Caliente – Río Azul – Cipreses

Sistema de fallas transtensionales de Simari

Falla Buenavista

Trasarco (borde noreste de la cordillera de Talamanca)

Falla Kabébeta

Falla Ayil

Falla Pacuare
 Fallas de Matina – Siquirres
 Falla Río Blanco
 Falla de Limón
 Falla Sukut

Figura 7.1.2
Fallas geotectónicas que según Montero (2001), definen el Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica.

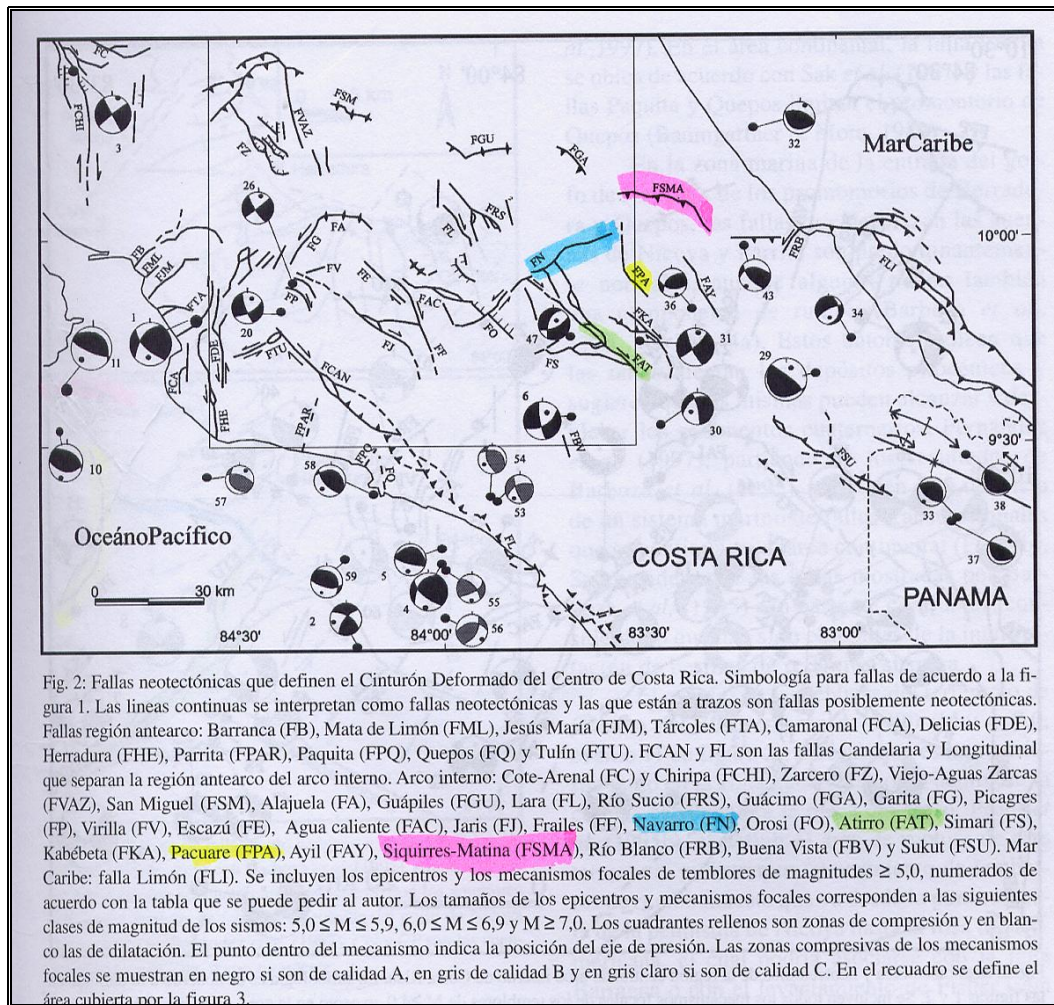
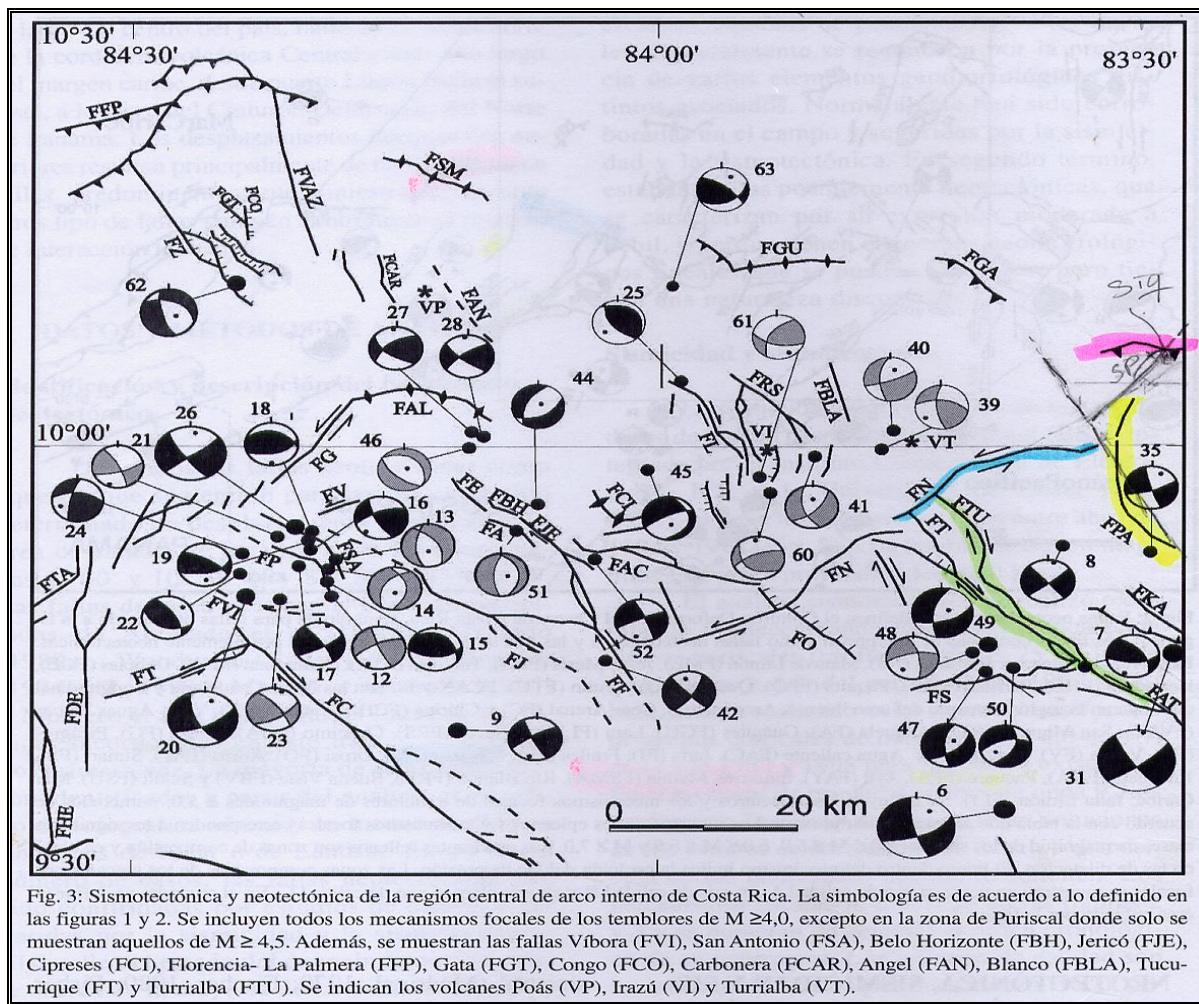


Figura 7.1.3.
Sismotectónica y neotectónica de la región central del arco interno de Costa Rica
(tomado de Montero, 2001).



Linkimer (2003) realizó un estudio neotectónico de las fallas dibujadas en la zona de Turrialba y Siquirres, de las cuales incluye todas las expuestas por Montero (2001).

El análisis de Linkimer (2003), lo establece agrupando las fallas en cinco sistemas, a saber (figura 7.1.4):

Sistema de fallas Atirro – Río Sucio

Sistema de fallas Navarro

Sistema de fallas Kabébeta

Sistema de fallas Siquirres – Matina

Sistema de fajamiento en la cima de los volcanes Irazú y Turrialba

El sistema de fallas Atirro – Río Sucio y Pacuare están caracterizadas por tipo dextral con componente normal, el sistema Navarro por fallas de tipo siniestral, el sistema Kabébeta por fallas de tipo dextral, el sistema Siquirres – Matina por fallas inversas y el fallamiento en la cima de los volcanes Irazú y Turrialba por fallas normales.

Linkimer (2003) establece con una revisión de los registros sísmicos recientes que de enero de 1992 a diciembre del 2002 ha ocurrido sismicidad en las fallas Siquirres, Irazú, Guayabo, Navarro, Lajas, Turrialba, Azul, Tucurrique, Pacuare y Kabébeta. La sismicidad relocalizada se caracterizó por magnitudes bajas (1,7 – 4,4 Md y 1,0 – 4,1 ML) y poca profundidad (<19,6 km).

La geometría del fallamiento reveló una estrecha relación entre la orientación y el tipo de movimiento: fallas dextrales tienen un rumbo predominante N30-50°W, siniestrales N40-50°E, normales N0-20°E, e inversas N70°W. Además que la dirección del esfuerzo compresivo horizontal máximo es N0°E y N20°E.

Debido a la cercanía y al paralelismo de los sistemas Kabébeta, Atirro – Río Sucio y parte de Pacuare, estos podrían pertenecer a un mismo sistema. Se desconoce por qué están separados.

En el modelo de Linkimer (2003), se encontraron 17 fallas activas para la zona estudiada que podrían generar terremotos de magnitud máxima 5,3 – 6,8 Mw.

Sistema de fallas Pacuare

Sistema Pacuare: constituida por 14 fallas, 3 de ellas mayores a 10 km de longitud. Este sistema presenta cierta dispersión en el alineamiento de las fallas (2 de ellas son activas).

Está constituido por una serie de fallas y lineamientos de rumbo predominante N-S y NW, que se localiza en los alrededores del río Pacuare, entre la población de Pacuare y la ciudad de Siquirres. Se interpreta que las fallas de este sistema son predominantemente normales y dextrales. Al sur de la ciudad de Siquirres las fallas se orientan N-S, hasta el sector de Pacuare (ver figura 7.1.4).

Falla Palomo: 6,5 km de longitud, con desplazamiento dextral de 200 m. Esta estructura es correlacionable claramente con una falla cartografiada en el campo y que se ubica en la zona del embalse.

Falla Lomas: está expresada por un lineamiento prominente de 4 km de longitud, que transcurre por la margen oriental del valle del río Reventazón, desde la comunidad de la Florida hasta la quebrada Lajas (pasa por el sitio de presa. Tiene un rumbo N15°E. Linkimer (2003) la considera una falla activa, con un potencial de generar sismos de magnitud 5,3 Mw, con movimiento normal, con el bloque occidental descendido. En el estudio en detalle que hemos realizado no se encontró evidencia de esta falla, es posible que sea confundida con alguna de las otras estructuras encontradas.

Falla Carazo: está expresada como un lineamiento prominente, que se extiende desde la quebrada Lajas hasta el sector norte de la comunidad de Linda Vista. Tiene un rumbo N15°E y una longitud de 4 km. Se le atribuye un movimiento dextral-normal y un sismo máximo de 5,3 Mw. Linkimer (2003) encuentra evidencias de actividad neotectónica. Esta estructura fue encontrada durante los trabajos de campo por el ICE, tanto en la campaña del 2002 (ICE, 2002), como en la actual.

Falla Bajo del Tigre: falla posiblemente neotectónica de expresión prominente, localizada al sur de Siquirres, entre los cerros Alto Berlín y Alto Corozal. Tiene una longitud de 15 Km y un potencial de sismos de 6,4 Mw. Se interpreta con un movimiento predominantemente normal y con una componente dextral.

Falla Tres Equis: corresponde con una falla neotectónica de expresión prominente, rumbo promedio N-S, pasando por la comunidad de Tres Equis y tiene una longitud de 3 km. Se presume que es una falla normal, aunque se interpreta una componente de rumbo.

Falla Alcantarilla: es un lineamiento prominente localizado al norte de la fila Cajón, posee una longitud de 7,5 km, aunque podría extenderse hasta por 22 km. Tiene un rumbo N45°W y es de rumbo dextral.

Falla Pacuare: se le asigna una longitud de 12 km, aunque podría extenderse hacia el SE a través de los ríos Peje, Moravia y Shara alcanzando una longitud total de 28 km. También se propone que se extienda hacia el valle del Reventazón y siguiendo a través del río Blanco en San Antonio, lo que le brinda una extensión de 46 km. Se interpreta como una falla dextral. Hay sismicidad que se le atribuye a esta estructura.

Sistema de Fallas Siquirres y Matina

Corresponde con una serie de fallas expresadas en forma de escarpes y pliegues antiformal, de un rumbo WNW y E-W, que se extienden desde el sur de Guácimo hasta Matina. Linkimer (2003) reconoce únicamente un lineamiento, denominado falla Siquirres, el cual está caracterizado por una traza débil y poco precisa.

La falla Siquirres tiene un rumbo promedio N70°W y una longitud de 23 km, la cual podría ser mayor, si se considera su continuación al NW hacia Guápiles y hacia el E de Siquirres. Soulas (1989) propone que estas fallas corresponden con el cinturón deformado del norte de Panamá (CDNP), y localmente corresponde con un plano de poca inclinación, unidos en el centro por una rampa mayor más inclinada, cuyo buzamiento puede alcanzar 20 – 40°, supone una velocidad de deformación de 1 – 3 mm/año. Montero (2001) considera que estas fallas inversas son parte del cinturón deformado del centro de Costa Rica (CDCCR) y propone una tasa de movimiento menor de 1 mm/año.

A la luz del presente análisis, se ha determinado que no es fácil seguir la traza de la falla Siquirres como se propone en los estudios anteriores, particularmente a partir del río Reventazón al oeste, donde los flujos laháricos recientes cubren gran parte de los accidentes topográficos (paleo relieve) existentes antes de estos eventos. De hecho al reconstruir la paleotopografía parece señalar que la traza de la Falla Siquirres sigue una orientación que la ubica más al sur de donde la ubican actualmente Soulas (1989) y Boschini (1989).

Sistema de Fallas Atirro – Río Sucio

Sistema Atirro – Río Sucio: la constituyen 21 fallas. Con longitud superior a los 10 km, solamente 6. De acuerdo a los registros sísmicos, la sismicidad se le atribuye a 7 de estas fallas. Este sistema consiste de una serie de fallas dextrales de rumbo predominantemente NW, que se extiende desde el río Patria (W de Guápiles) hasta el río Chirripó (NE de la fila Matama). Se trata de al menos 20 lineamientos relacionados como fallas activas o neotectónicas. La longitudes de estos oscila entre 1,5 a 23 km de longitud. De estas las que muestran actividad sísmica son las siguientes:

Falla Atirro – Sirú: posee un rumbo promedio N45°W y una longitud estimada de 28 km. Tiene un tipo de movimiento dextral – normal y presenta actividad sísmica reciente. El sismo máximo esperado es de 6,8 MW.

Falla Azul: es una falla de forma curva que se extiende por alrededor de 23 km desde el oeste de la población de Santa Cruz hasta el sector sur de la comunidad de Atirro (con un rumbo promedio N55°W – N20°E). Posee actividad sísmica asociada y un sismo máximo esperado de 6,7 Mw.

Falla Tucurrique: se asocia con el ramal oeste de la falla Atirro-Sirú. Se extiende desde la fila Rincón de la Esperanza hasta la comunidad de Juan Viñas, con una longitud de 20 km. Se le asigna un sismo máximo esperado de 6,5 Mw.

Sistema de Fallas Navarro

Sistema Navarro: está constituida por 7 fallas, 2 de ellas con una longitud superior a los 10 km (2 activas). Paralelo al sistema de fallas de Irazú – Turrialba. Consiste de una serie de fallas de rumbo NE, que se extiende desde la cabecera del río Navarro, al norte del Empalme (fuera del área de estudio) hasta el río Bonilla, al norte de Lajas.

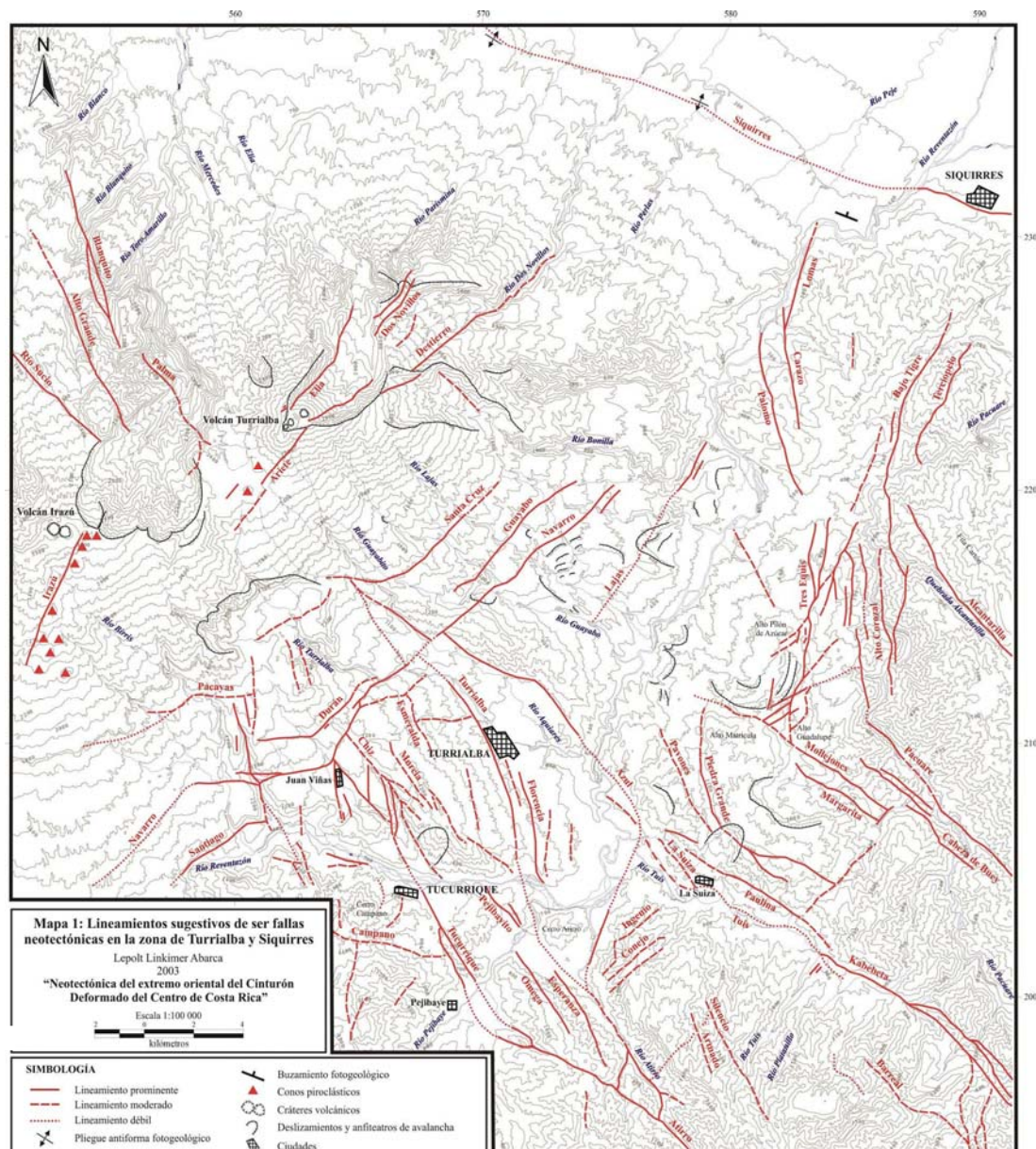
Sistema de fallas Irazú – Turrialba

Sistema Irazú - Turrialba: es un sistema de fallas de corta longitud, constituido por 5 fallas, todas inferiores a los 8,5 km y 3 de ellas activas. Son estructuras con una orientación NE, se le han relacionado con actividad sísmica reciente en esta zona.

Sistema de fallas Kabébeta

Sistema Kabébeta: compuesto por 7 fallas, 3 de ellas son igual o mayor a 10 km de longitud. Este sistema lo considera a parte, aunque el sistema de fallas es paralelo a los sistemas de Pacuare y Atirro. Se ha determinado que una de las fallas es activa. Son fallas de rumbo predominantemente NW, extendidas por alrededor de 30 km desde las poblaciones de La Suiza y Jabillos hasta el río Pacuare. Una de las fallas se le responsabiliza de alguna actividad sísmica reciente.

Figura 7.1.4.
Sistema de fallas analizadas por Linkimer (2003).



Conclusiones

1. El sector donde se ubica el P.H. Reventazón posee condiciones geológicas complejas, debido a la presencia de estructuras de fallas y pliegues producto de una tectónica activa.
2. En la zona del proyecto se registra la historia geológica que ha experimentado la región a partir del Mioceno Superior al Reciente. Las unidades sedimentarias encontradas corresponden con Las Formaciones Uscari, Río Banano y Suretka. Las formaciones volcánicas o subvolcánicas que se encuentran son Doan y Depósitos volcánicos recientes. También se encuentran aluviones y coluvios como depósitos recientes.
3. Los modelos tectónicos propuestos señalan el alineamiento del río Reventazón como parte del Cinturón Deformado de Costa Rica, el cual representa el límite de la microplaca de Panamá.
4. Las características geológicas encontradas en la zona apoyan fuertemente el modelo de límite de microplaca. Las rocas en este sector se encuentran fuertemente tectonizadas, deformadas y en general de características geotécnicas de baja resistencia.
5. Las rocas del Mioceno Superior al Plioceno (Pleistoceno?) se encuentran plegadas mostrando una serie de sinclinales y anticlinales que hacen que la secuencia sedimentaria se repita a lo largo del cauce del río Reventazón.
6. Tres sistemas de fallas han sido encontrados en el área de estudio. Sistema NW, sistema SW y fallas inversas. Las fallas NW son de desplazamiento de rumbo y de tipo dextral. Las fallas SW son igualmente de desplazamiento de rumbo y de tipo siniestral. Las fallas inversas corresponden con estructuras de empuje encontradas en el frente de montaña y son parte de las fallas que han sido interpretadas como parte del límite de la microplaca de Panamá.
7. Se han encontrado nuevas fallas que no habían sido determinadas anteriormente. Estas fallas pueden ser consideradas dentro de los sistemas propuestos para el área.
8. La dirección del plegamiento y las fallas son el resultado del sistema de esfuerzos que afectan el sector de Costa Rica, en el modelo de interacción de la tectónica de placas.
9. La falla Siquirres correspondiente al sistema de fallas inversas deberá analizarse mejor para establecer el sismo máximo esperado de esta estructura. La falla activa más cercana (falla Pacuare) tiene un sismo esperado de 7,0 Mw, aunque podría ser mayor si la traza de esta falla se extiende más de lo hasta ahora considerado.

7.1.3 Estructuras geológicas locales

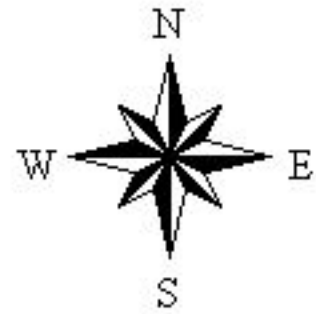
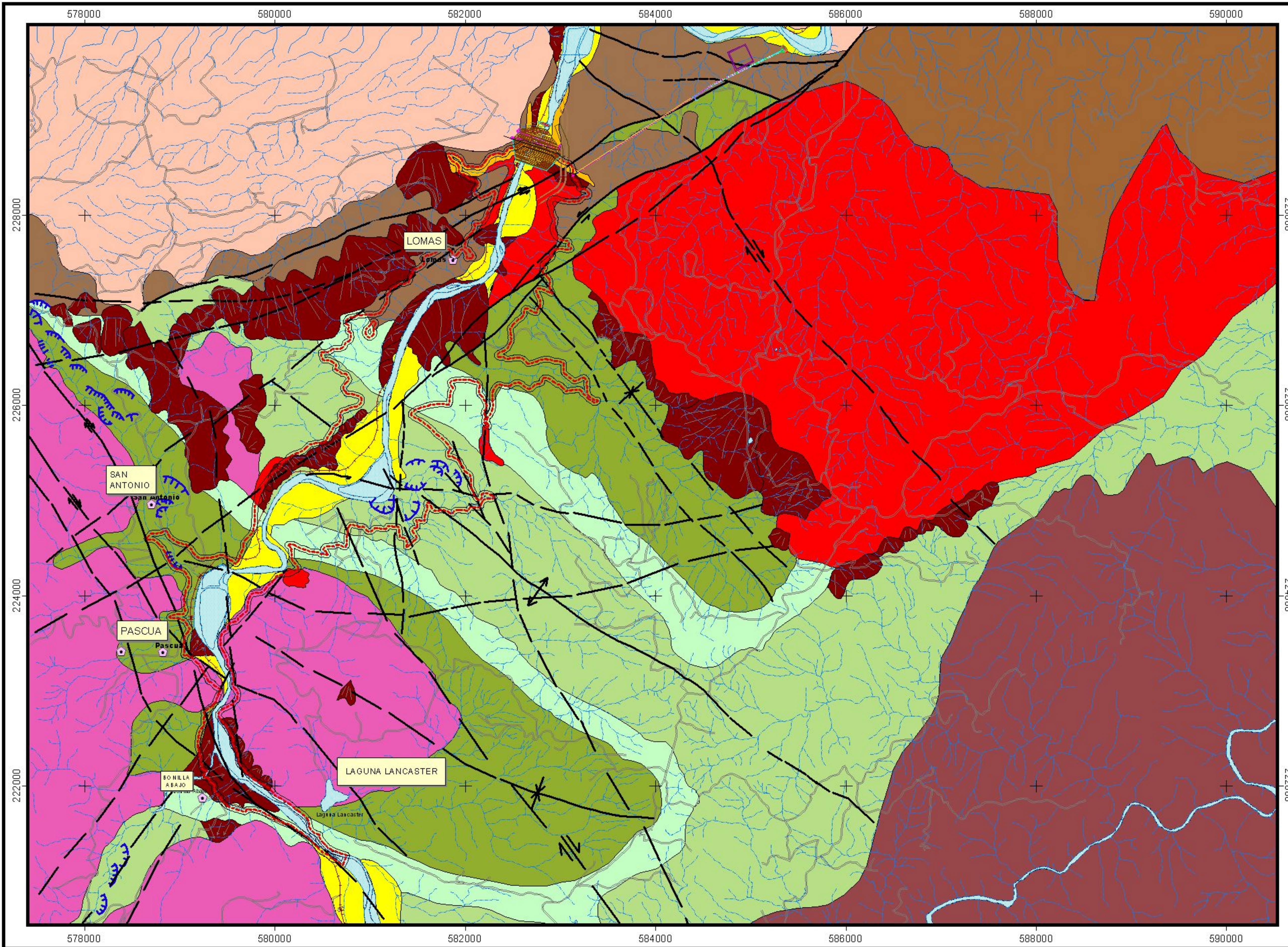
En el proceso de revisión de la geología regional y detalles de la geología local, se ha logrado establecer estructuras geológicas que confirman los patrones propuestos en el área y están acordes con el sistema de esfuerzos que afectan a Costa Rica en el modelo actual de la tectónica de placas.

Hay dos grupos importantes de estructuras encontradas, la primera está relacionada con el plegamiento de las formaciones sedimentarias del Plioceno (Pleistoceno?) o más viejas. La segunda con fallas inversas y de desplazamiento de rumbo que afectan todas las formaciones geológicas.

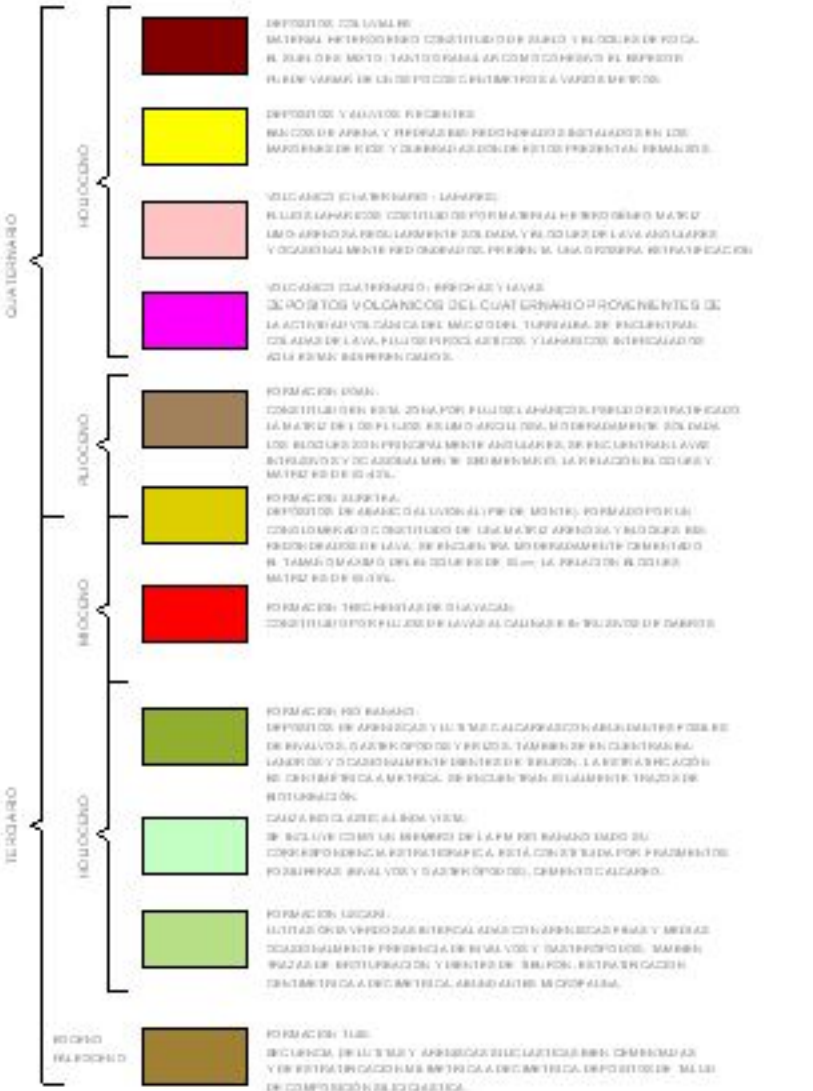
Plegamiento

La secuencia sedimentaria de las Formaciones Uscari y Río Banano se encuentran plegadas. En el área de estudio se interpretan 3 pliegues, 2 sinclinales y 1 anticlinal (Sinclinal Carazo, Anticlinal Carazo y Sinclinal Lajas). Estos pliegues tienen sus ejes con orientación N30°W – S30°E y los mismos están buzando hacia el NW (Pliegues buzantes). En la Geología de la Hoja Cartográfica de Tucurrique (Fernández, 1987) y en el Atlas Tectónica de Costa Rica (Denyer et al, 2003), entre otros, se encuentran consignadas estas estructuras. La determinación del plegamiento de las capas se logra con un exhaustivo levantamiento en campo de los buzamientos y en particular por la presencia de los estratos de caliza bioclástica, que sirven como capas guías. En el mapa geológico se han resaltado estos estratos para esquematizar las estructuras encontradas (figura 7.1.5 a y b).

GEOLOGIA REGIONAL



COLUMNA LIECSTRATIGRAPHICA

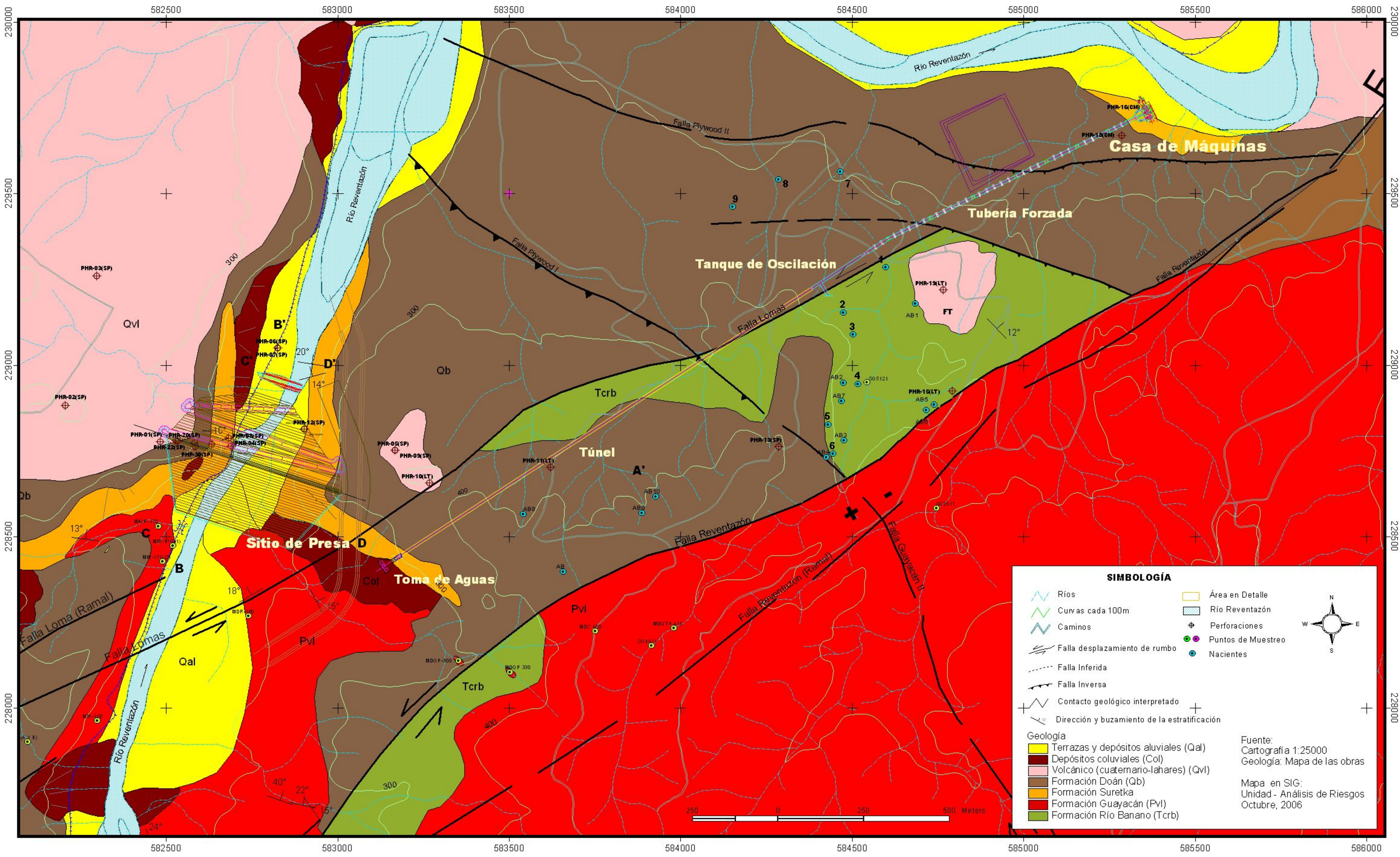


Fuente:
Base de datos Terra, 1998
Proyección Lambert Norte, Fundamental de Ocotepaque
Mapa computarizado:
Área de análisis de riesgos

Referencias:
1. J. Francisco Cervantes L., Martín Rojas B., Olman Arias M.
Mapa Geológico Regional, Informe de factibilidad 2005
2. Geol. Aristides Alfaro B., José Fabio Morera L.
Levantamiento parcial de deslizamiento, Área de embalse 2005



P.H. Reventazón
UBICACIÓN DE SITIOS DE OBRAS



SIMBOLOGÍA

Ríos	Área en Detalle
Curvas cada 100m	Río Reventazón
Caminos	Perforaciones
Falla desplazamiento de rumbo	Puntos de Muestreo
Falla Inferida	Nacientes
Falla Inversa	
Contacto geológico interpretado	
Dirección y buzamiento de la estratificación	

Geología

Terrazas y depósitos aluviales (Qal)
Depósitos coluviales (Col)
Volcánico (cuaternario-lahares) (Qvl)
Formación Doán (Qb)
Formación Suretka
Formación Guayacán (Pvl)
Formación Río Banano (Tcrb)

Fuente:
Cartografía 1:25000
Geología: Mapa de las obras

Mapa en SIG:
Unidad - Análisis de Riesgos
Octubre, 2006

Fallas

Se pueden establecer 3 sistemas de fallas, a saber:

1. Sistema de fallas NW-SE (dextrales)
2. Sistema de fallas NE – SW (siniestras)
3. Sistema de fallas inversas

Sistema de fallas NW-SE

Son fallas que siguen un rumbo N40°W, se interpretan de desplazamiento de rumbo y de tipo dextral. Algunas veces se observan estructuras con movimiento normales, los cuales se creen provienen de la dislocación de bloques secundarios. Pertenecen a este sistema:

Falla Pacuare
Falla Río Blanco
Falla Palomo
Falla Carazo
Falla Guayacán

La falla Pacuare aquí considerada es una estructura que ha sido mencionada por varios autores (Montero, 2001; Linkimer, 2003), sin embargo, en estos su extensión NW no alcanza la margen derecha del río Reventazón (la misma es finalizada en la margen derecha del río Pacuare). Algunos trabajos del ICE (ICE, 1998) la extienden hasta la margen derecha del río Reventazón a través de lo que llaman falla Calvario. En el presente trabajo la falla Pacuare ha sido extendida siguiendo hacia la margen izquierda del Reventazón y continuando por un afluente del río Blanco.

La falla Pacuare se considera activa y afecta las formaciones de rocas volcánicas cuaternarias. En el afluente del río Blanco se observa deformación en las rocas, la cual produce importantes zonas de inestabilidad. Todavía no tiene expresión conspicua en la superficie de dichas rocas, posiblemente debido a la velocidad de deformación. A pesar de que se utilizan diferentes nombres para las fallas Pacuare y río Blanco, es posible que pertenezcan a la misma estructura. En el sector de San Antonio se encuentran evidencias neotectónicas tales como cerros desplazados y estructuras en silla de falla.

Linkimer (2003) propone un sismo esperado con una magnitud de 6,8 Mw (con una longitud de falla de 28 km), sin embargo, si la estructura es de mayor longitud (> de 40 km) como se supone en este estudio, la magnitud del sismo podría ser mayor. Estas fallas son paralelas al sistema de fallas conocido, son muy activas, denominadas Atirro – Río Sucio.

Sobre las fallas Palomo y Carazo ya fue expuesto anteriormente.

La falla Guayacán tiene una extensión de alrededor de 28 km. Cerca de las lagunas de Bonilla, el río Reventazón da una curva de 90°, producto de la intersección de esta falla con la falla Pacuare. Corta principalmente las formaciones de roca del Plioceno – Pleistoceno. No tiene expresión superficial en las rocas volcánicas del Cuaternario, aunque no se descarta que tenga una deformación incipiente.

Sistema de fallas NE-SW

Son fallas que siguen en promedio un rumbo N55E, son de desplazamiento de rumbo y con movimiento sinistral. Pertenecen a este sistema las siguientes:

Falla Reventazón
Falla Lomas I
Fallas Lomas II
Falla Lajas

Las 3 primeras fallas son nuevas, la tercera es mencionada por Alvarado (en Linkimer, 2003). La falla Reventazón parece ser muy importante y afecta todas las unidades geológicas de la zona, no ha sido cartografiada antes debido a que en algunos sectores no tiene una buena expresión en superficie. Esta falla podría alcanzar una longitud mayor a los 15 km. El río Reventazón sigue gran parte de su cauce a lo largo de esta estructura.

La falla Reventazón delimita la unidad de lavas alcalinas hacia el sector del túnel de conducción del P.H. Reventazón. Tiene continuidad con las fallas Guayabo y Navarro. Además se observan evidencias neotectónicas tales como cerros desplazados, quebradas y ríos que cambian de rumbo anómalamente.

Las fallas Lomas I y Lomas II a pesar de que afectan cerca de un mismo sector, han sido separadas debido a que en cierto punto cambian ligeramente de rumbo. Aunque para efectos prácticos se pueden tratar como una misma zona de falla. Lomas I tiene una longitud de 13 km y Lomas II 8 km. Ambas son de desplazamiento de rumbo y siniestrales.

Las fallas Lomas I y II son diferentes a la que denomina Linkimer (2003) como falla Lomas, por lo tanto, se propone en este estudio restringir el uso de este nombre y retirar de la nomenclatura tectónica la que fue establecida por Linkimer.

La falla Lajas tiene un rumbo de N30°E y una longitud de 8,5 km y pertenece al sistema de fallas Navarro que propone Linkimer (2003).

Este sistema encontrado en la zona del proyecto es paralelo y podría ser una continuidad de las fallas que conformen el sistema Navarro ya mencionado. De estas fallas se conoce que tanto la falla Navarro como Guayabo tienen actividad sísmica reciente, con sismos esperados de 6,7 y 5,9, Mw respectivamente.

Sistema de fallas inversas

Son fallas que representan el límite donde finaliza el frente de montaña e inicia el litoral Caribe. Tienen un rumbo WNW y E-W. Se ha interpretado como una estructura perteneciente al cinturón deformado de Panamá, la cual ingresa al continente cerca de la ciudad de Limón, siguiendo por Matina, Siquirres, Guácimo y Guápiles.

Su extensión después de la ciudad de Siquirres hacia el W no es clara. La traza en superficie se torna difusa después del puente sobre el río Reventazón de la carretera Saopín. Denyer et al., (2003) continúan la falla hacia Guácimo y Guápiles, sin embargo, en este documento se considera que la falla tal como es expuesta no es correcta. La traza parece seguir hacia el sur, con una dirección diferente a la propuesta. El problema se presenta por que los materiales de flujos laháricos y los depósitos volcánicos recientes cubren la expresión en superficie. Es muy probable que la traza real pase más cerca del sitio de presa del P.H. Reventazón. De acuerdo a esta interpretación, la estructura de falla inversa de Siquirres, podría pasar por debajo del sitio de presa del P.H. Reventazón a una profundidad entre 3 y 4 km.

Otra situación que se presenta es la relación con los esfuerzos regionales, existe una transición entre el rompimiento por fallas de empuje (inversas) y fallas de rumbo. Tal como parece, el río Reventazón muestra ser la expresión en superficie del límite de la microplaca de Panamá. Esta condición debe producir condiciones muy particulares en este sector, de allí que la traza de la falla no sea clara, quizás porque no existe de la forma en que se trata de entender en el modelo de deformación.

Soulas (1989) propone un posible sismo proveniente de esta estructura con una magnitud entre 6 y 7. Boschini (1989) considera un sismo probable con una magnitud entre 5 y 6.

Falla Lomas

La falla Lomas fue redefinida y propuesta en la revisión geológica del proyecto (Geología Regional). Se trata de una falla de desplazamiento de rumbo sinistral con una longitud estimada en 13 Km. Ésta es el contacto entre las formaciones Río Banano y Doán. De acuerdo a las proyecciones dadas, esta falla pasaría a unos 300 m aguas arriba del sitio de presa

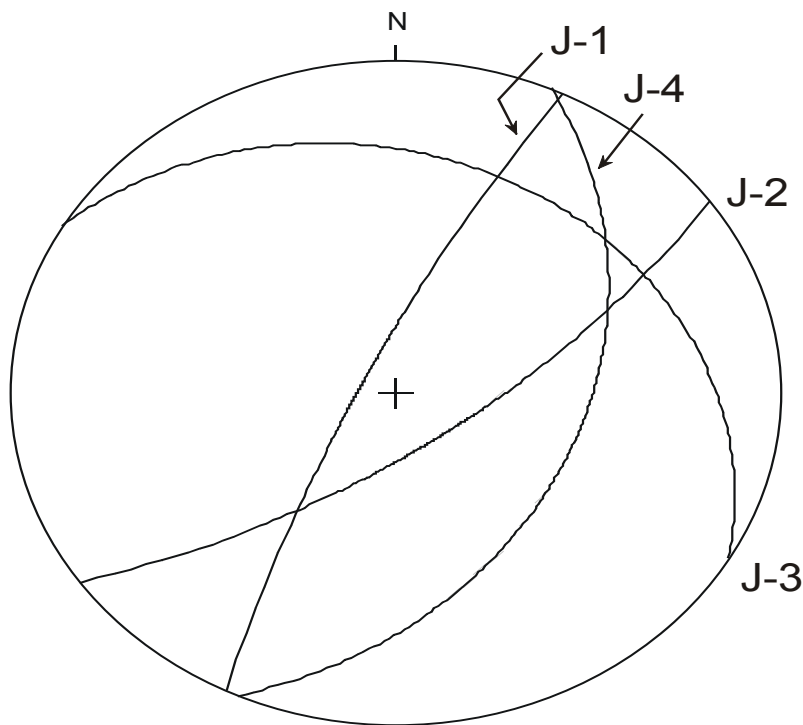
Sitio de Presa

Brecha lahárica

El análisis estadístico de 1715 datos, define cuatro familias principales de fisuras y fallas medidas a través de toda la galería (acceso y principal). De acuerdo a la nomenclatura de Barton (1978), generalmente son discontinuidades cerradas, ocasionalmente se observan aberturas cercanas a los 10 cm, y son las que producen flujo durante los períodos de precipitación alta. Los rellenos varían desde pátinas de óxidos de hierro hasta material triturado y limo arcilloso que no supera los 10 cm de espesor. En la galería el agua se presenta como humedad a goteo leve en respuesta a las lluvias.

La familia J-1 es el grupo de discontinuidades principal a considerar. Éstas junto con la familia J-2 son las que originan fuertes filtraciones de agua y hasta flujo (figura 7.1.6). En cuanto a las fallas, las del grupo J-1 son fallas principalmente de desplazamiento de rumbo sinistral. Las del grupo J-4 son fallas normales. La brecha lahárica en el sitio de presa y sus cercanías, forma taludes bastante verticales (60-80°). La inestabilidad asociada a ésta es el desprendimiento y caída de bloques, pero no hay tendencia a producir deslizamientos en masa.

Figura 7.1.6
Discontinuidades en brechas de la Formación Doán.



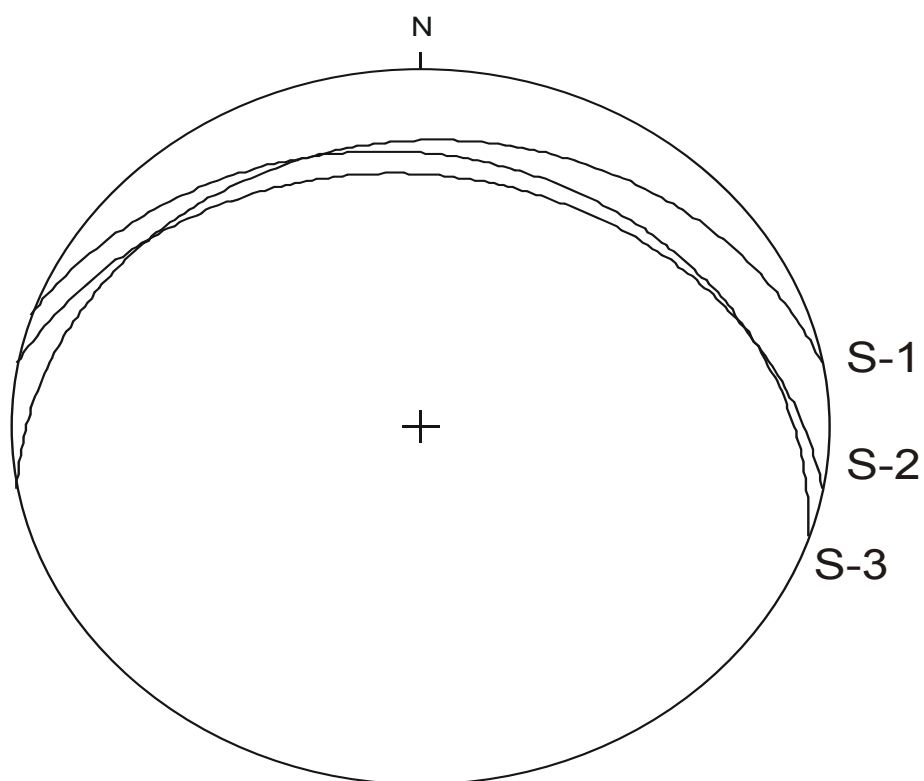
Conglomerado

Se hace un análisis estadístico de la dirección de buzamiento y buzamiento de las capas de conglomerado medidas tanto en galerías como en afloramientos, las diaclasas que afectan principalmente los lentes de arenisca y las fracturas por descompresión. El primer grupo de datos corresponde a la estratificación de los conglomerados y lentes de arena. Estos datos pueden resumirse como sigue:

La familia S1, representan los planos de estratificación medidos en el campo, Los S2 los medidos en la galería 1, de margen izquierda y los S3 los de la galería 3 en margen derecha. En total se recolectaron 1238 datos, los que se caracterizan por su persistencia hacia el norte franco y una variación de inclinación entre 10 y 20 grados (figura 7.1.7).

En la fotografía 7.1.10 se observa que estos planos estratigráficos son susceptibles a fallar. Esta falla que se muestra en dicha fotografía es estratigráfica, o sea que en este caso se inclina hacia el norte (aguas abajo) con un desplazamiento de aproximadamente 1 metro, sobre el plana de falla.

Figura 7.1.7:
Estratificación de la Formación Suretka, en el conglomerado y los lentes de arena en el sitio de presa.

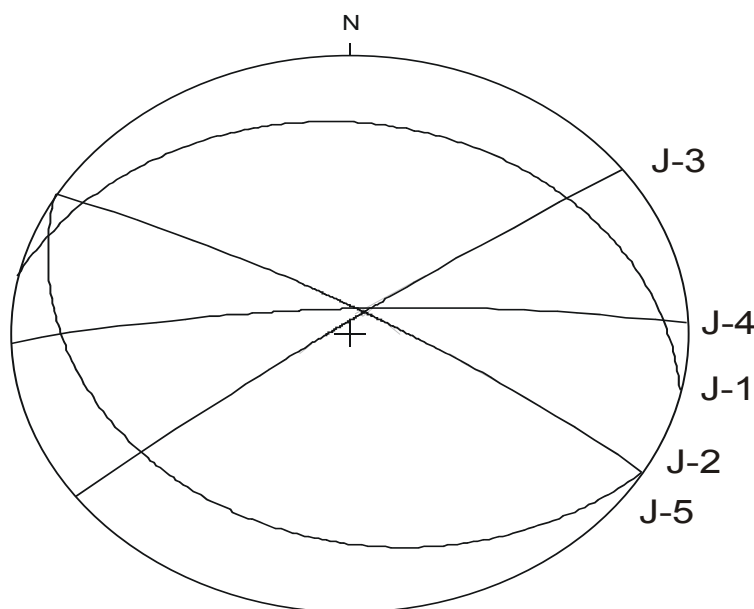


Fotografía 7.1.10
Plano estratigráfico en conglomerado, correspondiente con la depositación de lentes de areniscas



En el sitio de presa se observaron 18 fracturas subverticales, que se caracterizan por tener aberturas de hasta 40 cm (fotografía 7.1.11). Este grupo está representado por la familia J-2, J-3 y J-4 en la la figura. La familia J-5 (n=68) está representada por diaclasas medidas en los lentes de arena. (figura 7.1.8)

Figura 7.1.8
Principales familias de discontinuidades que afectan a la Formación Suretka.



Fotografía 7.1.11:
Diaclasas en lente de arenisca dentro de la formación de conglomerados. Lente 10 afloramiento margen derecha.

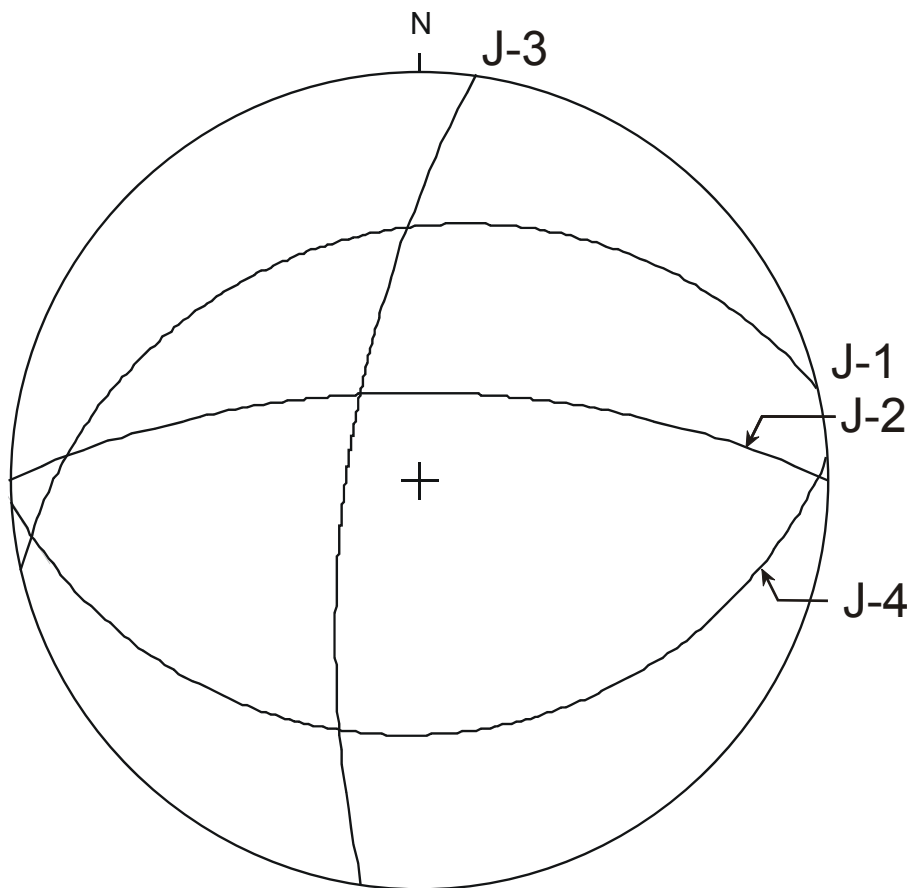


Basaltos

La formación de coladas de basalto que afloran a nivel de río y en el área más cercana al sitio de presa es una roca masiva, densa y poco alterada. Presenta al menos cuatro familias de diaclasas y se encuentra considerablemente fracturada, lo que también se observa en las perforaciones del sitio de presa. En la figura 7.1.9., se notan bien los planos de las 4 familias mejor representadas, dos buzan al norte, 1 al sur y una última al oeste, las familias J2 y J3 son de alto ángulo. Generalmente las diaclasas y fracturas tienden a ser cerradas (<10 mm) y plano rugosas. En la investigación del sitio de presa se observó una capa de toba que aparece aguas arriba del eje de presa, entre el conglomerado y la lava, buzando 12° con sentido norte. Próximo al eje de presa cambia su ángulo a subhorizontal con aproximadamente 4 m de espesor. En algunas de las perforaciones (PHR-4, PHR-5, PHR-6 y PHR-8 por ejemplo) se observa alterada y cizallada. Valga indicar que esta capa no está en la superficie ya que, como parte del proceso de depositación del flujo piroclástico en el relieve antiguo tiende a adelgazar en las paleoladeras, desapareciendo rápidamente.

Las lavas están afectadas también por fracturas paralelas y oblicuas al núcleo, con rellenos de cuarzo y calcita, en las que también se observan planos de fricción. El RQD varía de 0-94% y el promedio <50%. Aunque es una representación estadística pobre, si reflejan las diaclasas que se observan en los afloramientos.

Figura 7.1.9
Discontinuidades que afectan los basaltos de la Formación Guayacán.



Sitios de Obras

Sitio de Presa

Cuerpo de la presa

Geología

La investigación geológica se desarrolló mediante el levantamiento geológico detallado de afloramientos, topografía, galerías de investigación (Sitio de Presa) y perforaciones. Se realizó también una campaña de exploración geofísica que incluyó el desarrollo de perfiles de resistividad eléctrica y refracción sísmica a lo largo de los ejes de presa propuestos y en los demás sitios de obras del proyecto.

Las litologías presentes en el sitio de presa corresponden a tres formaciones geológicas. La parte superior (Formación Doán) es una brecha lahárica (depósito volcánico o lahar consolidado) cuyo espesor varía entre los 50 – 335 m; la parte intermedia son conglomerados (Formación Suretka, depósito de abanico aluvial) con un espesor que varía entre los 65–130 m. Dentro de esta unidad aparecen con frecuencia lentes y capas de arena, estos se han

estudiado como una unidad separada. En la parte inferior se encuentran varias coladas de lava (Formación Guayacán) de composición basáltica alcalina intercaladas con tobas y tobitas. Esta formación geológica puede tener un espesor variable entre los 30 – 190 m y culmina con un flujo piroclástico freatomagmático de aproximadamente 5 m de espesor, denominado unidad toba limosa. La formación Guayacán subyace los conglomerados en el sitio de presa, pero no se ha logrado llegar al contacto inferior, cuya correlación estratigráfica hace suponer son las areniscas de la Formación Río Banano.

Geotécnica

Se realizaron ensayos de compresión inconfiada sobre núcleos extraídos de las perforaciones ubicadas en la zona del cuerpo de la presa (cuadro 7.1.1). Tanto la brecha como el conglomerado clasifican como rocas blandas, en vista de que las resistencias encontradas son inferiores a 20 MPa (200 kg/cm²). Con respecto al conglomerado, los módulos obtenidos de estos ensayos, así como de los determinados por medio de ensayos triaxiales, son muy similares a los encontrados por medio de pruebas de placa rígida en las galerías. Este comportamiento podría asociarse al predominio de la matriz en el desenvolvimiento global de la roca. También puede explicarse por la ausencia de discontinuidades, al tratarse de una roca masiva. Esto a pesar de que se han podido apreciar fracturas importantes en la Galería #4 de margen izquierda.

Cuadro 7.1.1

Resistencia inconfiada y propiedades índice de materiales.

Material	Resistencia inconfiada (kg/cm²)	Absorción %	Densidad Ton/m³	Módulo Deformación Global (kg/cm²)
Lava	400 – 700	2	2,68	50000 – 100000
Conglomerado	70	10	2,15	14000
Brecha	50	15	1,90	10000
Lava Alterada	25	40	1,50	3000
Matriz del conglomerado	50	20	1,80	6000

Para determinar los parámetros de resistencia al corte del macizo, en la zona del cuerpo de la presa, fueron ejecutados varios ensayos triaxiales, cuyos esfuerzos confinantes fueron del orden de 1,0 , 2,0 , 4,0 , 6,0 , 8,0 y 10,0 MPa. Con base en estos resultados y los de compresión simple, realizados en el laboratorio para los distintos materiales presentes en el sitio de presa, se hizo un análisis estadístico y luego una interpretación de los resultados aplicando la teoría de Hoek y Brown (1997). Los materiales analizados son el conglomerado, la brecha, la matriz arenosa del conglomerado y la lava alterada. En el cuadro 7.1.2 se presentan los resultados obtenidos.

Cuadro 7.1.2**Parámetros de resistencia**

Materiales	C (kg/cm²)	α (°)
Conglomerado	2,6	34,0
Brecha	2,1	22,0
Matriz del conglomerado	1,8	21,0
Lava alterada	0,9	19,0

Se realizaron 65 ensayos de placa rígida en las galerías, con el fin de obtener los módulos de deformación del conglomerado y la brecha (cuadro 7.1.3). De acuerdo a los resultados obtenidos, se pudo estimar la extensión de la zona descompresionada en cada margen.

Cuadro 7.1.3**Ensayos de placa rígida**

Material	MÓDULOS DE DEFORMACIÓN ESTÁTICOS (kg/cm²)			
	Margen Izquierda		Margen Derecha	
	Zona Descompresionada (Espesor ~ 30 m)	Macizo sin descompresión	Zona Descompresionada (Espesor ~ 40m)	Macizo sin descompresión
Conglomerado	2000	15000 - 20000	2000 – 3000	12000 – 15000
Brecha	2000	10000 - 12000	2000 *	10000 – 12000*

Plinto**Geología**

Barrantes (2007) divide el área de estudio en tres grandes unidades geológicas: Depósitos recientes (Unidad superior), depósitos sedimentarios (Unidad Intermedia) y depósitos volcánicos (Unidad inferior). Cada una de las unidades presenta características físicas muy diferentes

Unidad superior

Aluviones : Materiales arrastrados por el río Reventazón, y materiales movilizados por erosión normal de la ladera.

Toba pumítica: Depósito volcánico reciente proveniente probablemente del volcán Turrialba. Se ha denominado macroscópicamente como Toba pumítica,

Unidad intermedia

Brechas (Formación Doán). Lahares consolidados con baja permeabilidad primaria, la permeabilidad está asociada a fracturamiento del medio.

Conglomerado (Formación Suretka). Está compuesta por bloques casi exclusivamente lávicos redondeados, el tamaño máximo es de 25 cm y en promedio son bloques de 5 cm. La matriz es arenosa generalmente consolidada. La relación bloques / matriz es de 40% / 60 %. La recuperación promedio en los núcleos de las perforaciones es de 62 %.

La permeabilidad aparentemente es moderada por una importante permeabilidad secundaria, además por los cambios granulométricos de los materiales y también por los contactos entre las capas.

Unidad inferior (Formación Guayacán)

Lavas y tobas: Esta unidad corresponde con una secuencia de depósitos volcánicos pertenecientes a la formación Guayacán. Predominan los materiales asociados con coladas de lava (lavas masivas, lavas vesiculares, lavas meteorizadas y auto brechas) intercaladas con capas de rocas piroclásticas.

Toba limosa: El depósito es principalmente de tobas limosas alteradas de color gris. Constituye el techo de la Fm. Guayacán.

Lava I: Se localiza en las dos márgenes (principalmente en la derecha), en el cauce del río no se encontró. Es una roca de color gris - negro, se observa sana. La apariencia es cristalina con algunos minerales de alteración (cloritas) y se presenta con muy pocas vesículas. Tiene al menos 3 familias de diaclasas principales, una familia sub horizontal sin relleno, otra sub vertical de persistencia superior a 2 metros que se encuentran casi siempre estriadas y la tercera familia son diaclasas inclinadas también estriadas con pátinas color blanco.

La parte superior de la colada es una auto brecha, o sea se encuentran bloques de lava muy fracturadas en arenas, en algunas ocasiones presentan una alteración de mediana a moderada debido a lo cual, varían a tonalidades rojizas - moradas y la calidad física - mecánica se vuelve mala. El porcentaje de recuperación en los núcleos de las perforaciones es de 82 % aproximadamente, con un RQD de 12 %.

Lava II: Al igual que la lava I, se localiza principalmente en la margen derecha. Es una roca de color negro pasando a veces a gris, se observa sana. La apariencia es cristalina con algunos minerales de alteración (posiblemente cloritas). Presenta al menos 3 familias de diaclasas principales, dos inclinadas y una familia sub vertical, se encuentran casi siempre estriadas con rellenos hasta de 0,5 cm de espesor de material verdoso y pátinas color blanco y verde.

En la parte superior presenta un paleo suelo que la separa de la Lava I, es de color negro con materia orgánica y fragmentos menores de 1 cm, también hacia abajo es de color rojizo producto del cambio de temperatura. La parte superior de esta colada es una auto brecha (entre el paleo suelo y el "núcleo"). Por lo tanto, los primeros 3 metros de ésta colada, se encuentra con una calidad física - mecánica mala. El porcentaje de recuperación en los núcleos de las perforaciones es de 93 % aproximadamente, con un RQD de 34 %.

Tobita: Se localiza casi en todo el perfil. Corresponde con un depósito de materiales piroclásticos. Es una litología en forma de capas de espesores variables, en posición sub horizontal y buzando hacia el noroeste (aguas abajo del río Reventazón), la composición de los fragmentos también es variable, va desde arcillas hasta pequeños bloques tamaño lapilli con

un grado de meteorización fuerte. Se considera que tiene una condición física muy mala, el color varía de acuerdo con la capa entre café, café claro y rojizo.

En términos generales se puede decir que esta litología es de muy baja permeabilidad, sin embargo, presenta zonas de falla que se pueden comportar como drenes artificiales. El promedio de recuperación en los núcleos de perforación es de 83 %.

Lava III: Se localiza en las dos márgenes. Es una roca de color gris, se observa en la margen izquierda muy meteorizada y de mala calidad físico – mecánica. En la margen derecha la condición física mejora con respecto a la izquierda. La parte superior de la colada es una mezcla entre paleo suelo y auto brecha.

Tiene al menos 3 familias de diaclasas principales, una familia sub horizontal, otra sub vertical y la tercera familia son diaclasas inclinadas, casi todas se encuentran con rellenos arcillosos y estriadas. Hacia el final de la unidad, hay lava con rellenos de pequeñas fracturas de color blanco. El porcentaje de recuperación en los núcleos de las perforaciones es de 93 % aproximadamente, con un RQD de 55 %.

Lava IV: Se localiza en las dos márgenes. Es una roca de color principalmente negro, se observa en la margen izquierda un poco más meteorizada que en la derecha, la condición física mejora con respecto a la lava III.

La parte superior de la colada presenta un paleo suelo, seguido por auto brecha y el resto de la unidad es una lava más sana con minerales máficos primarios y cloritas por alteración. En cuanto a la calidad físico – mecánica de esta litología, se considera que las partes del centro (núcleo) son de regulares a malas y las autobrechas son estimadas de mala calidad.

Tiene al menos 3 familias de diaclasas principales, una familia sub vertical y las otras dos son diaclasas inclinadas, casi todas se encuentran con rellenos o pátinas de un material color blanco y por oxidación, generalmente están estriadas. El porcentaje de recuperación en los núcleos de las perforaciones es de 94 % aproximadamente, con un RQD de 52 %.

Perfil de meteorización

Seguidamente se hace una breve descripción de los materiales del sitio.

Roca sana y en algunos casos contaminada. (Bloques sueltos): Corresponde con la unidad aluvión del perfil litológico. Se presentan bloques casi exclusivamente lávicos. El tamaño varía desde 1 m hasta 0,02 m y en promedio es de 0,15 m. El porcentaje de recuperación en los núcleos de perforación es de 48%. La matriz es de arenas sueltas. En la margen derecha está muy contaminada con materiales limosos que corresponden con coluvios y suelos deslizados.

Roca meteorizada. (Suelo): Corresponde con la unidad toba limosa, partes del conglomerado y de las lavas I y II, además con las tobitas del perfil litológico. Los conglomerados se presentan como bloques en una matriz arenosa un poco meteorizada. El resto de la unidad es roca muy meteorizada y paleosuelos. El color generalmente es rojizo-café. La recuperación en los núcleos de perforación es de 90% en promedio.

Roca moderadamente meteorizada. (Roca semi blanda): Corresponde con parte de las lavas I y II en los alrededores de la perforación PP 1 y con la unidad lava I en la perforación PHR 41 SP, además la tobita en la perforación PHR 40 SP. El material en esta unidad se encuentra

poco meteorizado, se presenta con cierta rigidez y diaclasado. La recuperación en los núcleos de perforación fue del 100% y un RQD de 75%.

Roca sana muy poco meteorizada. (Diaclasada): Corresponde con las lavas I y II de margen derecha, y la lava IV en el perfil litológico. Es una roca sana muy diaclasada, con al menos 4 familias. El porcentaje de recuperación y RQD es respectivamente de 87% y de 35%.

Geotecnia

En todas las perforaciones realizadas, sobre la línea del plinto en margen derecha y margen izquierda, se realizaron ensayos de deformación por medio del dilatómetro "Probex" o del equipo Goodman. También se recuperaron núcleos de las perforaciones que fueron sometidos al ensayo de compresión simple en el laboratorio.

Al comparar el módulo de deformación entre los ensayos de compresión simple y los obtenidos por medio de dilatómetro o del equipo Goodman, se encontró que en la mayoría de los casos los ensayos in situ proporcionaron módulos iguales a una o dos veces los obtenidos por medio de los ensayos de compresión simple. Para cada perforación investigada, se preparó una hoja electrónica con los resultados obtenidos, en función de la profundidad. En las figuras 7.1.10 y 7.1.11 se presentan las hojas correspondientes a la perforación PP 1 de margen izquierda y la perforación PHR 40 SP de margen derecha.

Figura 7.1.10
Módulos de deformación, perforación PP 1

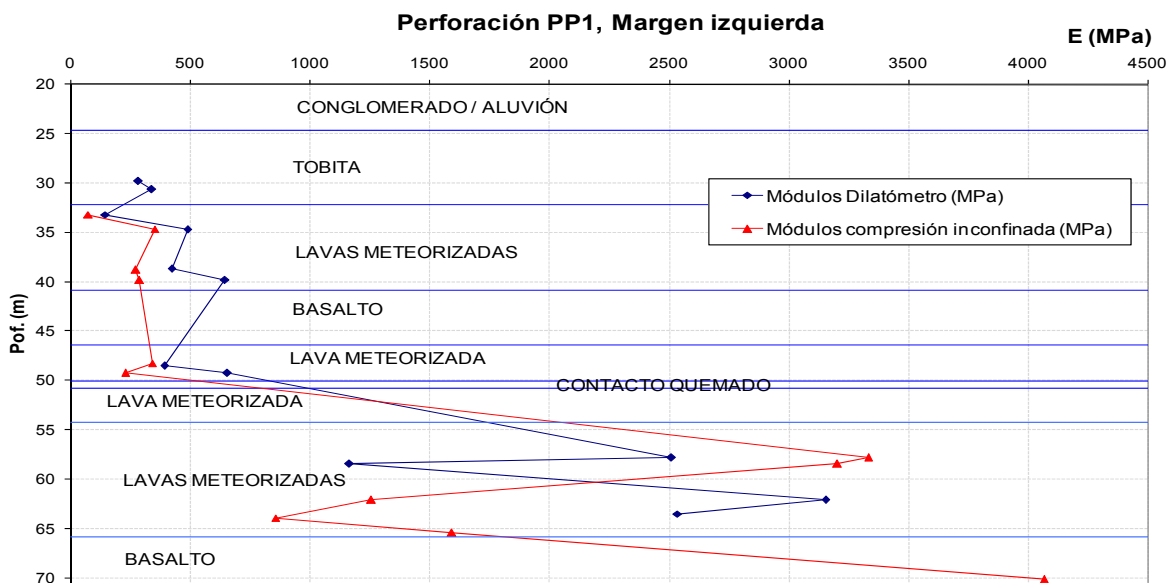
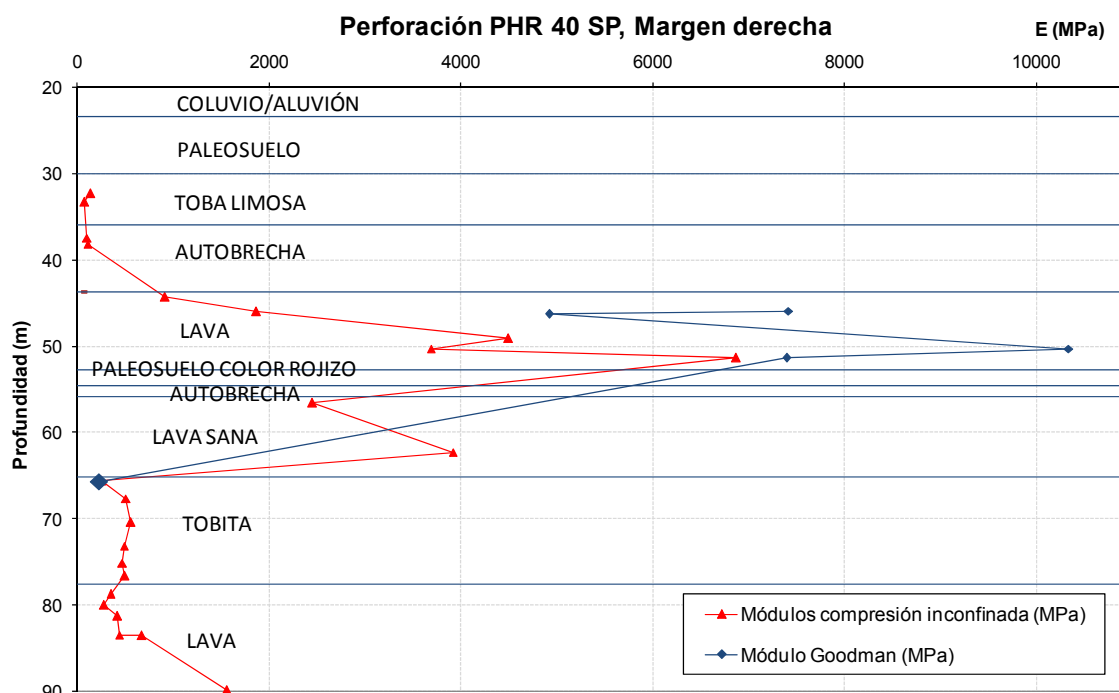


Figura 7.1.11
Módulos de deformación, perforación PHR 40 SP

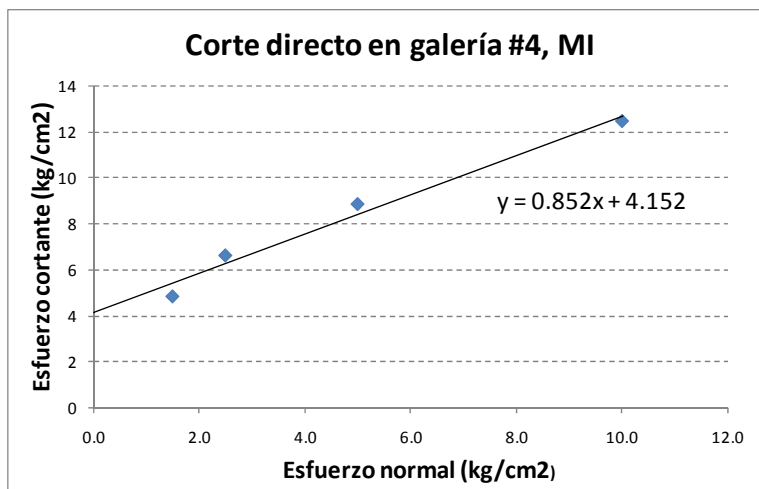


Resultados de ensayos

Con el fin de caracterizar este material y obtener propiedades de resistencia que puedan ser empleadas en los análisis de estabilidad de la presa, se han realizado varios ensayos de corte directo. Debido a la gran variabilidad de este material, se pretende realizar ensayos en diferentes sitios. Por el momento sólo se han podido efectuar pruebas en las capas que aparecen en la galería #4 de margen izquierda y la galería #3 de margen derecha.

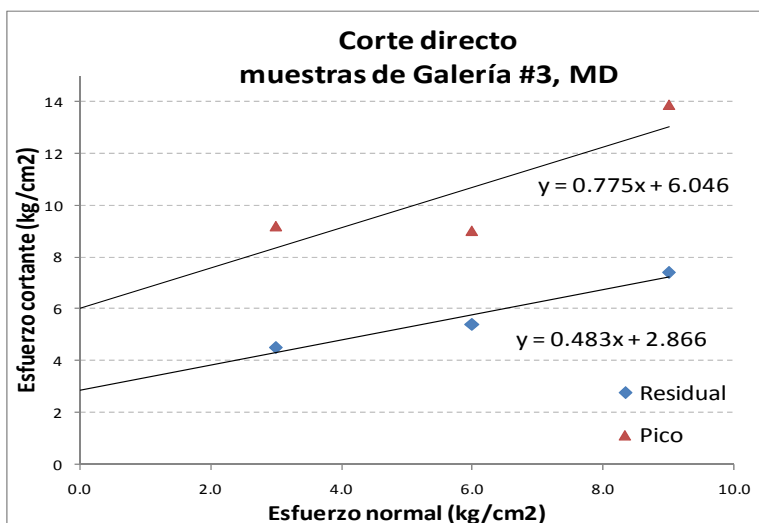
Se realizó un ensayo de corte directo in situ en la galería #4 de margen izquierda, buscando fallar el contacto inferior arenisca-conglomerado. Se utilizaron esfuerzos normales entre 1,5 y 10 kg/cm². En la figura 7.1.12 se aprecia la recta de Mohr-Coulomb obtenida:

Figura 7.1.12
Ensayo de corte directo in situ



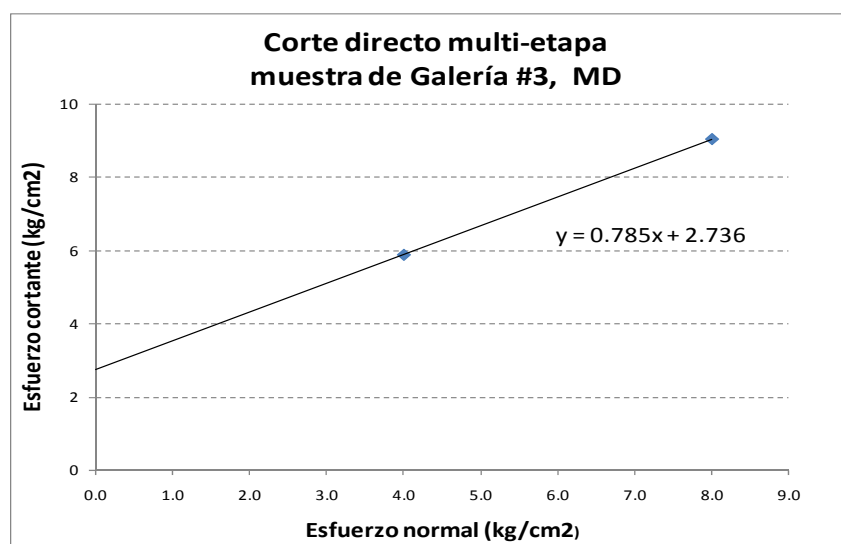
De la galería #3 de margen derecha se obtuvieron varios bloques de 15*15 cm², que fueron sometidos a ensayos de corte directo en el laboratorio del Área de Geotecnia. En vista de que se observan, en algunas capas de arenisca, fracturamiento estratigráfico, se buscó la obtención de los parámetros de resistencia residual. Se asumirá para los análisis de estabilidad, que estos valores son cercanos a los existentes en estas fracturas. Para llevar a cabo estos ensayos y obtener resistencias pico y residuales, se procedió a devolver la caja de corte, una vez alcanzada la resistencia pico, y volver a realizar el ensayo para el mismo esfuerzo normal. Esto se hizo al menos en dos ocasiones para cada muestra. Se utilizaron esfuerzos normales de 3,0; 6,0 y 9,0 kg/cm². En la figura 7.1.13 se aprecian los resultados obtenidos. Llama la atención el hecho de que la resistencia pico determinada para los ensayos con esfuerzo normal de 3,0 y 6,0 kg/cm², es prácticamente la misma.

Figura 7.1.13
Ensayo de corte directo en el laboratorio.



De esta misma galería de margen derecha se obtuvo una muestra con una fractura por carga. Esta se trajo al laboratorio y se le realizó un ensayo de corte directo multi etapa, con esfuerzos normales de 4,0 y 8,0 kg/cm². El resultado se aprecia en la figura 7.1.14

Figura 7.1.14
Ensayo de corte directo en el laboratorio.
Muestra con fractura por carga.



A partir de todos los ensayos de corte directo realizados, se determinaron las propiedades de las capas de arenisca que aparecen en el cuadro 7.1.4.

Cuadro 7.1.4
Resultados de ensayos de corte directo en areniscas

	Resistencia pico		Resistencia residual	
	In situ	Laboratorio	Plano del ensayo	Fractura por carga
C (kg/cm ²)	4,1	6,0	2,9	2,7
φ (°)	40,4	37,8	25,8	38,1

De las capas de arenisca que se presentaban más resistentes, en la galería #3, se lograron recuperar núcleos para realizar ensayos triaxiales en el laboratorio. Se utilizaron esfuerzos confinantes de 10,2; 20,4 y 30,6 kg/cm². Si se dibujan los círculos de Mohr correspondientes, se obtienen los resultados del cuadro 7.1.5.

Cuadro 7.1.5
Propiedades de resistencia a partir de ensayos triaxiales

Parámetros de resistencia pico, envolvente de Mohr-Coulomb	
C (kg/cm ²)	9,5
φ (°)	25,5

Existen diferencias importantes entre los resultados de los ensayos de corte directo y los triaxiales. En el caso de estos últimos, se han podido realizar apenas tres pruebas, debido a la dificultad de obtener los núcleos. El material ensayado en ese caso corresponde a la arenisca que presenta mayor resistencia, pues es la que se ha podido muestrear mediante el equipo para sacar núcleos de roca. Por otro lado, los esfuerzos de confinamiento utilizados son mucho más altos. Por ese motivo no es sorprendente que la cohesión obtenida sea muy elevada, sin embargo llama mucho la atención el hecho de que el ángulo de fricción sea similar al ángulo de fricción determinado, por medio de los ensayos de corte directo, para las propiedades residuales de la arenisca.

Influencia sobre la estabilidad de la presa

Se realizó una investigación que se enfocó a registrar todos los lentes a los que se tuviera acceso directo, en las caras de los taludes de ambas márgenes del sitio de presa y dentro de las galerías. Se comprobó que los lentes de arenisca se encuentran intercalados dentro del conglomerado, con una dirección de buzamiento que varía aproximadamente entre 350° y 018° . El buzamiento promedio de estas capas es de 19° (desfavorable para la estabilidad de la presa). A partir de esto se concluye que existe una alta probabilidad de que algunos de los lentes de arenisca sean continuos (presenten una persistencia mayor que la base de la presa). También existe una alta probabilidad de que varios lentes se alineen en un plano de depositación, debilitando la resistencia del macizo en ese plano. El análisis de deslizamiento de la presa debe tomar en cuenta la posibilidad de que se presente una superficie de falla, que se desarrolle a lo largo de una de estas capas de arenisca, o de una sucesión de lentes. La resistencia menor de la arenisca queda confirmada por la existencia de fracturas en este material, que no se prolongan dentro del conglomerado.

Sitio de Toma

Modelo geomecánico.

Las propiedades geomecánicas de los materiales en la toma son las mismas que se obtuvieron en el sitio de presa, tanto por la cercanía y afinidad en la geología como por la carencia de información específica en esta zona.

Para el conglomerado se determinaron los parámetros de resistencia al corte mediante ensayos triaxiales, dando así una cohesión de $c = 2,5 \text{ kg/cm}^2$ y un ángulo de fricción interna $\phi = 28^\circ$ en el laboratorio, ambas magnitudes son medias; con respecto al módulo de deformación, un valor promedio se ubica en 12000 kg/cm^2 .

Niveles de fundación y cortes.

El nivel de desplante de la toma está en la cota 241 m.s.n.m., la figura 7.1.14 muestra los cortes necesarios para la construcción.

La figura 7.1.15 muestra una sección transversal de la toma (CENPE, 2002). Como puede verse para esta propuesta de excavación, se requieren de cortes considerables para alcanzar los niveles de cimentación adecuados. En vista de lo anterior, se ha realizado un análisis de estabilidad para cada caso, con las inclinaciones recomendadas y las características de resistencia estimadas en el laboratorio, según se reseña en el cuadro 7.1.6.

Con el fin de determinar la sensibilidad del factor de seguridad ante cambios en la cohesión del conglomerado (constituye el material predominante), se ha variado la misma entre 1,0 y 2,0 kg/cm². No se tomó el valor máximo de 2,59 kg/cm², por efectos de la descompresión y alteración de las capas cercanas a la superficie.

Los análisis de estabilidad se realizaron mediante el programa PCSTABL, que utiliza la teoría de equilibrio límite para la obtención del factor de seguridad. El programa permite examinar tanto superficies de falla circulares como irregulares. También se incluye el estudio de la estabilidad bajo condiciones estáticas (k=0) y pseudo estáticas severas (k = 0,10-0,20g).

Cuadro 7.1.6.
Parámetros de resistencia al corte de los materiales existentes en la toma

MATERIAL	C (kg/cm ²)	φ (grados)	γ _t (kg/m ³)
1..1.1.1 Conglomerado	2,0	34°	2150

Así se ejecutaron los análisis de estabilidad por falla general; el talud analizado se presenta en la figura 7.1.16. La altura total es considerable (cerca de 77 m), por lo que dependiendo de los resultados establecidos en el análisis, deberán tomarse medidas que aseguren la estabilidad del corte.

Figura 7.1.15

Esquema de la toma de agua y cortes respectivos.

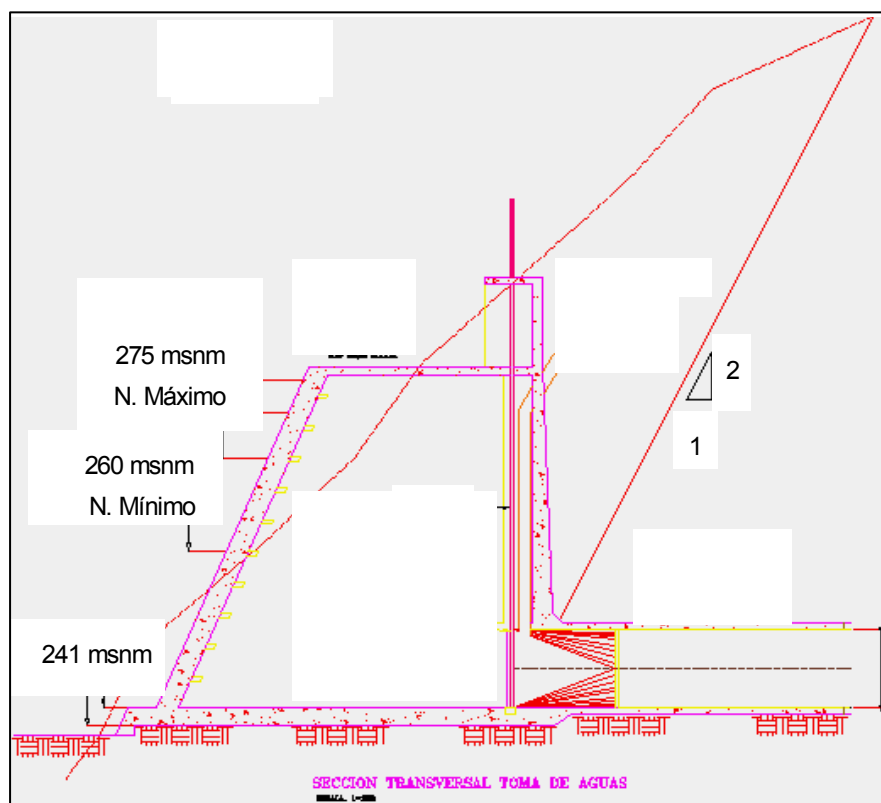
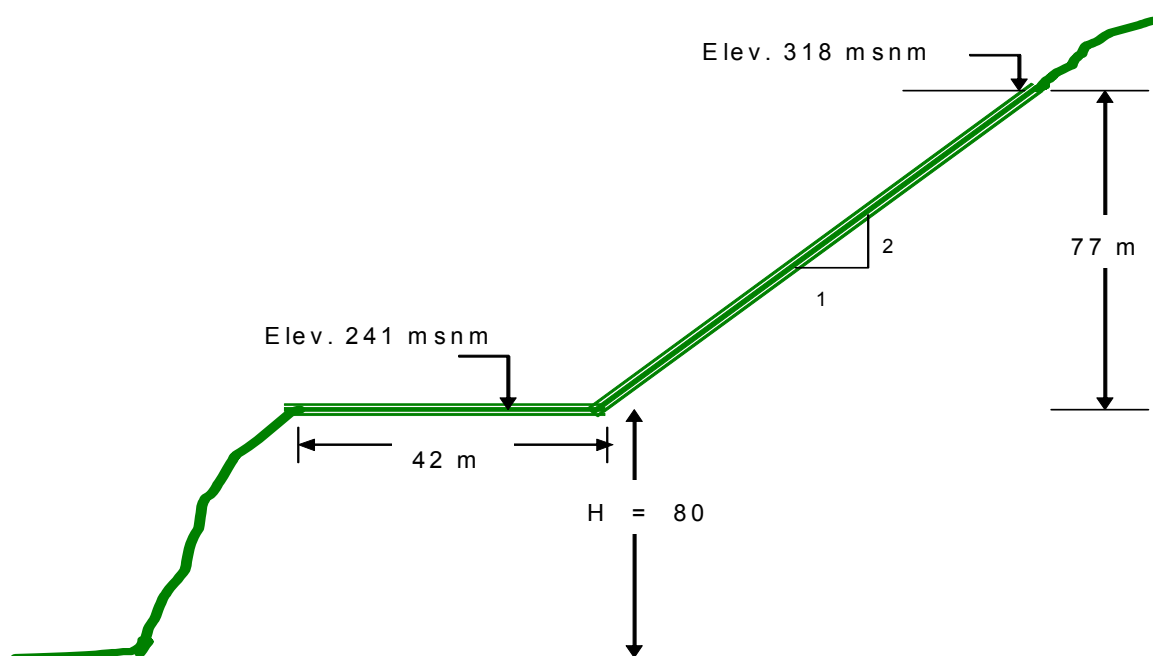


Figura 7.1.16
Esquema de la toma de agua y cortes respectivos.



Estabilidad en taludes.

El nivel freático se supuso inicialmente considerando las condiciones que se presentarán al final de la excavación y el nivel propio del río (situación actual); luego se llevó a cabo el estudio suponiendo el nivel freático a la misma altura que el nivel del embalse, es decir, en la elevación 280 m.s.n.m. Los cuadros 7.1.7 y 7.1.8 indican los factores de seguridad obtenidos para los taludes en ambas márgenes en sitio de Presa.

Cuadro 7.1.7.
Factores de seguridad por falla general

TALUD	c = 1,0 kg/cm ²			c = 1,5 kg/cm ²			c = 2,0 kg/cm ²		
	k = 0,00	k = 0,10	k = 0,20	k = 0,00	k = 0,10	k = 0,20	k = 0,00	k = 0,10	k = 0,20
Seco	1,49	1,32	1,18	2,0	1,78	1,59	2,59	2,31	2,06
Saturado	1,65	1,42	1,22	2,33	2,0	1,74	3,0	2,62	2,30

Cuadro 7.1.8.
Factores de seguridad por falla local

TALUD	c = 1,0 kg/cm ²			c = 1,5 kg/cm ²			c = 2,0 kg/cm ²		
	k = 0,00	k = 0,10	k = 0,20	k = 0,00	k = 0,10	k = 0,20	k = 0,00	k = 0,10	k = 0,20
Seco	1,23	1,12	1,03	1,66	1,53	1,42	2,10	1,95	1,81
Saturado	1.46	1,30	1,17	2,01	1,82	1,65	2,58	2,35	2,15

El análisis por falla general estableció valores relativamente más altos que los estimados por falla local, sin embargo, globalmente se obtienen valores apropiados para el factor de seguridad. Cuando se considera el nivel freático coincidiendo con la altura del embalse puede notarse claramente como los factores de seguridad para los taludes de ambas márgenes son adecuados (Condición estática = FS>1,3, condición dinámica = FS>1,1)); aún para valores de cohesión de 1,00 kg/cm² del conglomerado, los taludes se mantienen estables.

En general, puede decirse que los taludes de la toma son estables bajo las condiciones supuestas de las pendientes y características físico-mecánicas de los materiales que las componen. No obstante, se recomienda que los taludes ubicados en la parte superior de la Toma (sobre elev. 280 m.s.n.m.) que quedarán expuestos después de la construcción, sean reforzados con pernos aislados, malla electrosoldada y concreto lanzado, con el fin de asegurar la estabilidad y la seguridad de las personas. El diseño del tratamiento del talud se definirá en la etapa de diseño básico.

Globalmente, los taludes definidos son subverticales (inclinaciones de 0,5 H:1,0 V) , pero si se observa la pendiente natural que presenta el terreno en ambas márgenes de sitio de Presa, en algunas zonas tal inclinación es inclusive mayor que la indicada. Esto comprueba la estabilidad de las laderas, no obstante, durante la etapa de diseño final, se evaluaría la posibilidad de otras formas de asegurar la estabilidad, como la construcción de bermas o terrazas, por ejemplo.

Capacidad soportante

En el caso de la toma de agua, se hizo un análisis con las dimensiones correspondientes a la placa de cimentación diseñada para dicha estructura. Los parámetros de resistencia al corte del material de fundación corresponden al conglomerado que está presente también en el nivel de desplante de la presa. La diferencia radica en que el estudio de la capacidad de carga es distinto cuando la fundación está sobre un talud, que corresponde a la condición de la toma. Esto es, para condiciones donde la fundación se ubique en una superficie inclinada, es necesario modificar los factores de capacidad de carga para acondicionarlos a la reducción en la resistencia lateral del terreno debida a la menor cantidad de masa de roca en la zona inferior del talud. Aquí es importante calcular el número de estabilidad N_ϕ , a partir del cual y utilizando las gráficas presentes en Wyllie (1992) se obtienen los demás parámetros necesarios para el análisis. La ecuación para N_ϕ se muestra a continuación.

$$N_\phi = \frac{c}{H}$$

Donde c y C corresponden con la densidad y cohesión del material. H representa la altura total entre el nivel de desplante de la fundación hasta el pie del talud, indicada en el cuadro 7.1.9. Se determinó que la capacidad de soporte admisible para la toma de agua es de 1,37 Mpa obtenida a partir de la ecuación de capacidad de carga. Además, el cuadro 7.1.10 muestra un análisis paramétrico para distintos anchos del cimiento para la toma.

Cuadro 7.1.9
Capacidad soportante den la toma de agua

Ancho de fundación (B = m)	Capacidad soportante (ton/m²)
10	103
12	122
14	137
16	161
18	181
20	200

Cuadro 7.1.10
Detalle del cálculo de la capacidad soportante en toma de agua del P.H. Reventazón

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE CARGA EN TOMA DE AGUA	
DATOS DE ENTRADA	
Geometría de la fundación	Datos del macizo rocoso
B (m) = 13,5	C = 2,59 kg/cm ²
L (m) = 33,5	ϕ = 34°
D (m) = 0	γ = 2,15 ton/m ³
	FS = 3
	H = 80 m
Selección de los factores de forma	
L/B = 2,5	$C_{f1} = 1,11$ $C_{f2} = 0,91$
Factores de capacidad de carga	
$N_{\phi} = \square H/C$	$N_{\phi} = 6$
$N_{\gamma q} = 30$	$N_{cq} = 0,5$
Ecuación de capacidad de carga en terreno inclinado	
$q_{adm} = (C_{f1} * C * N_{cq} + C_{f2} * B * \gamma * N_{\gamma q} / 2) / FS$	
$q_{adm} = (14,4 + 396,2) / 3$	
$q_{adm} = 137 \text{ ton/m}^2$	
RESUMEN DE RESULTADOS	
$q_{adm} = 137 \text{ ton/m}^2$ (1,37 Mpa)	

Línea de túnel

Las coberturas serán en promedio de 125 m entre las estaciones 0+000 y 1+100 (150 m máximo), 180 m entre la 1+100 y 1+350 (200 m máximo), y disminuyen hacia Casa de Máquinas entre la 1+350 y 2+400 con 50 m (100 m máximo).

Este túnel de conducción se ubica dentro de terrenos geológicos variables y con una estructura tectónica compleja. Las rocas que se proyectan a nivel de túnel son conglomerados, lavas y brechas laháricas. Se encuentran estructuras que están relacionadas directamente con estructuras de dimensión regional. El objetivo de este trabajo es establecer las condiciones geológicas más relevantes y la calidad geomecánica del macizo rocoso, con el fin de recomendar un soporte temporal y método de excavación apropiado a las condiciones del sitio.

Geología.

La disposición de las unidades geológicas y sus límites están regulados por la estratigrafía y las fallas geológicas. Son tres las formaciones de roca que serán excavadas: lavas basálticas (Fm. Guayacán), conglomerados (Fm. Suretka) y Lahares (Fm. Doán), como se muestra en el cuadro 7.1.11.

Cuadro 7.1.11

Tipos de roca a lo largo del túnel

Estacionamiento	Formación geológica
0+000 – 0+1410	Conglomerado
1+410 – 1+855	Lavas (también es posible encontrar conglomerado)
1+855 – 2+000	Conglomerado
2+000 – 2+245	Brecha lahárica
2+245 – 2+340	Conglomerado

Dado que los métodos geofísicos son indirectos, se hace una correlación con las observaciones geológicas de campo, para llevar a cabo una valoración y su posible correspondencia con la geología y las estructuras geológicas. Dadas las características del método geofísico de resistividad eléctrica, éste ha ayudado a definir anomalías casi verticales correlacionadas con fallas geológicas mapeadas en el campo, al igual que los valores de resistividad eléctrica con respecto a la geología observada en el campo.

El método de refracción sísmica se aplicó en la línea de túnel a partir de la estación 1+400. De igual forma se han interpretado anomalías sísmicas verticales principalmente en la última sección de la línea de túnel. Éste permite definir básicamente diferencias de velocidades entre los espesores de suelo y roca meteorizada, roca sana blanda, y roca dura. Se definieron 9 anomalías eléctricas a lo largo del perfil. Estas producen una interrupción de las capas de igual resistividad a lo largo de la línea de túnel. Las mayoría se correlacionan con las fallas geológicas interpretadas en el perfil geológico (cuadro 7.1.12), aspecto que le brinda apoyo técnico a la existencia de dichas estructuras.

Cuadro 7.1.12**Zonas de falla a lo largo del túnel y su afectación con respecto al rumbo del túnel.**

Falla	Dir. Buz/ Buz	Tipo	Orientación	Estacionamiento	Magnitud*
Sistema de sobrecorrimento	S-SW/20°	Inversas	Subparalelas	1+100-2+150	50 m
Falla Lomas	SE/75°	Desplazamiento de rumbo siniestral con componente vertical	Subparalela (20-50°)	0+180	50 m
Falla Guayacán I	NEW/85°	Desplazamiento de rumbo dextral con componente vertical	Subtransversal (50°)	1+090	30 m
Falla Guayacán II	SW/80°	Desplazamiento de rumbo dextral con componente vertical	Subtransversal (50°)	1+350	30 m
Falla Plywood I	NE/80°	Desplazamiento de rumbo dextral con componente vertical	Subtransversal (50°)	2+000	15 m
Falla Plywood II	SW/80°	Desplazamiento de rumbo dextral con componente vertical	Subtransversal (50°)	2+240	15 m

***Posible longitud de afectación de la falla a lo largo del túnel**

Las anomalías sísmicas interpretadas por geofísica suman en total 4. Estas no han sido correlacionadas con estructuras geológicas de acuerdo con el modelo geológico ya que no han sido observadas en superficie o perforaciones. Más probable es la correlación de estas anomalías con variaciones de espesor y contactos geológicos entre las formaciones en éste sector.

Se realizaron en total 5 perforaciones a lo largo de la línea de túnel (PHR-10, PHR-11, PHR-13, PHR-15, PHR-19). También se obtuvo información proyectada de la perforación PHR-5 (SP) realizada a lo largo del eje de presa. Estas perforaciones dieron información importante sobre las elevaciones de contactos y espesores litológicos de las principales formaciones geológicas presentes en la margen derecha del sitio de presa y el área de la línea de túnel. También proporcionaron datos importantes de niveles freáticos para la interpretación del nivel freático a lo largo de la línea de túnel.

Las características mecánicas de la roca de fundación se ubican dentro de lo que se define como roca blanda. Este tipo de rocas (conglomerados y brechas laháricas) también afloran a lo largo de la línea de túnel. El IR-MN (índice de recuperación de matriz en núcleo), se midió simplemente como un parámetro de comparación relativa dentro de la clasificación de roca

blanda. Este se obtuvo midiendo las secciones de núcleo recuperadas, usualmente mayores a 3 cm, compuestos por matriz y clastos volcánicos.

Geotecnia

Ensayos de laboratorio.

Fueron realizados ensayos de laboratorio utilizando muestras tomadas de las perforaciones de línea de túnel y sitio presa. A partir de tales pruebas se estimaron las propiedades índice, resistencia a la compresión simple y los parámetros de resistencia al corte (cohesión y ángulo de fricción interna), mediante ensayos triaxiales.

Los parámetros de resistencia del conglomerado en margen derecha sobre la elevación promedio del túnel (240 m.s.n.m.), son un poco inferiores a los obtenidos en el nivel de fundación (145 m.s.n.m.), pues el material se encuentra menos consolidado, específicamente la matriz tiene una condición de cementación inferior.

Para determinar los parámetros de resistencia al corte del macizo fueron ejecutados varios ensayos triaxiales, cuyos esfuerzos confinantes eran del orden de 1,0 , 2,0 , 4,0 , 6,0 , 8,0 y 10,0 Mpa; el valor para el módulo de deformación elástico se tomó con base en los ensayos de placa rígida desarrollados en las galerías. Los valores recomendados para diseño son los siguientes:

- **Conglomerado**

$$\phi = 34^{\circ}$$

$$C = 2,59 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 15000 \text{ kg/cm}^2$$

$$\gamma = 2,15 \text{ ton/m}^3$$

$$Q_{ult} = 64 \text{ kg/cm}^2$$

$$GSI = 45$$

$$m_i = 17,81$$

$$\sigma_{ci} = 4,7 \text{ MPa}$$

$$m_b = 2,5$$

$$s = 0,0022$$

$$a = 0,507$$

- **Brecha**

$$\phi = 22^{\circ}$$

$$C = 2,13 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 11000 \text{ kg/cm}^2$$

$$\gamma = 1,90 \text{ ton/m}^3$$

$$Q_{ult} = 52 \text{ kg/cm}^2$$

$$GSI = 35$$

$$m_i = 5,28$$

$$\sigma_{ci} = 6,9 \text{ MPa}$$

$$m_b = 0,518$$

$$s = 0,0007$$

$$a = 0,516$$

Modelo geomecánico.

Los métodos de clasificación geomecánica son de especial interés en excavaciones subterráneas. A partir de la información que se obtiene, además de los ensayos de laboratorio disponibles, es posible estimar la resistencia al corte del macizo rocoso, el módulo de

deformabilidad del mismo y recomendaciones para la excavación y el soporte temporal del túnel, con las limitaciones ya mencionadas.

Para el estudio de la línea de túnel del P.H. Reventazón se utilizarán dos métodos de clasificación geomecánica; el **RMR**⁸⁹ (Rock Mass Rating) elaborado y publicado por Bieniawski en 1976 con una última versión en 1989; y el **Sistema Q** del Norwegian Geotechnical Institute propuesto por Barton en 1974, el cual ha sido actualizado continuamente.

Método RMR

Al igual que en la toma, se aplicó el RMR para el conglomerado con base en la resistencia al corte determinada en ensayos triaxiales, dando así una cohesión de $c = 2,59 \text{ kg/cm}^2$ y un ángulo de fricción interna $\phi = 34^\circ$. Así también el módulo de deformación posee un valor promedio de 15000 kg/cm^2 . Estos datos definen que el conglomerado es una roca Tipo III (roca regular) dentro del sistema de clasificación geomecánico RMR, con una calificación que podría oscilar entre 41 y 60.

La brecha es otra litología importante en el sitio de presa y línea de túnel, en laboratorio se obtuvo una cohesión de $c = 2,13 \text{ kg/cm}^2$ y un ángulo de fricción interna $\phi = 22^\circ$, igualmente valores promedio; y el módulo de deformación es alrededor de 11000 kg/cm^2 . Esta información establece que la brecha es una roca Tipo IV (roca pobre) según el RMR.

Se considera que la clasificación como roca regular para este macizo, se ajusta a las condiciones geológico geotécnicas predominantes a lo largo del túnel, aunado a una posible condición seca de la excavación.

El método Q.

Este sistema de clasificación geomecánica tiene similares o mayores limitaciones que el RMR, dada la condición in situ del conglomerado, el cual no presenta claramente fracturas o discontinuidades para aplicar directamente el método. No obstante, otra manera de determinar el valor de Q es a través de ensayos geofísicos de refracción sísmica, utilizando para ello la velocidad de onda primaria (V_p)

Esta correlación entre la velocidad sísmica V_p y el valor de Q ha sido desarrollada y descrita por Barton (1992) en la publicación World Tunnelling. Tomando el ensayo geofísico llevado a cabo a lo largo de la línea de túnel del P.H. Reventazón, se obtienen los resultados del cuadro 7.1.13. De acuerdo con este cuadro, el macizo rocoso puede clasificarse como muy pobre con base en las velocidades de onda primaria definidas en el ensayo geofísico.

Estos resultados deben analizarse con prudencia, sin embargo, pueden servir como parámetro de comparación y punto de partida de clasificación geomecánica, que indudablemente puede afinarse y mejorarse durante el curso del proyecto.

Cuadro 7.1.13.
Valores de Q con base en velocidades de onda V_p.

Est. Inicial-final	LITOLOGÍA	OBSERVACIONES	V_p (km/s)	Q	Clasificación geomecánica
0+000 – 0+180	Conglomerado		2,3	0,40	Roca muy pobre
0+180 – 0+230	Conglomerado	Posible falla (Anomalía geofísica)	---		
0+230 – 1+090	Conglomerado		2,4	0,43	Roca muy pobre
1+090 – 1+120	Conglomerado	Posible falla (Anomalía geofísica)	---		
1+120 – 1+350	Conglomerado		2,3	0,40	Roca muy pobre
1+350 – 1+380	Conglomerado	Posible falla (Anomalía geofísica)	---		
1+380 – 1+850	Lavas y conglomerado		2,4	0,46	Roca muy pobre
1+850 – 2+000	Conglomerado		2,4	0,43	Roca muy pobre
2+000 – 2+240	Brecha lahárica		2,5	0,46	Roca muy pobre
2+240 – 2+260	Conglomerado	Posible falla (Anomalía geofísica)	---		
2+260 – 2+400	Conglomerado		2,1	0,35	Roca muy pobre

Soporte temporal recomendado y método de excavación.

De acuerdo con los sistemas de clasificación geomecánica de la masa rocosa, se realizaron las recomendaciones de soporte mediante el RMR y el Sistema Q; luego se hace un estudio de ambas propuestas para establecer la mejor alternativa para el mantenimiento de la estabilidad de la excavación. En el futuro será necesario modelar el comportamiento del túnel ante diferentes tipos de soportes propuestos, utilizando métodos de elemento finito (FEM), diferencias finitas (FDM) o de elemento discreto (DEM). Sin embargo, el profesional encargado del túnel será el responsable de seleccionar la opción de soporte más adecuada de acuerdo a la experiencia y práctica acumulada.

El cuadro 7.1.14 y la figura 7.1.17 describen en forma detallada la solución que se propone, así también se han incluido las características físico-mecánicas más importantes de los diferentes materiales existentes a lo largo del trazado del túnel.

Cuadro 7.1.14.**Alternativa final de soporte temporal recomendado.**

Estación	Litología	E kg/cm²	□ kg/cm²	□	c kg/cm²	Carga sobre el soporte ton/m²	Carga de agua kg/cm²	Descripción	Soporte temporal
0+000 – 0+180	Conglomerado	15000	2150	34°	2,59	12	0	Clastos de lava entre 5 y 75 cm de diámetro, inmersos en una matriz areno limosa regularmente compactada. Erodable bajo flujo de agua. Roca impermeable y poco fracturada.	Arcos de acero @ 1,5 m + lámina de acero corrugada. Malla electrosoldada y concreto lanzado en paredes.
0+180 – 0+230	Conglomerado	500	Falla Lomas				0	Desplazamiento de rumbo siniestral con componente vertical.	Arcos de acero @ 1,25 m + lámina de acero, si es necesario, concreto lanzado en techo y pared para prevenir caída de bloques. Deberá colocarse bóveda si es requerido (deformaciones excesivas).

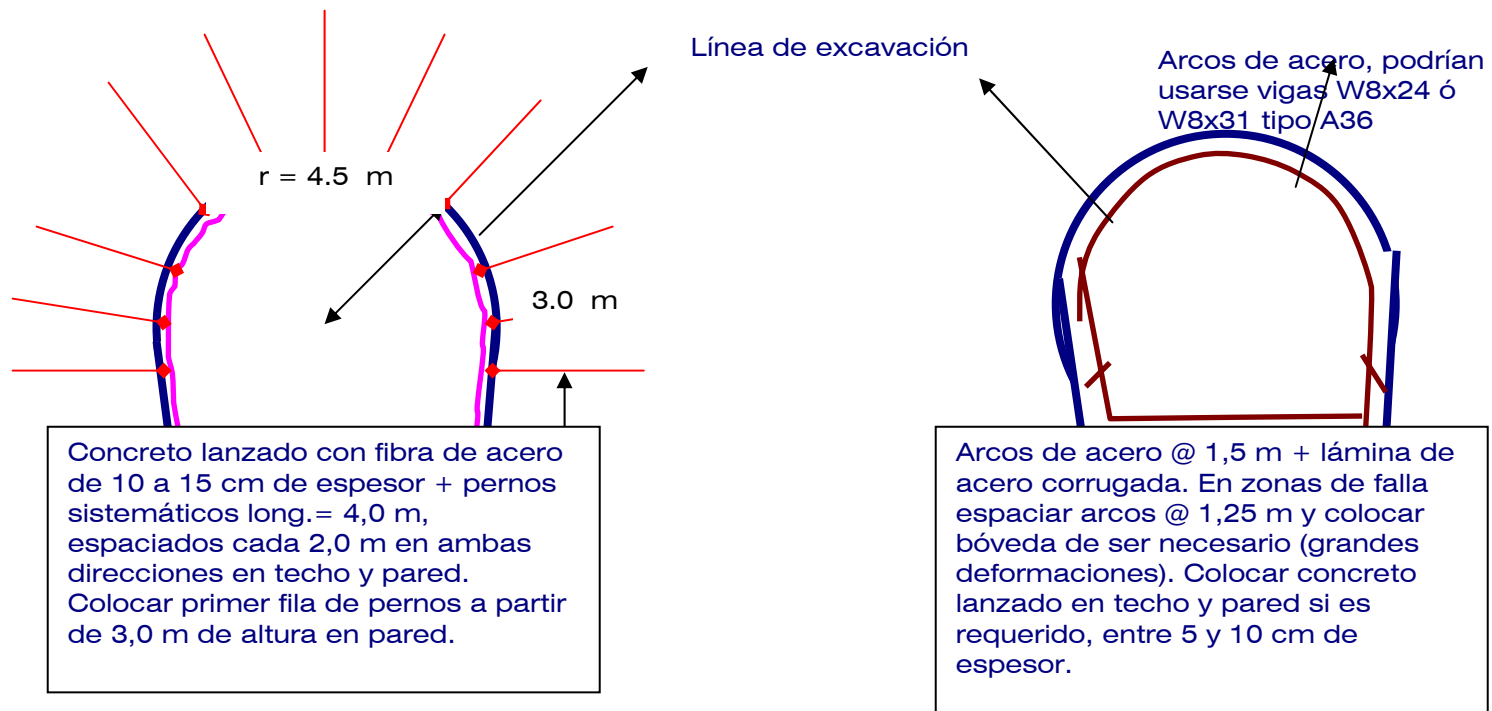
0+230 – 1+090	Conglomerado	15000	2150	34°	2,59	12	0	Clastos de lava entre 5 y 75 cm de diámetro, inmersos en una matriz areno limosa regularmente compactada. Erodable en condiciones de flujo de agua. Roca impermeable y poco fracturada.	Concreto lanzado con fibra de acero 10-15 cm de espesor + pernos sistemáticos long. = 4,0 m en el techo.
1+090 – 1+120	Conglomerado	500	Falla Guayacán I				1	Desplazamiento de rumbo destal con componente vertical.	Arcos de acero @ 1,25 m + lámina de acero, si es necesario, concreto lanzado en techo y pared para prevenir caída de bloques. Deberá colocarse bóveda si es requerido (deformaciones excesivas).
1+120 – 1+350	Conglomerado	15000	2150	34°	2,59	12	2	Clastos de lava entre 5 y 75 cm de diámetro, inmersos en una matriz areno limosa regularmente compactada. Erodable en condiciones de flujo de agua. Roca impermeable y poco fracturada.	Concreto lanzado con fibra de acero 10-15 cm de espesor + pernos sistemáticos long. = 4,0 m en el techo.

1+350 – 1+380	Conglomerado	500	Falla Guayacán II				2	Desplazamiento de rumbo siniestral con componente vertical.	Arcos de acero @ 1,25 m + lámina de acero, si es necesario, concreto lanzado en techo y pared para prevenir caída de bloques. Deberá colocarse bóveda si es requerido (deformaciones excesivas).
1+380 – 1+850	Lavas (es posible encontrar conglomerado)	15000 - 50000	2150 - 2600	34° - 45°	2,5 – 10,0	12	0	Lavas de naturaleza alcalina y generalmente meteorizadas, espesor de coladas variable (5,0 m promedio). Textura masiva compacta en el núcleo y brechoso hacia la parte externa, a veces vesicular.	Concreto lanzado con fibra de acero 10-15 cm de espesor + pernos sistemáticos long. = 4,0 m en el techo.
1+850 – 2+000	Conglomerado	15000	2150	34°	2,59	12	0	Clastos de lava entre 5 y 75 cm de diámetro, inmersos en una matriz areno limosa regularmente compactada. Erodable en condiciones de flujo de agua. Roca impermeable y poco fracturada.	Concreto lanzado con fibra de acero 10-15 cm de espesor + pernos sistemáticos long. = 4,0 m en el techo.

2+000– 2+020	Conglomerado	500	Falla Plywood I				0	Desplazamiento de rumbo destal con componente vertical	Arcos de acero @ 1,25 m + lámina de acero, si es necesario, concreto lanzado en techo y pared para prevenir caída de bloques. Deberá colocarse bóveda si es requerido (deformaciones excesivas).
2+020 – 2+240	Brecha Lahárica	11000	1900	22°	2,13	10	Supresión 5 kg/cm ²	Bloques de roca angulares a subredondeados inmersos en una matriz limo arcillosa con arenas. Está consolidada y de composición heterogénea.	Concreto lanzado con fibra de acero 10-15 cm de espesor + pernos sistemáticos long. = 4,0 m en el techo.
2+240– 2+260	Conglomerado	500	Falla Plywood II				0	Desplazamiento de rumbo destal con componente vertical	Arcos de acero @ 1,25 m + lámina de acero, si es necesario, concreto lanzado en techo y pared para prevenir caída de bloques. Deberá colocarse bóveda si es requerido (deformaciones excesivas).

2+260– 2+400	Conglomerado	15000	2150	34°	2,59	12	0	Clastos de lava entre 5 y 75 cm de diámetro, inmersos en una matriz areno limosa regularmente compactada. Erodable en condiciones de flujo de agua. Roca impermeable y poco fracturada.	Arcos de acero @ 1,50 m + lámina de acero corrugada. Si es necesario, concreto lanzado en techo y pared para prevenir caída de bloques.
--------------	--------------	-------	------	-----	------	----	---	---	--

Figura 7.1.17
Tipos de soporte temporal recomendados para el Túnel.



Carga de roca sobre el soporte.

El túnel del P.H. Reventazón atravesará el conglomerado en la mayor parte de su extensión, por lo que se aplicarán los parámetros de resistencia al corte obtenidos en laboratorio para el ensayo triaxial en roca, además de un ancho del túnel excavado cercano a $b = 9,0$ m. De acuerdo con la información disponible, puede concluirse que la carga de montaña sobre el soporte es del orden de $9,6 \text{ ton/m}^2$.

Por otro lado, la teoría de Terzaghi propuesta en 1946, sigue siendo válida para túneles soportados mediante arcos de acero, la cual supone una altura de carga equivalente de roca H_p sobre el techo del túnel dependiendo del ancho B y altura H_t del mismo; para profundidades mayores de $1,5 (B + H_t)$. También se asume que el nivel freático está por encima del túnel, cuando esto no es cierto en el campo, los valores obtenidos pueden reducirse en un 50%.

De acuerdo a las condiciones del sitio puede atribuirse una carga de roca sobre el túnel igual a

$$H_p = 0,60 (B + H_t)$$

Siendo $B = H_t = 9,0$ m, por lo que $H_p = 10,80$ m. Multiplicando este factor por la densidad del material, resulta en una carga de $23,22 \text{ ton/m}^2$. Sin embargo, debido a la condición del nivel freático por debajo de la excavación, este valor se reduce en un 50%, quedando en $11,61 \text{ ton/m}^2$, ligeramente inferior al cálculo hecho por la teoría de Protodyakonov de acuerdo al cuadro 7.1.15

Cuadro 7.1.15.
Magnitud de la carga de roca sobre el túnel

Material	Carga sobre el techo (ton/m^2)		Valor Recomendado	Carga lateral (ton/m^2)
	Terzaghi	Protodyakonov		
Conglomerado	11,61	9,6	12,0	6,0

Se estima que habrá cargas laterales del orden del 50% de la carga vertical actuando sobre el soporte.

Conclusiones

Las propiedades de resistencia al corte del conglomerado son $c = 2,59 \text{ kg/cm}^2$ y $\phi = 34^\circ$. El módulo de elasticidad $E = 15000 \text{ kg/cm}^2$ y la densidad $2,15 \text{ ton/m}^3$.

El Túnel atravesará casi exclusivamente el conglomerado, excepto por el tramo final de unos 400 m, donde alternará la brecha y finalmente suelo.

Los valores del RMR oscilan entre 41 y 60 lo cual ubica al macizo como una roca regular, tipo III. Con respecto al Sistema Q, los resultados se encuentran dentro del rango de $0,35 - 0,46$, clasificando la roca como muy pobre.

Fueron detectadas una serie de anomalías geofísicas que se pueden relacionar con zonas de falla, zonas de mayor fracturamiento o de cizalle a lo largo de túnel. Por las condiciones desfavorables que puedan presentar, requieren soporte temporal pesado, como puede ser : arcos de acero espaciados a $1,25\text{m}$ con viga de piso + concreto lanzado reforzado con fibra en espesores de $10 - 15 \text{ cm}$ en techo y de $7 - 12 \text{ cm}$ en pared.

La excavación se realizará en un ambiente seco; con base en las perforaciones realizadas en la etapa de investigación se determinó un nivel freático por debajo del nivel del túnel. Además, debido al diámetro del túnel de casi 10 m , debe realizarse la excavación a media sección cuya longitud y altura de banco será determinada en la etapa constructiva.

Con base en la alternativa final de soporte temporal, se requieren arcos sistemáticos en un 20% del túnel (longitud con arco = 480 m → 400 arcos). En las zonas restantes con mejores condiciones geomecánicas no se establecen arcos de acero, sino un soporte temporal que incluye pernos sistemáticos y concreto lanzado reforzado con fibra de acero (longitud = 1920 m → 80 % del túnel).

Queda pendiente la definición del tipo de perno a utilizar, pues al tratarse de roca blanda tienen que ejecutarse pruebas de extracción en sitio para establecer el más adecuado, pero podrían ser mediante barras de acero embebidas en resina.

La carga de montaña sobre el soporte sería alrededor de 12,0 ton/m², con una carga lateral aproximada de 6,0 ton/m² dentro de un medio seco.

El concreto lanzado a utilizar deberá tener una resistencia a la compresión simple de 245 kg/cm². Esto permitirá que para un espesor aproximado de 10 cm soporte cerca de 24 ton/m² de carga, para un diámetro cercano a 10,0 m (Hoek y Brown, 1985). Al utilizarlo reforzado con fibra de acero, la resistencia inconfiada deberá aumentar, pero tendrá que analizarse en dicho momento.

Para el caso de arcos de acero, podrían usarse secciones de viga desde W8x24 hasta W8x31 tipo A36 (36000 psi). Este elemento soporta entre 20 y 30 ton/m² respectivamente, para un túnel con diámetro hasta de 10,0 m. Tiene que hacerse una verificación por parte del Área de Ingeniería Estructural.

Tanque de Oscilación

Geología

El perfil geofísico de iso-resistividades no muestra variantes abruptas en las curvas de iso-resistividades cuyos valores varían entre los 100-150 $\Omega \cdot m$. Estas resistividades se asocian a materiales geológicos blandos, como bien lo muestra la geología y la perforación. Al parecer, este rango de resistividades no sugiere la presencia de acuíferos en este sector. Las anomalías geoelectricas en sentido vertical, se han correlacionado con el sistema de fallas de desplazamiento de rumbo dextral de acuerdo con el modelo tectónico regional. El caso más representativo es el de la falla Plywood III, unos 200 m antes de la salida del túnel.

En el área circundante al tanque de oscilación se tienen tres formaciones geológicas. Lahares de la Formación Doán, Conglomerados de la Formación Suretka y Areniscas fosilíferas de la Formación Río Banano. Estas formaciones se determinaron a partir de la geología de superficie y con la perforación PHR-19 LT. La excavación del pozo para el tanque de oscilación se realizaría en los lahares y en las areniscas fosilíferas, hasta la corona del túnel, a los 66 metros. Como se observa en a la perforación PHR-19 LT, y en el perfil geológico, los primeros 23 metros son roca meteorizada (suelo limo arenoso de textura brechosa y clastos volcánicos), de los cuales 9,6 m serían removidos como parte del diseño del talud, luego hasta los 34,5 metros de areniscas fosilíferas calcáreas. El tramo de 34,5 hasta los 89,66 corresponde con lahares compactos y soldados, con contenido tobáceo, y matriz limo-arenosa. A la profundidad de 89,66 metros se llega al contacto con el conglomerado.

El sistema de fallas dominantes son inversas y de desplazamiento de rumbo. En el perfil geológico de la Línea de Túnel se ha esquematizado este sistema de fallas inversas y de desplazamiento de rumbo. Estas fallas han sido determinadas en las perforaciones de línea de túnel (PHR-13, PHR-15 y PHR-19), y en los ríos Guayacán y Tres Amigos. Las zonas de falla que se observan en superficie, son la expresión de esta estructura tectónica y se definen en dos grupos:

- Sistema de fallas inversas con rumbo aproximado E-W asociadas al frente de montaña, con buzamientos entre los 20-40° hacia el S-SW
- Sistema de fallas de desplazamiento de rumbo dextral con componente vertical, con rumbo NW-SE (Fallas Plywood I, II y III)

Son dos los aspectos estructurales más importantes que pueden afectar la excavación del pozo son la profundidad de meteorización cercana a los 23 metros y la posible presencia de fallas inversas.

Geotecnia

Tomando como base la perforación PHR-19 LT, en los primeros 23 m de profundidad se excavará un suelo residual con presencia de bloques, esto sugiere el uso de equipo mecánico (retroexcavador). Luego se encuentra una capa de arenisca de condición blanda de unos 10 m de espesor y el resto de la excavación hasta intersectar el túnel sería en brecha volcánica (alrededor de 28 m). El módulo de deformación del suelo se estima en 250 kg/cm^2 , para la arenisca se tiene un valor aproximado de 6000 kg/cm^2 y para la brecha de 10000 kg/cm^2 .

Los valores de módulos, parámetros índices y resistencia del suelo y arenisca, son correlacionados con materiales similares que fueron estudiados en otros sitios. Las características de la brecha se obtuvieron con pruebas de placa rígida realizadas en las galerías de investigación y mediante ensayos triaxiales hechos en laboratorio. Las características de los materiales donde se excavará el tanque de oscilación (T.O.) se resumen en el cuadro 7.1.16, así como la estimación del esfuerzo vertical y horizontal actuando en las paredes.

Cuadro 7.1.16.
Resumen de las características de los materiales donde se excavará el T.O.

Cota m.s.n.m.	Prof. (m)	Material	γ (ton/m ³)	ϕ (°)	C (ton/m ²)	Ka	σ_v (ton/m ²)	σ_h (ton/m ²)
250	0	Suelo	1,4	15	0	0,59	0	0
227	0 - 23	Suelo	1,4	15	0	0,59	32,2	19,0
217	23 - 33	Arenisca	1,8	21	0	0,45	50,2	22,6
180	33 - 70	Brecha	1,9	22	0	0,41	120,5	49,4

Para el diseño del soporte temporal, debe considerarse el hecho que la excavación es de forma cilíndrica, donde el terreno excavado tiene capacidad de arqueado, por lo tanto puede utilizarse la siguiente expresión tomada del libro Underground Excavations in Rock (Hoek y Brown, 1980), con el fin de obtener la presión actuando realmente en el soporte.

$$P_{cr} = (2P_o - \sigma_{cm}) / (1 + k)$$

Donde

P_{cr}	=	Presión crítica para la falla del macizo
P_o	=	Esfuerzo horizontal del terreno = σ_h
σ_{cm}	=	Resistencia uniaxial del macizo
k	=	Constante de rigidez $\rightarrow (1+\text{sen}\phi)/(1-\text{sen}\phi)$

Para tener un factor de seguridad adicional para el diseño del soporte, no se considerará cohesión de los materiales, por lo que el valor de σ_{cm} es igual a cero (cuadro 7.1.17).

Cuadro 7.1.17.

Valores de las presiones que actuarán para las diferentes condiciones de suelo y roca a excavar en el T.O.

Cota m.s.n.m.	Prof. (m)	Material	γ_{cm}	k	γ_h Ton/m²	P_{cr} Ton/m²
250	0	Suelo	0	1,70	0	0
227	0 - 23	Suelo	0	1,70	19,0	14,1
217	23 - 33	Arenisca	0	2,12	22,6	14,5
180	33 - 70	Brecha	0	2,20	49,4	30,9

Es importante que además de los arcos de acero que sean diseñados de acuerdo a las cargas calculadas, sea colocado un espesor de concreto lanzado para prevenir tanto la descompresión de los materiales excavados como la caída de bloques a la parte inferior del pozo.

Debe señalarse que a partir de los 33 m de profundidad, específicamente dentro de la brecha, se identificó la presencia de una falla inversa descrita en el apartado geológico. Esta falla atravesaría el pozo vertical en un espesor que no se puede precisar con exactitud, pero estaría muy cerca o inclusive abarcar hasta el techo del túnel y posiblemente genere problemas de empujes sobre la excavación.

Ya que el soporte a utilizar será mediante arcos de acero, concreto lanzado y malla electrosoldada, no se pronostican inconvenientes mayores al atravesar esta falla. Luego al revestir con concreto convencional de forma permanente, será suficiente para estabilizar las paredes.

Tubería forzada

Geología

El perfil de iso-resistividades muestra variaciones entre los 100-500 $\Omega \cdot m$ hasta los 40 metros de profundidad. En las cercanías del río Guayacán, por dónde cruza la tubería, se registran resistividades con valores entre los 500-1800 $\Omega \cdot m$. Estas resistividades se asocian a roca blanda y en las cercanías del talud en el valle del río a roca meteorizada y al efecto topográfico.

La investigación geofísica determina varias anomalías. Éstas se han interpretado como estructuras que ponen en contacto materiales geológicos diferentes (conglomerados, lahares y lavas basálticas). El área por donde pasaría la tubería forzada tiene como fundación la formación Doán.

Los lahares muestran diferentes grados de meteorización, de los que se han medido hasta 24 metros en la perforación PHR-18 (CM). El espesor de brecha que se calcula en ésta área varía entre los 25 y 40 metros hasta el contacto con conglomerado cerca de la Casa de Máquinas.

Las zonas de falla que se han observado y mapeado se ubican aguas arriba del río Guayacán y Tres Amigos, anterior al inicio de la tubería forzada. Es probable que las estructuras definidas como anomalías en la geofísica, tengan relación con diferencias de espesor y contactos geológicos de las tres unidades descritas anteriormente.

En el área circundante por dónde pasa la línea de tubería forzada, a lo largo del río Guayacán y quebradas menores, se tienen mapeadas zonas de falla y roca meteorizada asociada a la tectónica regional. Sin embargo, no hay evidencia de movimientos recientes y de fallas que crucen la Tubería

Forzada, al ser estos cubiertos por los depósitos geológicos más recientes (lahares) con al menos 25 metros de espesor.

No se presentan problemas de inestabilidad. La estructura de bloques y clastos de lava y matriz que forman estos lahares originan suelos muy firmes. No hay presencia de deslizamientos ni zonas saturadas de agua. La topografía es suave a regular con pendientes entre los 5-10°, sin cambios de pendiente abruptos excepto en el paso sobre el río Guayacán

Geotecnia

Dentro de los aspectos a tomar en cuenta en el diseño de la trinchera donde se ubicará la tubería están la altura y pendiente de los cortes en el terreno. Los materiales a excavar corresponden a suelos residuales limo arcillosos, de permeabilidad media y su condición física mecánica es pobre, lo cual es normal en este tipo de suelos.

Los cortes necesarios para realizar la excavación pueden tener una inclinación de 0,75H:1,0V, para alturas de 8,0 m o menores; cuando los cortes sean mayores, se recomienda dejar una berma de 4,0 m de ancho y luego continuar con la misma pendiente. El nivel freático se encuentra por debajo del nivel de desplante de la tubería, por lo que no hay cargas hidrostáticas actuando en las paredes de los taludes; sin embargo, es importante la disposición de cunetas en ambos lados de la excavación con el fin de evacuar cualquier flujo de escorrentía que se presente en época lluviosa para prevenir la erosión.

En general, la topografía por donde corre la tubería es plana, excepto a la llegada a casa de máquinas donde prácticamente se clava hacia el río, por lo que los cortes requeridos antes de llegar a casa de máquinas, tendrán que ser revestidos con concreto lanzado y malla electrosoldada, además de pernos sistemáticos en zonas críticas.

Cabe la posibilidad de construir huecos de drenaje en los taludes para disminuir la influencia del agua en la estabilidad; en las bermas que se excaven, deben dejarse cunetas en la parte interna. Es claro y fundamental la disposición de las aguas cuando existan cortes de gran magnitud, cualquier caso particular debe analizarse por separado.

Con respecto a la fundación, puede considerarse una capacidad soportante del terreno de 12 ton/m² al nivel de desplante de las monturas de concreto, y con base en el área de la cimentación de dichas monturas, no se prevé ningún inconveniente en la capacidad de carga. Luego, ya en la etapa de diseño básico o constructiva, podrían realizarse algunos ensayos de penetración estándar (SPT) con el fin de corroborar este valor.

El puente propuesto para atravesar la quebrada Guayacán estaría cimentado en suelo residual originado de lahares que posee la misma capacidad soportante antes mencionada, para efectos del cálculo de los bastiones. No obstante, al observarlo en sitio, podría suponerse una mejor condición mecánica luego de excavarlo, por lo no se prevé ningún inconveniente a la hora de fundar los estribos, deben protegerse dichos taludes para evitar la erosión de la superficie.

Casa de Máquinas

Geología

El estudio geológico del área dónde sería fundada la casa de máquinas, se hizo con geología de campo y perforaciones. Los que determinaron la presencia de la Formación Suretka en el sitio. Las perforaciones sugieren al menos un espesor de 37 metros de conglomerado hasta el contacto meteorizado y fallado con lavas basálticas.

No hay presencia de alguna estructura geológica importante que pueda afectar el área de casa de máquinas. El contacto fallado que usualmente se observa entre los conglomerados y lavas

basálticas, se asocia a una zona de debilidad estratigráfica deformada y fallada por el efecto del esfuerzo litostático.

Geotecnia

Ensayos de laboratorio

Se han utilizado los parámetros índice y de resistencia al corte (ángulo de fricción y cohesión) obtenidos en otros sitios de obra mediante pruebas de laboratorio de compresión inconfiada y triaxiales en roca. Esto es posible debido a la similitud de los materiales en el área del proyecto. Los valores determinados para el conglomerado presente en Casa de Máquinas son los siguientes:

$$\begin{aligned}\phi &= 34^\circ \\ c &= 2,59 \text{ kg/cm}^2 \\ 2 E &= 15000 \text{ KG/CM}^2 \\ \gamma &= 2,15 \text{ ton/m}^3\end{aligned}$$

Capacidad soportante.

Se presenta un análisis de la capacidad soportante de la fundación, dicho cálculo se hizo mediante la ecuación general de capacidad de carga, utilizando las propiedades de resistencia al corte para el conglomerado (cuadro 7.1.18).

Cuadro 7.1.18.

Datos de capacidad de soportante para la casa de máquinas

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE CARGA			
CASA DE MÁQUINAS			
DATOS DE ENTRADA			
Geometría de la fundación		Datos del macizo rocoso	
B (m) =	23,00	C	= 1,5 kg/cm ²
L (m) =	46,00	ϕ	= 34°
D (m) =	20,00	γ	= 2,15 ton/m ³
		FS	= 3
Selección de los factores de forma			
L/B =	2	C _{f1} =	1,12
		C _{f2} =	0,90
Factores de capacidad de carga			
N _{ϕ} =	2,77	N _q =	7,67
		N _{γ} =	11,10
		N _c =	12,52

a) Ecuación de capacidad de carga $q_{adm} = (C_{f1} * C * N_c + C_{f2} * B * \gamma * N_{\gamma} / 2 + \gamma * D * N_q) / FS$ $q_{adm} = (210,34 + 247,00 + 329,81) / 3$ $q_{adm} = 262 \text{ ton/m}^2$
RESUMEN DE RESULTADOS ➤ Ecuación de capacidad de carga $q_{adm} = 262 \text{ ton/m}^2$ (2,62 Mpa)

No se considera que la capacidad de soporte del macizo rocoso en la fundación sea un problema, excepto si existieran zonas débiles en la masa de roca no detectadas por el estudio actual. En todo caso, se recomienda eliminar y sustituir materiales de pobre calidad.

Estabilidad de los taludes

Se ha realizado un análisis de estabilidad con las inclinaciones recomendadas y las características de resistencia estimadas en el laboratorio, según se reseña en el cuadro 7.1.18. En general, se sugieren cortes de 10,0 m de altura con pendientes de 1,0H : 1,0V, como se puede observar en la figura 7.1.17. Los análisis de estabilidad se realizaron mediante el programa PCSTABL, que utiliza la teoría de equilibrio límite para la obtención del factor de seguridad. El programa permite examinar tanto superficies de falla circulares como irregulares. También se incluye el estudio de la estabilidad bajo condiciones estáticas ($k = 0$) y pseudo estáticas severas ($k = 0,10-0,20g$).

Cuadro 7.1.19.
Parámetros de resistencia al corte de los materiales existentes en casa de máquinas

MATERIAL	C (kg/cm²)	ϕ	γ_t (kg/m³)
<i>Suelo</i>	0,25	6°	1500
<i>Brecha</i>	1,00	22°	1900
<i>Conglomerado</i>	1,50	34°	2150

Así se ejecutaron los análisis de estabilidad por falla general, los cuales incluyen al talud completo; se desarrollan superficies de falla que abarcan desde el pie del talud hasta la cresta del mismo, como se indica en la figura 7.1.18. El análisis se realiza generando superficies de falla cilíndricas al azar ya que no se identificaron otros sistemas de debilidad que afecten el macizo.

Figura 7.1.18
Superficies de deslizamiento por falla general



El nivel freático se supuso considerando las condiciones que se presentarán al final de la excavación tanto en verano como invierno (estado saturado). El cuadro 7.1.20 muestra los factores de seguridad obtenidos para los taludes en el sitio de casa de máquinas. En estado seco, la tabla de agua se ubicó en la elevación 120 m.s.n.m., tal y como se encuentra actualmente en las perforaciones PHR-16 CM y PHR-18 CM. A lo largo de los últimos dos años se ha monitoreado el nivel del agua en ambas perforaciones manteniéndose con pocas variaciones (entre las elevaciones 117,5 y 122,5 m.s.n.m.).

Es importante mencionar que el conglomerado encontrado en el área donde se construirá Casa de Máquinas posee propiedades similares que el ubicado en línea de túnel, de acuerdo a la geología local. Sin embargo, debido a su condición menos cementada, se utilizará una cohesión de 1,5 kg/cm² en lugar de 2,59 kg/cm² determinado a partir del ensayo triaxial.

Cuadro 7.1.20
Factores de seguridad en taludes de casa de máquinas

Condición del suelo	2..1.1.1.1 FACTOR DE SEGURIDAD		
	k = 0,00 g	k = 0,10 g	k = 0,20 g
Seco	1,82	1,43	1,12
Saturado	0,95	0,72	0,55

En general, puede decirse que los taludes son estables durante la época seca, aún ante el eventual suceso de un movimiento sísmico. No obstante, se recomienda que los taludes sean reforzados con malla electrosoldada, concreto lanzado y pernos sistemáticos, con el fin de asegurar la protección contra la erosión, la estabilidad de los mismos, la seguridad de las personas y de la estructura.

En el estado saturado se supone el nivel del agua sobre la superficie, lo cual no es necesariamente cierto y requiere una condición de lluvia extrema. Pero es una señal para exigir la implementación de obras de evacuación pluvial que beneficien y aseguren la estabilidad de los cortes.

Un dibujo en planta de la excavación de casa de máquinas se presenta en la figura 7.1.19, indicando la posición de la sección transversal analizada A-A, además la figura 7.1.20 presenta un corte con la ubicación de la obra en el mismo. Las características finales del tratamiento se establecerán durante la construcción de las obras, sin embargo, se presenta un diseño preliminar de acuerdo a la figura 7.1.21. En ella se especifican nueve hileras de pernos con las características indicadas en el cuadro 7.1.2.

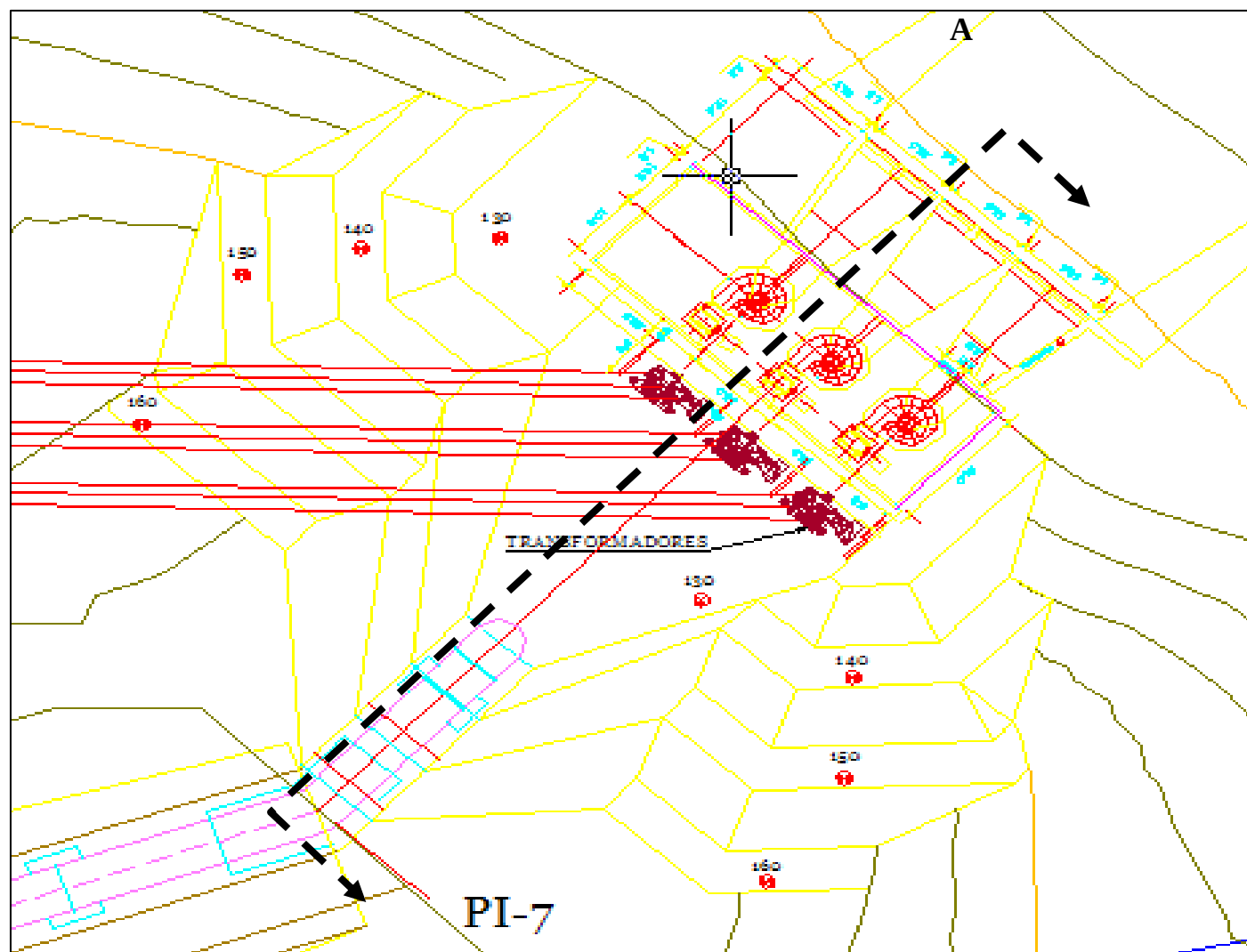


Figura 7.1.19 Planta de excavación de Casa de Máquinas.

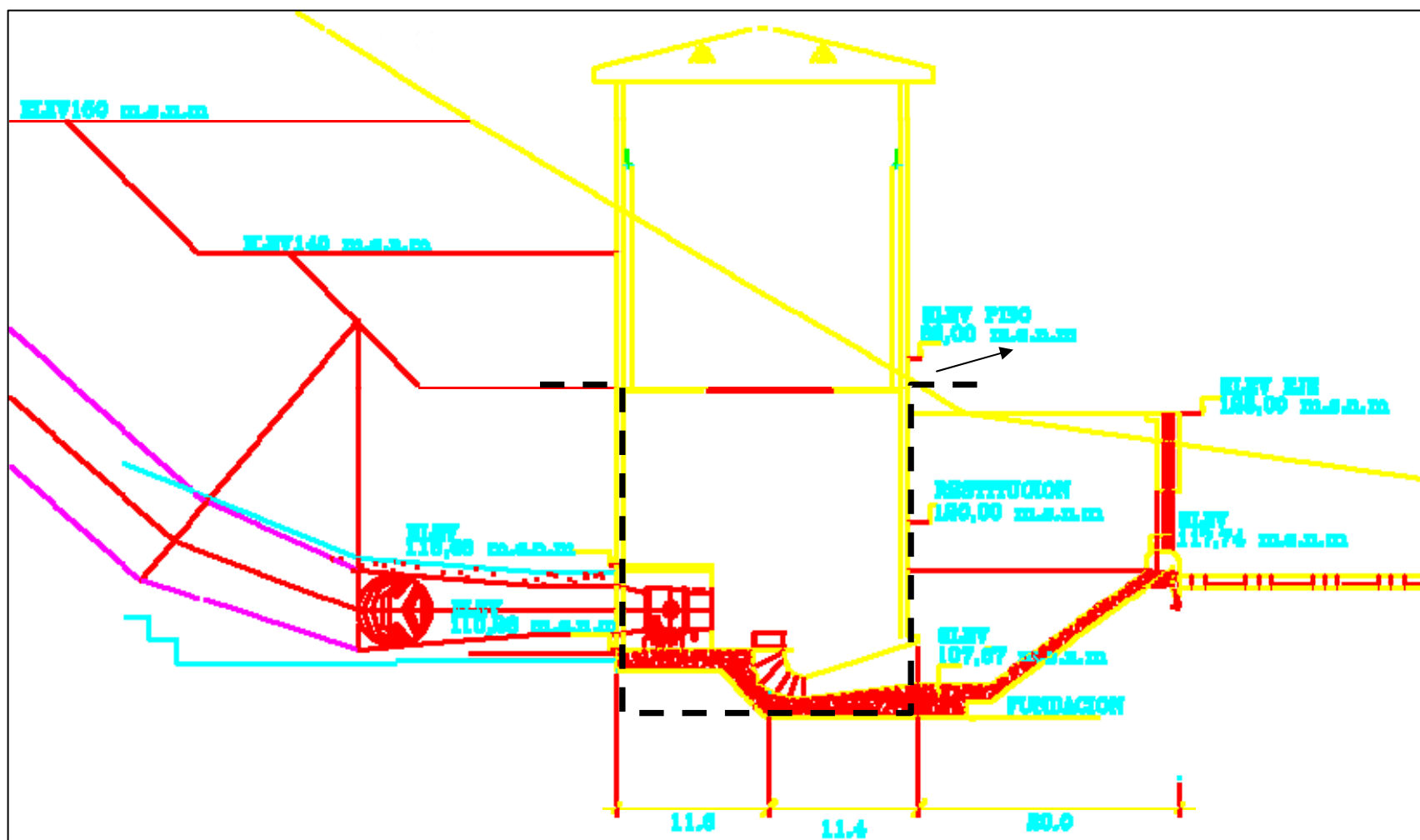


Figura 7.1.20 Sección transversal de Casa de Máquinas, esquema de ubicación de posible corte vertical.



Adicionalmente, se recomienda la construcción de un sistema de evacuación de aguas superficiales apropiado, con el fin de reducir el efecto de la erosión sobre los taludes, lo cual constituye un aspecto relevante para el mantenimiento de los cortes.

**Cuadro 7.1.21.
Pernos sistemáticos en taludes de casa de máquinas**

Hilera	# Var.	Elev. msnm	Capacidad Ton (kN)	Espaciamiento Horizontal (m)	Inclinación (°)	Longitud (m)
T1	8	142	21 (208)	2,0	10	9,0
T2	8	144	21 (208)	2,0	10	12,0
T3	8	146	21 (208)	2,0	10	12,0
T4	8	148	21 (208)	2,0	10	9,0
T5	8	149,5	21 (208)	2,0	10	9,0
T6	8	163	21 (208)	2,0	10	9,0
T7	8	165	21 (208)	2,0	10	9,0
T8	8	167	21 (208)	2,0	10	12,0
T9	8	169	21 (208)	2,0	10	12,0

La construcción de drenajes en el terreno es fundamental para mantener el nivel freático por debajo de la superficie y evitar una condición saturada del suelo. Claramente se da inestabilidad de los taludes bajo esta premisa, no obstante, una forma de solucionar el problema es mantener el nivel del agua alejado de la superficie al menos a unos 10 ó 12 m de profundidad. El diseño definitivo de tales drenajes se hará en una fase posterior.

En la última etapa de la excavación de Casa de Máquinas existe un corte vertical entre la cota 106 hasta la elevación 130 m.s.n.m., generando un talud de 24 m de altura para alcanzar el nivel de desplante final de la estructura (figura 7.1.20), bajo esta propuesta dicho talud estaría sometido a sobrecargas de máquinas de construcción y grúas alrededor, además del personal trabajando abajo. Esta excavación estaría concentrada en el conglomerado que posee características de resistencia al corte aceptables para llevar a cabo un corte de este tipo sin comprometer la estabilidad de las paredes.

Dicha roca es una roca blanda compuesta por bloques ígneos en una matriz arenosa compacta. La caracterización de dicho material indicó una cohesión $C = 25 \text{ ton/m}^2$ y un ángulo de fricción $\phi = 28^\circ$. Con estos parámetros de resistencia al corte los análisis de estabilidad ejecutados indican que el talud es estable (cuadro 7.22).

Cuadro 7.1.22.
Factores de seguridad en talud vertical

Condición del suelo	FACTOR DE SEGURIDAD		
	k = 0,00 g	k = 0,10 g	k = 0,20 g
Seco	1,78	1,59	1,43
Saturado	1,16	1,03	0,91

El análisis anterior no considera la presencia de algunas debilidades (de gran persistencia) que pueda provocar la salida de un bloque o la formación de grietas de tracción por descompresión que puedan formar bloques que son empujados por el agua.

Un análisis que considere la formación de zonas de tracción detrás del talud es más complicado de realizar. Por lo anterior, se propone preliminarmente un sistema de refuerzo temporal pasivo de varillas # 8 (grado 60), con una longitud de 6 m, con una separación de 2,5 m en el sentido horizontal y 2,5 m sentido vertical (en total son 9 filas).

Este refuerzo podrá cambiar dependiendo de las condiciones que se encuentren cuando se excave hasta el nivel 106 m.s.n.m. Los esquemas propuestos aplican para el talud vertical representado con una línea discontinua mostrado en el corte transversal de Casa de Máquinas

Los huecos para dichos pernos tendrán una inclinación mínima (5°) para que la lechada corra hacia adentro sin problemas. En dicho material, probablemente la perforación se realice sin problemas y sin necesidad de ademe. Es mejor considerar con anticipación que se requerirá de concreto lanzado y malla electrosoldada para protección de zonas fracturadas y distribución de los esfuerzos en la cara de los taludes.

Los pernos y el concreto lanzado deben instalarse conforme el nivel de piso de la excavación llegue un metro abajo del nivel en que van instalados los pernos. Una vez instalados los pernos de una fila se continúa con la excavación hasta bajar otros 2,5 m (hasta la siguiente fila de pernos).

Debido a que los pernos propuestos se consideran como no permanentes, si aparece una zona muy fracturada o alterada debe ponerse cuidado en utilizar pernos con calidad de permanentes o diseñar los muros para empujes laterales del terreno en esa zona.

Debe mencionarse que si se quiere minimizar el flujo de agua a través de los muros (hacia adentro de la Casa de Máquinas) debe estudiarse con anticipación la disposición de drenajes, filtros e impermeabilizantes que resulte más adecuada.

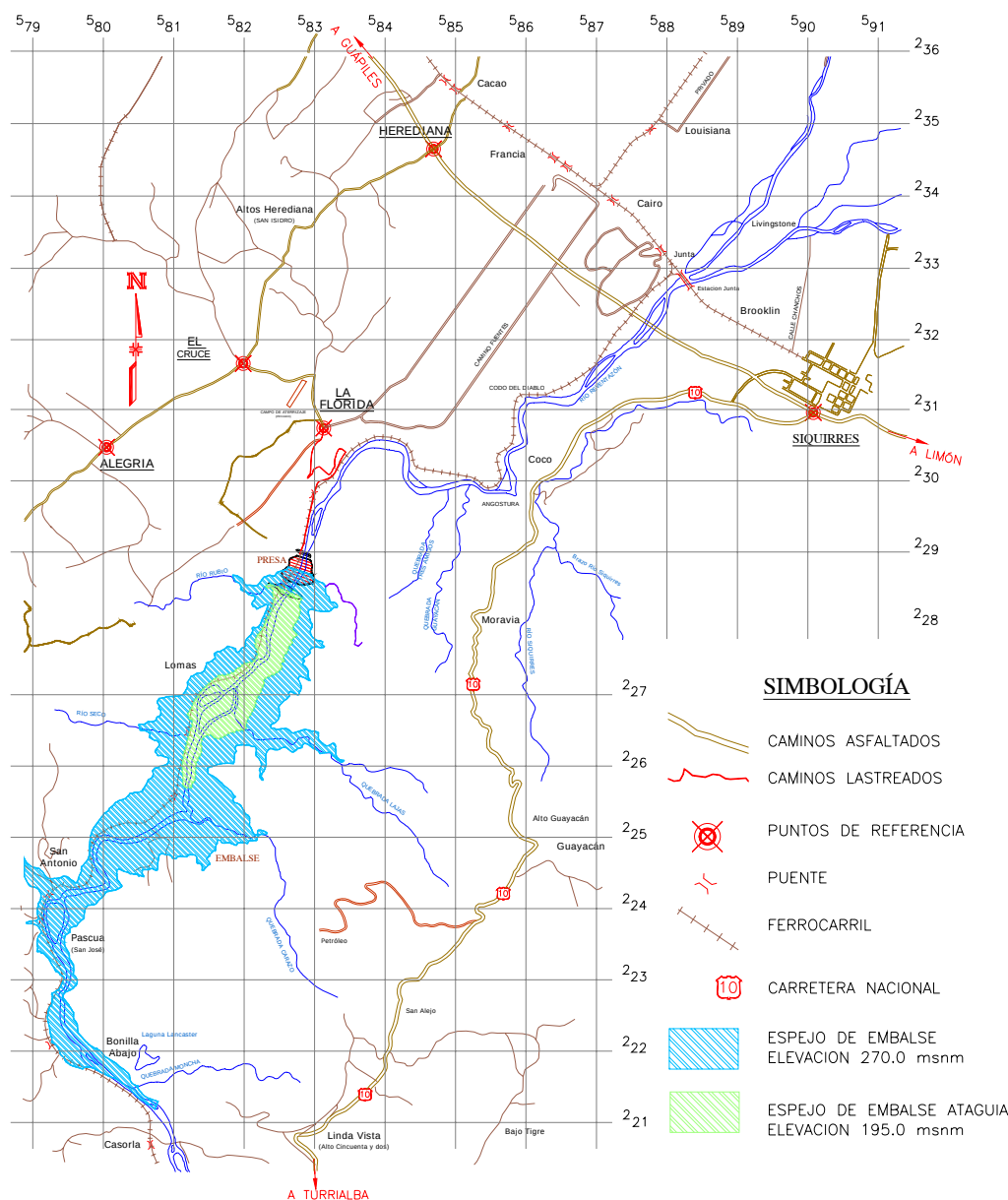
Evaluación geológica del área del Embalse

Ubicación del Embalse

El Embalse se localiza en la parte baja de la cuenca del Río Reventazón entre los sectores de Bonilla y Lomas al suroeste del cantón de Siquirres (Figura 7.1.22). El embalse del Proyecto Hidroeléctrico Reventazón es el objeto de estudio del presente informe; como aspectos básicos a continuación se enunciarán las principales características que lo identifican como el reservorio de agua para la generación

hidroeléctrica del mencionado proyecto: cota máxima de 270 m.s.n.m., con un nivel de agua que oscila entre las cotas 245 y 265 m.s.n.m. El embalse tendrá un volumen aproximado de 118.3 hm³, tiene una extensión (espejo de agua) de 7.59 km², con una longitud, medida en sus extremos, de 9.3 km.

Figura 7.1.22
Planta de ubicación del embalse



Antecedentes del Área de Influencia del Embalse

El embalse se circunscribe en un área donde existen evidencias y registros de movimientos importantes del terreno desde inicios del siglo XIX, reconociéndose distintos deslizamientos del terreno que han generando afectación de obras civiles como la línea del ferrocarril al Caribe. Peraldo y Rojas (2000) publican un catalogo de deslizamientos para Costa Rica donde registran movimientos del terreno comprendidos entre el pueblo

de Pascua hasta Lomas entre los años de 1899 y 1960. El sector de Lomas (comprendido entre quebrada Rubio y Fila Túnel) se presentó como la zona más problemática para el ferrocarril, ya que estos deslizamientos generaron pérdidas de la vía a lo largo de este sector, según la recopilación de datos el principal mecanismo disparador de estos movimientos fueron las altas precipitaciones, las cuales generaron inestabilidad del terreno. El sector de las Lomas era conocido desde antes de la construcción del ferrocarril por sus terrenos abiertos e inestables con escarpes importantes, por lo cual al abrir la vía para el ferrocarril sumado a los diseños inadecuados del trazado de la línea ferroviaria aumentó la generación de deslizamientos en esta región concibiendo grandes pérdidas para el País (Peraldo y Rojas 1998). Los deslizamientos registrados presentaron volúmenes grandes de material hasta llegar a represar el río Reventazón por varios minutos, algunos de los deslizamientos caracterizados en la zona de lomas se presentan en el Cuadro 7.1.23 (tomado de Peraldo y Rojas; 2000)

Cuadro 7.1.23
Resumen histórico de los principales deslizamientos en la zona del embalse

Año	Lugar	Causa nte	Pérdidas	Características
1899	Lomas	lluvias	Vía Férrea	Las lomas "Slide section"
1901	Pascua	lluvias	Vía Férrea	Grande
1903	Lomas	lluvias	Vía Férrea	Barro con piedras
1905	Lomas	lluvias	Vía Férrea	8 cm de lluvia en 2 Horas
1908	Lomas	lluvias	Vivienda	Se derribo un inmenso paredón.
1909	Lomas	lluvias	Vía Férrea	12 deslizamientos reparados en 1908
1909	Lomas	lluvias		Se despeó un gran trecho del cerro Lomas, sobre la vía
1916	Lomas	lluvias	Vía Férrea	Existe un cerro de considerable altura del cual cayeron deslizamientos importantes que cayeron al Río Reventazón. El cerro esta despegado y rajado a una distancia de 61 m
1949	Lomas	lluvias	\$0.5mill	El deslizamiento tardo bastante tiempo produciéndose, el material alcanzó la vía y siguió hacia el río Reventazón y lo represó, doce minutos tardó el agua en subir 12 metros y rebalsarse
1950	Lomas	lluvias	Vía Férrea	Empezó a derrumbarse todo el cerro por casi 2 km. Grandes grietas en la cima del cerro, de varios metros de ancho, Grietas a 300m, más altas que la vía.
1950	Lomas	lluvias	Vía Férrea	A 500 m de la vía, la atravesó pasando también sobre el Río Reventazón
1951	Lomas	lluvias		Empezó un movimiento en el cerro Las Lomas. Por una distancia de casi 2 km sobre la vía.

1951	Lomas	lluvias		Dos millas de montaña se derrumbaron en el Caribe. El Río Reventazón se desvió en la milla 48, haciendo una curva de una milla de largo por 500 yardas de fondo, formando una catarata de 30pies de alto, cambio su cauce en milla 46. Paralizó el río 30 min.
------	-------	---------	--	--

En la margen derecha (este) del río Reventazón no hay registros de deslizamientos recientes, sin embargo se observan grandes paleo deslizamientos y zonas escarpadas que debido a la vegetación se han estabilizado naturalmente en algunos sectores, al contrario de lo presentado en margen izquierda donde se efectuaron desarrollos antrópicos como la vía del ferrocarril, asentamientos de poblados e inadecuados usos del suelo, que generan problemas de inestabilización de la zona.

7.1.4 Rasgos principales y zonificación de los movimientos de masas

Aspectos generales

En términos generales la zona del embalse muestra evidencias de movimientos antiguos de gran magnitud, que se encuentran inactivos y que se dieron debido a la influencia de zonas de falla y altas precipitaciones. Los movimientos de menor magnitud se generan en los depósitos localizados en la base de los deslizamientos antiguos y, son provocados por la erosión que hace el Río Reventazón cuando su caudal crece por efecto de las fuertes lluvias de la zona.

Por otra parte, tomando en cuenta el aspecto de los movimientos, se tiene que las zonas de falla se caracterizan por mostrar superficies de despegue de gran profundidad mientras que en otros sitios (p.e. margen derecha, aguas abajo de las Lagunas Lancaster), los desprendimientos de material son superficiales.

Haciendo una categorización general de los distintos tipos de movimientos observados, se hizo una clasificación en 3 grupos principales que enmarcan la dinámica encontrada en el área de influencia del embalse. Ésta se detalla a continuación:

- **Deslizamiento (planar y rotacional):** consiste en desplazamientos de corte a lo largo de una o varias superficies. Es característico de la zona que este fenómeno se de de forma progresiva.
- **Desprendimientos:** caída de bloques, cuñas y desmoronamiento
- **Reptación del terreno:** movimientos muy lentos de las capas más someras de los suelos blandos o alterados. Este tipo de movimiento no evidencia una superficie de falla bien definida y afecta grandes áreas de terreno.

Ahora bien, haciendo un listado de los elementos que han causado estos movimientos y que mantienen el potencial de reactivarlos, o bien causar nuevos movimientos tenemos, entre otros, los siguientes:

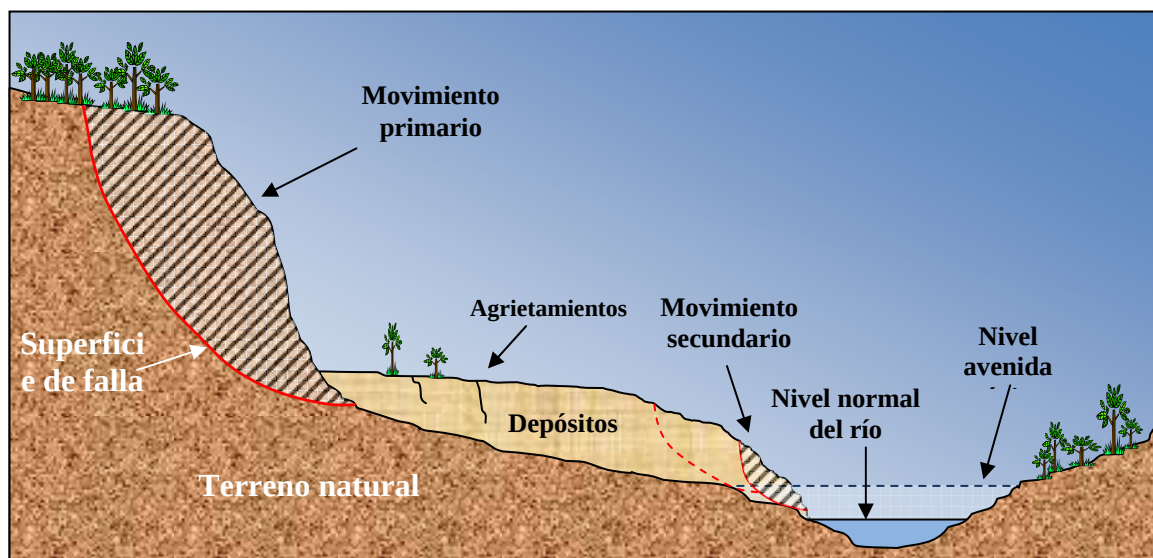
- Condiciones del terreno
 - o Material de comportamiento plástico débil
 - o Material meteorizado
 - o Material fisurado o con discontinuidades

- o Discontinuidades orientadas desfavorablemente
- Procesos físicos
 - o Lluvias intensas de corta duración
 - o Precipitaciones prolongadas
 - o Sismos
 - o Meteorización por contracción y expansión de suelos
- Procesos humanos
 - o Excavaciones al pie del talud
 - o Manejo de aguas deficiente
 - o Eliminación de la cobertura vegetal (deforestación)
 - o Sobrecargas

Aparte de la influencia de las zonas de falla, es importante destacar que la precipitación es uno de los elementos de mayor peso dentro de los disparadores de movimiento. Esto se debe a que genera efectos negativos en la estabilidad porque puede aumentar la saturación, filtrarse por grietas de tracción o bien aumentar la presión de poros del medio, causando así una disminución en la resistencia al corte en el contacto del material, consecuentemente aumentando la probabilidad de deslizamiento. De la misma forma el aumento del caudal de los ríos y quebradas, como se mencionó anteriormente, favorece el deterioro del pie de los taludes por erosión, generando consecuentemente movimientos por pérdida de soporte en la base.

Es importante hacer aquí una diferencia sobre la ocurrencia de los movimientos observados, esto se debe a que las fallas por ejemplo, han producido el movimiento primario del terreno, generando extensas zonas de depositación, sin embargo el incremento de peso de estos materiales por saturación, la erosión sufrida en la base o bien el buzamiento desfavorable del plano de depositación generan movimientos de carácter secundario.

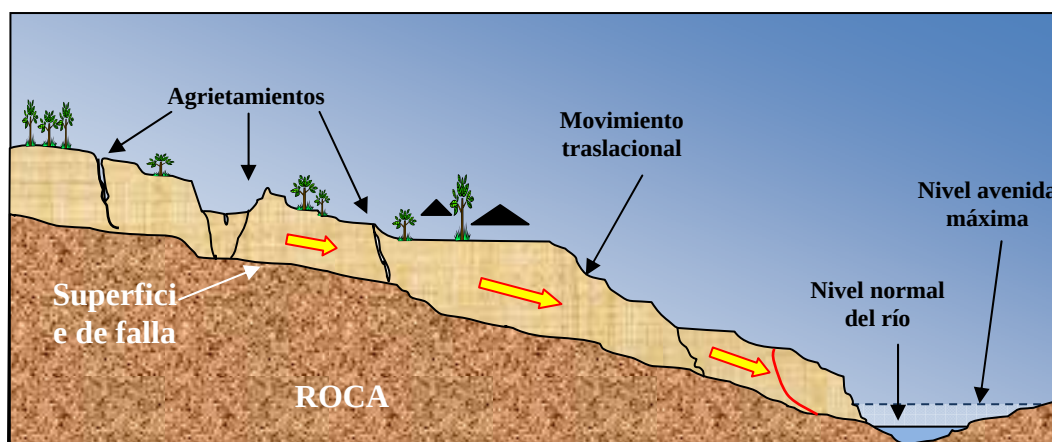
Figura 7.1.23
Esquema típico de ocurrencia de los movimientos.



La disposición geométrica de un depósito horizontal que va a ser inundado como se muestra en las figuras 7.1.23 y 7.1.24 presenta una gran vulnerabilidad por el efecto de un embalse. Este es uno de los sitios a ser modelado y estudiado posteriormente con detalle.

Otro aspecto importante de rescatar es que el buzamiento desfavorable del contacto entre distintos materiales aunado al aumento de peso por saturación de las capas superficiales, genera reptación y traslación de las mismas.

Figura 7.1.24
Esquema típico de movimiento traslacional



Materiales que componen los movimientos del terreno

De la información geológica disponible y según lo observado en el campo, se deriva que los movimientos identificados han ocurrido en las siguientes litologías: intrusivos, lavas, areniscas, lahares, brechas, conglomerados y coluvios.

Con base en las observaciones del levantamiento de campo, se establecen las condiciones típicas de fracturación, permeabilidad y erodabilidad para cada material, tal y como se muestra en el siguiente cuadro 7.1.24.

Cuadro 7.1.24
Características típicas de los materiales susceptibles a movimientos

Material	Fracturación	Permeabilidad	Erosión
Lavas	Alta	Media	Baja
Intrusivos	Media	Media	Baja
Lahares	Baja	Baja	Alta
Brecha	Media	Baja	Baja
Conglomerado	Baja	Media	Baja
Arenisca	Media	Muy baja	Media
Coluvios	N/A	Alta	Alta

Inventario de movimientos

Para crear el mapa de deslizamientos se utilizó la siguiente información:

- Plano con la topografía detallada del área
- Fotografías aéreas del 1998 y del 2005
- Mapas de pendientes y modelos de elevación digital generados a partir de la utilización de sistemas de información geográfica.
- Mapa geológico regional y local

Con esta información básica se logró identificar de manera preliminar las zonas donde existían evidencias claras de movimiento, principalmente los de mayor magnitud y los más antiguos, y las zonas que por su configuración y de acuerdo al tipo de material pudieran mostrar una clara susceptibilidad a sufrir movimientos. Con esta información se procedió a hacer una serie de recorridos por ambos márgenes del embalse tanto en las zonas bajas para observar los movimientos más recientes y los efectos erosivos, como en las zonas altas para poder comprobar los movimientos más grandes y antiguos identificados mediante mapas.

La siguiente figura 7.1.25 muestra el inventario de movimientos que ha sufrido el terreno en la zona de influencia del embalse.

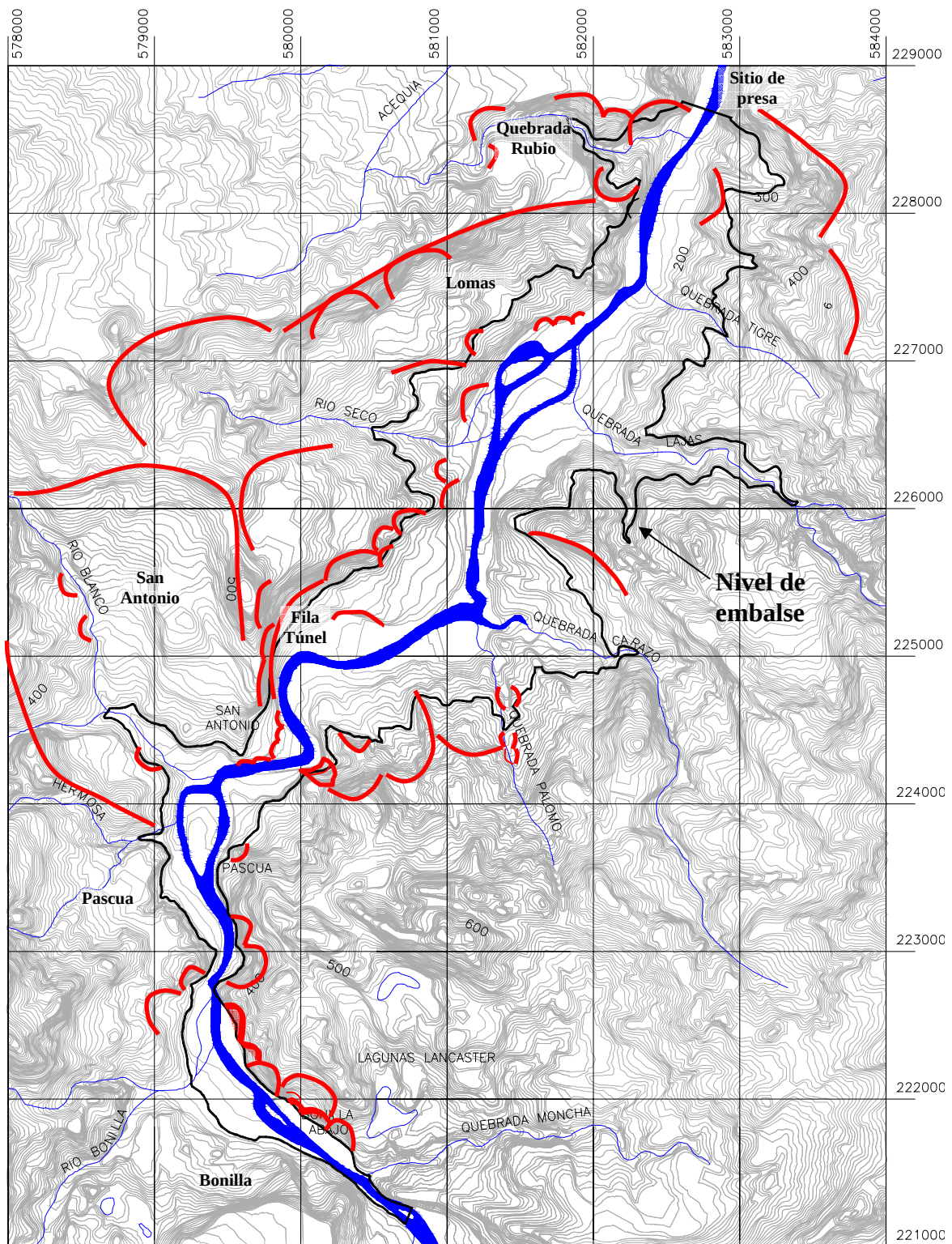


Figura 7.1.25 Inventario de movimientos del terreno

Mapa de pendientes (figura 7.1.26)

El área de influencia del embalse, para efectos prácticos, se divide en 5 rangos de pendientes según se detalla en el siguiente cuadro 7.1.25:

Cuadro 7.1.25.
Clasificación de pendientes

Pendiente		Clasificación de la pendiente	Color de referencia
%	Grados		
0 – 15	0.0 – 8.5	Muy baja	
15 – 30	8.5 – 16.7	Baja	
30 – 50	16.7 – 26.6	Media	
50 – 100	26.6 – 45	Alta	
> 100	> 45	Muy alta	

Del mapa de pendientes resultante se pueden identificar claramente las siguientes zonas como las más problemáticas:

- Margen Izquierda
 - o San Antonio: cuenca baja del Río Blanco
 - o Fila Túnel: entre San Antonio de Pascua hasta Río Seco
 - o Lomas: desde Río Seco a la Margen derecha de la Quebrada Rubio
 - o Quebrada Rubio
- Margen derecha
 - o Lancaster: entre las quebradas Moncha y Palomo
 - o Quebrada Lajas
 - o Quebrada Tigre hasta el sitio de presa

Cabe indicar en este punto que de las zonas identificadas arriba, son muy pocas las que tienen una influencia directa sobre las comunidades.