

# SEMINARIO GEOTECNIA

## Diseño geotécnico y operación de depósitos de lixiviación y Botadero de Ripios

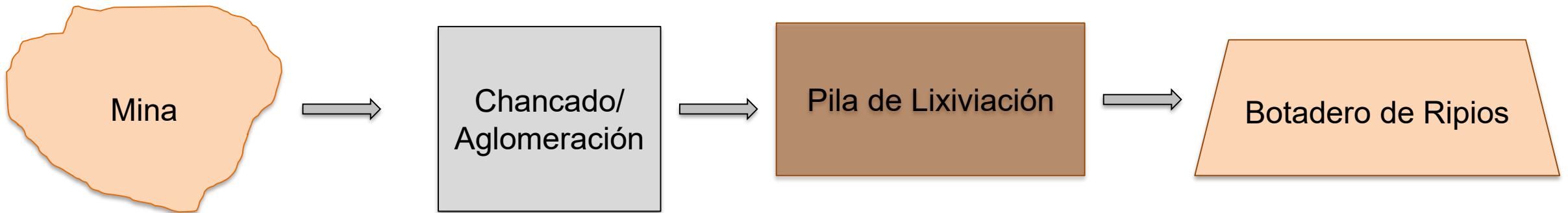
Carolina Vergara  
Ingeniera Geotécnica Principal

 **srk** consulting

# Tabla de Contenidos

- ❑ **Descripción General**
- ❑ Características de los materiales
- ❑ Factores que afectan la estabilidad
- ❑ Observaciones en terreno
- ❑ Parámetros de control
- ❑ Recomendación Diseño

# Proceso de lixiviación de Minerales en Pila



Las pilas de lixiviación son depósitos donde se lleva a cabo el tratamiento de minerales chancados, los materiales post-lixiviación se denominan “ripios” los que son trasladados mediante correas a un botadero.

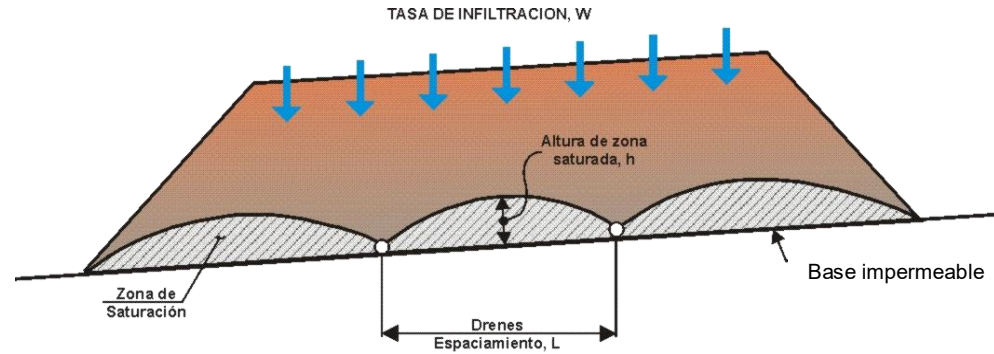
En las pilas de lixiviación y en estos botaderos es frecuente observar problemas de estabilidad, los que, en mayor o menor grado, pueden comprometer el funcionamiento de los equipos y con ello la continuidad operacional de la mina.

# Pilas de lixiviación

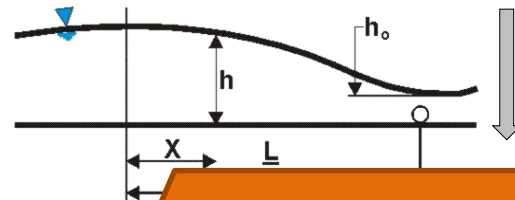
- Pilas permanentes (*Dedicated pads*)
- Pilas dinámicas (Reusable pads; *on/off*)



# Pilas dinámicas



Pila Dinámica



De la solución para flujo unidimensional no confinado entre drenes paralelos con infiltración vertical (McWhorter and Sunada, 1977) :

Transporte en correas o camiones

$$h^2 = h_0^2 - \frac{Wx^2}{4K} - \frac{Wx}{K}$$

Para  $h_0 = 0$  y  $x = 0$ :

Botadero de Ripios (Spent Ore)

# Pilas dinámicas

Vista en Planta  
Pad de Lixiviación



# Tabla de Contenidos

- Descripción General
- **Características de los materiales**
- Factores que afectan la estabilidad
- Observaciones en terreno
- Parámetros de control
- Recomendación Diseño

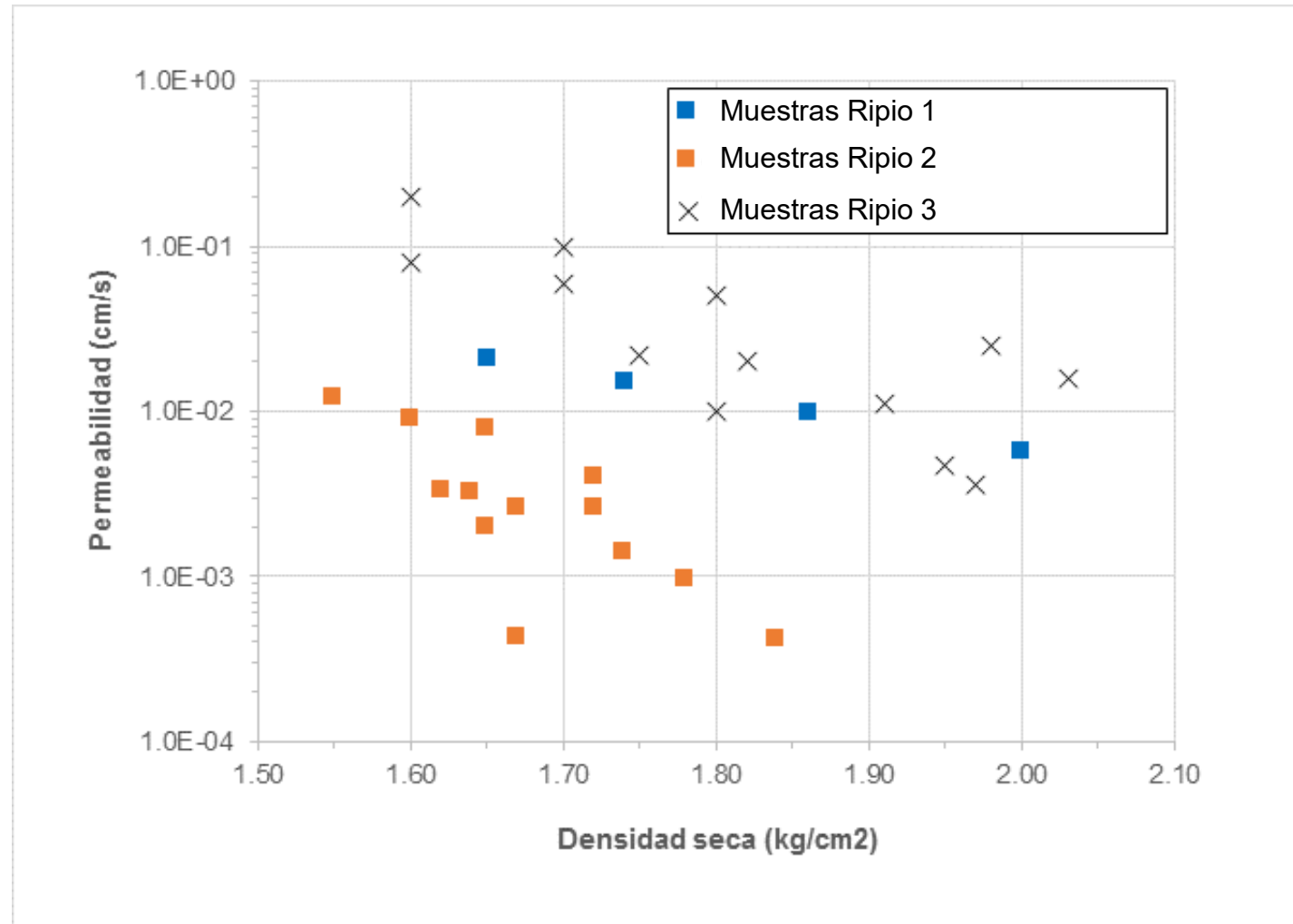
# Características de los materiales

- Mineral chancado con tamaño máximo entre  $\frac{3}{4}$ " y 1".
- En general, clasifican como gravas con contenidos de finos (bajo #200) variable, dependiendo de la unidad geotécnica de origen.
- Los materiales se encuentran a una densidad suelta a media, son materiales depositados con apilador.
- Interesa determinar los parámetros de resistencia al corte, permeabilidad saturada, curvas de succión, módulos de deformación, etc.



# Características de los materiales

Ejemplo  
permeabilidad  
saturada en ripios



# Tabla de Contenidos

- Descripción General
- Características de los materiales
- **Factores que afectan la estabilidad**
- Observaciones en terreno
- Parámetros de control
- Recomendación Diseño

# Factores que afectan la estabilidad física

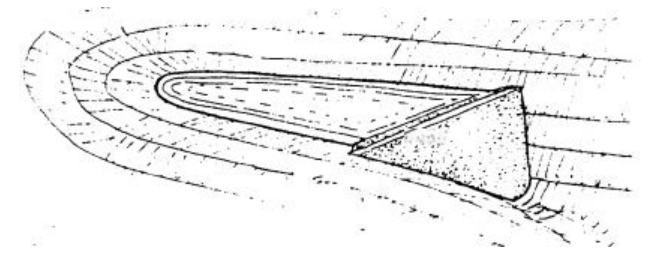
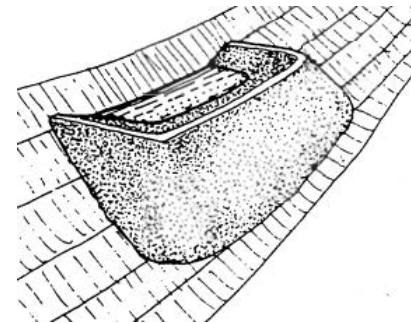
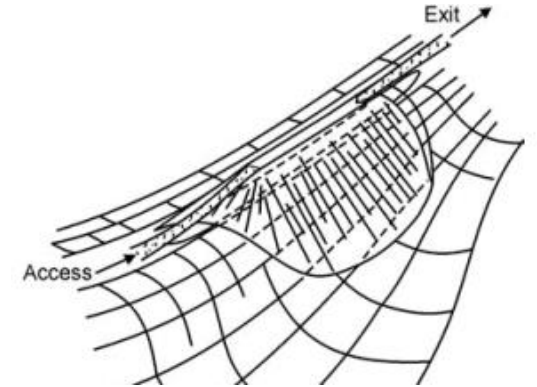
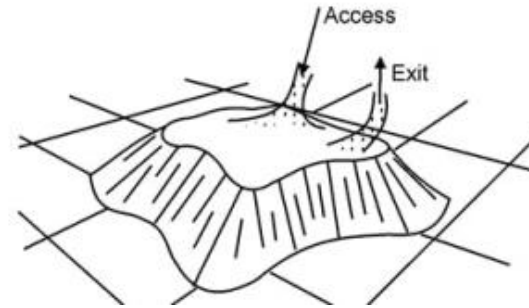
Existen múltiples factores que pueden impactar en la estabilidad física de botaderos y pilas de lixiviación. Entre ellos podemos distinguir ciertos parámetros claves:

- Características geotécnicas del mineral/ripió y Degradación del material en contacto con solución en el tiempo
- Condiciones de la fundación
- Sistema liner basal
- Infiltraciones y deficiencias en sistema de drenaje
- Secuencia Constructiva
- Sismicidad

# Factores que afectan la estabilidad física

## Condiciones de la fundación

- Topografía del terreno
  - ❖ Pendiente y forma
- Tipo y espesor de fundación
  - ❖ Suelos gruesos o finos; rellenos antrópicos
  - ❖ Espesor de suelo/relleno
- Características roca basal
  - ❖ Profundidad
  - ❖ Tipo, resistencia, alteración, degradación
- Agua subterránea
  - ❖ Profundidad, presiones de poro en fundación



# Factores que afectan la estabilidad física

## Sistema liner basal

- Ángulo fricción interfaz suelo/geomembrana
- ❖ Tipo de suelo basal y dren
- ❖ Tipo de geomembrana

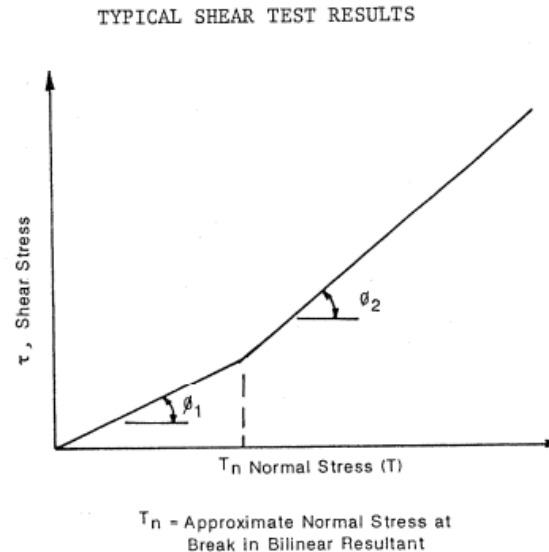
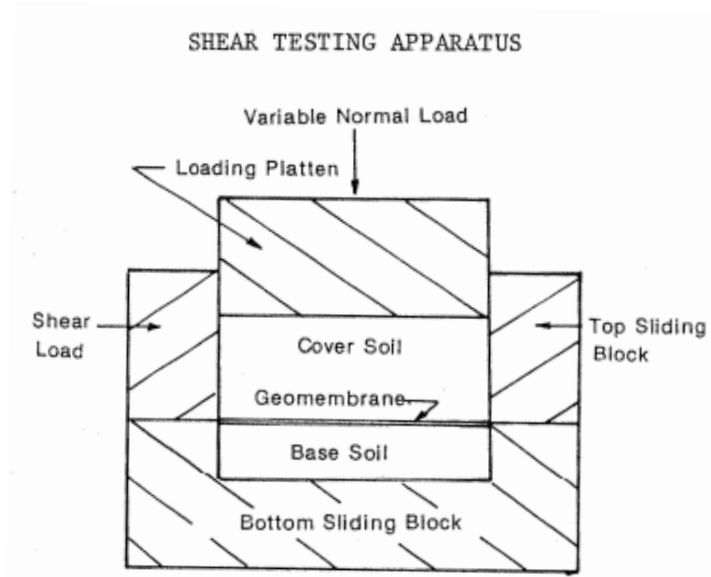


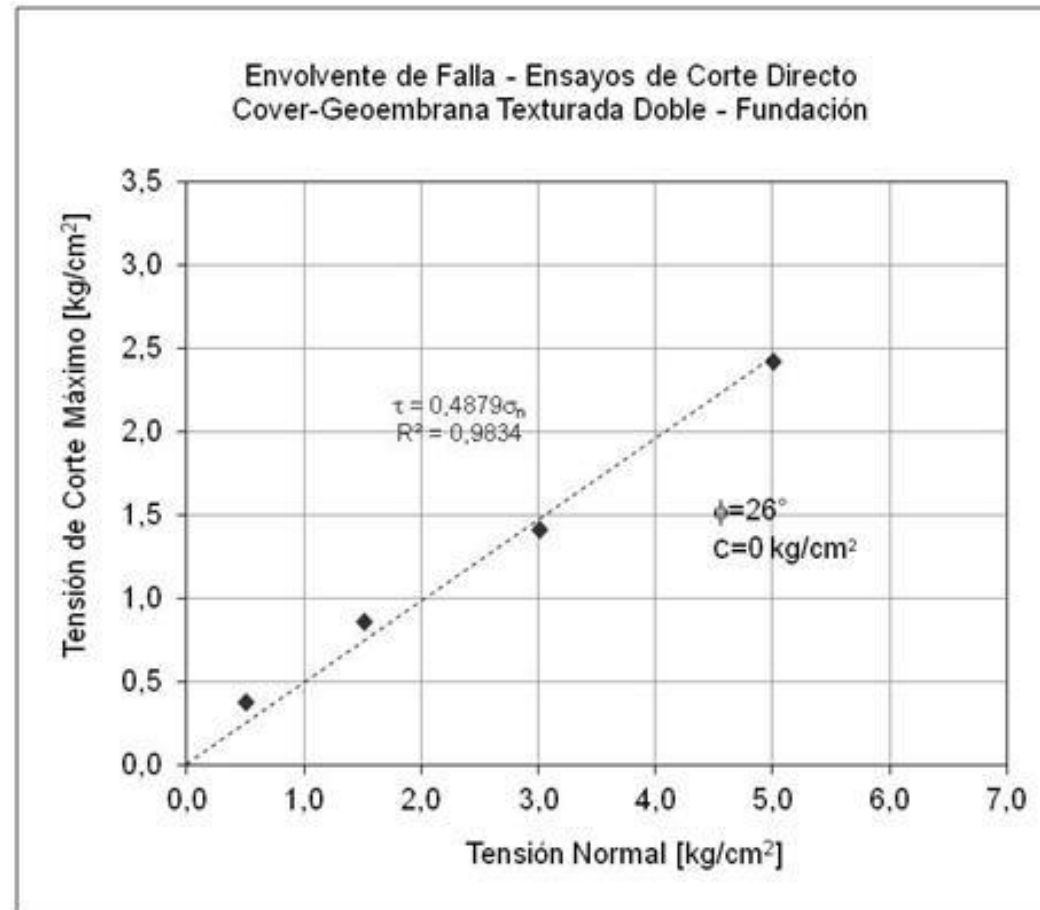
Table 1  
TYPICAL CONTACT FRICTION ANGLES

Materials	Friction Angle (°)
PVC rough/Clay	9.6*-26.2
smooth/Clay	6.1*-25
PVC rough/Sand	25-27
smooth/Sand	21-25
PVC/Ore	33
PVC rough/Geotextile	23
smooth/Geotextile	21
HDPE/Clay	13
HDPE/Sand	17-26
HDPE/Ore	26-29
HDPE/Geotextile	7.3*-11.3

\* Residual Value

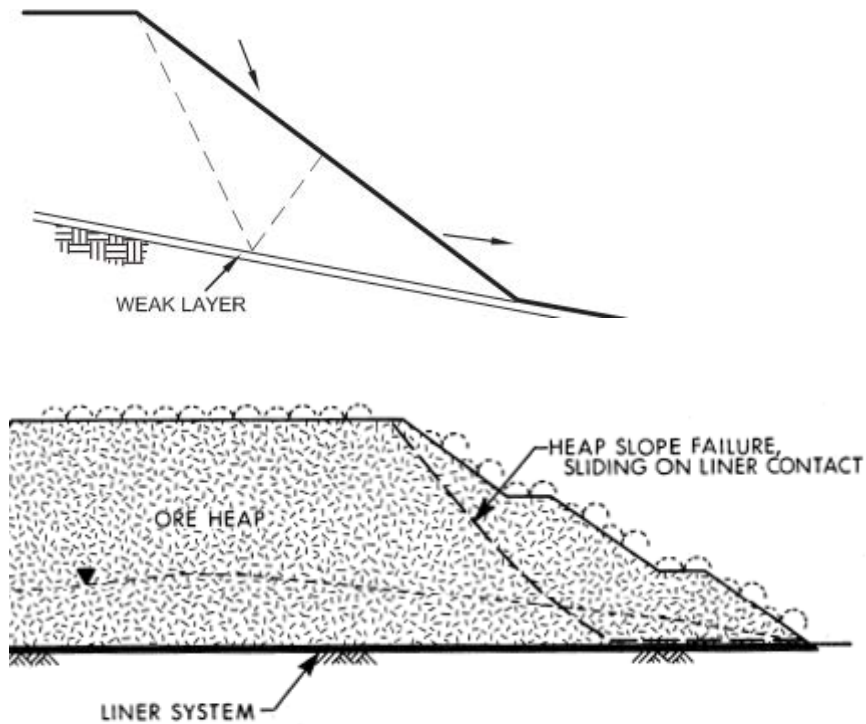
(Van Zyl, 1987)

# Factores que afectan la estabilidad física



# Factores que afectan la estabilidad física

## Fallas a través del sistema liner



Van Zyl (1987)

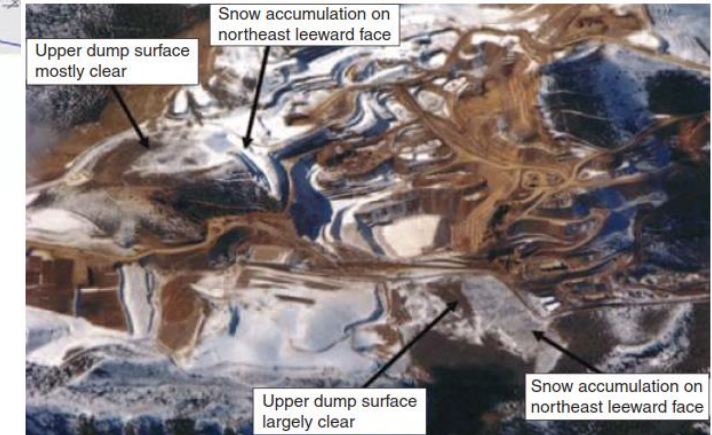
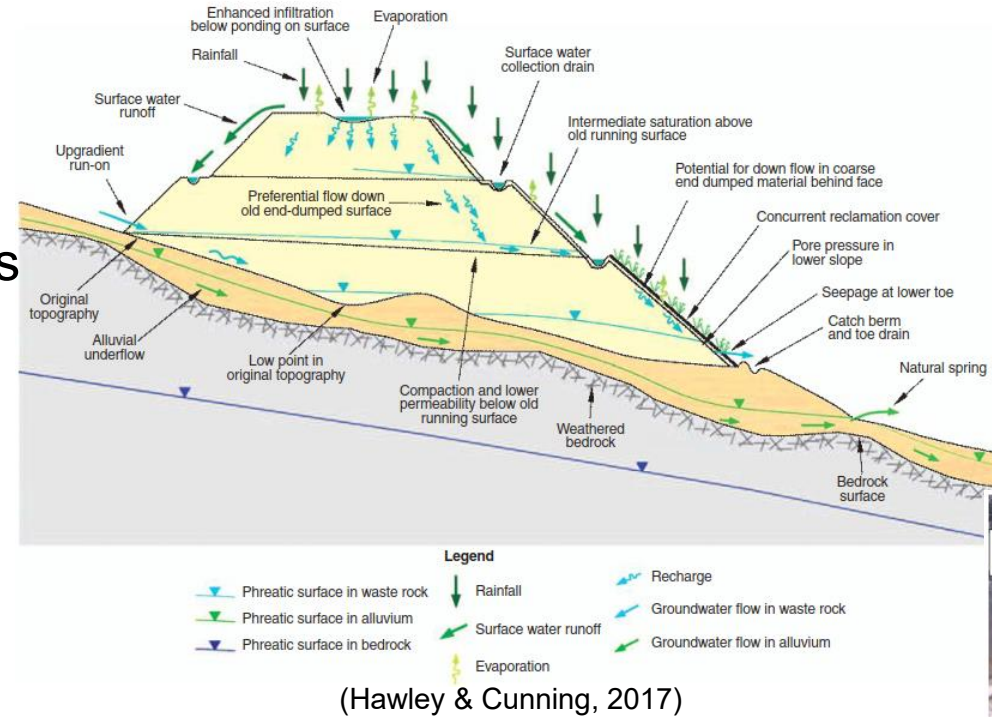


Blight (2010)

# Factores que afectan la estabilidad física

## Infiltraciones

- Solución
- Precipitaciones intensas
- Ciclos hielo-deshielo

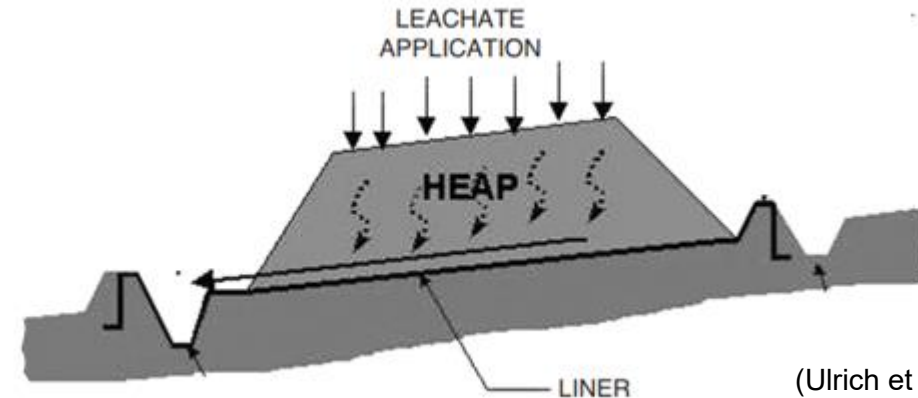




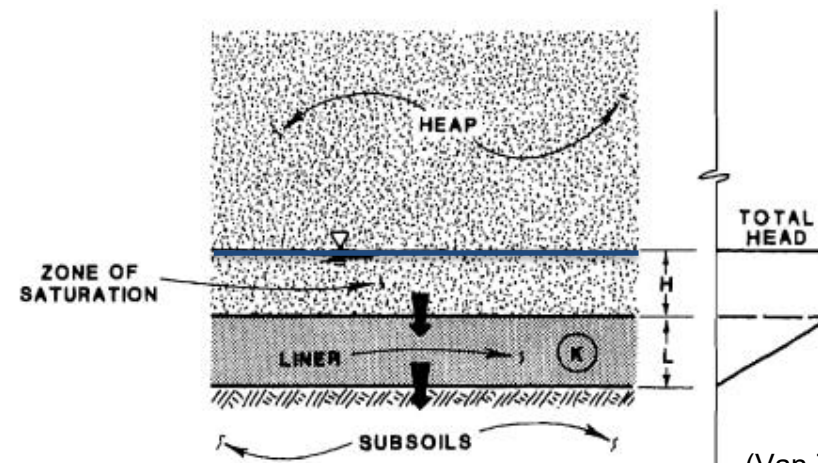
# Factores que afectan la estabilidad física

## Deficiencias en sistema de drenaje

- Colmatación sistema drenaje
- Capa remanente ripios



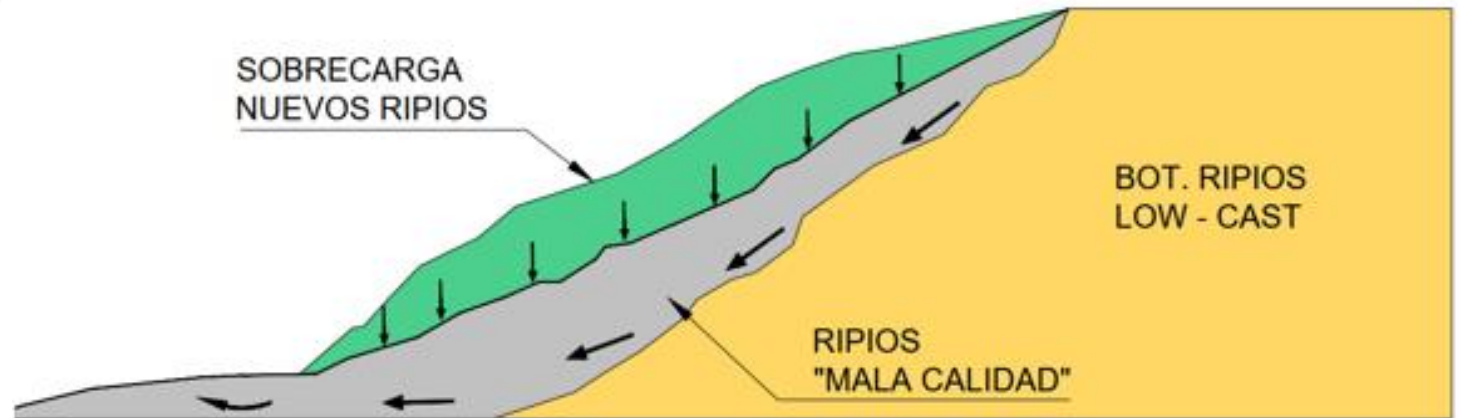
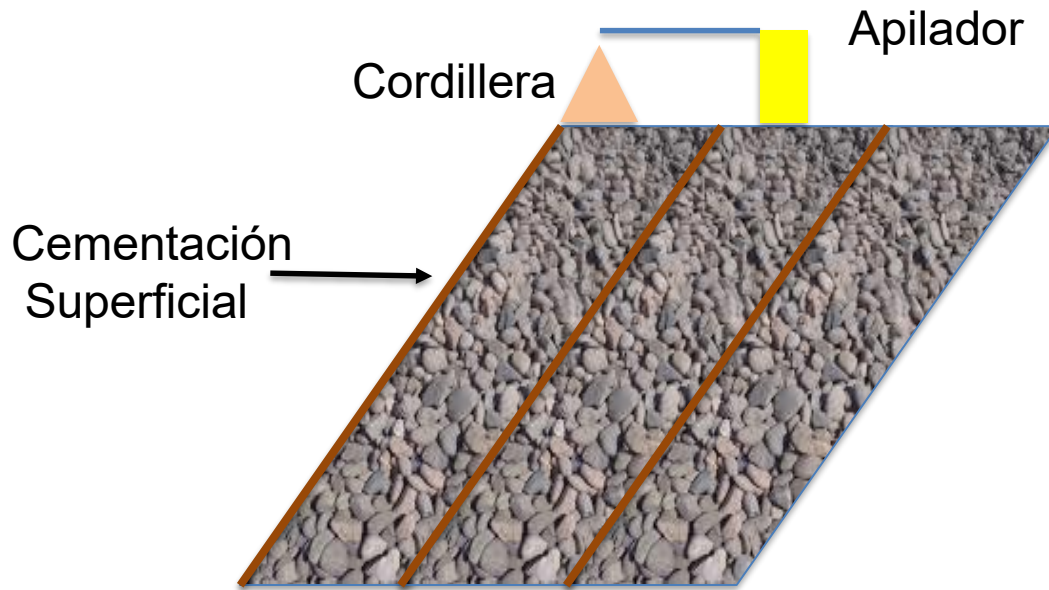
(Ulrich et al, 2003)



(Van Zyl et al, 1988)

# Factores que afectan la estabilidad física

## Secuencia Constructiva



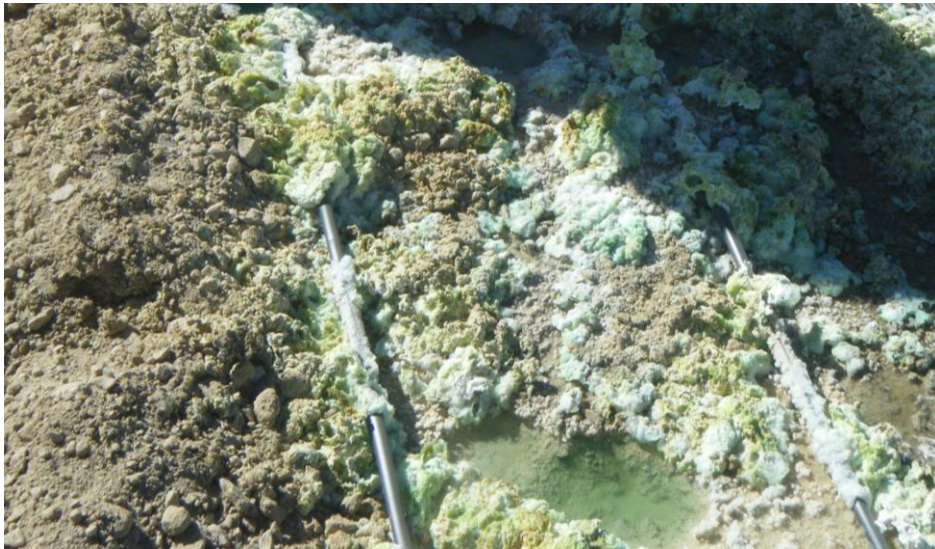
# Tabla de Contenidos

- Descripción General
- Características de los materiales
- Factores que afectan la estabilidad
- **Observaciones en terreno**
- Parámetros de control
- Recomendación Diseño

# Observaciones en terreno Pilas de Lixiviación

## Observaciones

Solución acumulada en la superficie de las pilas, que podrían estar asociados a materiales con alto contenido de finos.



## Observaciones

Deslizamientos en los taludes de las pilas de lixiviación, por efecto de riego excesivo o mal drenaje del depósito.



# Observaciones en terreno Pilas de Lixiviación

Día Anterior Deslizamiento



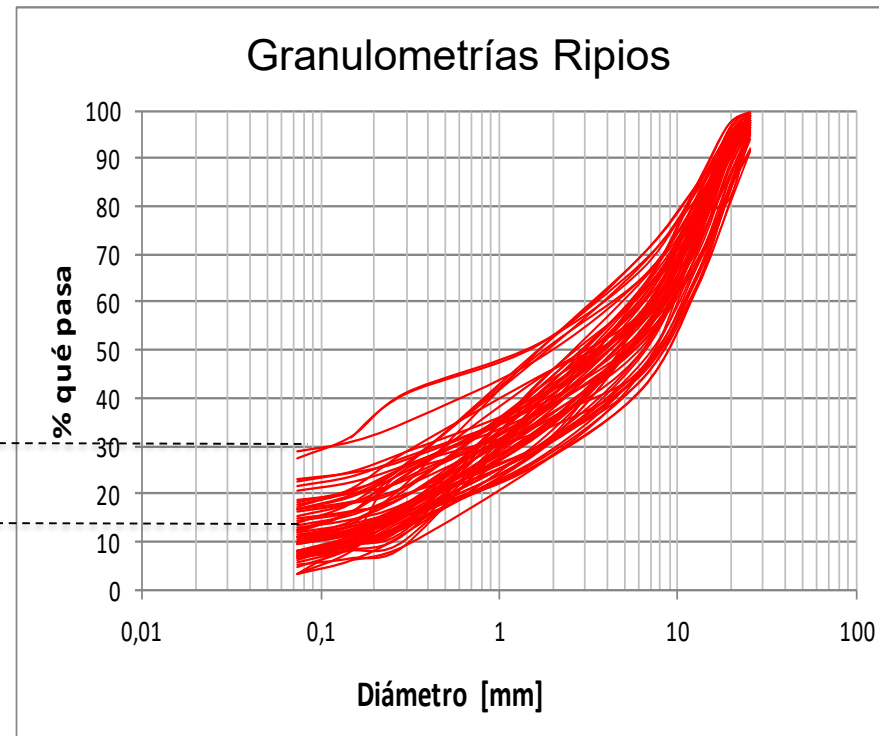
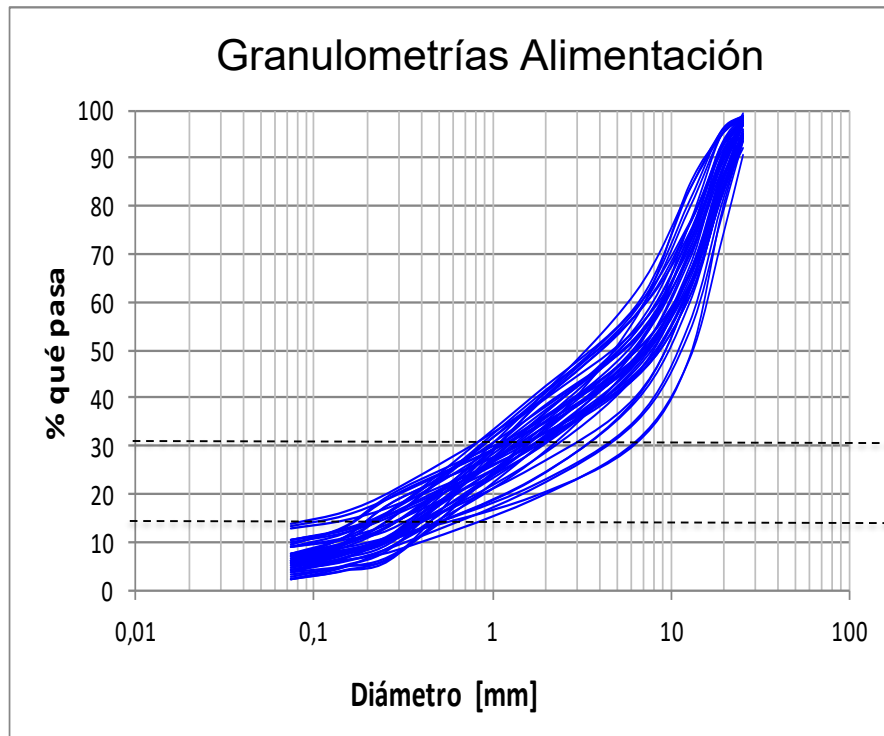
Día del Deslizamiento



# Observaciones en terreno Pilas de Lixiviación

## Observaciones

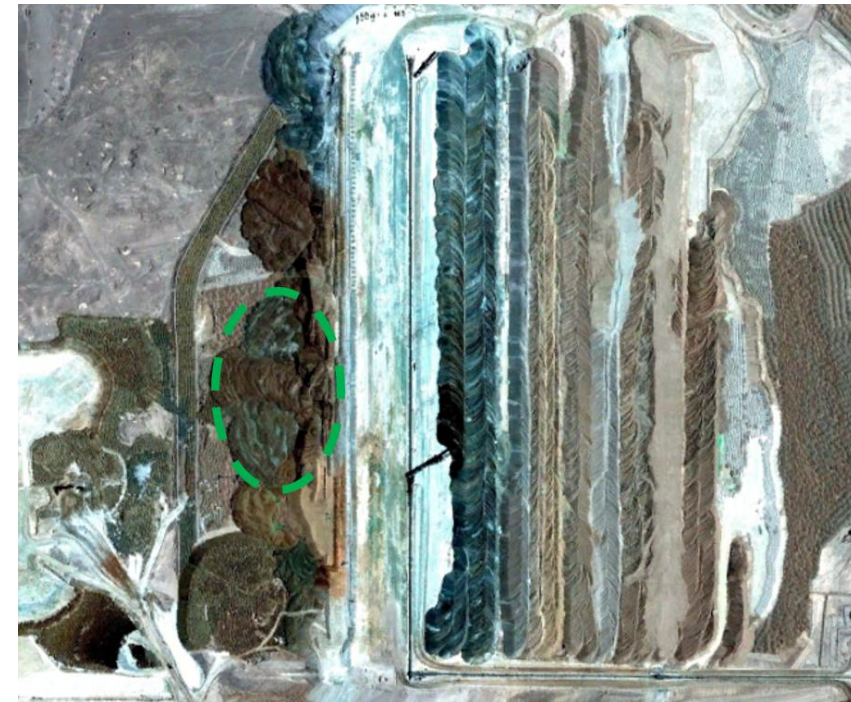
Control operacional % de Finos (material bajo #200) aumenta después de la lixiviación.



# Observaciones en terreno Botadero de Ripios

## Observaciones

El material descargado en el botadero, se observa con altos contenidos de humedad. Causas posibles: Mal drenaje en los Pad de lixiviación o Ripios con exceso de material fino.



# Observaciones en terreno Botadero de Ripios

## Observaciones

Se observa solución en la superficie de los botaderos.





# Observaciones en terreno Botadero de Ripios

## Observaciones

Se observan Grietas y asentamientos cerca del borde del frente de avance de los depósitos.



# Observaciones en terreno Botadero de Ripios

## Observaciones

Geomembrana rasgada en la base del depósito.



# Tabla de Contenidos

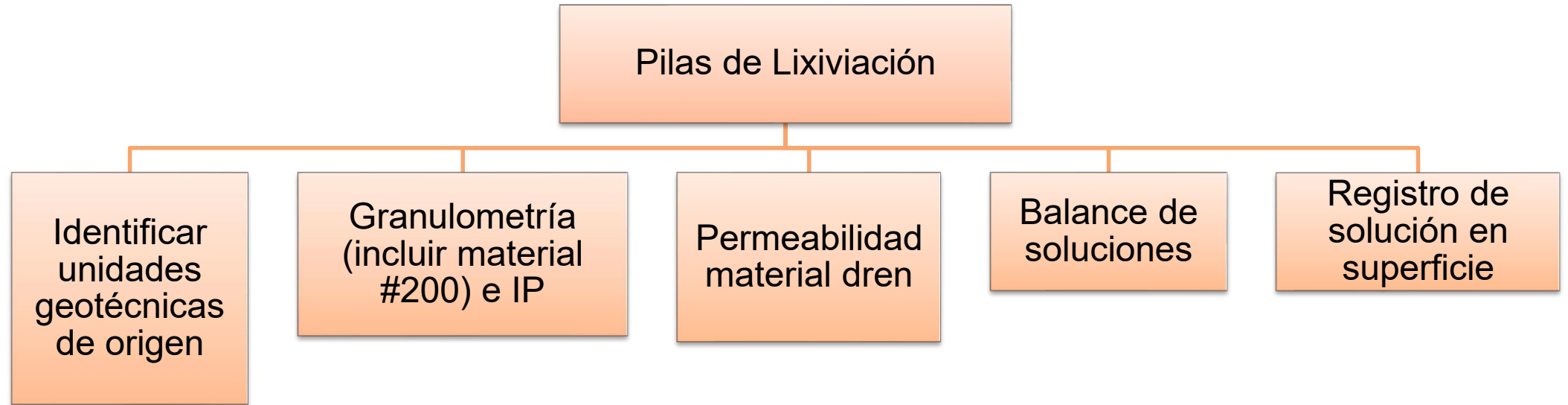
- Descripción General
- Características de los materiales
- Factores que afectan la estabilidad
- Observaciones en terreno
- **Parámetros de control**
- Recomendación Diseño

# Parámetros de control geotécnico

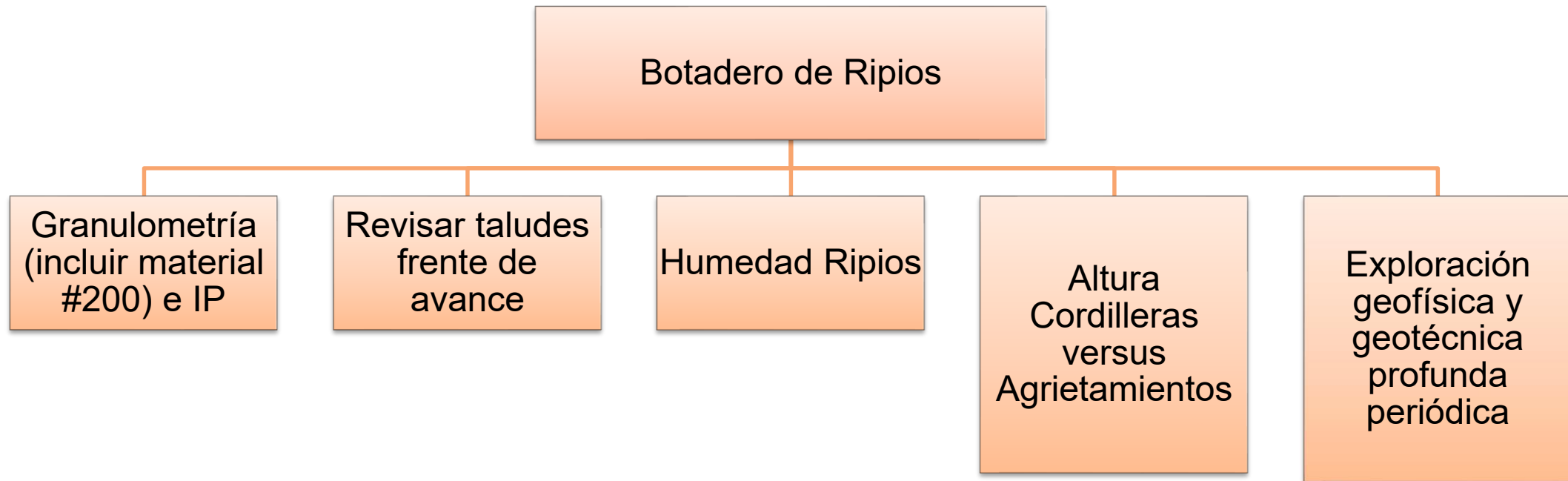
El monitoreo de parámetros de control geotécnico permite identificar variaciones que podrían inducir eventuales asentamientos o fallas en los depósitos.

- ¿Qué parámetros podemos medir en terreno?
- ¿Qué parámetros son importantes medir?

# Parámetros de control geotécnico



# Parámetros de control geotécnico



# Tabla de Contenidos

- ❑ Descripción General
- ❑ Características de los materiales
- ❑ Factores que afectan la estabilidad
- ❑ Observaciones en terreno
- ❑ Parámetros de control
- ❑ **Recomendación Diseño**

# Recomendación Revisión Diseño geotécnico

Resulta importante indicar que NO existe un diseño de un Botadero de Ripios capaz de admitir todos los tipos de materiales que arriban al depósito.

Resulta necesario respaldar el diseño con un control operacional permanente, de tal forma de definir un Plan de Acción junto con el Diseño del Botadero, frente al arribo de Ripios de “mala calidad geotécnica” (exceso de material Fino con alta plasticidad, o materiales con exceso de humedad  $>15\%$ ).