



Jornada Técnica SEPREM SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Madrid, 21 de Mayo de 2019

Proyecto Hidroeléctrico Site C (BC, Canadá) Marco Geológico-Geotécnico

Santiago Peña Fernández
Departamento de geotecnia y cimentaciones
(ACCIONA INGENIERÍA)



Jornada Técnica SEPREM SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Madrid, 9 de Abril de 2019

1- MARCO GEOLÓGICO

2- INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA

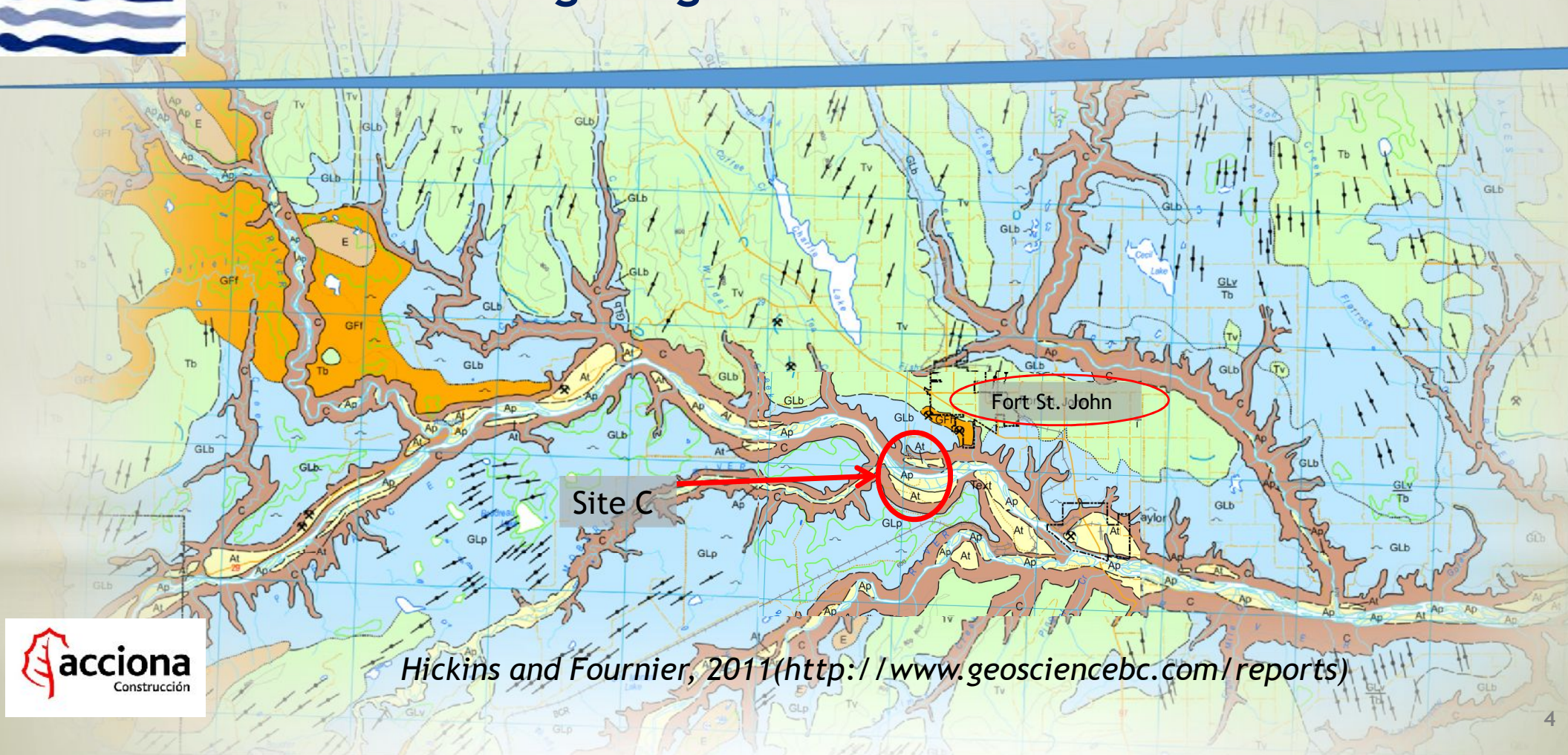
3- CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

3.1 Ladera superior izquierda

3.2 Ladera inferior izquierda

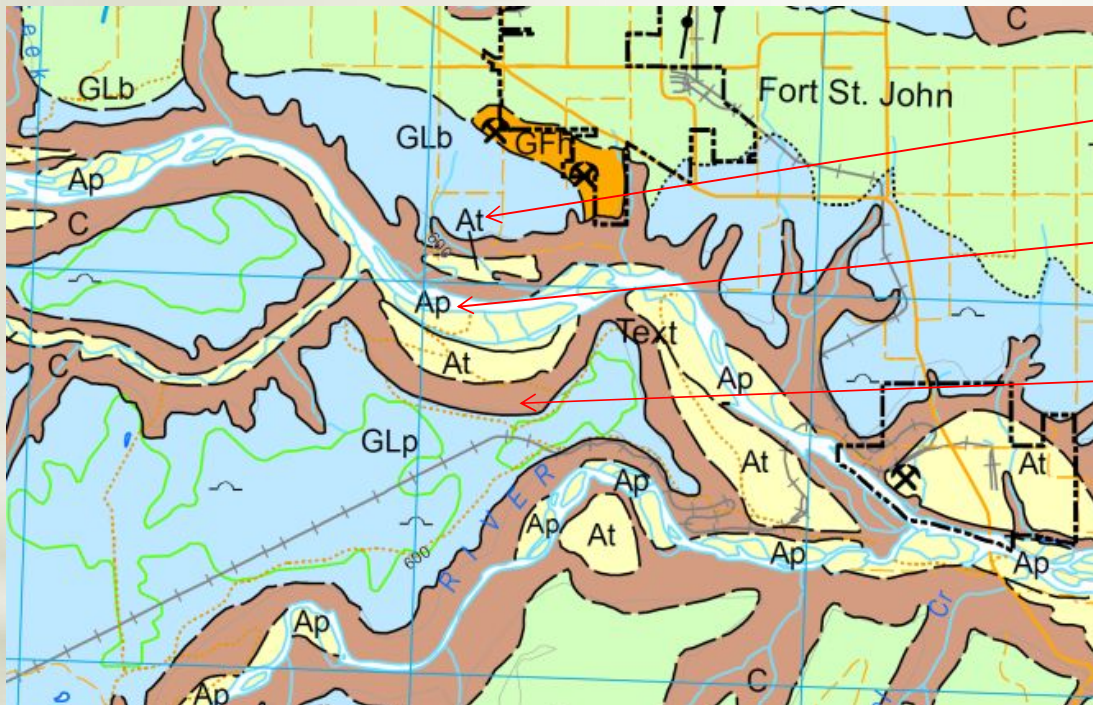
SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Marco geológico



SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Marco geológico



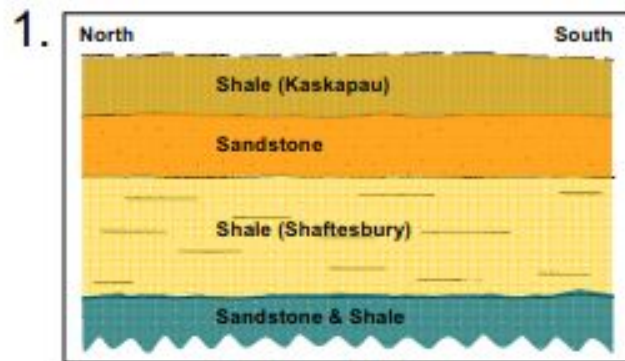
At. :Terraza aluvial

Ap.: Plano aluvial

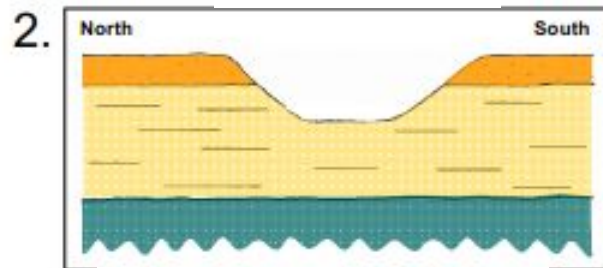
C. : Depósitos coluviales

SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Marco geológico



SEDIMENTACIÓN

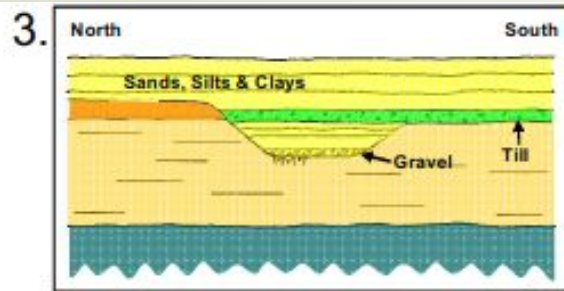


VALLE DEL RIO PREGLACIAL

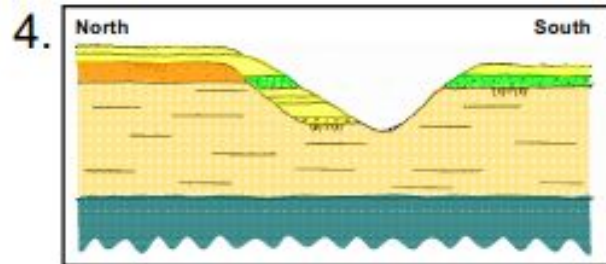
- Erosión, principios- mediados del Pleistoceno paleovaguada superior.
 - Deposición de los depósitos fluviales
 - Relleno de la paleovaguada con depósitos de la primera etapa de la glaciación Wisconsin (80.000 - 27.000 BP)
-
- Erosión de la paleovaguada inferior y deposición de gravas fluviales en la llanura aluvial (~27.000 BP).
 - En torno a 2-4 veces más ancho que la vaguada actual

SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Marco geológico



DEPOSICIÓN GLACIAL E
INTERGLACIAL

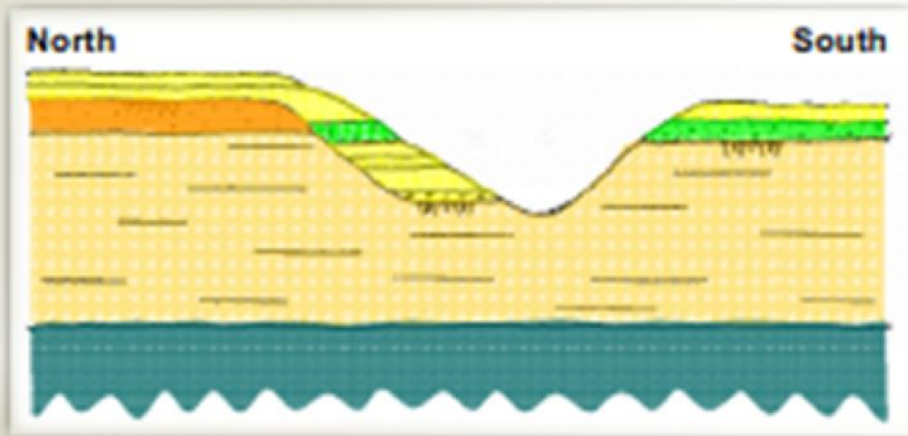


Erosion of the Peace River

- Deposición sobre el paleocauce de depósitos glaciares del lago Mathews de la última etapa de la glaciación de Wisconsin. (27000BP - 15000BP)
- Deposición del “till” de la última etapa de la glaciación de Wisconsin. (la última glaciación ~15000BP)
- Deposición del lago glacial Peace (~12000 BP)
- Erosión del Rio Peace actual y deposición de depósitos fluviales holocénicos (~10500 BP).

SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Marco geológico

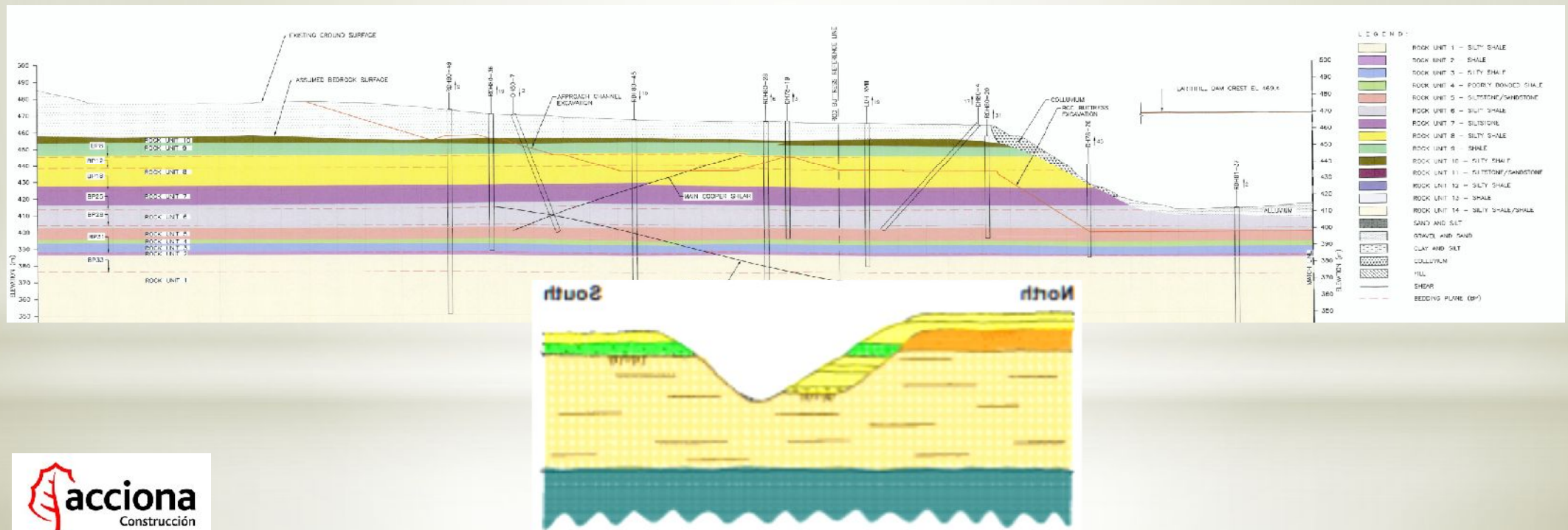


- Esta estructura divide la cerrada en 4 zonas geológicamente diferenciadas:
 - Ladera superior izquierda (upper left bank)
 - Ladera superior derecha (upper right bank)
 - Ladera inferior izquierda (lower left bank)
 - Ladera inferior derecha (lower right bank)

SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Marco geológico

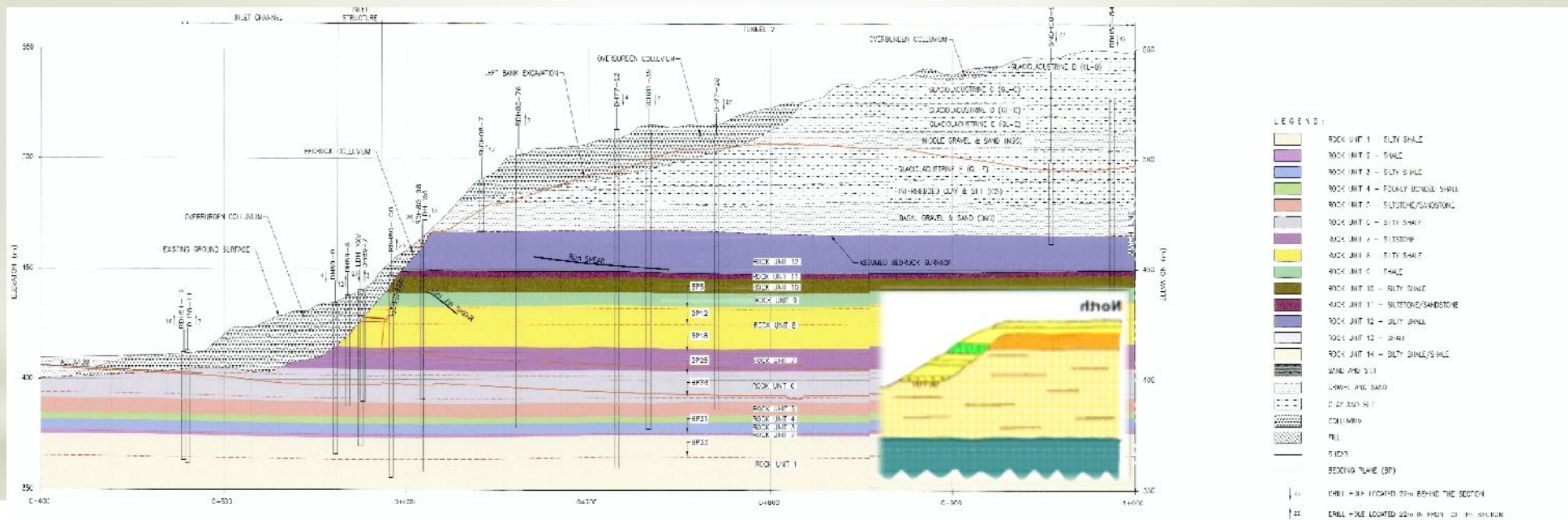
Ladera derecha. Caracterización geológica



SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Marco geológico

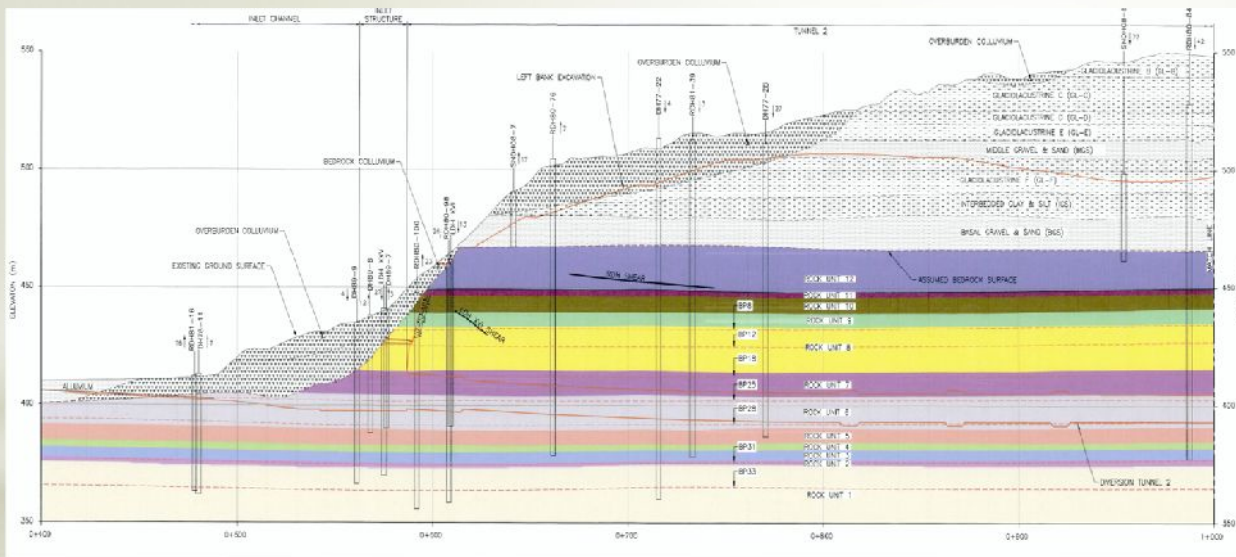
Ladera izquierda. Caracterización geológica



SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Marco geológico

Ladera izquierda. Caracterización geológica



- Tanto la ladera norte (izquierda) y la ladera sur (derecha), tienen una **estratigrafía similar** y, en lo referente a las particularidades y el comportamiento del sustrato rocoso, pueden tratarse de forma similar.
- En ambos márgenes, y bajo la llanura aluvial se encuentran el **sustrato rocoso** formado por rocas sedimentarias incluyendo conglomerados, areniscas y lutitas.
- La **estratigrafía del sustrato rocoso es uniforme** a lo largo del área y no ha sufrido procesos tectónicos. Ligero buzamiento al noreste.

SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Investigación geotécnica

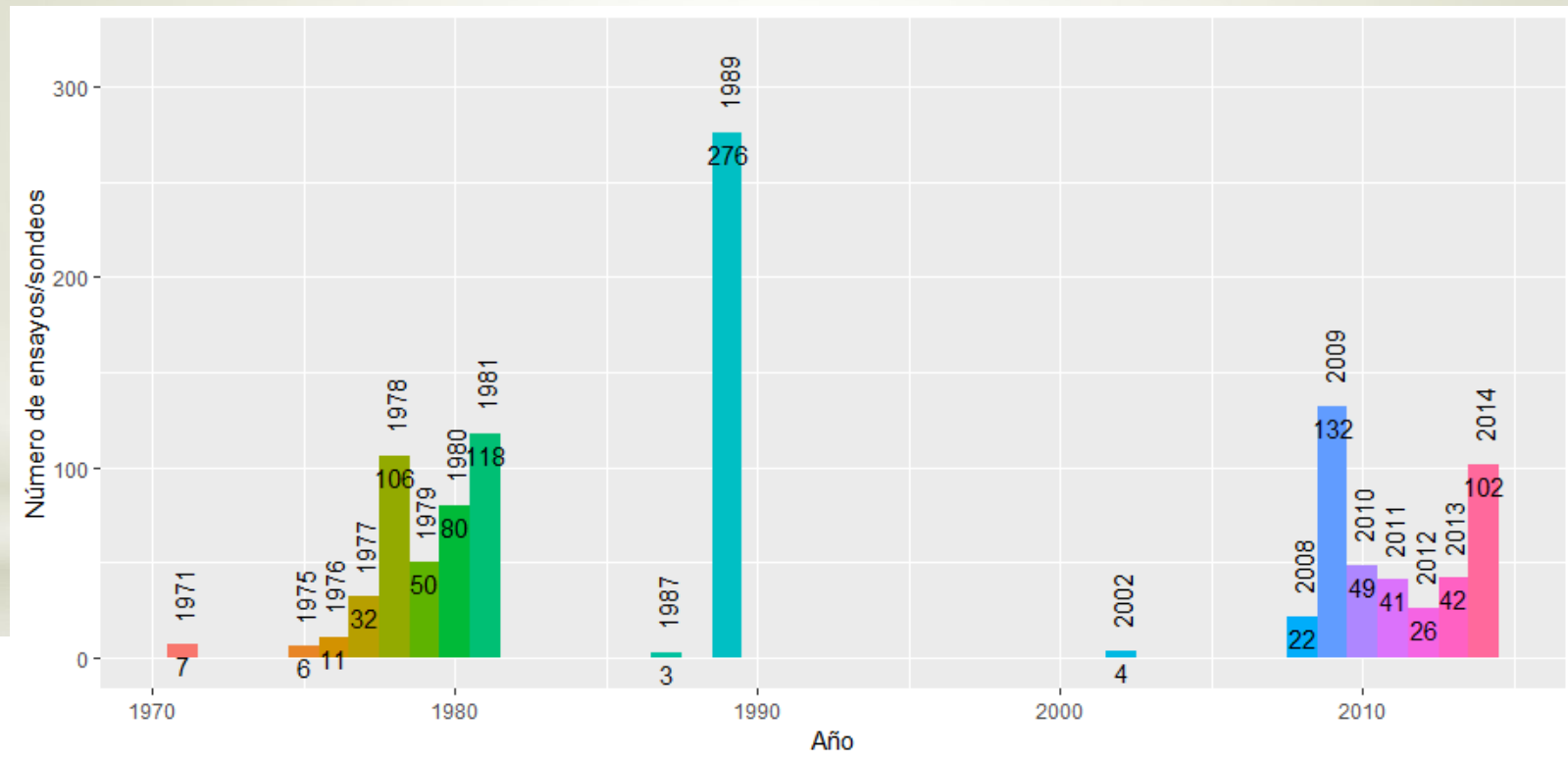
- 1- Área intensamente investigada durante las décadas de los 70 y 80
- 2- Con motivo de la reactivación del proyecto, nuevas campañas fueron promovidas a partir del 2009
- 3- En el año 2010 el plano general cambió a su configuración final, realizándose entre los años 2010 y 2014 nuevas campañas que incluían ensayos Becker, líneas de refracción y reflexión sísmica, túneles de exploración (Adits), instalación de piezómetros, catas, sondeos, etc...



SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Investigación geotécnica

DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DEL NÚMERO DE PUNTOS DE INVESTIGACIÓN EN EL ENTORNO DE SITE C



SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Investigación geotécnica



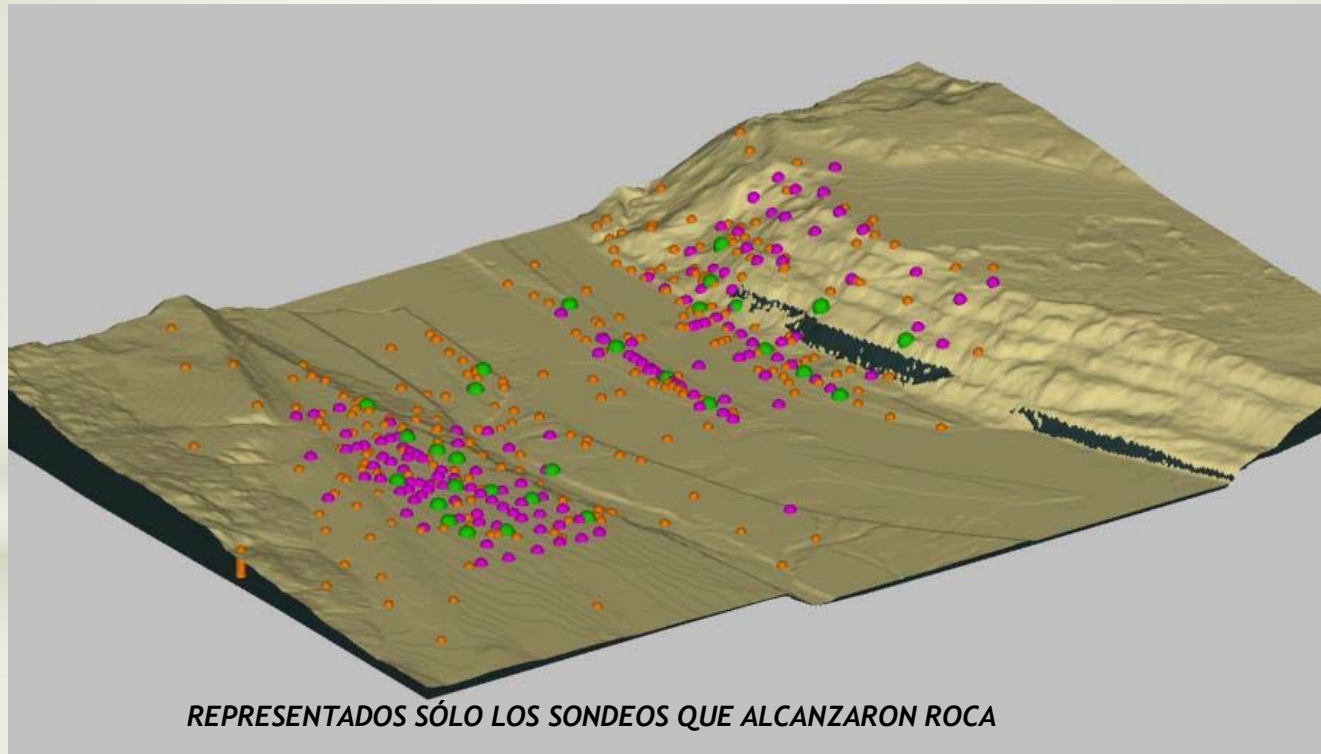
En total, desde 1975 hasta 2014:

- 211 diamond drill holes total length > 13600 m
- 30 x 0.9 m drill holes total length > 1810 m
- 202 percussion drill holes total length > 3440 m
- 271 rotary holes total length > 18180 m
- 10 sonic drill holes total length > 610 m
- 5 exploratory adits (tunnels) total length 950 m
- 268 test pits total depth 1230 m
- 12 exploratory trenches total length 1220 m
- 29 seismic lines total length > 13000 m

SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Investigación geotécnica

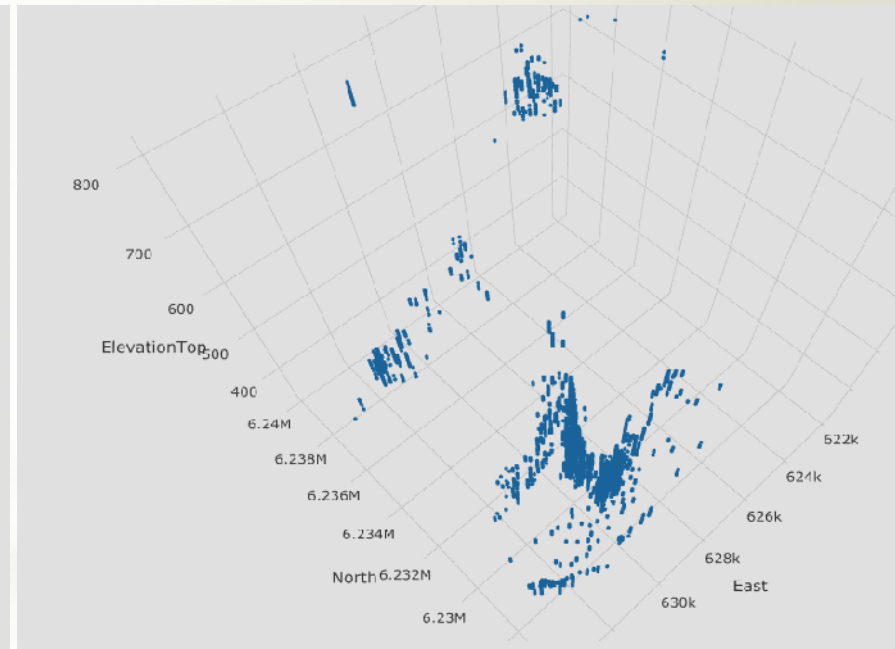
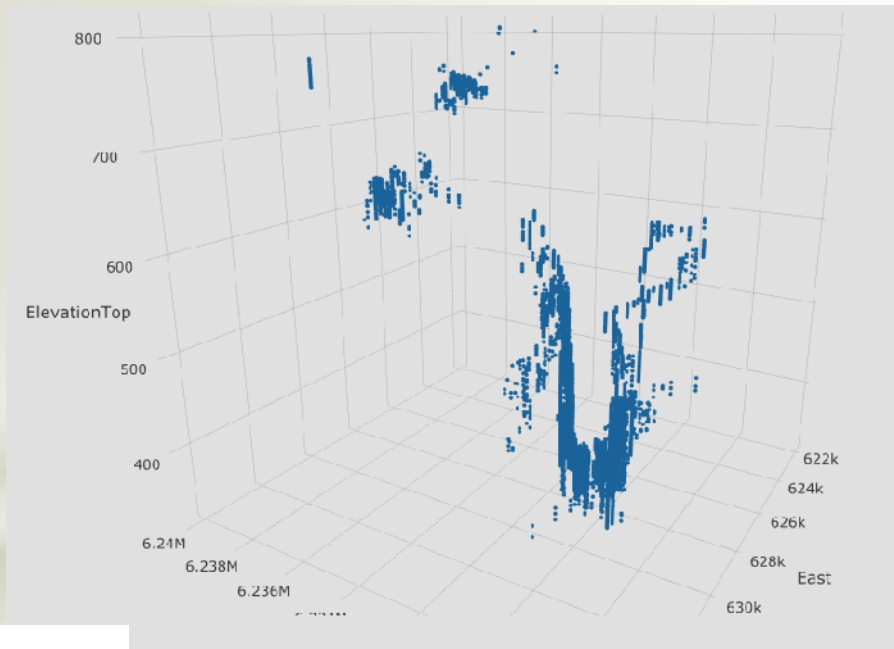
UBICACIÓN DE LOS SONDEOS REALIZADOS



SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Investigación geotécnica

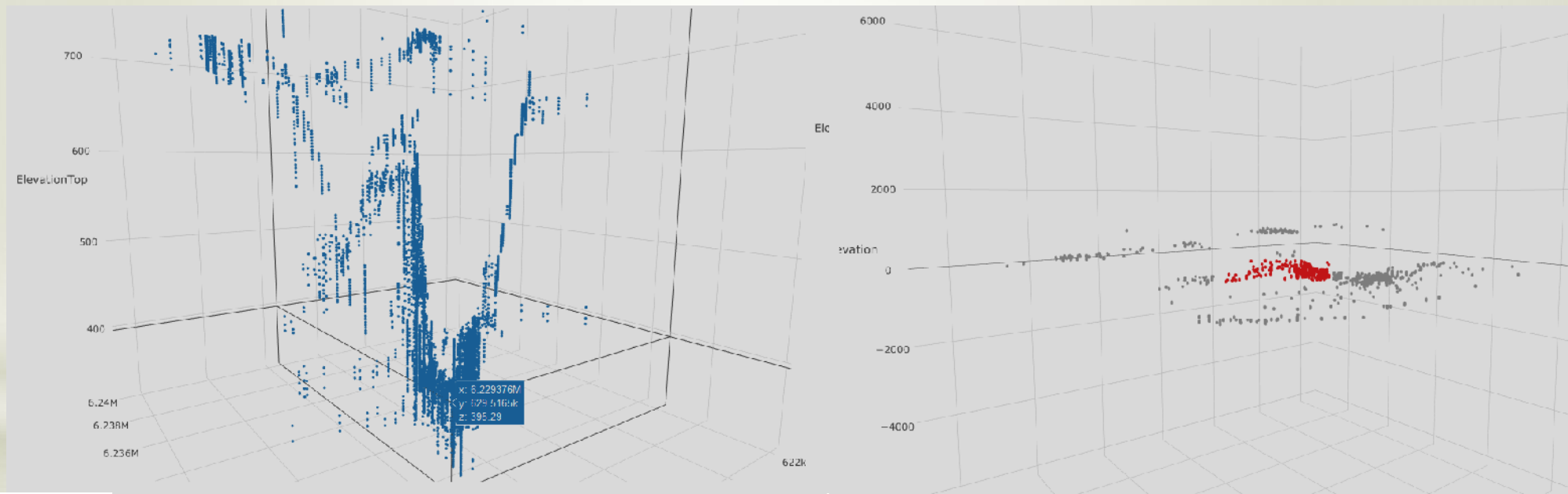
DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE TODAS LAS MUESTRAS DE LABORATORIO ENSAYADAS



SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Investigación geotécnica

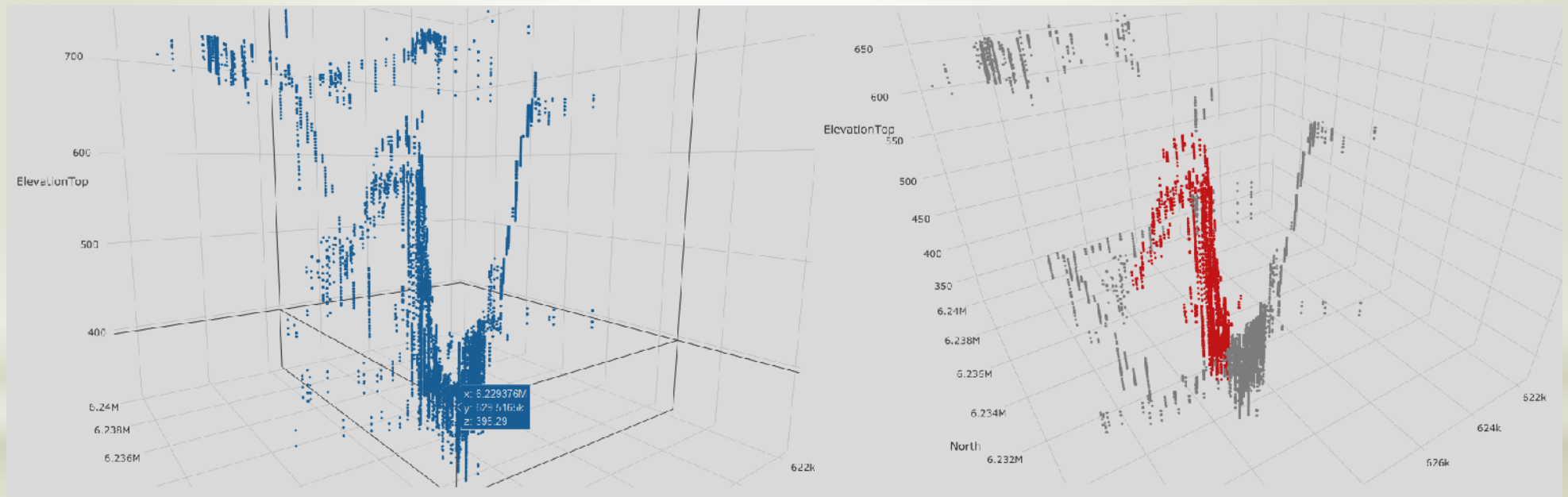
DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE TODAS LAS MUESTRAS DE LABORATORIO ENSAYADAS



SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Investigación geotécnica

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE TODAS LAS MUESTRAS DE LABORATORIO ENSAYADAS



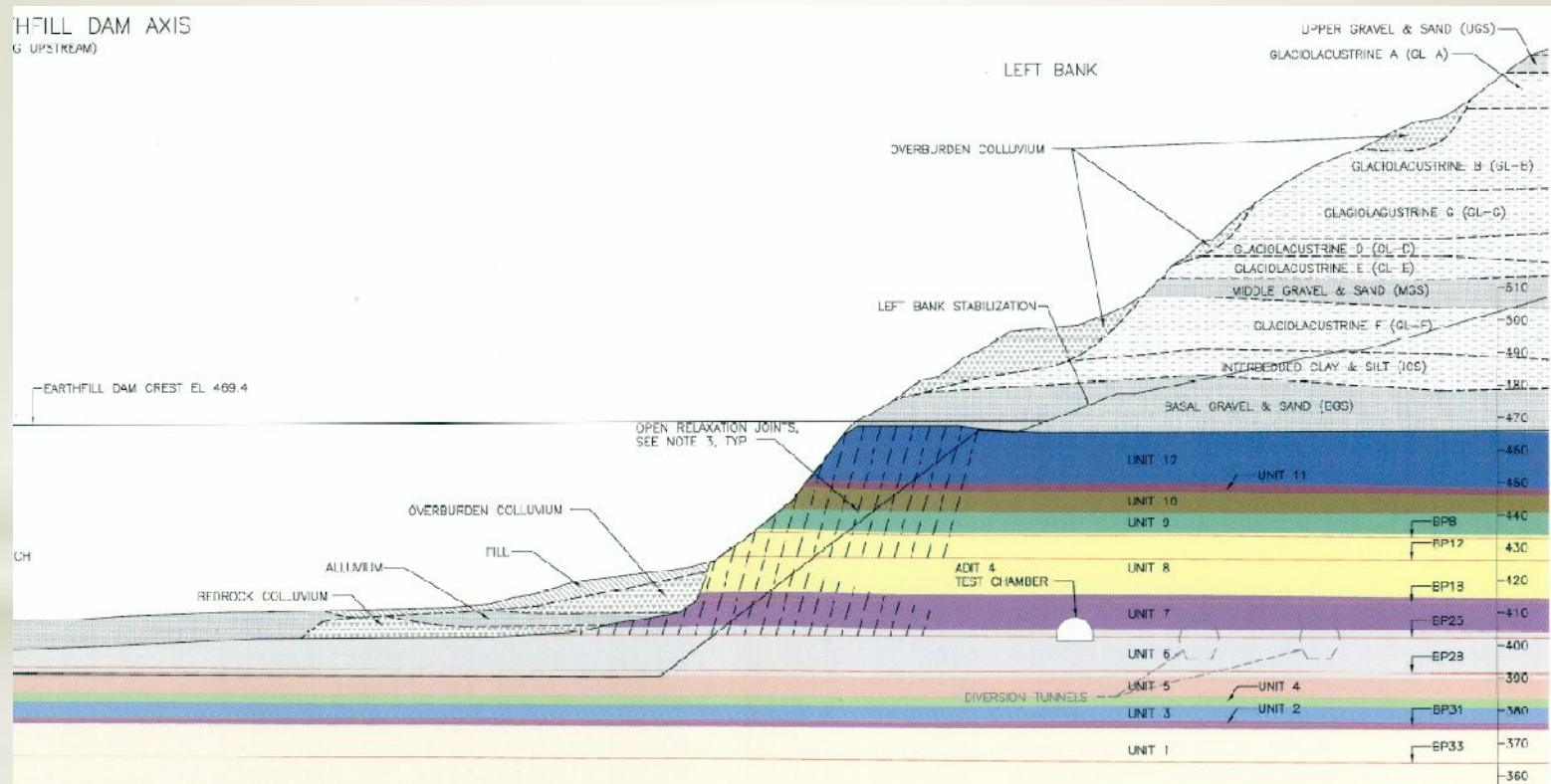
SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Investigación geotécnica

Ensayos	En el área próximo	Margen izquierdo (left bank)
Granulometrías	2302	1016
Humedad	6551	2559
Atterberg	1377	655
Cortes directos	186	85
Triaxiales consolidados	137	82
Etc...		

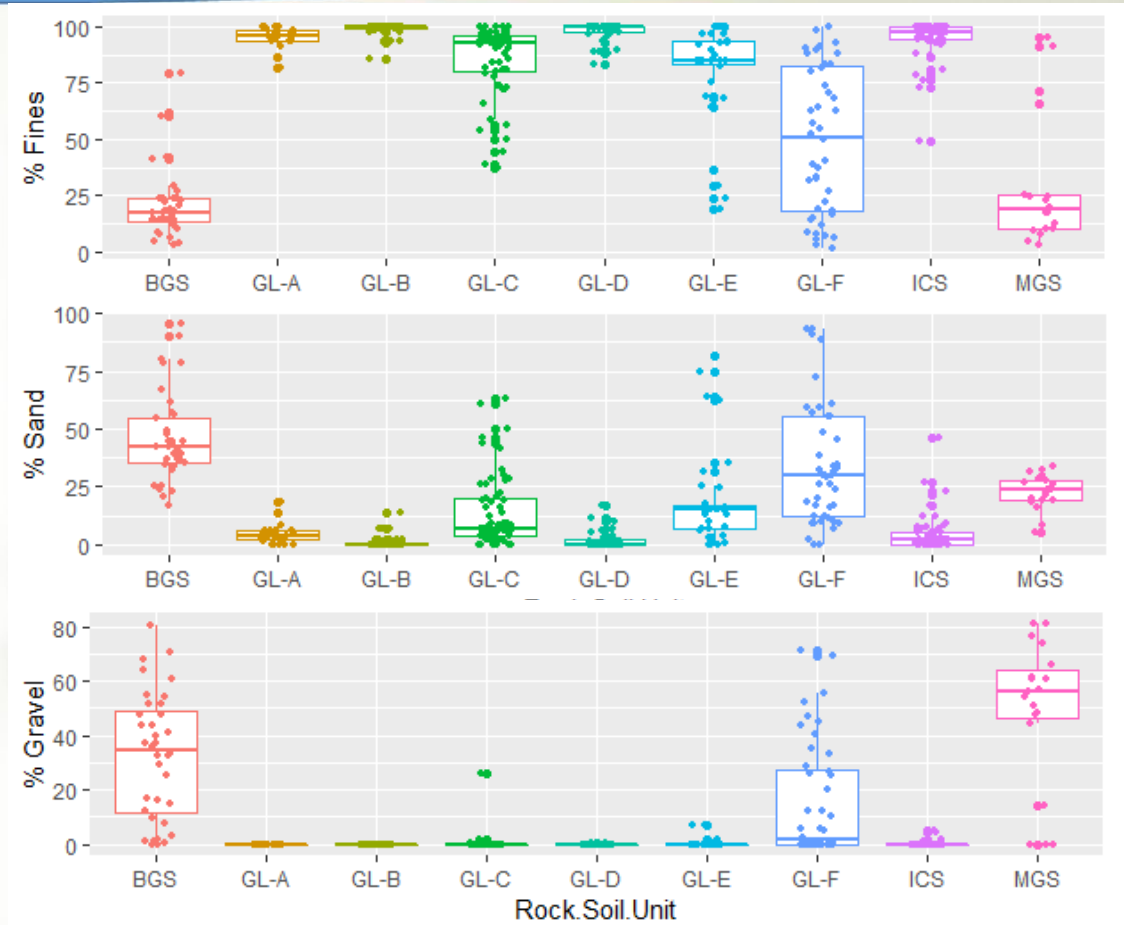
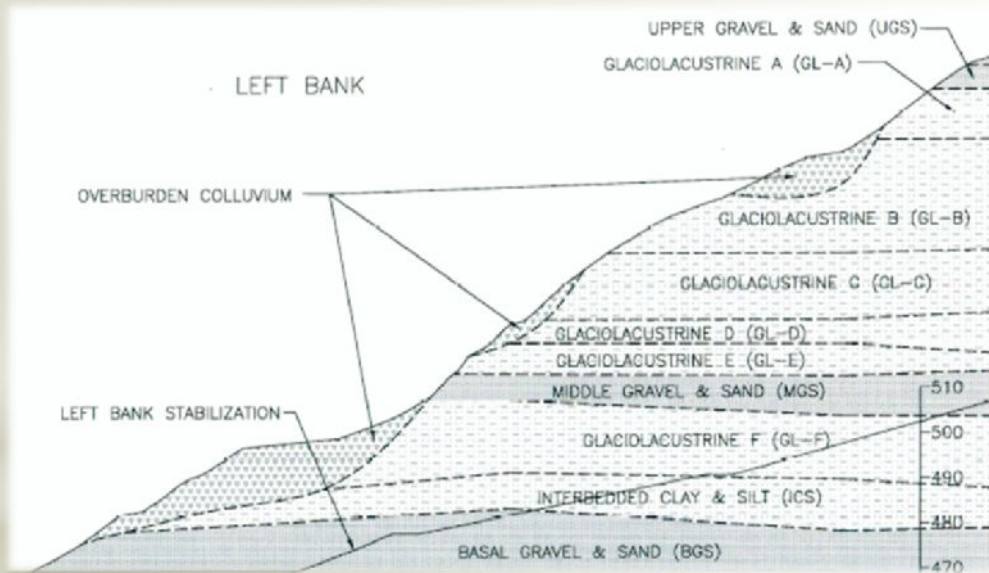
SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Upper left bank



SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Upper left bank



SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Upper left bank

ANÁLISIS DE AGRUPACIÓN (Cluster analysis)

- Definir un conjunto tal de grupos cuya variación intra-grupal sea mínima
- Dentro de los métodos de agrupación k- means, existe un número significativo de algoritmos disponibles en función de cómo se mida esta medida de variación interna dentro de cada grupo. De nuevo, la más habitual, y la utilizada en el presente documento en primera instancia, es la definida por la suma de los cuadrados de las distancias de cada valor al centroide del grupo.

$$W(C_k) = \sum_{x_i \in C_k} (x_i - \mu_k)^2$$

Donde:

x_i designa cada punto perteneciente a la agrupación
 μ_k es el valor medio de los puntos asignados al grupo C_k

SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Upper left bank

ANÁLISIS DE AGRUPACIÓN (Cluster analysis)

Y, por tanto, la variación total del conjunto de agrupaciones adoptado, se puede definir como sigue:

$$\sum_{k=1}^k W(C_k) = \sum_{k=1}^k \sum_{x_i \in C_k} (x_i - \mu_k)^2$$

Siendo este valor el que define la “compacidad” de la agrupación adoptada y el valor a minimizar.

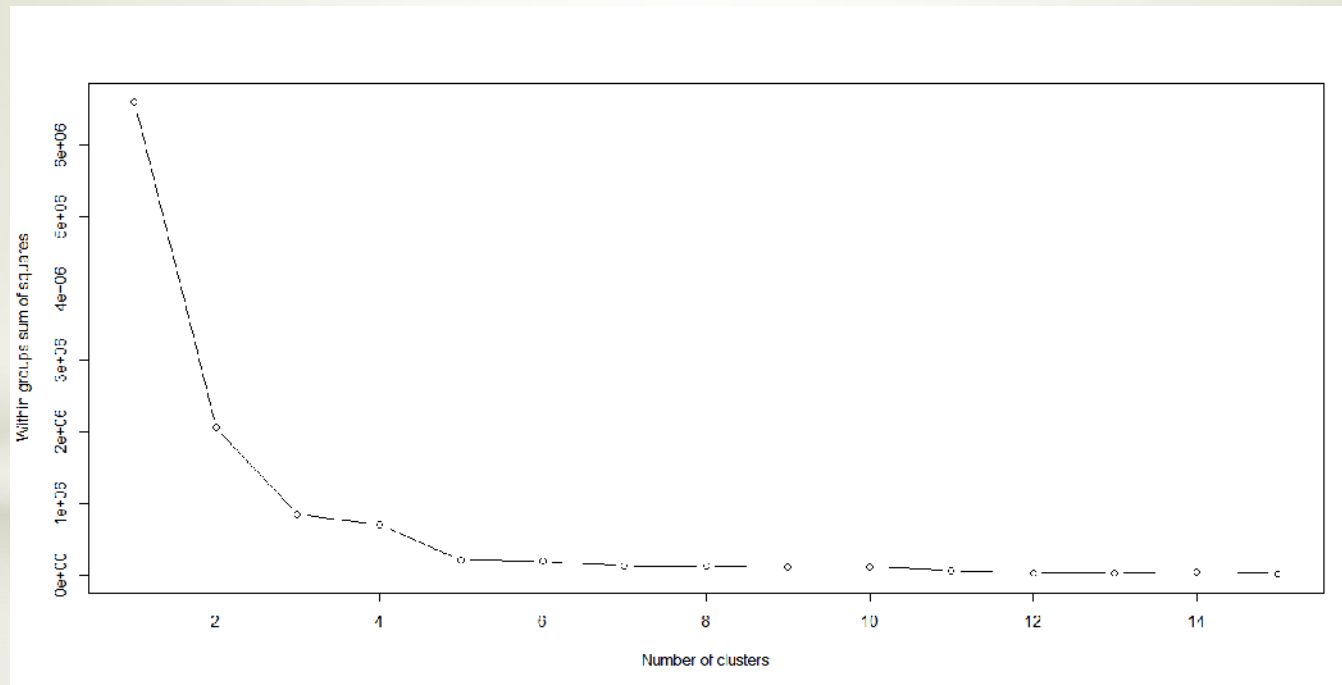
Resumidamente, el algoritmo sigue las siguientes etapas:

- 1- **Especificar el número de grupos (k)** que se desea definir.
- 2- **Seleccionar aleatoriamente k puntos** del conjunto de datos como puntos de partida iniciales o “centroide” de los conjuntos.
- 3- **Asignar** a cada una de las observaciones el **centroide más próximo** basado en la distancia euclídea.
- 4- Para cada una de las k agrupaciones, **recalcular el centroide** calculando el valor medio dado por todos los puntos del grupo.
- 5- **Proceder de manera iterativa** con los pasos 3 y 4 para minimizar el valor total de la suma de cuadrados.

SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Sondeos e información geotécnica

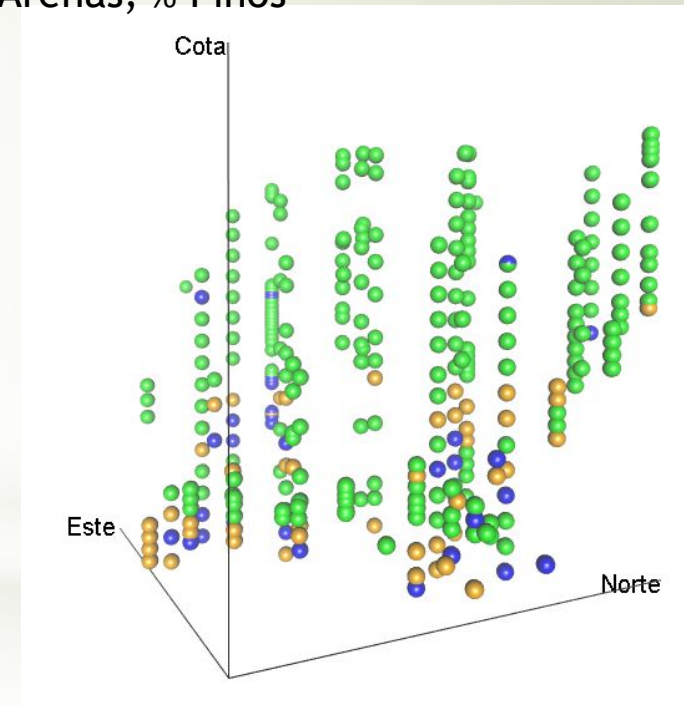
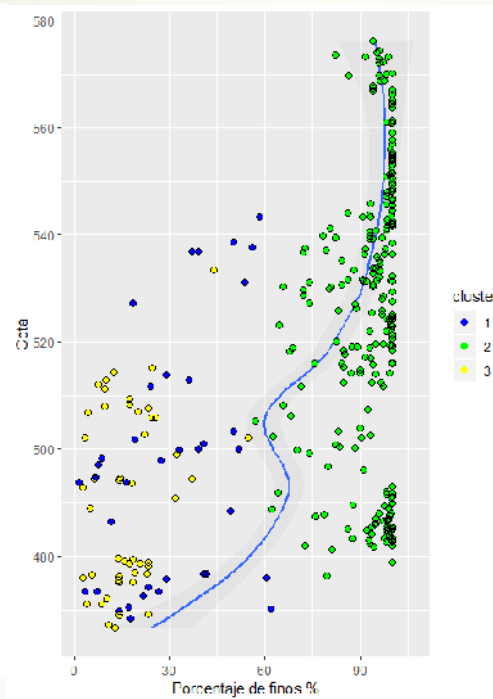
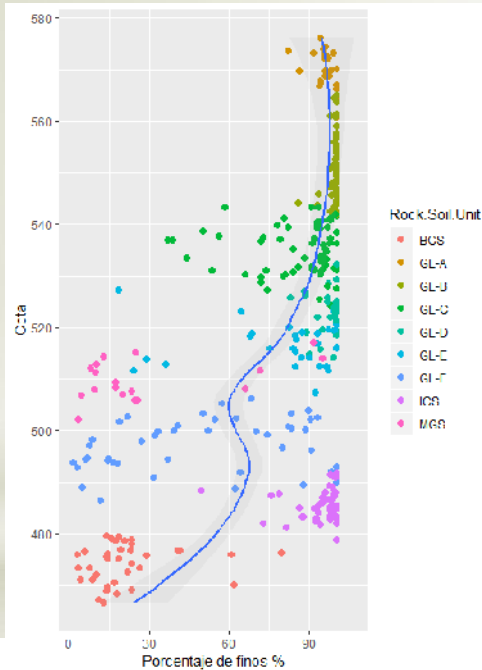
ANÁLISIS DE AGRUPACIÓN (Cluster analysis): % Gravas, % Arenas, % Finos



SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Sondeos e información geotécnica

ANÁLISIS DE AGRUPACIÓN (Cluster analysis): % Gravas, % Arenas, % Finos

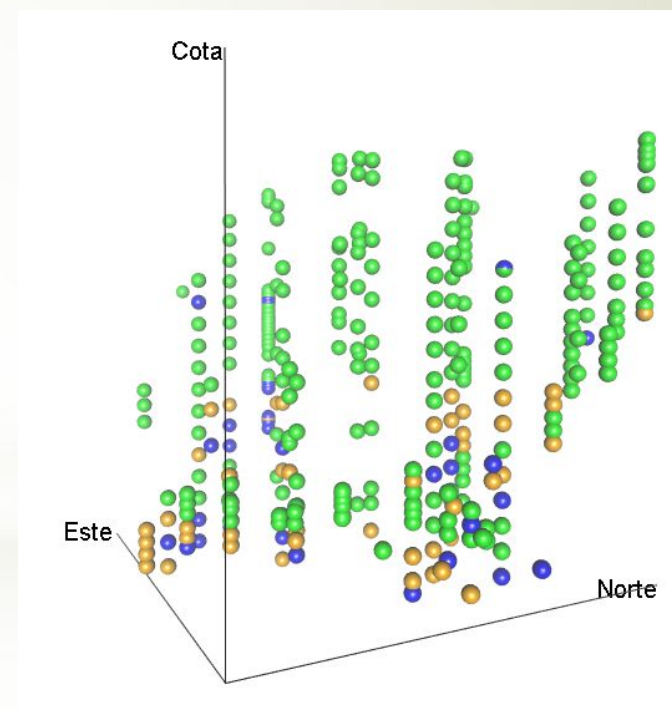


SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Sondeos e información geotécnica

ANÁLISIS DE AGRUPACIÓN (Cluster analysis): % Gravas, % Arenas, % Finos

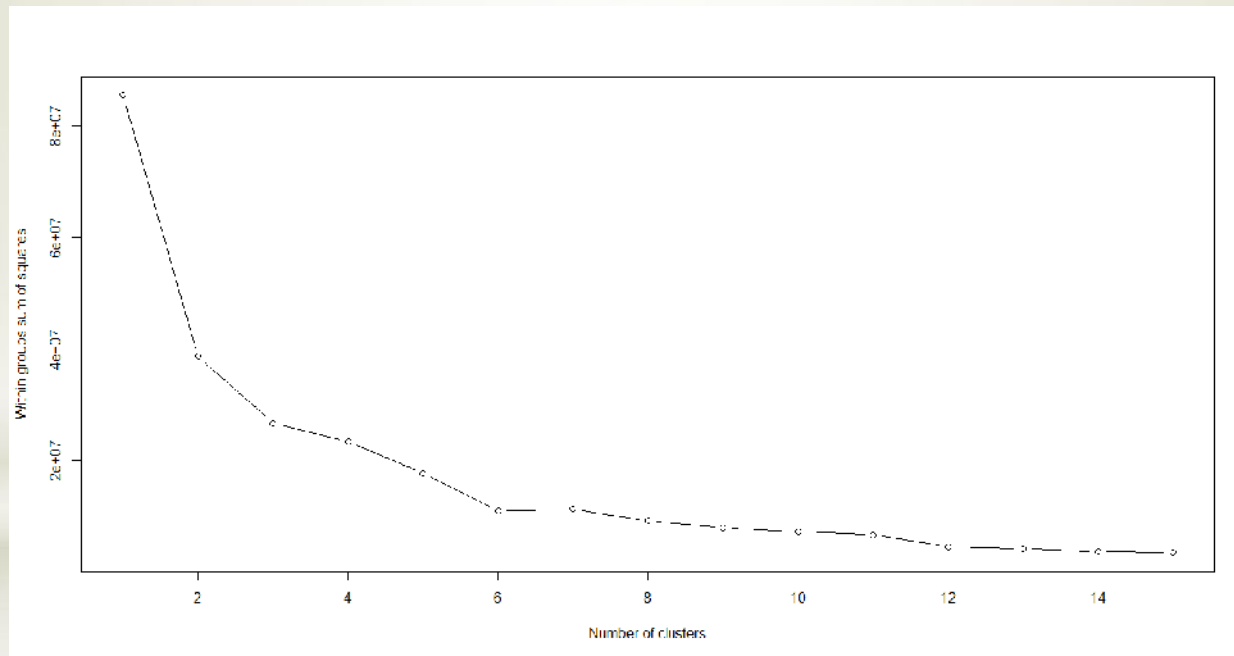
Grupo: 1		
Grava%	Arena %	Finos %
1st Qu.: 0.00	1st Qu.:48.10	1st Qu.:17.00
Mean : 5.82	Mean :63.66	Mean :30.52
3rd Qu.: 9.90	3rd Qu.:78.40	3rd Qu.:41.60
Grupo: 2		
Grava %	Arena %	Finos %
1st Qu.: 0.00	1st Qu.: 0.00	1st Qu.: 91.45
Mean : 0.34	Mean : 6.11	Mean : 93.56
3rd Qu.: 0.00	3rd Qu.: 8.55	3rd Qu.:100.00
Grupo: 3		
Grava%	Arena%	Finos %
1st Qu.:40.15	1st Qu.:24.00	1st Qu.:10.00
Mean :50.78	Mean :32.11	Mean :17.11
3rd Qu.:60.70	3rd Qu.:39.27	3rd Qu.:22.98



SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Left bank

ANÁLISIS DE AGRUPACIÓN (Cluster analysis): Humedad



Disminución de la varianza intragrupal con el aumento del grupos en la ladera izquierda

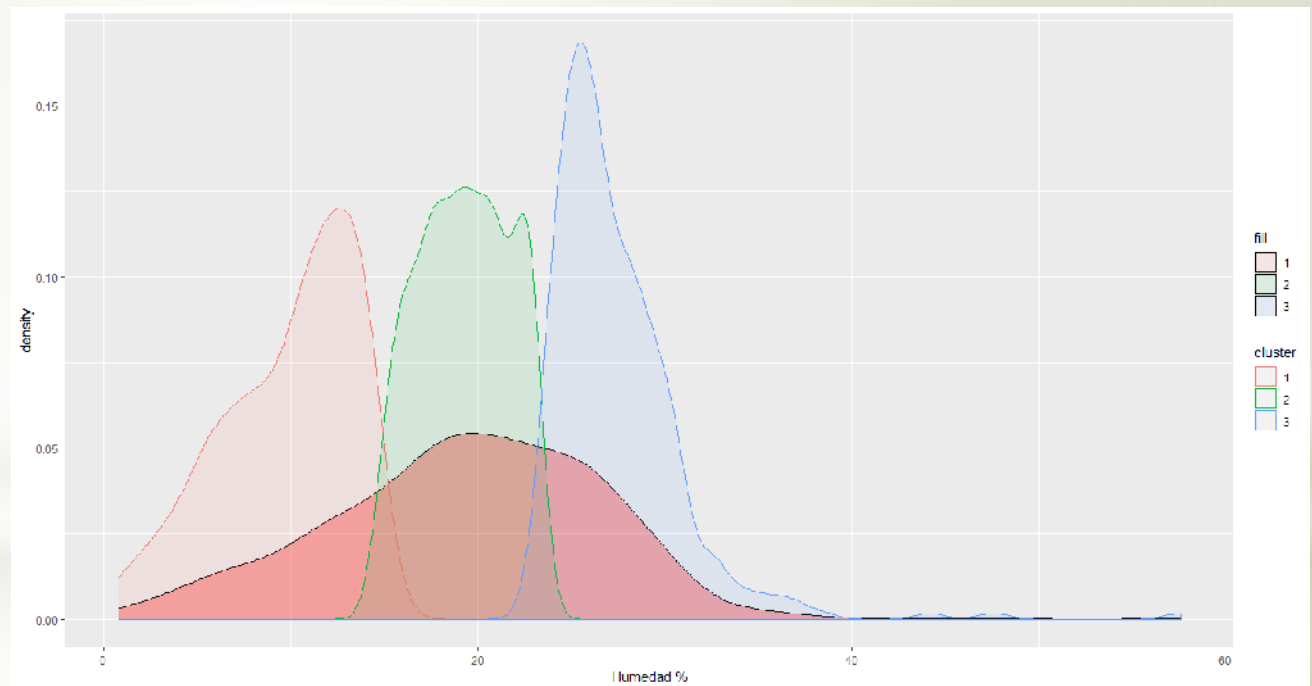
Left bank

ANÁLISIS DE AGRUPACIÓN (Humedad)

Grupo 1: 1STQ: 7.27
 Median : 10.60
 Mean : 9.84
 3rd Q.: 12.72

Grupo 2: 1STQ : 17.43
 Median : 19.30
 Mean : 19.30
 3rd Q.: 21.30

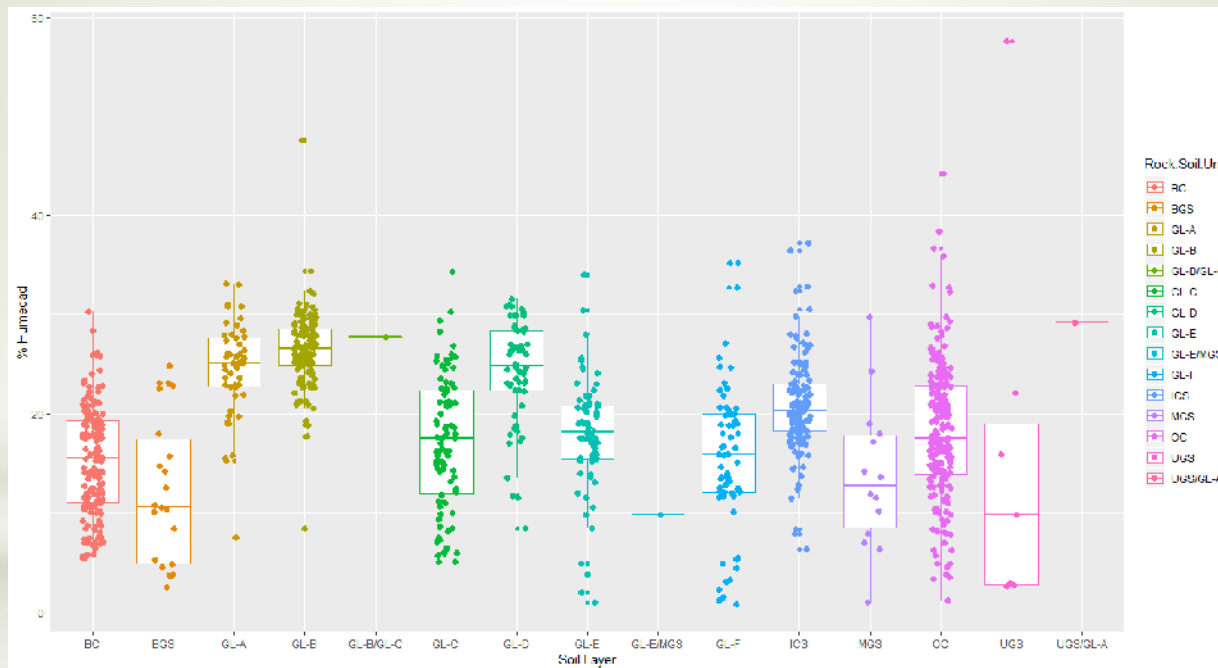
Grupo 3: 1STQ : 25.20
 Median : 26.60
 Mean: 27.44
 3rd Q.: 28.88



SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Left bank

ANÁLISIS DE AGRUPACIÓN (Cluster analysis): Humedad

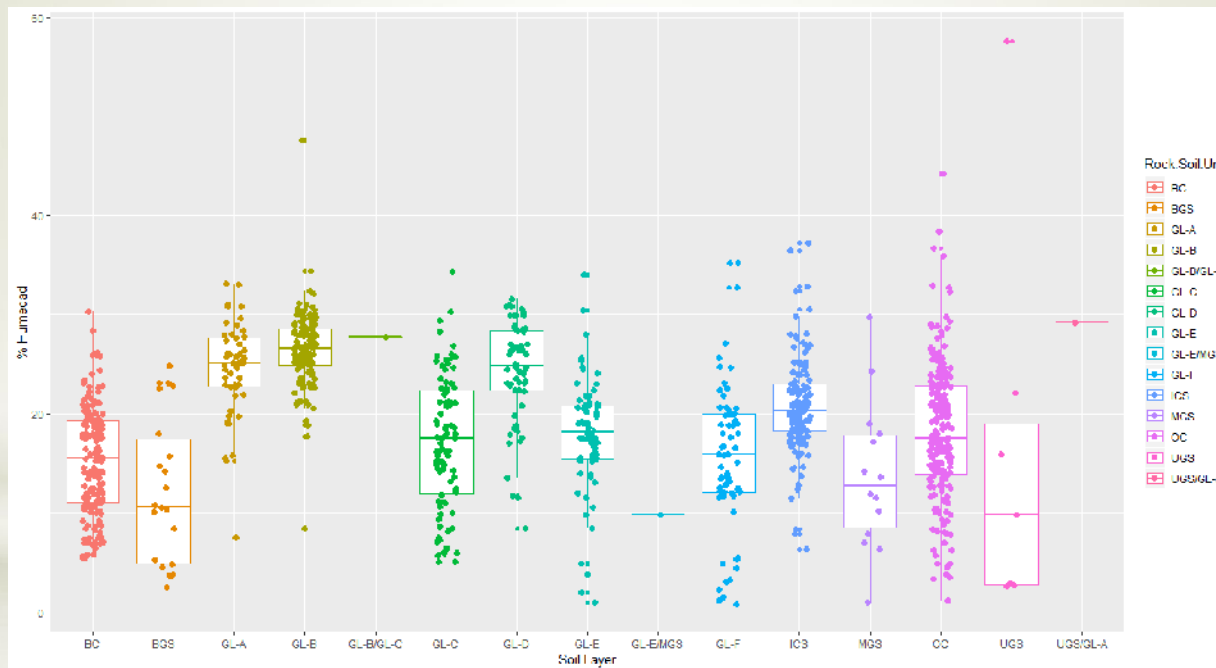


Disminución de la varianza intragrupal con el aumento del grupos en la ladera izquierda

SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Left bank

ANÁLISIS DE AGRUPACIÓN (Cluster analysis)

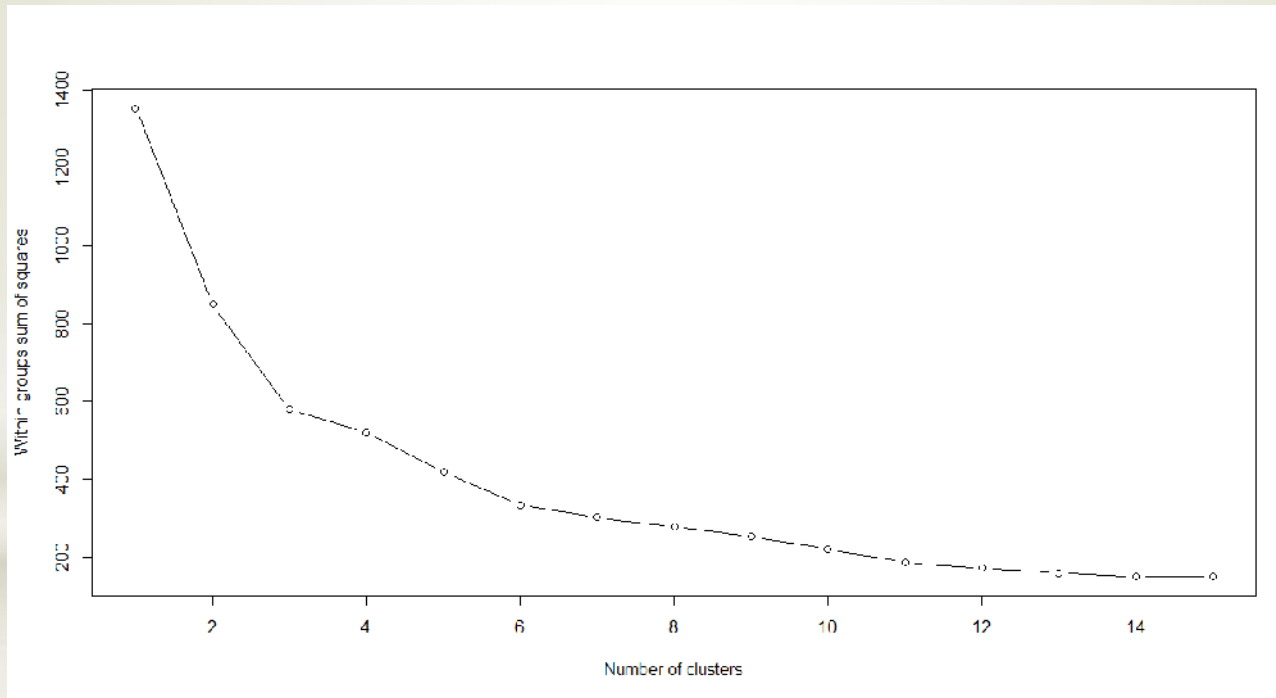


Disminución de la varianza intragrupal con el aumento del grupos en la ladera izquierda

SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Left bank

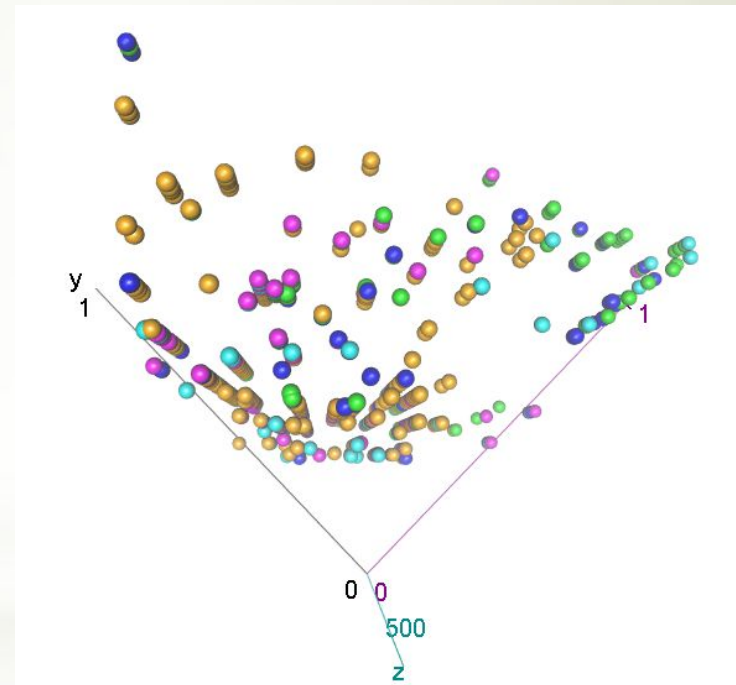
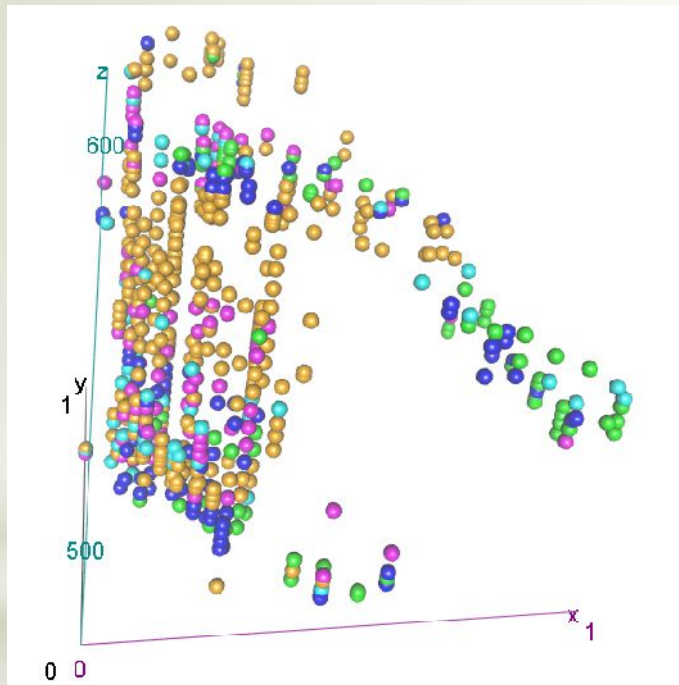
ANÁLISIS DE AGRUPACIÓN (Cluster analysis): Humedad, % Gravas, % Arenas, % Limos, % Arcillas



Disminución de la varianza intragrupal con el aumento del grupos en la ladera izquierda

SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

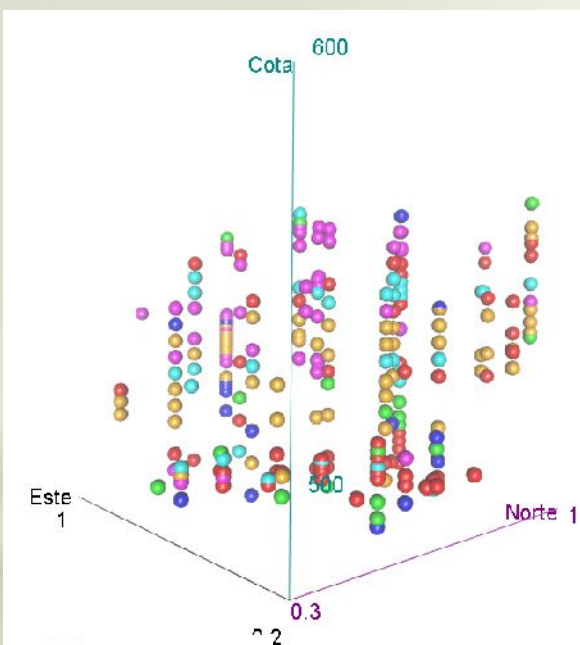
Upper left bank



SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Left bank

ANÁLISIS DE AGRUPACIÓN (Cluster analysis): Humedad, % Gravas, % Arenas, % Limos, % Arcillas



Grupo: 1	Grava	Arena	Limos	Arcilla	Humedad
1st Qu.:	0.00	:44.00	:24.00	: 0.00	: 5.3
Media :	7.88	:54.36	:31.04	: 6.72	:11.0
3rd Qu.:	16.50	:62.00	:40.90	:10.50	:17.6

Grupo : 2	Grava	Arena	Limos	Arcilla	Humedad
1st Qu.:	37.00	:24.62	: 8.475	: 0.000	: 4.875
Media :	50.48	:29.23	:14.558	: 5.729	:10.012
3rd Qu	:60.98	:32.35	:20.200	:10.250	:12.475

Grupo : 3	Grava	Arena	Limos	Arcilla	Humedad
1st Qu.:	0.0000	: 6.00	:59.70	:13.00	:12.00
Media :	0.7659	:13.18	:67.18	:18.87	:14.37
3rd Qu	: 0.0000	:17.00	:74.80	:24.50	:17.10

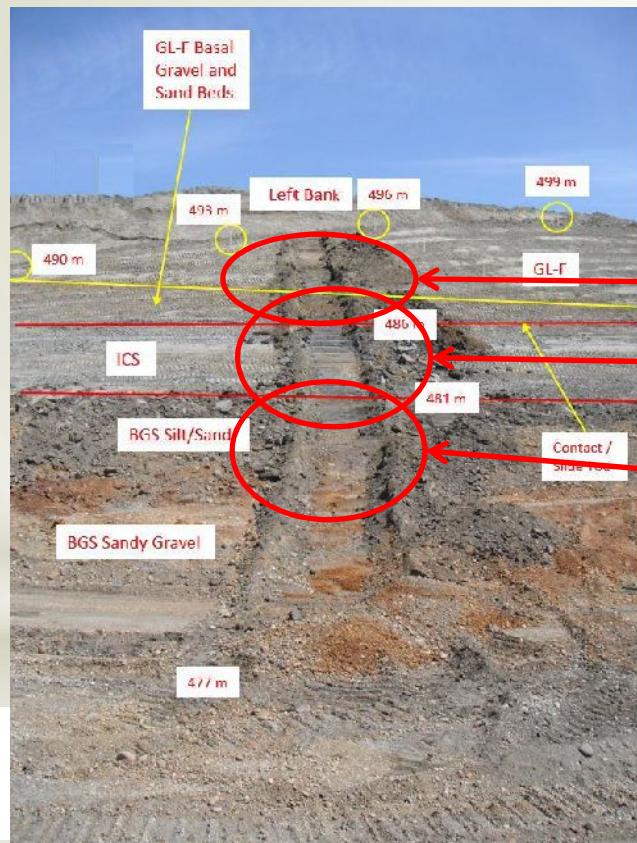
Grupo : 4	Grava	Arena	Limos	Arcilla	Humedad
1st Qu.:	:0.0000	: 0.200	: 75.12	: 1.25	:22.60
Media :	:0.02903	: 2.587	: 83.75	:13.65	:24.76
3rd Qu.:	:0.00000	: 4.000	: 92.88	:22.88	:26.40

Grupo : 5	Grava	Arena	Limos	Arcilla	Humedad
1st Qu :	: 0.000	: 0.000	:30.10	:51.70	:25.20
Media :	: 1.869	: 1.387	:37.15	:59.59	:27.64
3rd Qu.:	0.000	: 0.200	:46.50	:68.00	:28.60

Grupo: 6	Grava	Arena	Limos	Arcilla	Humedad
1st Qu:	: 0.0000	: 0.000	:51.00	:33.90	:19.35
Media :	0.3716	: 4.306	:55.76	:39.56	:21.50
3rd Qu	: 0.0000	: 6.650	:61.65	:45.00	:23.90

SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Upper left bank



Capa GLF- Gravas y arenas inferiores



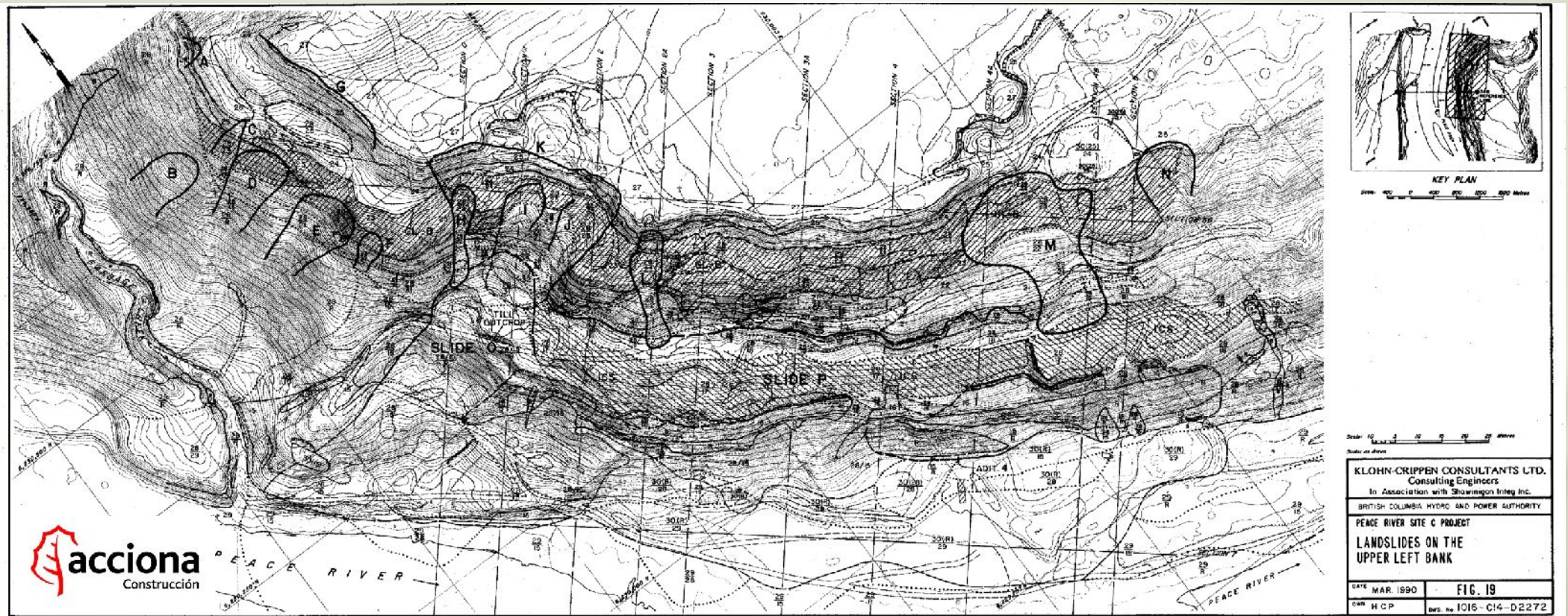
Capa ICS- Espe



Capa BGS - Espesor 5m

SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Upper left bank



Plano histórico de deslizamientos en la ladera izquierda

SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

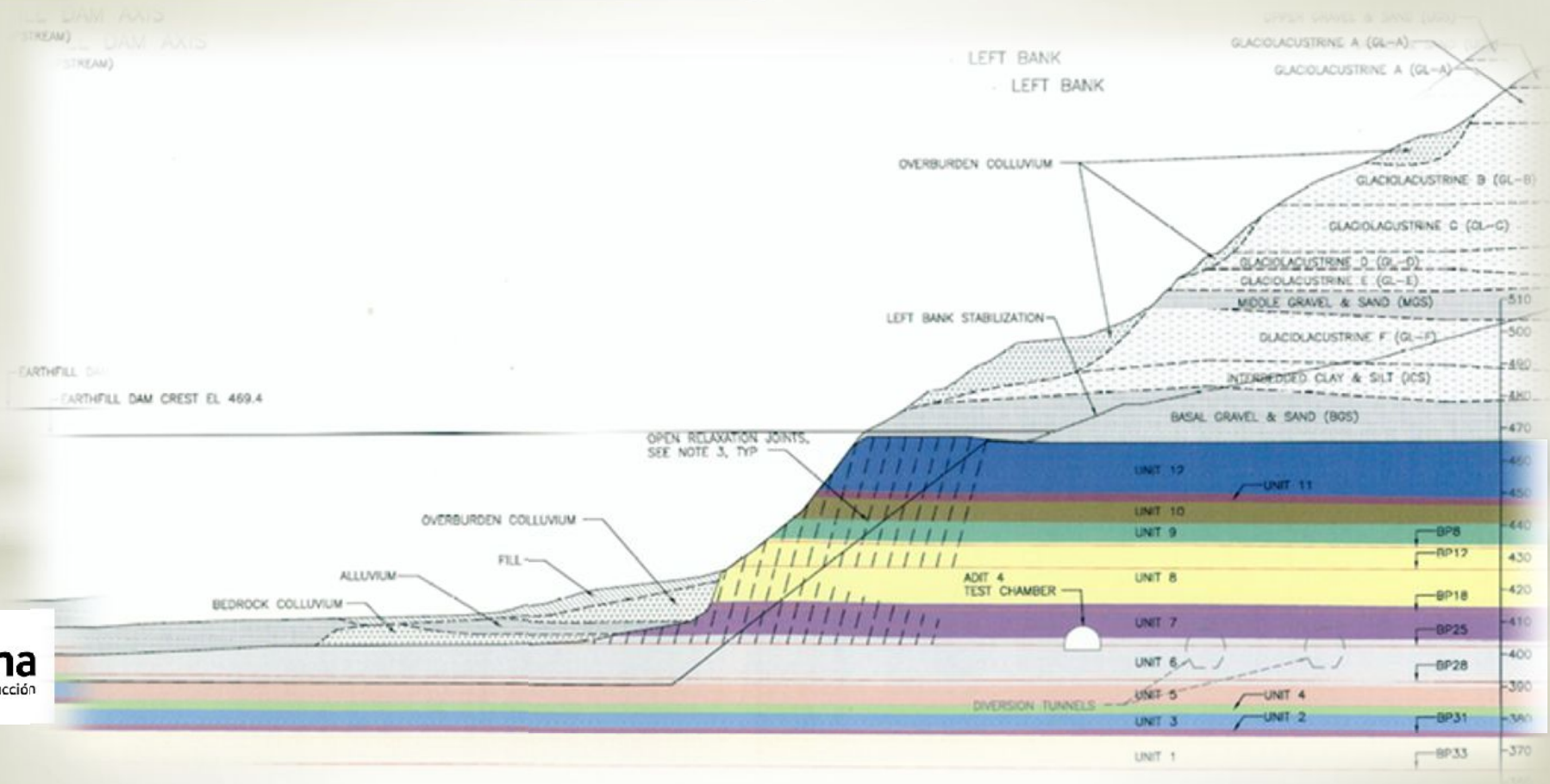
Upper left bank



Deslizamiento Old Fort

SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Lower left bank



SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Marco geológico

Unidad geológica (de más joven a más vieja)	Descripción
Formación Dunvegan	<u>Arenisca</u> , grano fino, beige a gris, juntas muy espaciadas, roca fuerte.
Formación Shaftesbury	<u>Lutitas</u> (Cretácico superior) y <u>lutitas limosas</u> (Cretácico inferior) gris oscuro, fracturas de muy a extremadamente próximas, roca de moderadamente fuertes extremadamente débiles.
Formación Boulder creek	<u>Arenisca</u> , de grano fino, <u>entremezclada con lutita y lutita limosa</u> , laminada, de color beige a gris oscuro, roca namente fuerte.
Formación Hulcross	<u>Lutita limosa</u> , algunos láminas de limolita, gris oscuro, roca débil, fracturas de muy a extremadamente próximas
Formación Gates	<u>Arenisca</u> , de grano fino, laminada, de color beige a gris,, roca fuerte.
Formación Moosebar	<u>Lutitas</u> , roca fracturada, débil a fuerte

SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Lower left bank - bedding planes

PLANOS DE ESTRATIFICACIÓN - BEDDING PLANES

La masa rocosa, en general, se trata de lutitas (shale) grises oscuras.

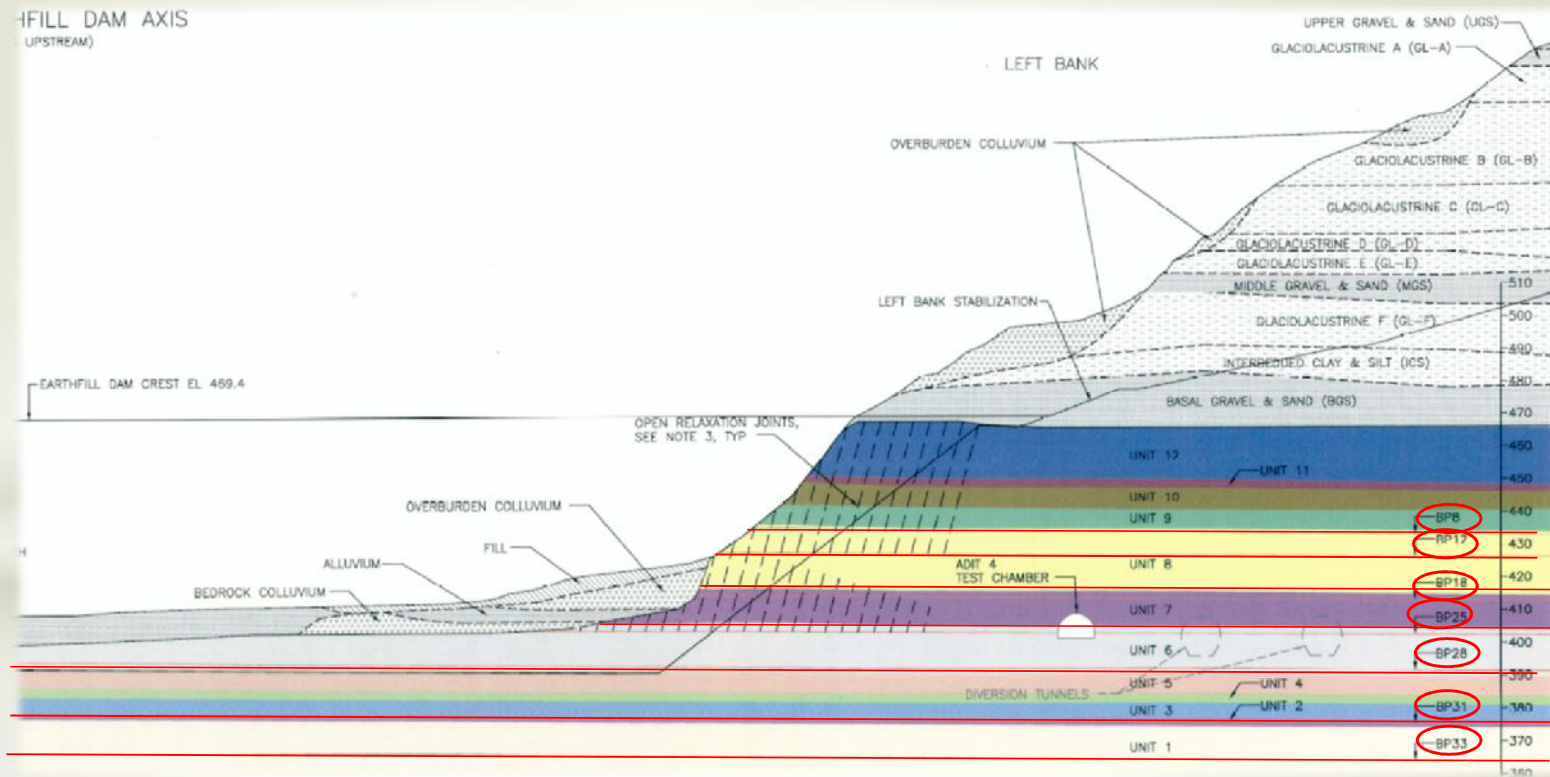
Ocasionalmente se encuentran, embebidos en la masa rocosa, **planos de rotura** preferente en ambos estribos coincidiendo con los **planos de estratificación**. Estos planos controlan la estabilidad del macizo rocoso.

Ensayos específicos in situ, sobre muestras seleccionadas, muestran una sustancial disminución de la resistencia post-pico (10mm de desplazamiento) respecto a la de pico, así como de la residual (50mm desplazamiento) a la de pico.

La resistencias de pico indican, no obstante, ángulos de rozamiento bajos (9-23°)

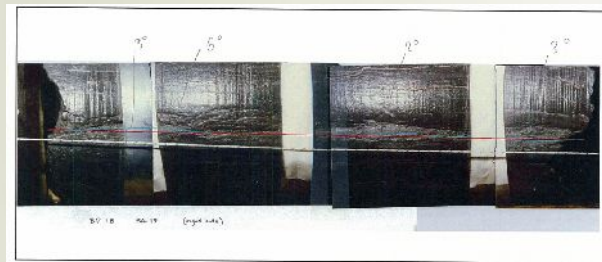
SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Lower left bank - bedding planes

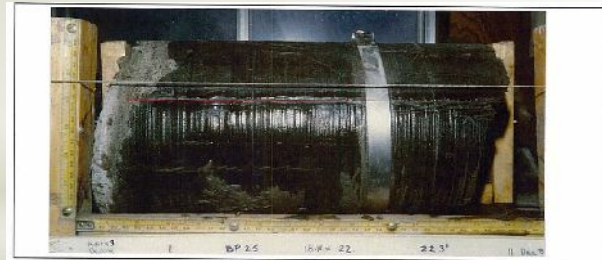


SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Lower left bank - bedding planes



Bedding Plane 18
LDH XVII
Sample # 17
Depth 43.23 m
El 400.21 m
Thickness



Bedding Plane 25
LDH APB3 Branch 1
Sample # SN1
Depth - 1"
El - 1"
Thickness 25.0 mm



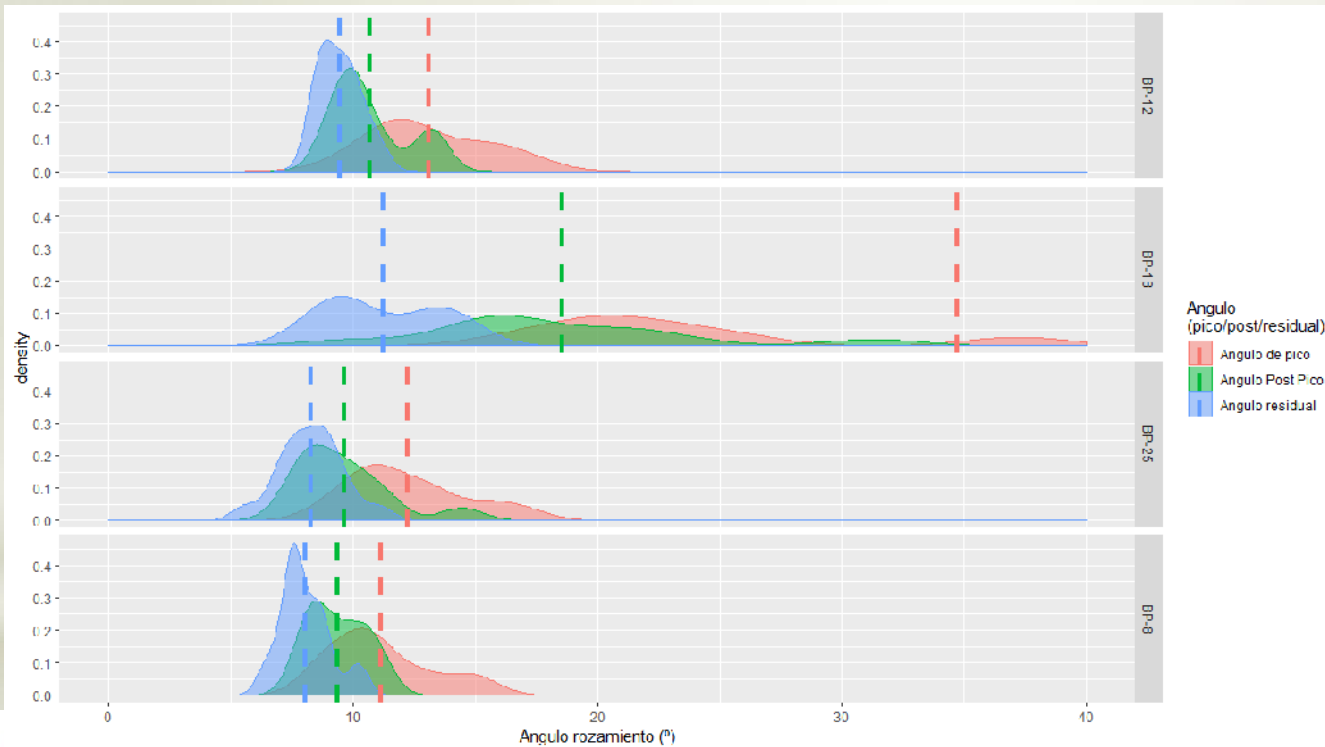
Bedding plane BP-12



Bedding plane BP-25
(Mapeado en Adit-5)

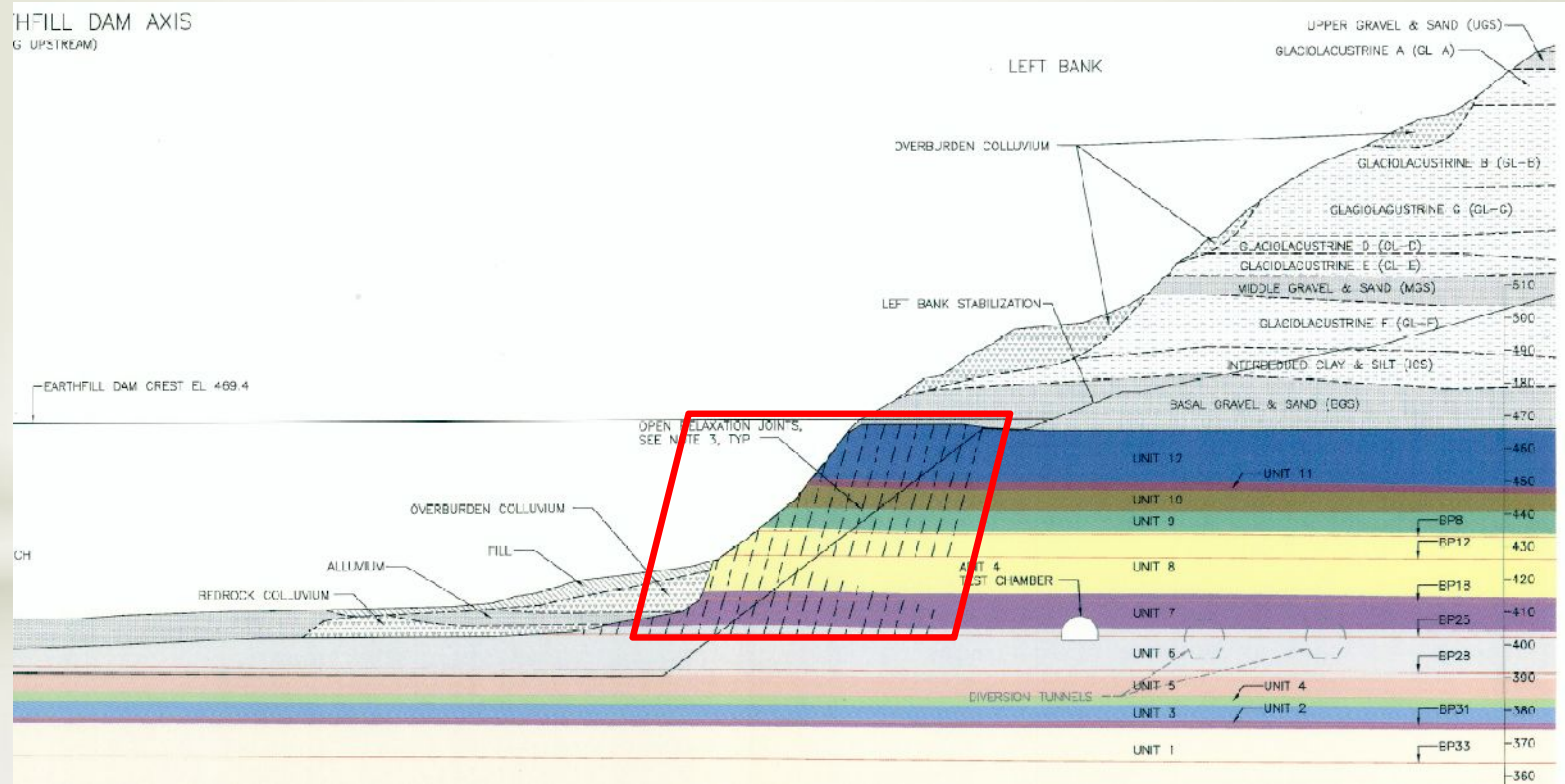
SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Lower left bank - bedding planes



SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Lower left bank - Relaxation joints



SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Lower left bank - Relaxation joints



SITE C CLEAN ENERGY PROJECT (CANADÁ)

Sondeos e información geotécnica

MUCHAS GRACIAS