

# **UNIDAD 5:**

## **EXPLORACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**

### **5.A. Métodos de Exploración**

Distintos métodos de exploración: métodos indirectos y métodos directo. Criterios de selección de cada uno.

### **5.B. Métodos Indirectos**

Prospección Geoeléctrica. SEV (Sondeos Eléctricos Verticales). Objetivos y trabajos de campo. Curva de campo y curva teórica. Interpretación de resultados (Cortes Geoeléctricos - Planos isopáquicos de espesores saturados. Planos estructurales del basamento de la cuenca. Planos de Isoresistividad Transversal).

### **5.C. Métodos Directos**

**Pozos de exploración, Perfil litológico. Perfilaje eléctrico, resistividad, Normales Cortas y Largas. (SP) Potencial Espontáneo. Rayos gamma natural. Perfiles de penetración. Perfiles Múltiples de Pozos. Relación e interpretación.**

# Perforación Exploratoria

Una vez terminada la etapa de exploración superficial, del análisis de los datos obtenidos de los sondeos eléctricos verticales (SEV), surge la **ubicación de un lugar adecuado** para realizar una **perforación** que permita contrastar estos datos con la realidad de las formaciones subyacentes en ese lugar y saber si habrán posibilidades reales de encontrar agua subterránea.

El método más seguro para conocer las características de estas formaciones es el de perforar a través de ellas.



A ésta perforación se la conoce con el nombre de pozo de exploración o **PERFORACIÓN EXPLORATORIA.**

# Perforación Exploratoria

Cuando la **zona es conocida**, porque ya existen varias perforaciones, en función de los antecedentes técnicos de esas perforaciones, se proyecta el Programa de Perforación y se construye el pozo; a la **primera carrera de perforación**, también se la denomina **perforación exploratoria**, puesto que servirá para realizar los estudios necesarios para conocer cómo se va a terminar de construir el pozo.

**El diámetro de corte de esta perforación es de 8<sup>3/4</sup>”.**

Se realizan tres tipos de perfiles:



- **Perfil litológico**
- **Perfil de cronometraje**
- **Perfil o registro de pozo**

Con la información obtenida se diseña:

- Programa de ensanche
- Entubación
- Cementación / Engravado



# Perfil litológico

Recoger material cada un metro o dos, o cada cambio de terreno.

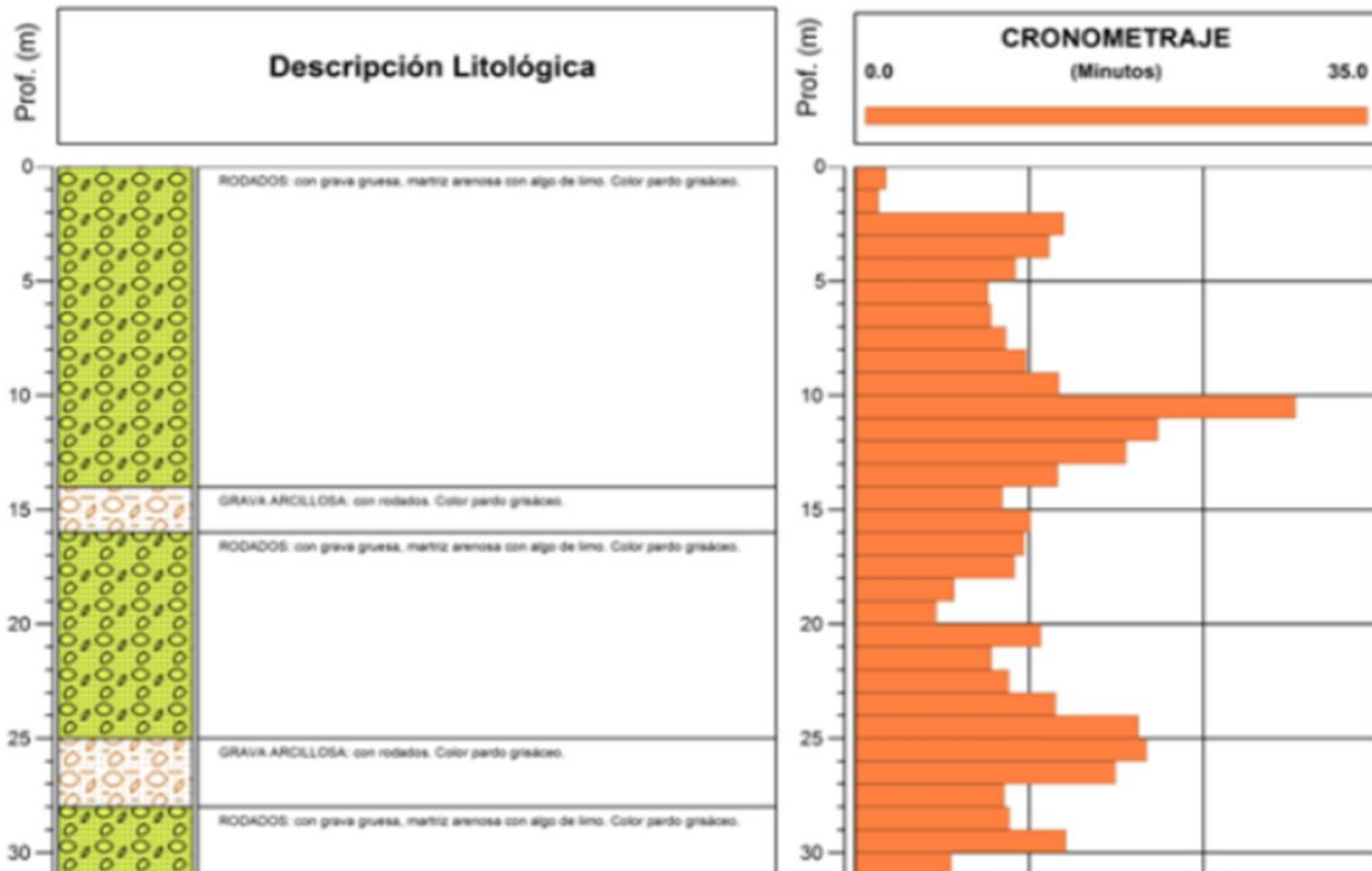
Las muestras se disponen y ordenan en función de la profundidad a la que corresponden y luego se analiza el tipo de sedimento o roca.



PERFIL		Clasificación de los Estratos		
Escala prof. 1:1250	Formación Geológica	DESCRIPCIÓN	Representación	
0.00		Indicar las acuíferas atravesadas		
0.00	C U T E R N A R I O	Bloques/Grava muy gruesa		
28		Grava muy gruesa, matriz Arenosa		
42		Bloques/Grava muy gruesa	Grava muy gruesa, matr. Arenosa	
46				
56		Grava media		
70		Bloques/Grava muy gruesa		
80		Grava media		
86		Bloques/Grava muy gruesa		
96		Grava media		
110		Grava fina		
112		Grava media		
114		Grava fina		
124		Grava media		
168		Grava muy gruesa		
178		Grava fina		
188		Grava media		
196		Grava fina		
214		Bloques/Grava muy gruesa		
221		Grava muy gruesa		
230		Grava fina matriz arenosa gruesa ACUÍFERO		
246	Grava fina/arcilla			
253	Grava fina matriz arenosa gruesa ACUÍFERO			
266	Grava media matriz arenosa gruesa ACUÍFERO			
278	Arena muy gruesa/interc. arcilla			
284	Sedimento arcilloso			
287				
317	Arena muy gruesa/intercalaciones de Arcilla			

# Perfil de cronometraje

Está estrechamente ligado al litológico. Consiste en ir tomando el tiempo neto que se tarda en perforar el metro de formación; de esta manera es posible correlacionar los **tiempos “bajos”** con **materiales finos y blandos**, mientras que los **tiempos “altos”** se corresponden con **formaciones duras** o más cohesivas.



# Perfil de cronometraje

Este tipo de registro brinda información sumamente útil relativa a las formaciones.

Cualquier perforador se da cuenta si la velocidad de penetración aumenta o disminuye e interpreta este hecho en alguna forma.

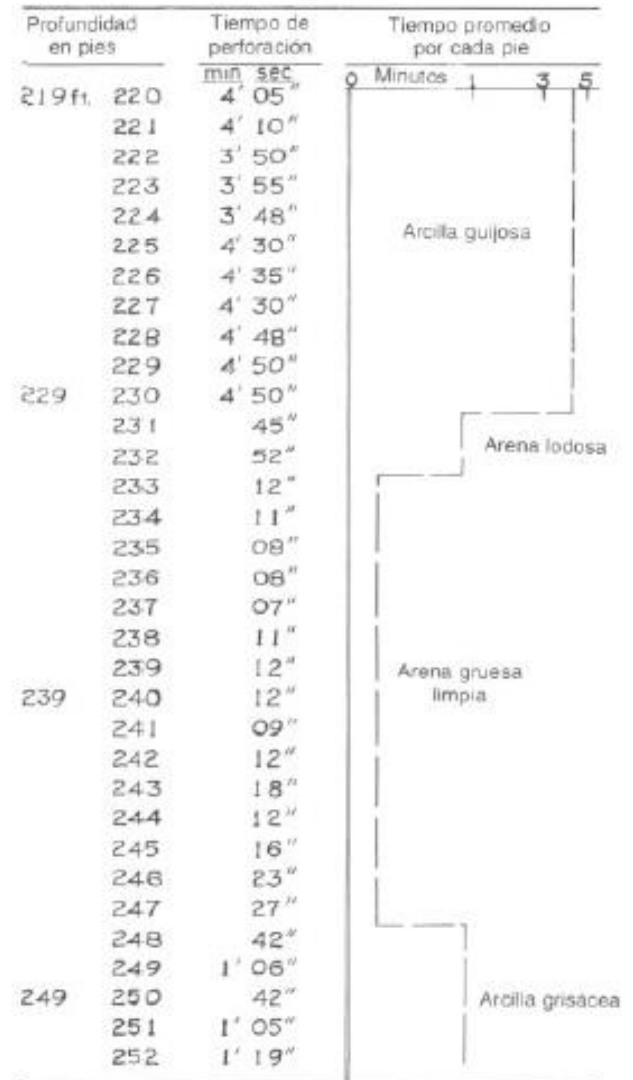
Existen **factores ajenos** al carácter de cada **formación** que también afectan la velocidad perforación.

Algunos de éstos, son:

- el peso en el trépano
- afilado del trépano
- tipo de trépano
- diámetro del pozo
- velocidad del lodo a través de las boquillas
- velocidad de la rotación

Para obtener los mejores resultados, estos factores deben mantenerse casi constantes.

Perfil cronológico de sondeo

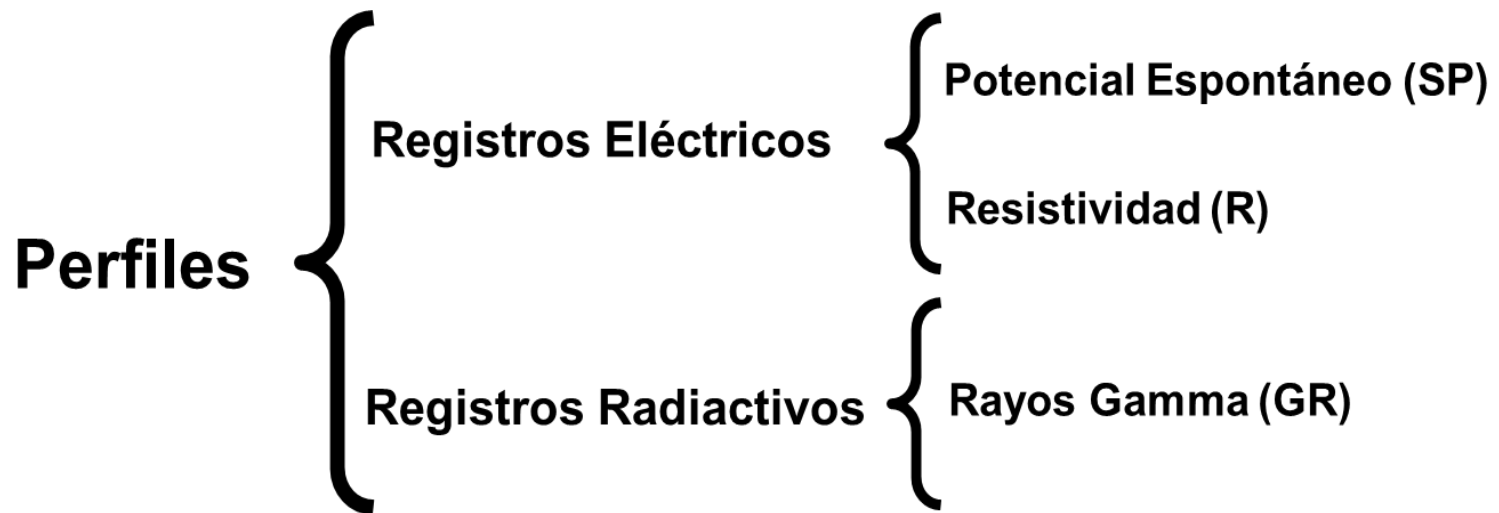


# Perfil o registro de pozo

Es la grabación continua de alguna característica de las formaciones atravesadas, en función de la profundidad.

Con el perfil de pozo se verifica y complementa el perfil litológico.

Obtener la mayor cantidad de información de los sedimentos (o materiales rocosos) atravesados durante una perforación exploratoria y, eventualmente, del tipo y calidad del fluidos que puedan ocupar los poros del material que conforman el suelo y el subsuelo.



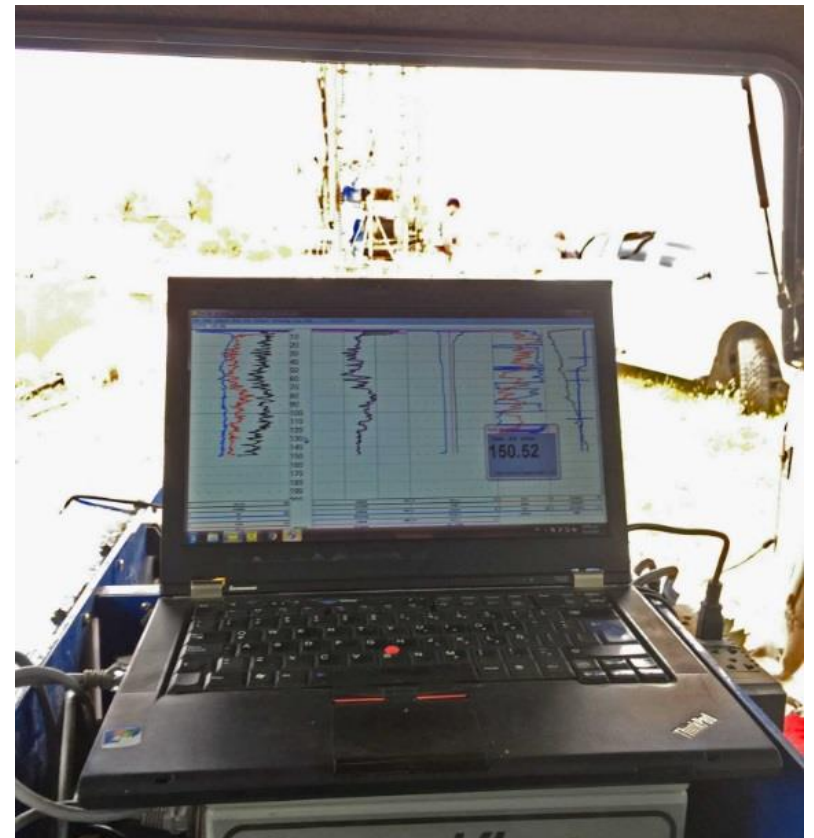
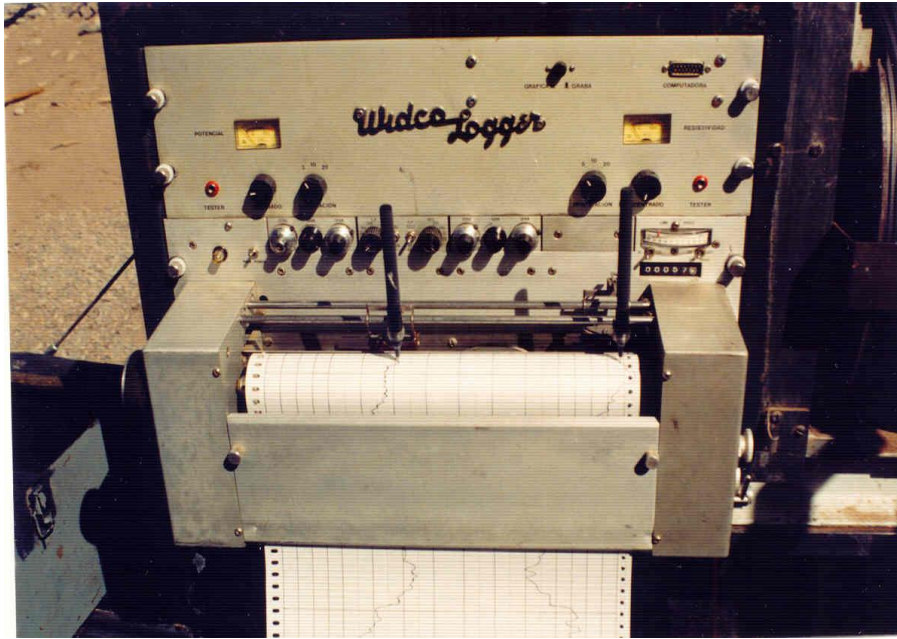


# Componentes de un equipo de perfilaje

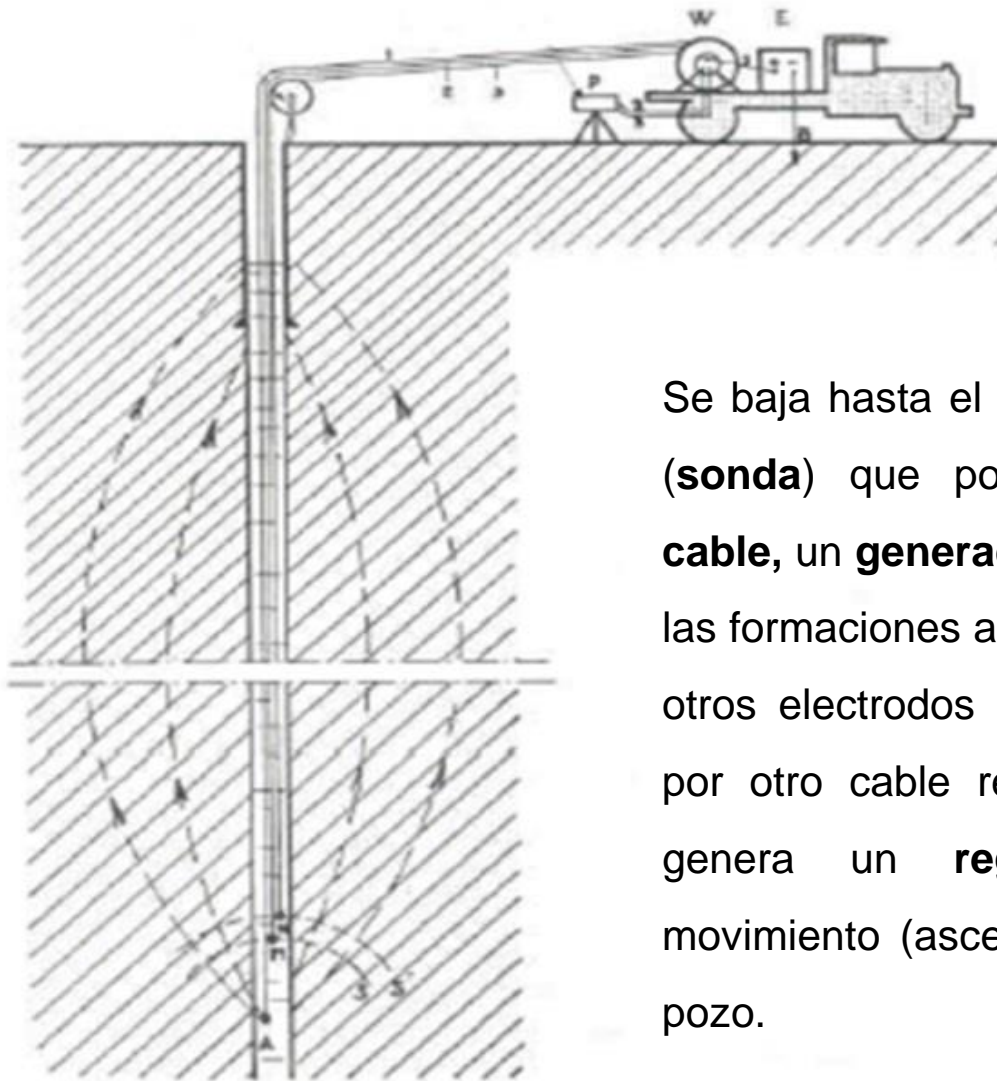
En general un equipo de perfilaje eléctrico incluye cuatro componentes principales:



1. Una **unidad electrónica o módulo de control** que alimenta de corriente eléctrica a la sonda y mide los parámetros eléctricos y la profundidad.
2. Una bobina o carretel para el **cable conductor** y una polea.
3. Una **sonda** donde se alojan los **electrodos**.
4. Un **registrador automático y graficador** de los valores de resistividad o potencial en función de la profundidad.



# Maniobra



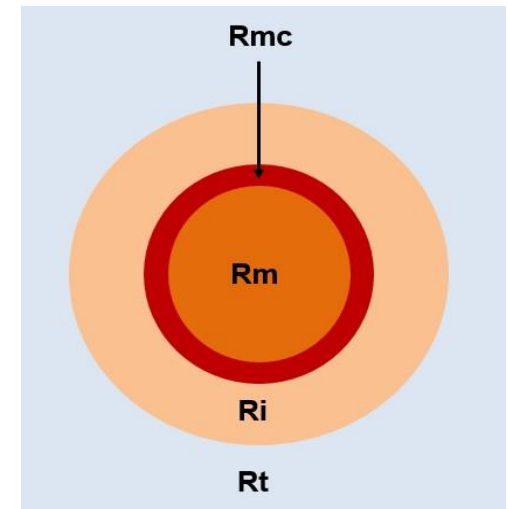
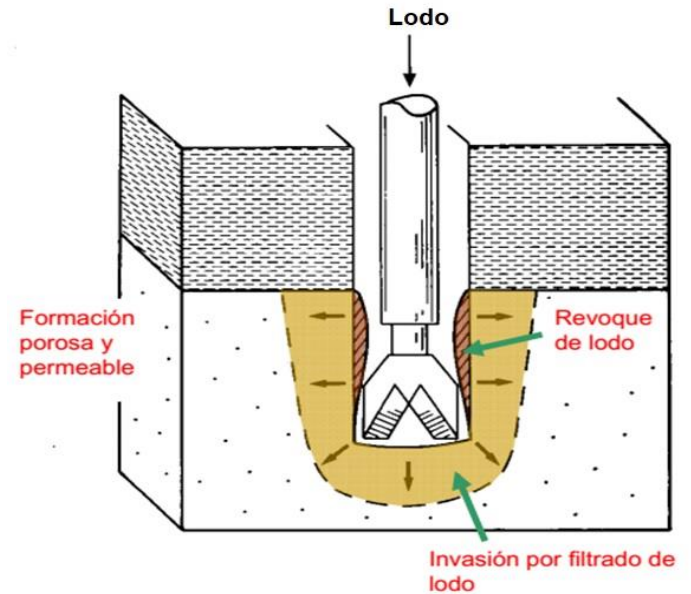
Se baja hasta el fondo del pozo una herramienta (**sonda**) que posee **electrodos**. Mediante un **cable**, un **generador** en superficie envía energía a las formaciones a través de un electrodo, mientras otros electrodos recogen las cargas eléctricas y por otro cable retornan a superficie, donde se genera un **registro** sincronizado con el movimiento (ascendente) de la sonda dentro del pozo.

*Resistivity measurements*

En nuestro país, mayormente se perfora con el sistema **rotary**, que utiliza un **lodo** o inyección para mantener controlado el ingreso de agua de formación al pozo. Esto genera un “**revoque**” en las paredes del pozo y una “**zona invadida**”, que es el espesor hasta donde se filtra el lodo dentro de los estratos perforados.

La **distancia radial** hasta donde el lodo se infiltra estará en **función** del **tipo de lodo** y de la **permeabilidad** de la capa.

Este concepto es importante porque hay “**perfilajes**” que miden las propiedades del revoque, otros dentro de la zona invadida y otros en la zona virgen o no invadida.



$$R_t = R_o + R_w$$

- SP +

- 20 -

RESISTIVIDAD

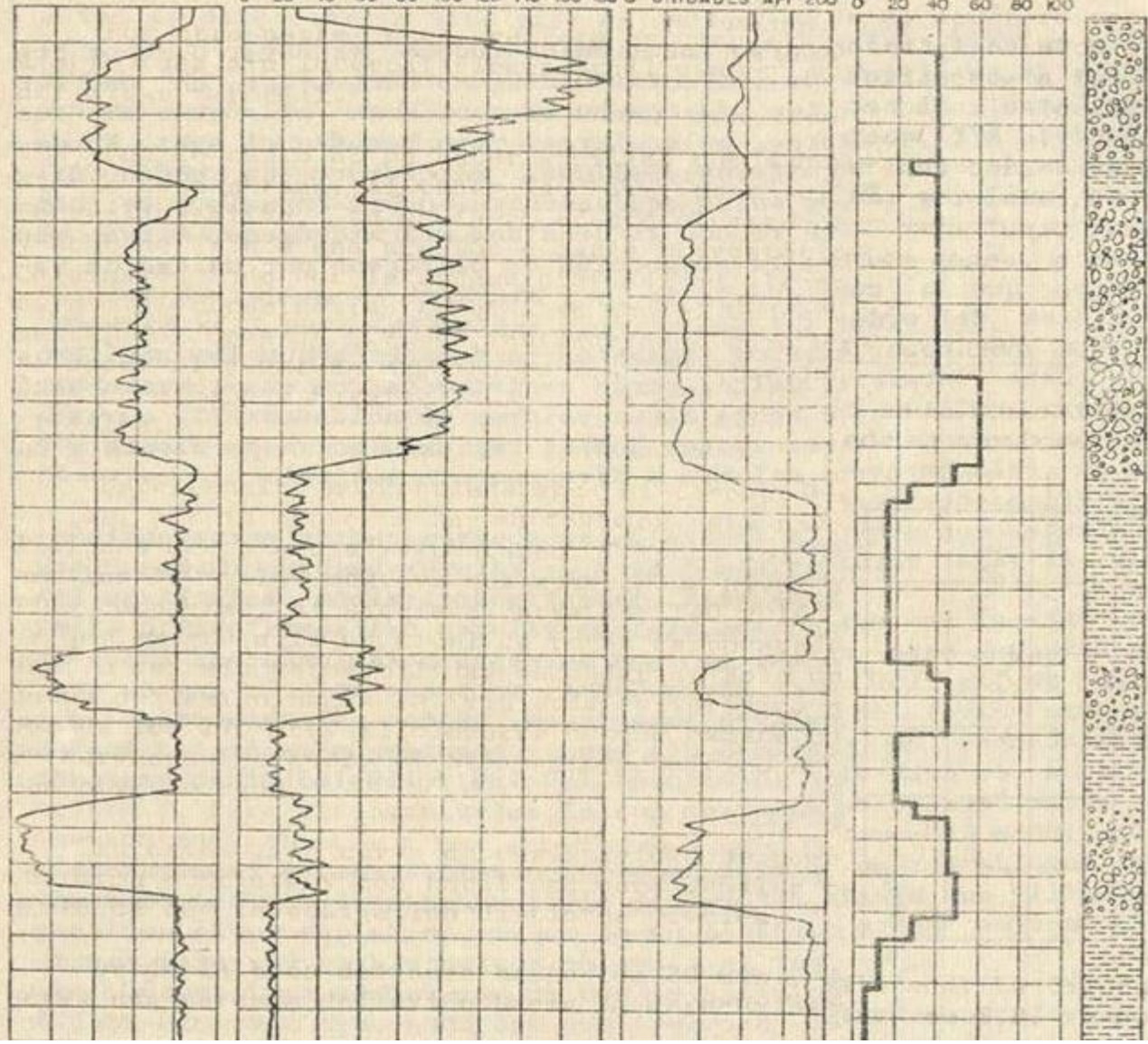
RAYOS GAMMA

TIEMPO de PENETRACION

0 20 40 60 80 100 120 140 160 180

0 UNIDADES API 200

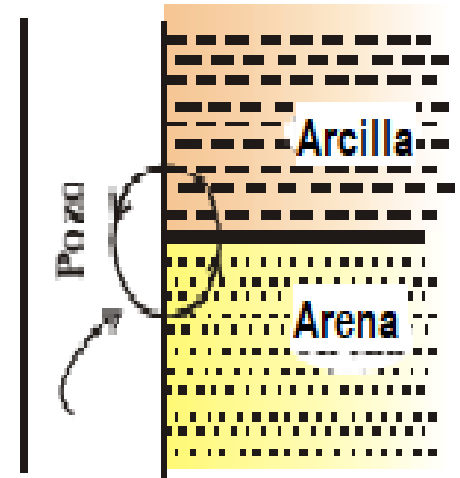
0 20 40 60 80 100



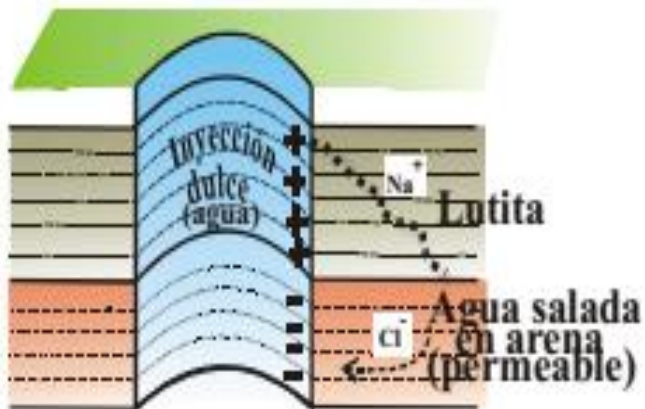
# Potencial espontáneo (SP)

Registra la **diferencia natural** en el potencial eléctrico (mV) entre un electrodo móvil dentro del pozo y un electrodo fijo (de referencia) en la superficie, en función de la profundidad. Se lo utiliza en forma **cualitativa**.

- Identificar zonas permeables y porosas.
- Determinar los horizontes de arcillas.
- Correlacionar unidades litológicas (combinado con Resistivo).



Se presenta por un fenómeno natural que ocurre cuando un nuevo fluido (lodo de perforación) rompe el equilibrio de la formación.



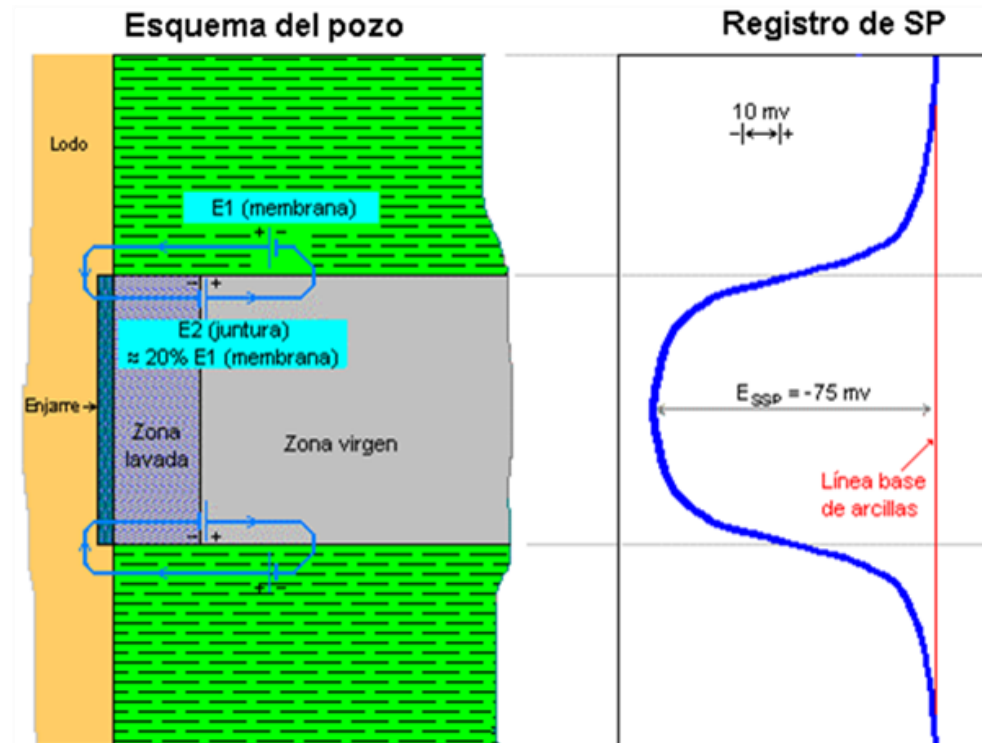
Los potenciales son creados por corrientes eléctricas inducidas químicamente, sólo si la **salinidad del fluido de perforación** es **diferente** a la **salinidad del agua o sedimentos** (movimiento de  $Cl^-$  y  $Na^+$ ).

Sólo se puede **registrar en pozo abierto** y con **lodos base agua**.

Cerca del borde derecho de un registro de SP se encuentra la llamada "**línea base de arcillas**", indicando la presencia de horizontes impermeables como arcillas, lutitas y rocas compactas.

Por conveniencia, esta línea de arcillas representa el cero o el potencial de referencia, de manera que:

- los registros hacia la derecha de la línea son positivos
- los registros hacia la izquierda de la línea son negativos



Más que los valores de la medición, lo importante es la deflexión relativa entre una capa y otra.

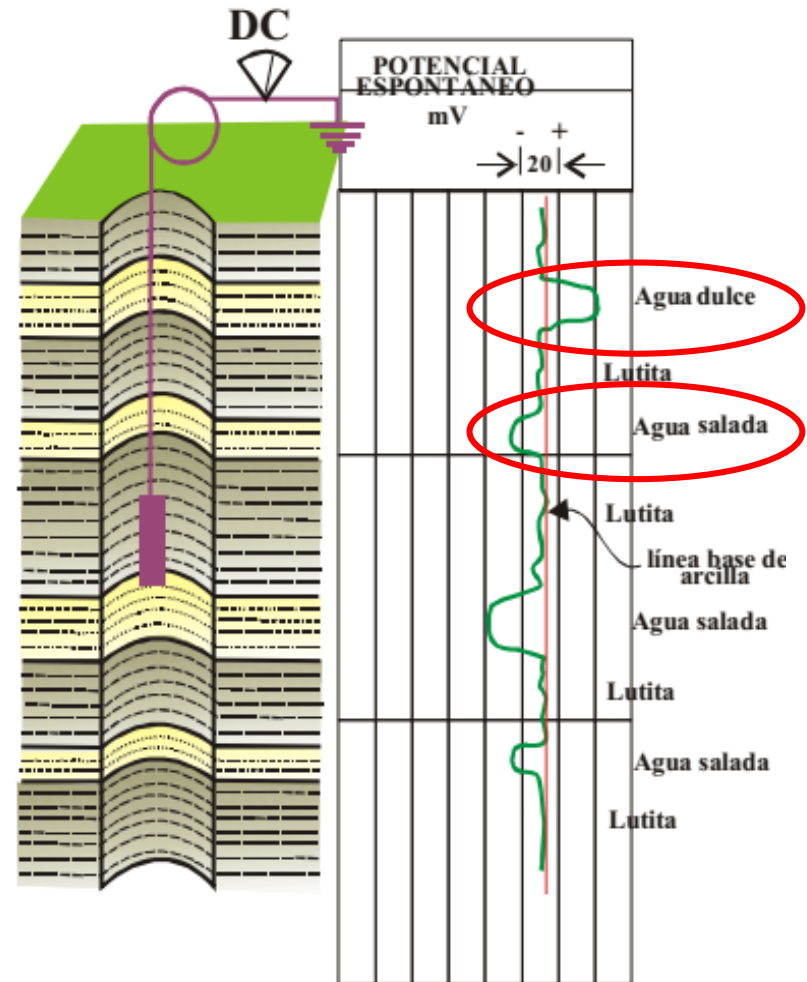
El perfil de potencial espontáneo da una idea cualitativa de si el agua de formación es de mayor o menor salinidad con respecto al lodo de perforación.

Por lo tanto, es imprescindible medir la **conductividad** del **lodo** para poder analizar el registro de potencial espontáneo.

Desvíos:

- hacia la **izquierda**; agua de formación **más salada** que el lodo
- hacia la **derecha**; agua de formación **más dulce** que el lodo

En caso de que el **lodo** y el **agua de formación** sean de **igual salinidad** la curva de SP no muestra desviación.





# Resistividad (R)

Estos registros miden la resistividad de las capas atravesadas por el pozo. El principio es igual al del método geoelectrico de superficie (se basa en la ley de Ohm).

Lo que cambia es el dispositivo geométrico y por lo tanto la constante.

- Identificar zona saturada y no saturada (posición del NE acuíf. libre)
- Identificar la calidad del agua
- Correlacionar unidades litológicas (combinado con SP o GR) e identificar tipos de acuíferos

La resistividad del sistema fluido-roca (sedimentos) saturada depende de tres factores fundamentales:

- salinidad del fluido intersticial
- porosidad de la roca o sedimentos
- temperatura de ambos (roca-fluido)

Otros factores a tener en cuenta son:

- la mineralogía de los materiales sólidos
- la geometría del espacio poroso.

# Equipo perfilador

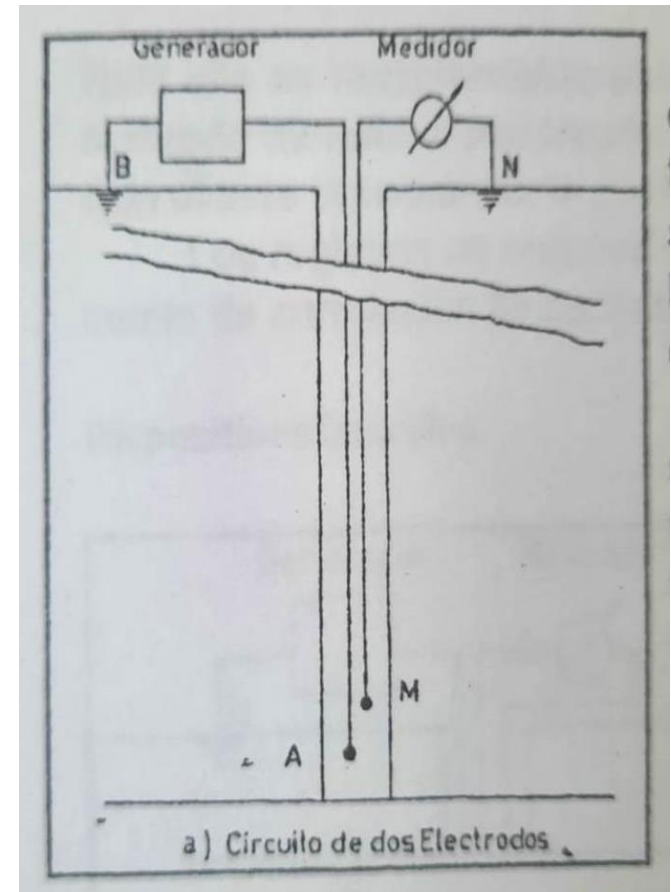


El **dispositivo** que más se utiliza es el denominado **Normal**, donde un electrodo de corriente (**A**) y uno de potencial (**M**) están en la sonda que se introduce en el pozo.

El otro electrodo de corriente (**B**) se dispone en superficie, en la pileta de inyección y el segundo electrodo de potencial (**N**) puede instalarse en superficie, en la boca del pozo, o puede estar en el cable a 15 metros por encima de la sonda.

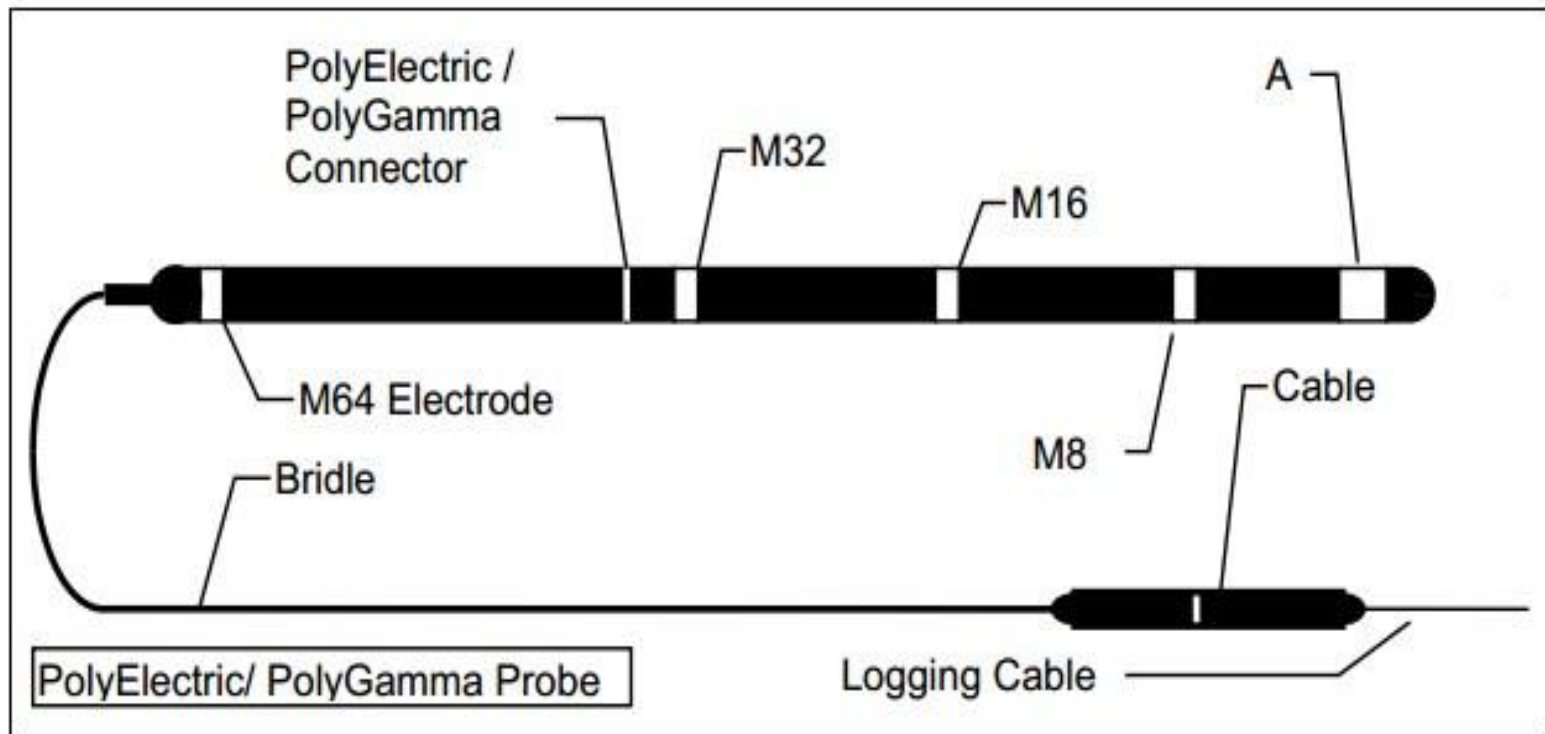
Existen 3 tipos comunes de **resistividad Normal**

- **Corta:** distancia **AM** es de **8"**
- **Media:** distancia **AM** es de **16"** o **32"**
- **Larga:** distancia **AM** es de **64"**



El campo de investigación de una sonda Normal se asume que es una **esfera** de diámetro **2AM**. Por lo que, desde el centro del pozo:

- **Normal Corta** investiga hasta **0,20 m**  
(resistividad de la **zona invadida**)
- **Normal Larga** investiga hasta **1,60 m**.  
(resistividad de la formación sin alterar)



### Electrodes:

Electrode	Functional Name
Bottom electrode	'A' electrode or Current Electrode, and 'R': single point resistance electrode
Second from bottom	'M8' electrode: 8inch normal resistivity measure electrode
Third from bottom	'M16' electrode: 16inch normal resistivity measure electrode
Fourth from bottom	'M32' electrode: 32inch normal resistivity measure electrode
Top electrode	'M64' electrode: 64inch normal resistivity measure electrode; and 'SP': self potential electrode
Cable Armor	'N' electrode: measure reference electrode
Surface Electrode	'B' electrode: current return electrode (Mudplug)

# Rayos Gamma (RG)

## Principio:

Algunos elementos tienen isótopos radioactivos (emiten radiación) naturales muy abundantes en la corteza terrestre:  $^{40}\text{K}$  y en menor medida Th y U

átomo  $^{40}\text{K}$  (inestable)  $\longrightarrow$  átomo estable  $\longrightarrow$  emite radiación gamma

La intensidad de la radiación gamma está generalmente asociada a cambios litológicos

- Identificar litologías.
- Correlacionar unidades litológicas (combinado con SP o con R).

Estos elementos forman parte de

[	Rocas ígneas: mayoría de los silicatos
	Sedimentos: [ se concentra en <b>ARCILLAS</b> y lutitas menor cantidad en arenas y calcáreos

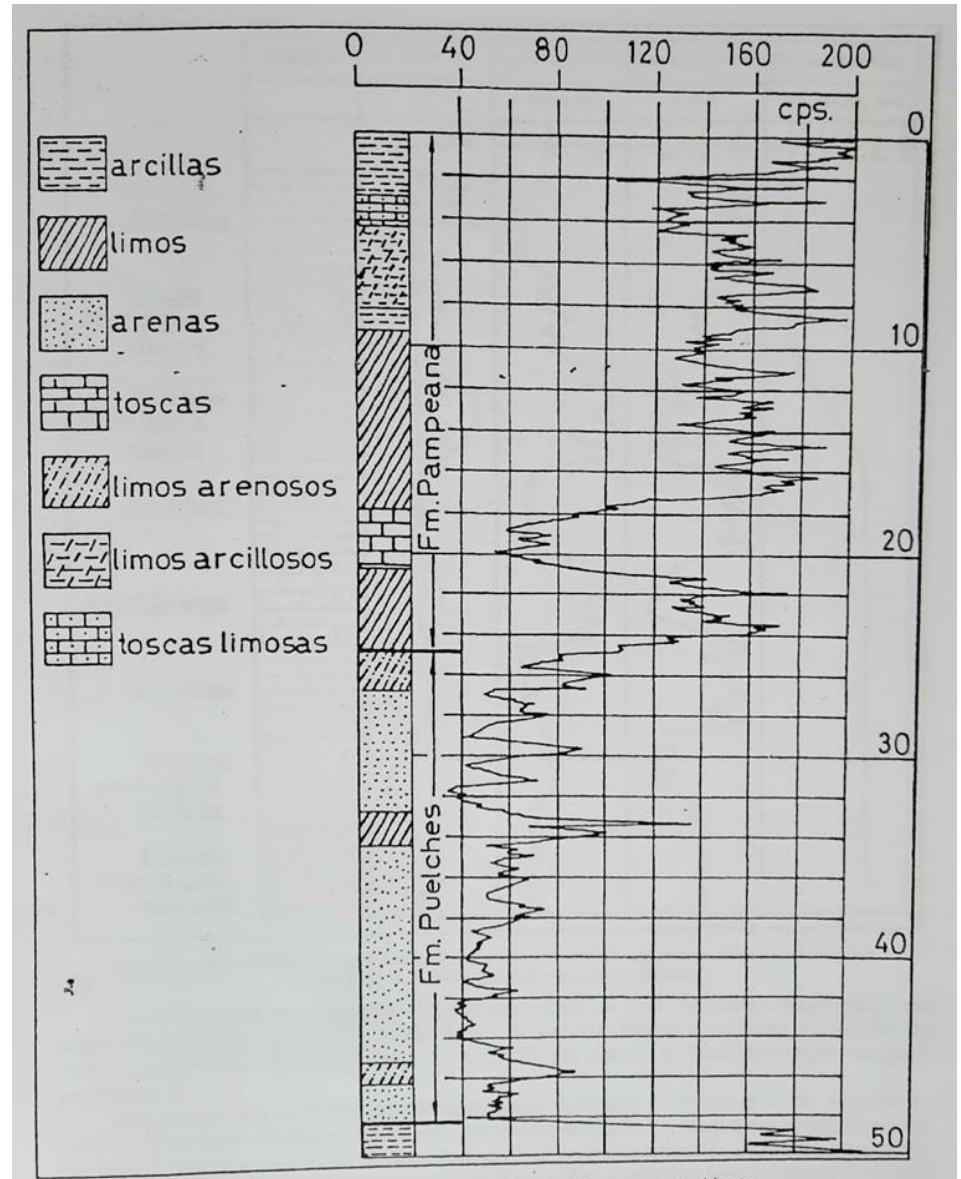
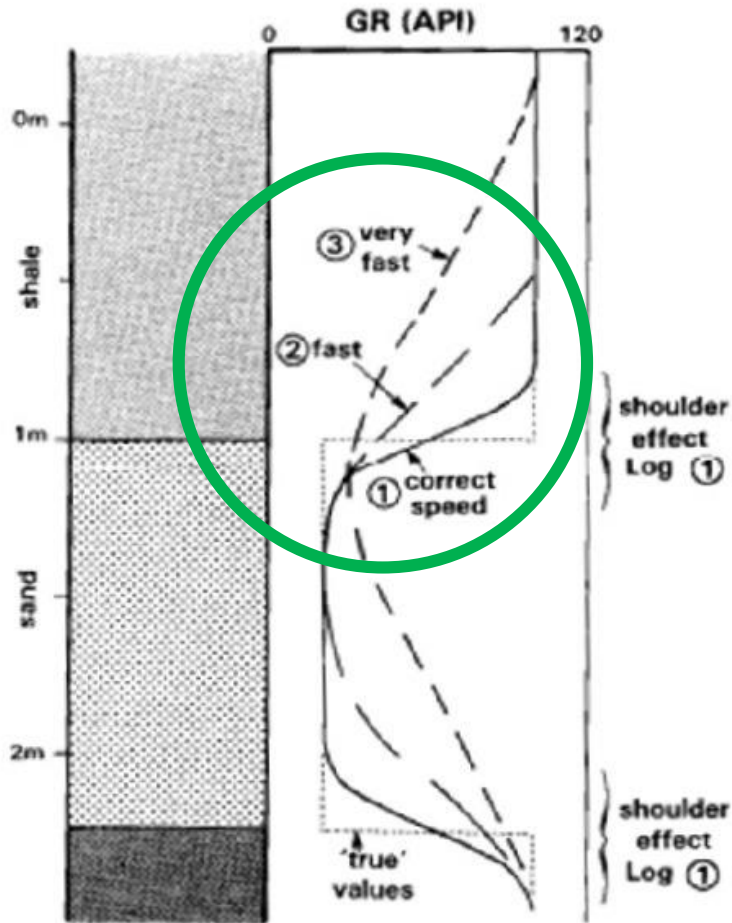
Perfilaje de Rayos Gamma permite discriminar arcillas de otras formaciones

La herramienta registra la radiación gamma espontáneamente emitida por los tres isótopos en las proximidades del pozo.

El nivel de GR se registra en:




**Unidades API** en escala de 0 – 120 API.

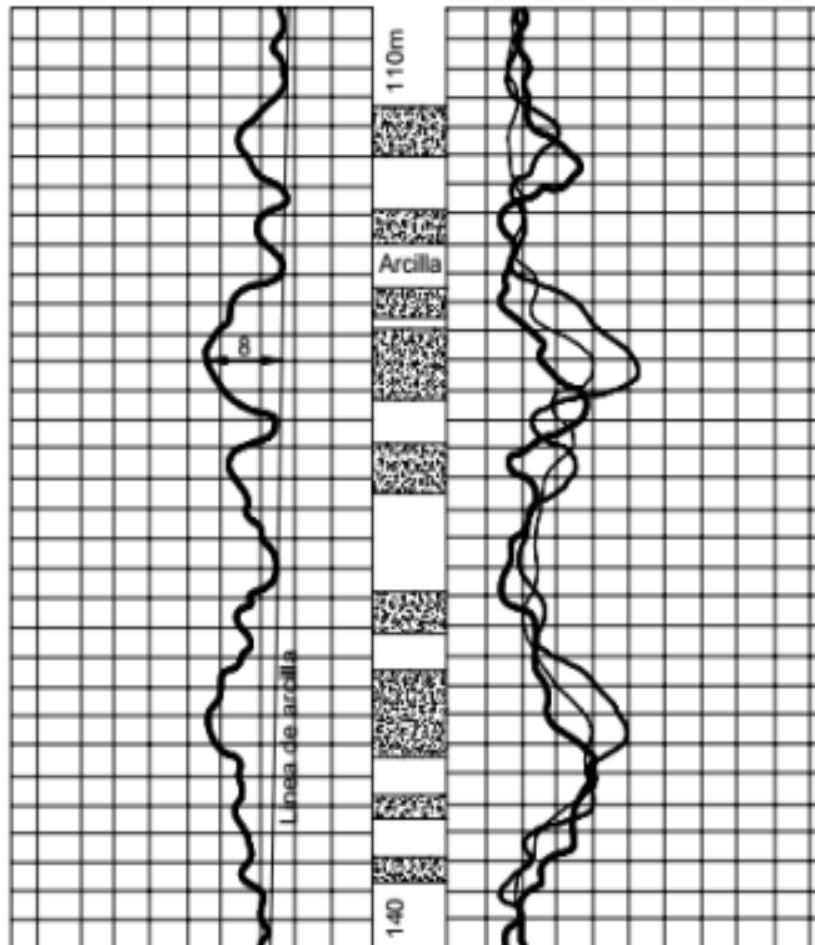
**CPS** (cuentas por segundo)



Los registros de GR tienen el 0 a la izq. y el máximo a la der.

# Interpretación de los perfiles Hidrogeología

SP 40 milivoltios	Prof	Resistividad 50 ohms m <sup>2</sup> /m
-   4   +	Escala 1/200	AM 1 = 16°  50
		AM 2 = 64°  50
		AO = 25' 8"  50



- Análisis **cualitativo**
- Resistivo nos indica datos de litología y calidad agua.
- SP y GR nos indica sobre todo la litología.
- SP generalmente sirve para litologías de grano grueso.
- GR generalmente sirve para litologías finas.

## Modo de trabajar

1. **Se observan las diferencias significativas.**
2. **Se analizan con detalle los sectores donde las curvas se separan.**
3. Se analizan con detalle las escalas y se estudia que tipo de litología según el lugar.

# Efecto de la SALINIDAD

Salinidad Acuífero  $\cong$  Salinidad Lodo  
Pot. acuífero pequeño vs. Pot. arcilla

Salinidad Acuífero  $>$  Salinidad Lodo  
Pot. acuífero más NEG vs. Pot. arcilla  
Curva  $\longrightarrow$  IZQ

Salinidad Acuífero  $<$  Salinidad Lodo  
Pot. acuífero más POS vs. Pot. arcilla

Curva  $\longrightarrow$  DER

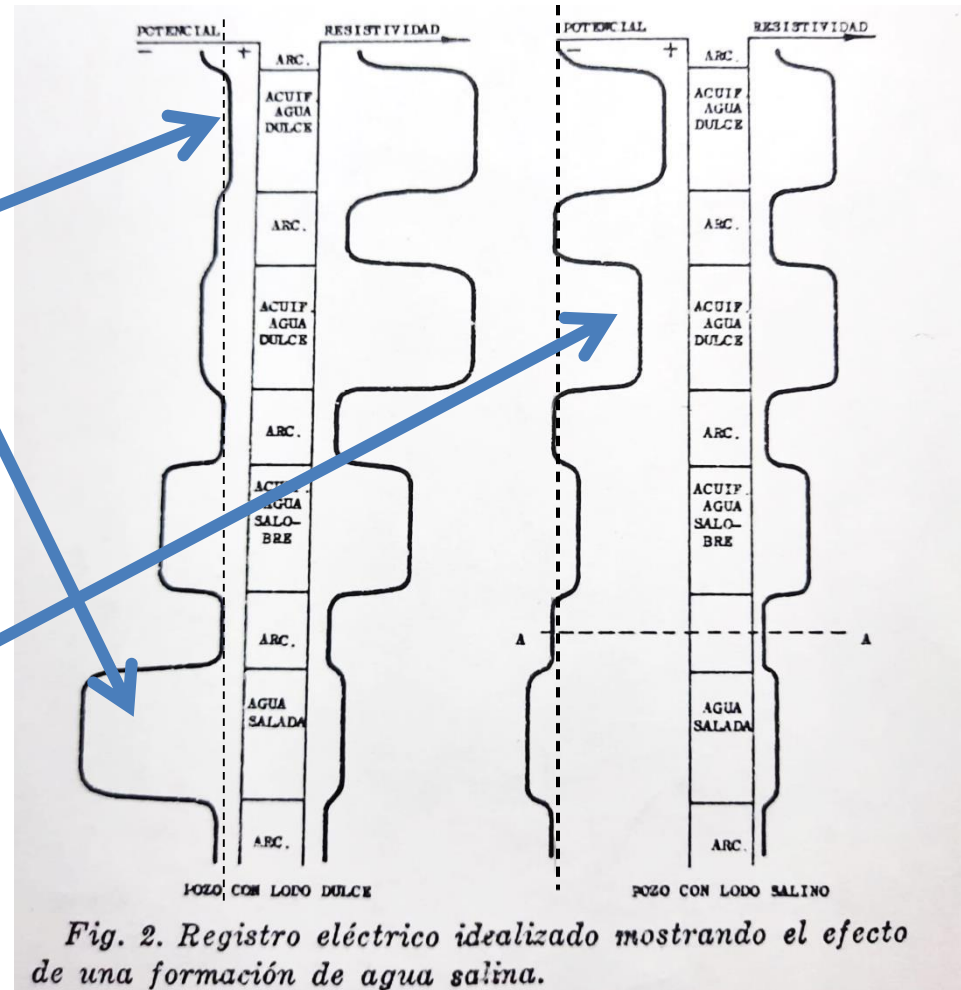


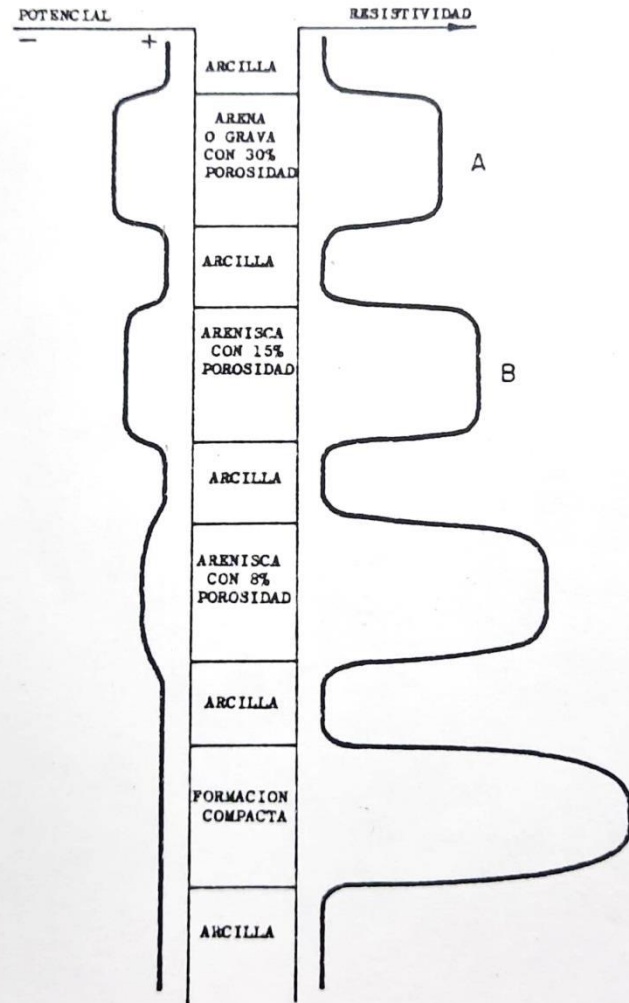
Fig. 2. Registro eléctrico idealizado mostrando el efecto de una formación de agua salina.



# Efecto de la POROSIDAD

A medida que  
AUMENTA la porosidad,  
DISMINUYE resistividad  
AUMENTA potencial

Arenas y Gravas  
tienen  
Menor resistividad  
Mayor potencial  
que  
Areniscas y Calizas

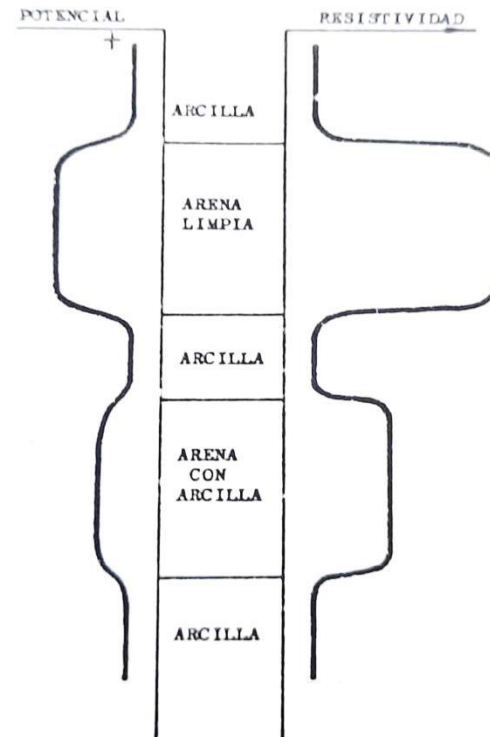


*Fig. 3. Registro eléctrico idealizado mostrando el efecto debido a cambios de porosidad en el acuífero.*

# Efecto del CONTENIDO DE ARCILLA

Arcillas son de BAJA resistividad y BAJO potencial comparadas con un acuífero.

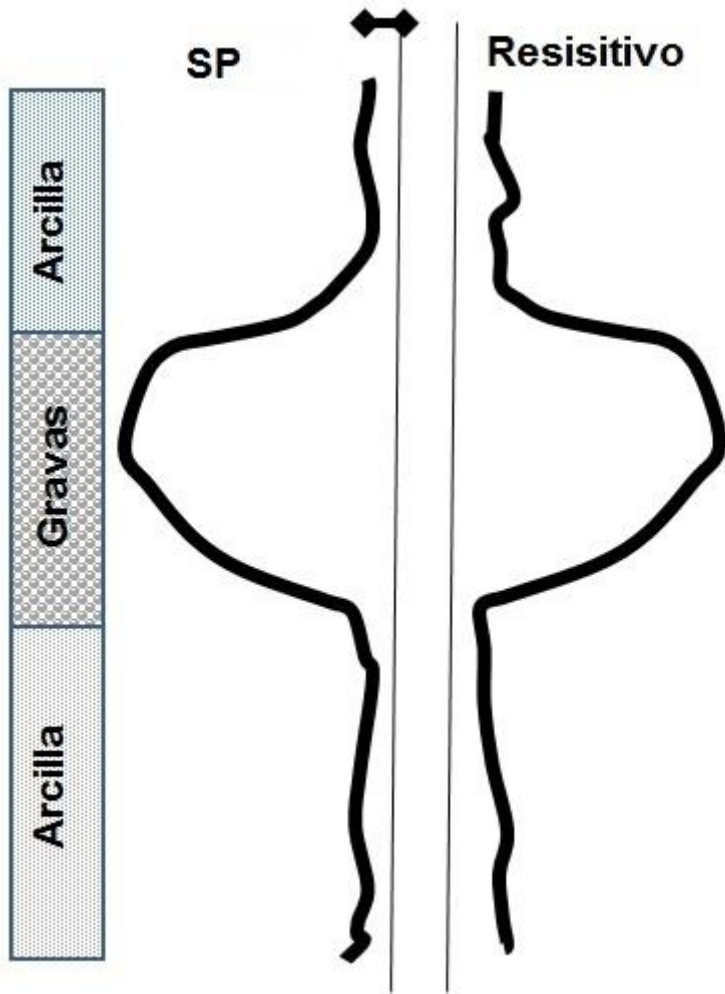
Un acuífero ARCILLOSO tiene MENOR resistividad y potencial que un acuífero LIMPIO



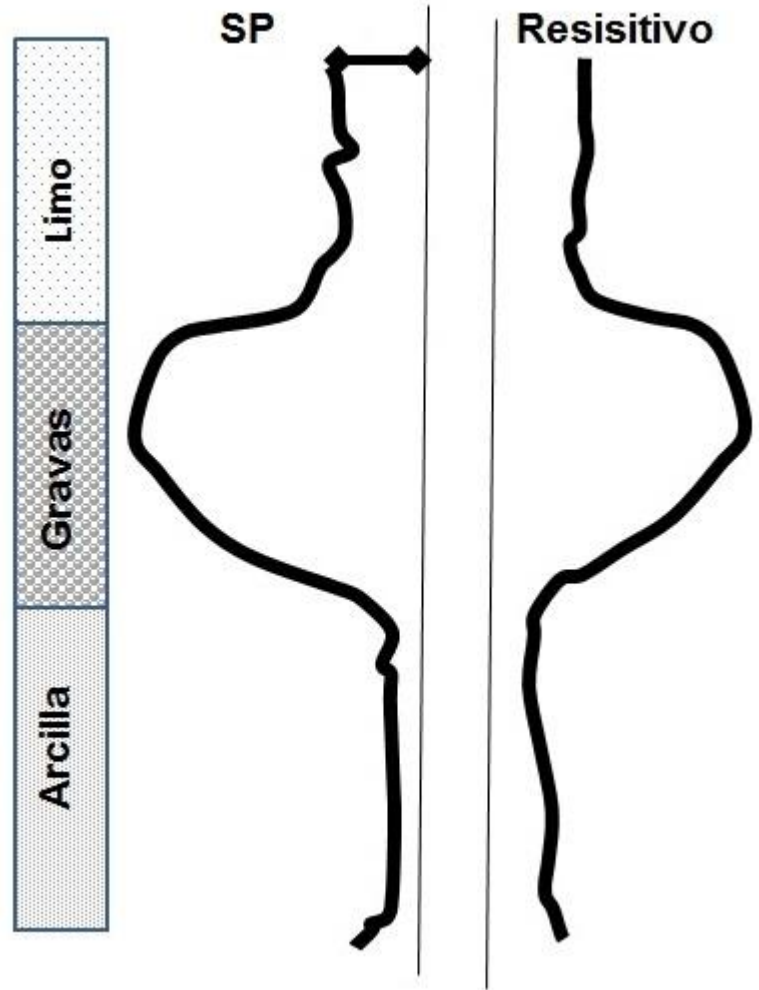
*Fig. 4. Registro eléctrico mostrando el efecto de contenido de arcilla en el acuífero.*

## Efecto de la SATURACIÓN

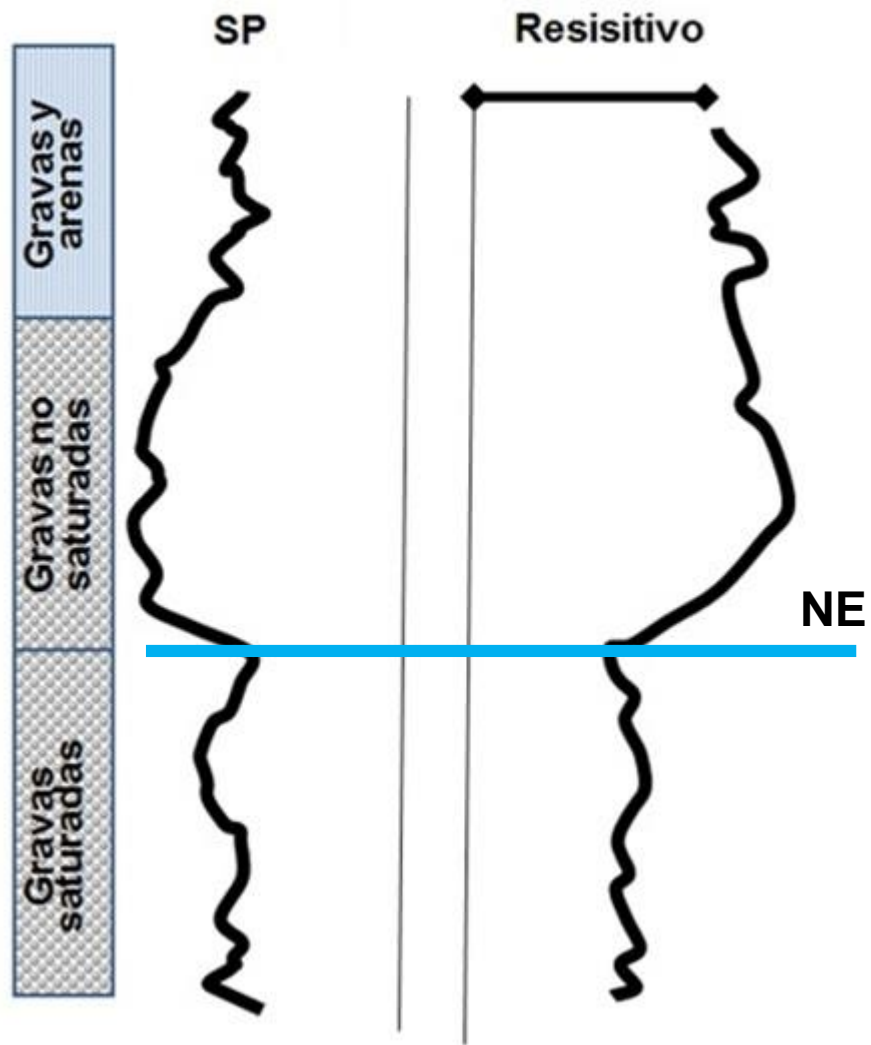
Resistividad formación SATURADA < Resistividad formación NO SATURADA  
A menor SATURACIÓN, menor Potencial  
Resistividad acuífero SECO es similar a una roca compacta



**Acuífero confinado**



**Acuífero semiconfinado**



Acuífero libre

# Actividad 5 C

Interpretar perfilajes de Resistividad, SP y Gamma Ray

## ¿Qué haremos?

- Observar grandes diferencias dentro del perfil
- Analizar con mayor detalle el perfil para definir sectores
- Ver dónde está los estratos de mayor posibilidad de circulación agua
- Ver qué tipo de material estamos analizando aproximadamente y ver tipo de acuífero.
- Observar la posición del Nivel del agua .

## Datos para trabajar

Se presentan varios perfiles para interpretarlos.

Arena 30 – 60

Arcilla 1 – 10

Limo 10 - 15

Bloques, Gravas

No saturadas

Bloques, Gravas

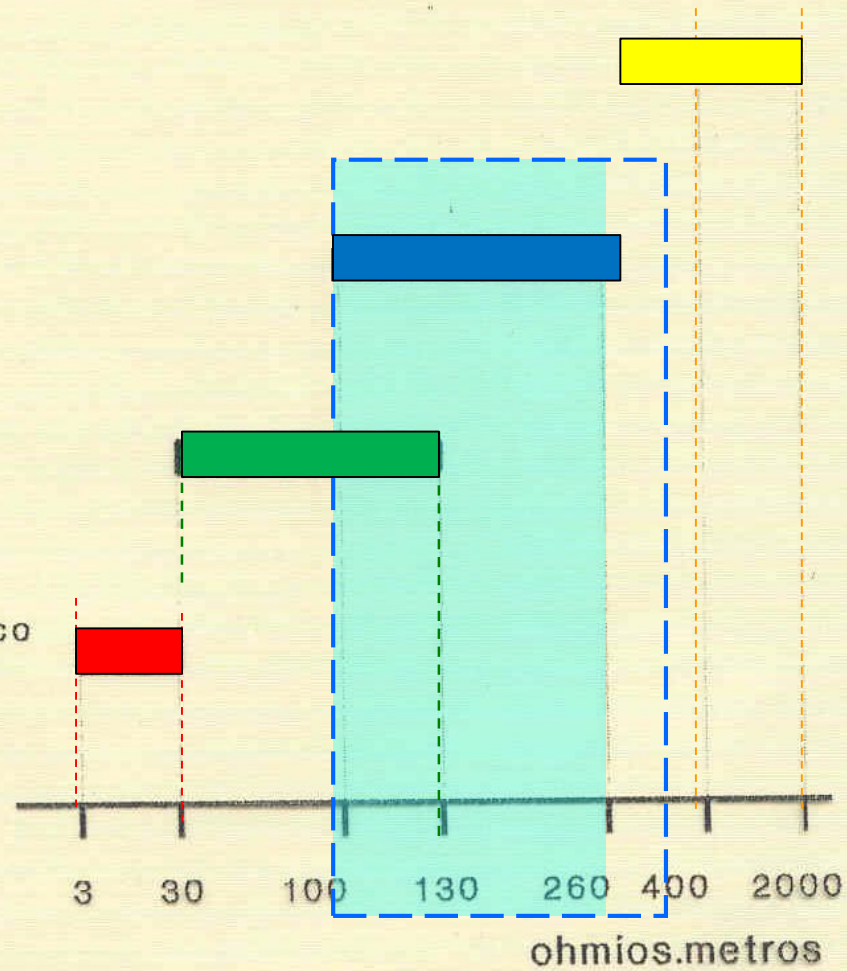
Saturadas

Formación Mogotes

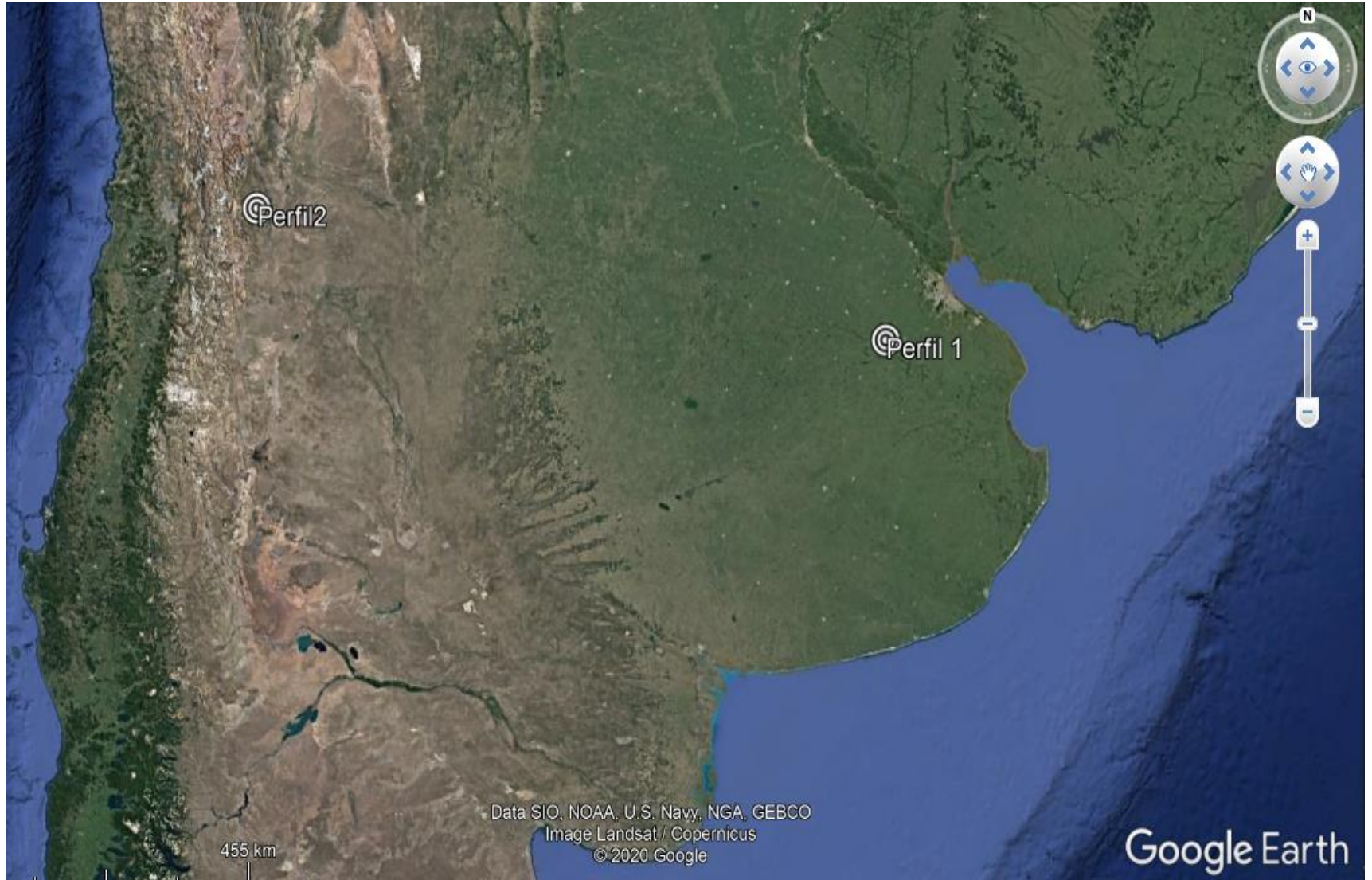
Conglomerados

Basamento Hidrogeológico

Arcilitas, areniscas



# Actividad 5 C



# Datos de la zona del perfil 1

El perfil siguiente corresponde a la zona de Buenos Aires, pertenece al sistema Hidrogeológico Pampeano-Puelche-Paranaense. Podría considerarse un resumen de las distintas formaciones y sus litologías como se presenta en el siguiente cuadro:

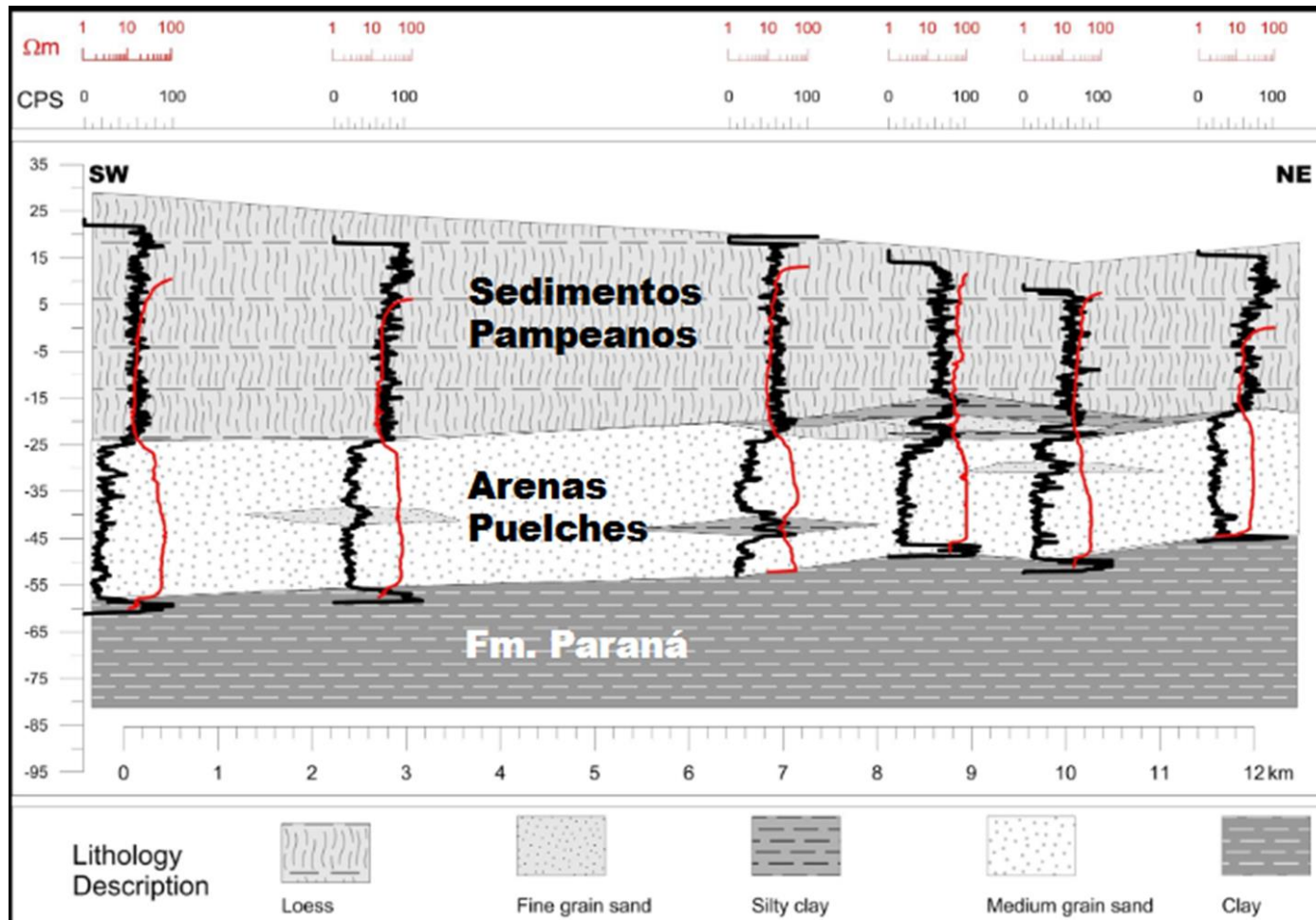
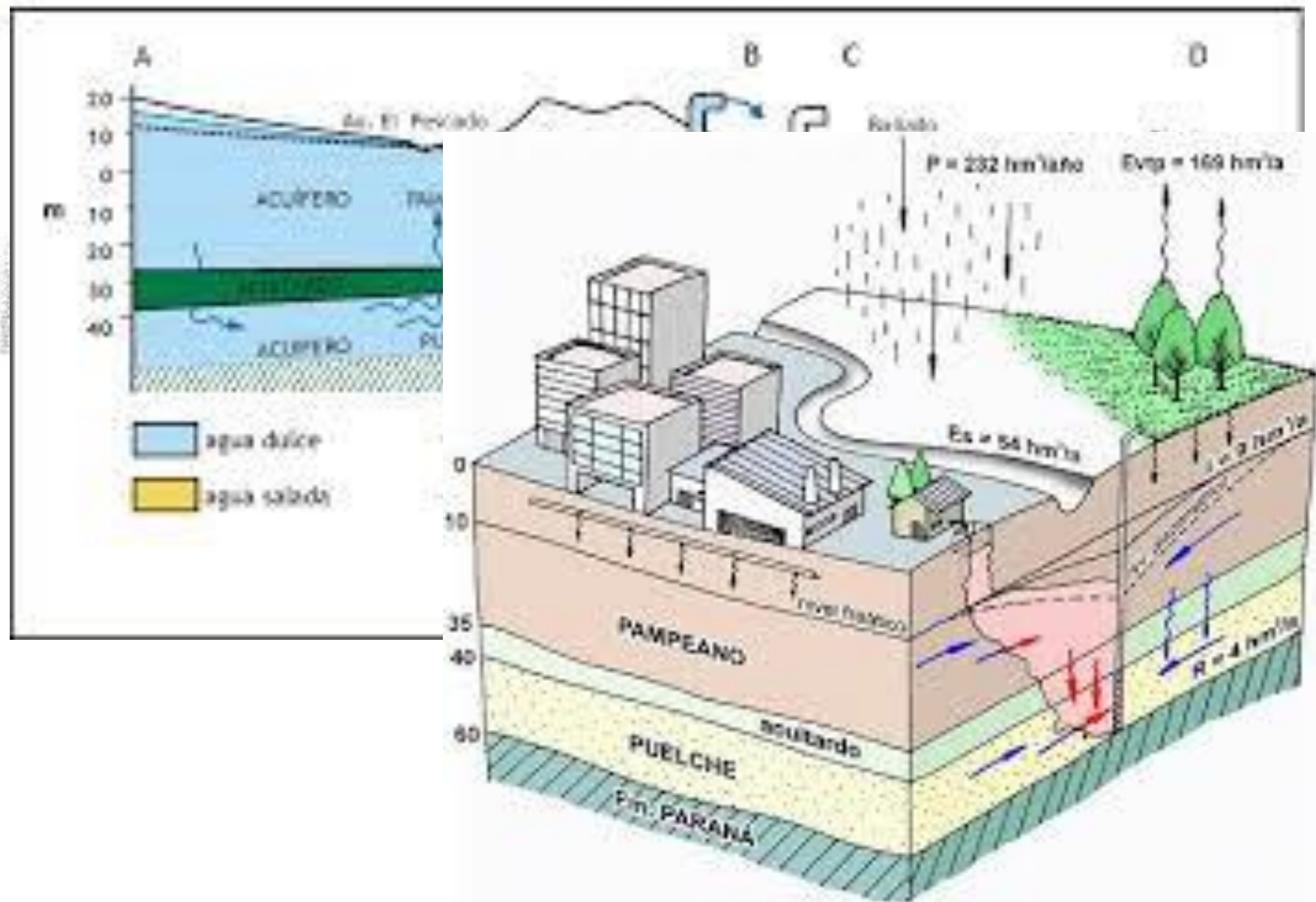
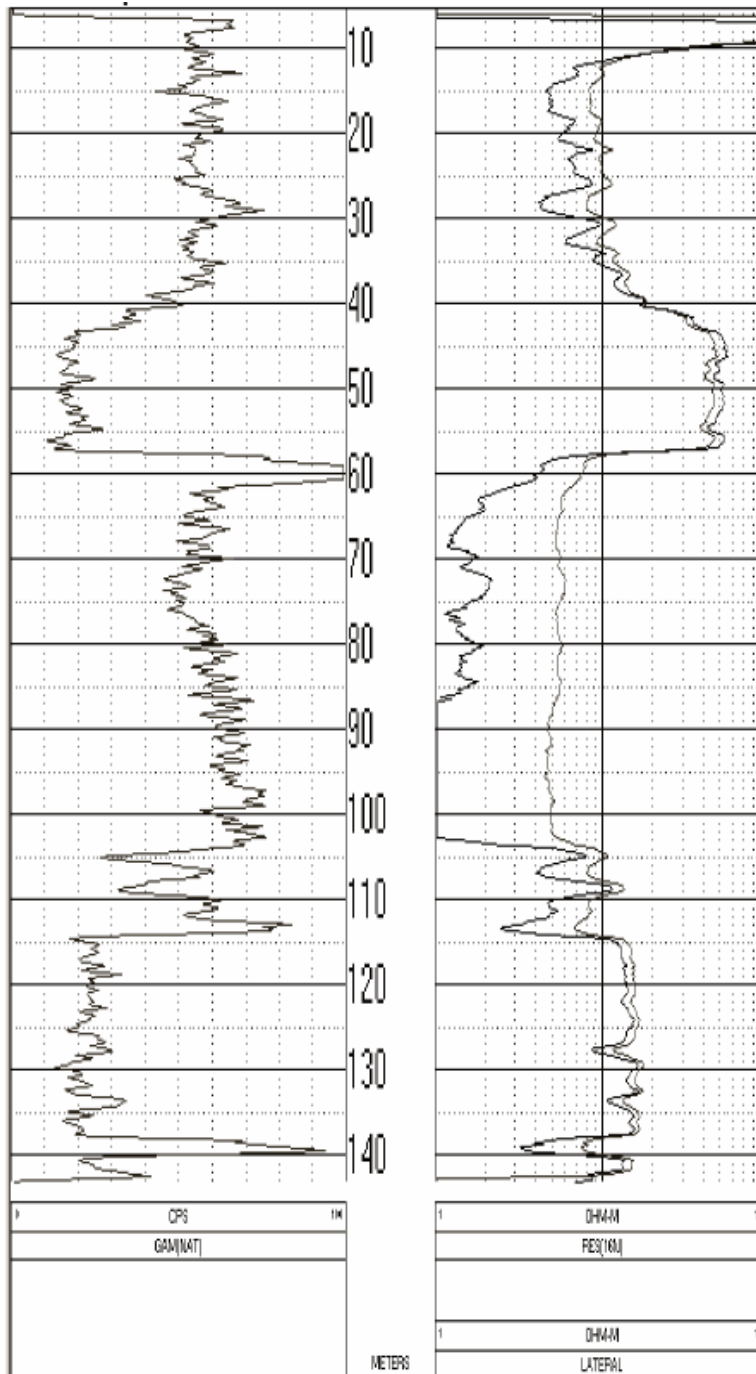




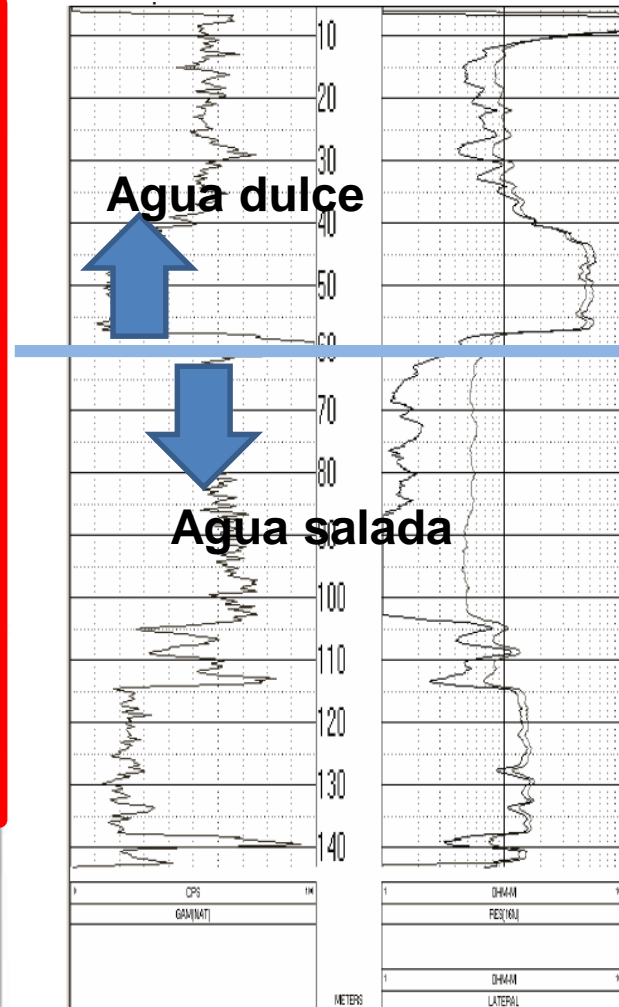
FIGURA 3

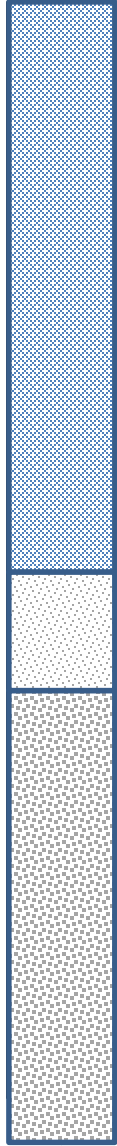
### PERFIL HIDROGEOLOGICO



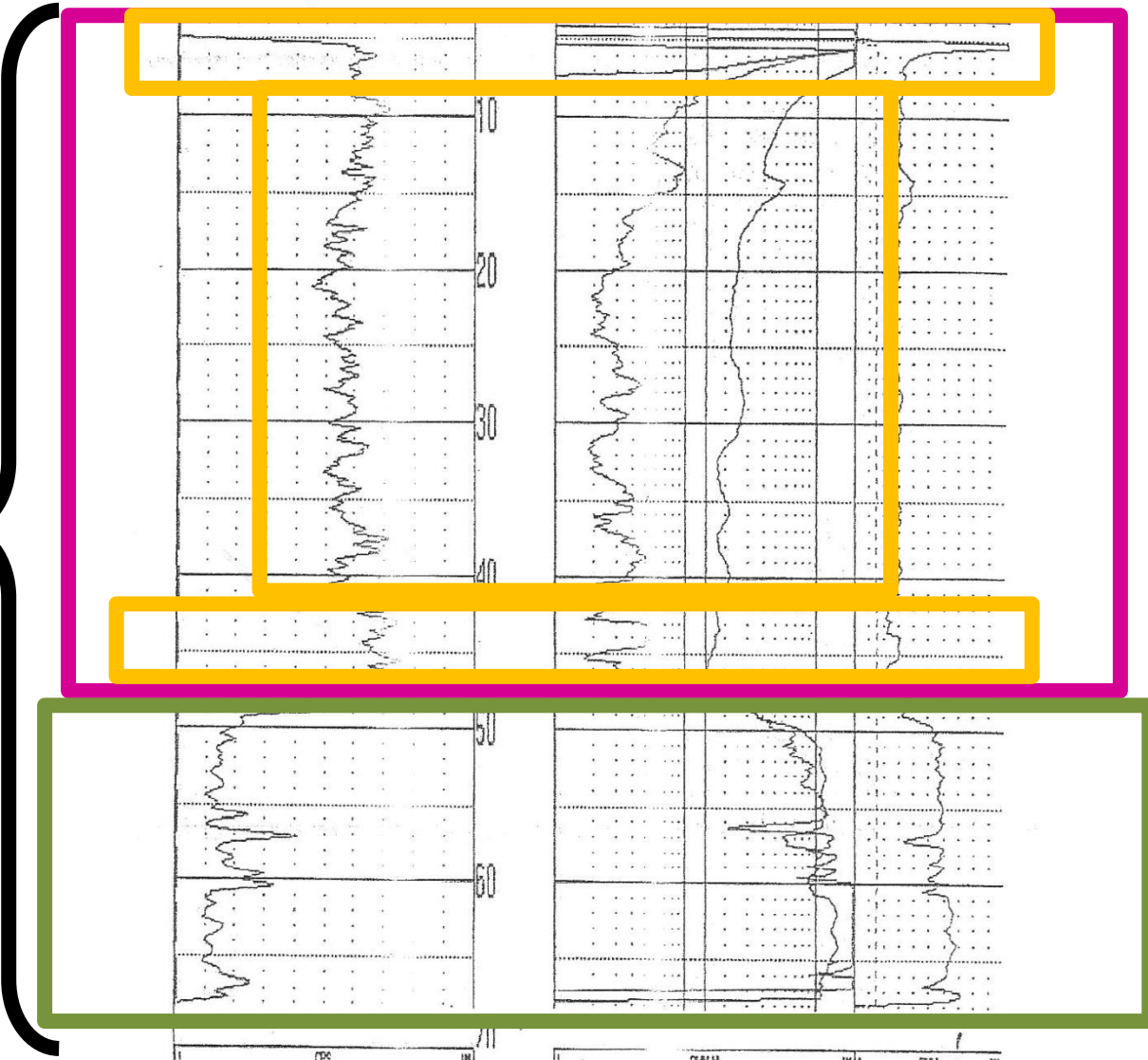


Geología	Características	Edad	Profundidad	Origen
POST-PAMPEANO	Limo arenoso-arcilloso, color verde grisáceo.	Pleistoceno Superior - Holoceno	Variable	Marino, fluvial y lacustre
PAMPEANO	Limo arenoso, pardo rojizo con intercalaciones calcáreas de nódulos o estratiformes (tosca).	Pleistoceno Medio - Superior	0 - 44 m	Eólico y fluvial
	Limo arcilloso.			
FORMACIÓN PUELCHES	Secuencia de arenas cuarzosas, finas a medias de coloración pardo amarillenta. Presenta estratificación gradada y se toman mas limos hacia los niveles superiores.	Plio - Pleistoceno	44 - 63 m	Fluvial
FORMACIÓN PARANÁ	Arcillas plásticas gris azuladas y verdosas. Niveles inferiores arenosos a conglomerádicos.	Mioceno Superior	63 - 277 m	Marino
FORMACIÓN OLIVOS	Arcillas limosas pardo rojizas y arena gruesa. Arcillas y limos con intercalaciones de yeso y carbonato de calcio. Conglomerado basal ligados por matriz arenosa.	Mioceno Inferior	277 - 497 m	Eólico y fluvial
BASAMENTO	Gneis graníticos.	Pre-Cámbrico	497 m	Metamórfico





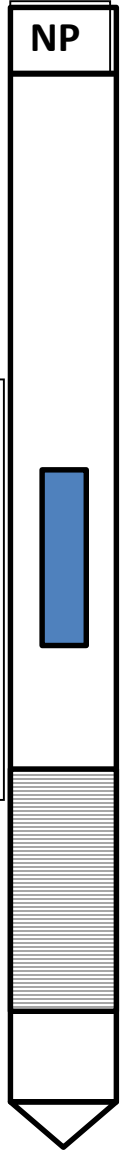
Descripción de los materiales

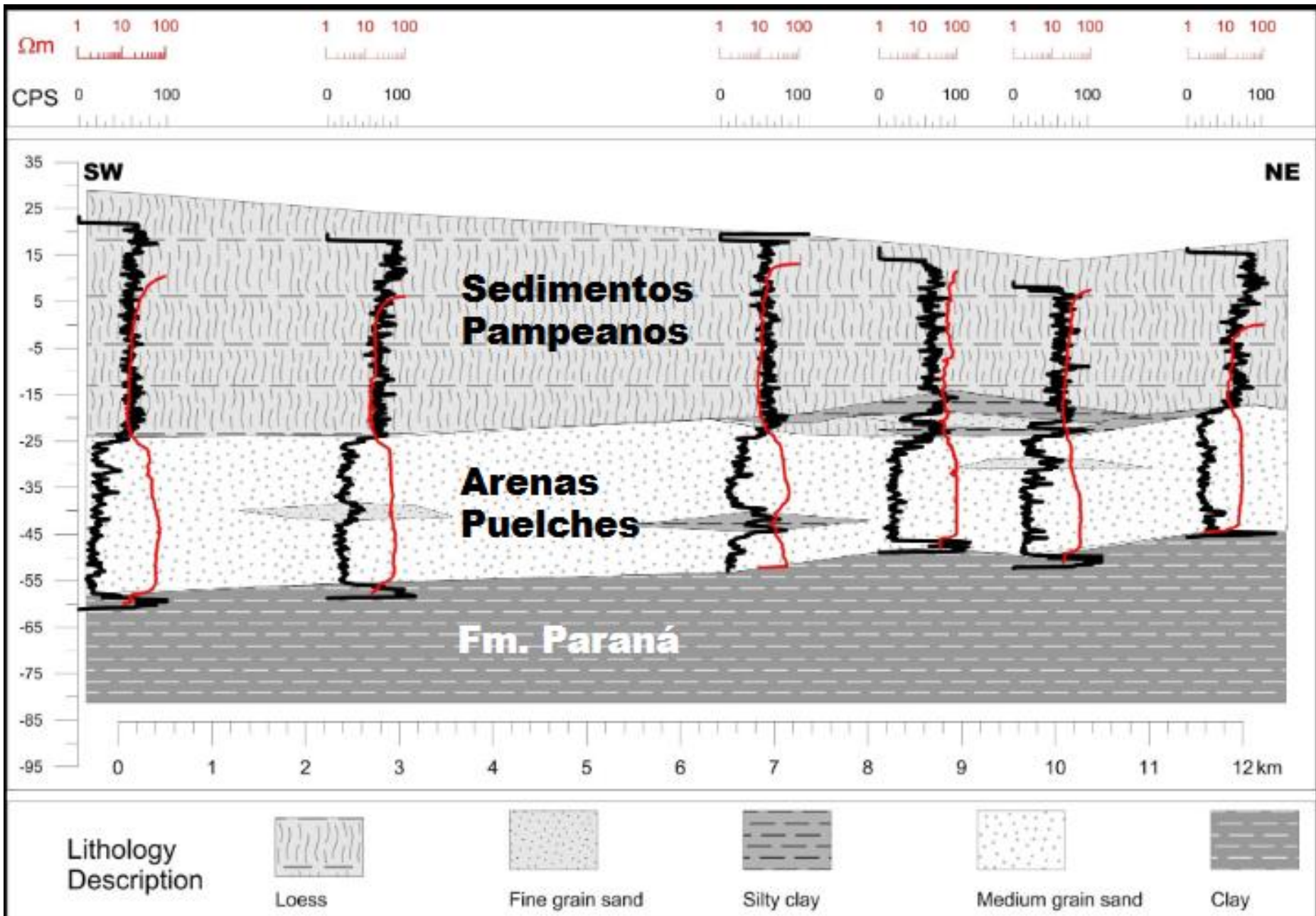


1	CPS	1M
	GAMMATA	
2	MY	1M
	SP	

1	CHHAA	1M	CHH	2M
	RESERVA		RES	
2	CHHAA	2M	CHHAA	2M
	RESERVA		RESERVA	
3	CHHAA	2M		
	LATERAL			

Proyecto del pozos





$\Omega m$  1 10 100

1 10 100

1 10 100

1 10 100

1 10 100

1 10 100

CPS 0 100

0 100

0 100

0 100

0 100

0 100

35

25

15

5

-5

-15

-25

-35

-45

-55

-65

-75

-85

-95

35

25

15

5

-5

-15

-25

-35

-45

-55

-65

-75

-85

-95

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12 km

**Lithology  
Description**



Loess



Fine grain sand



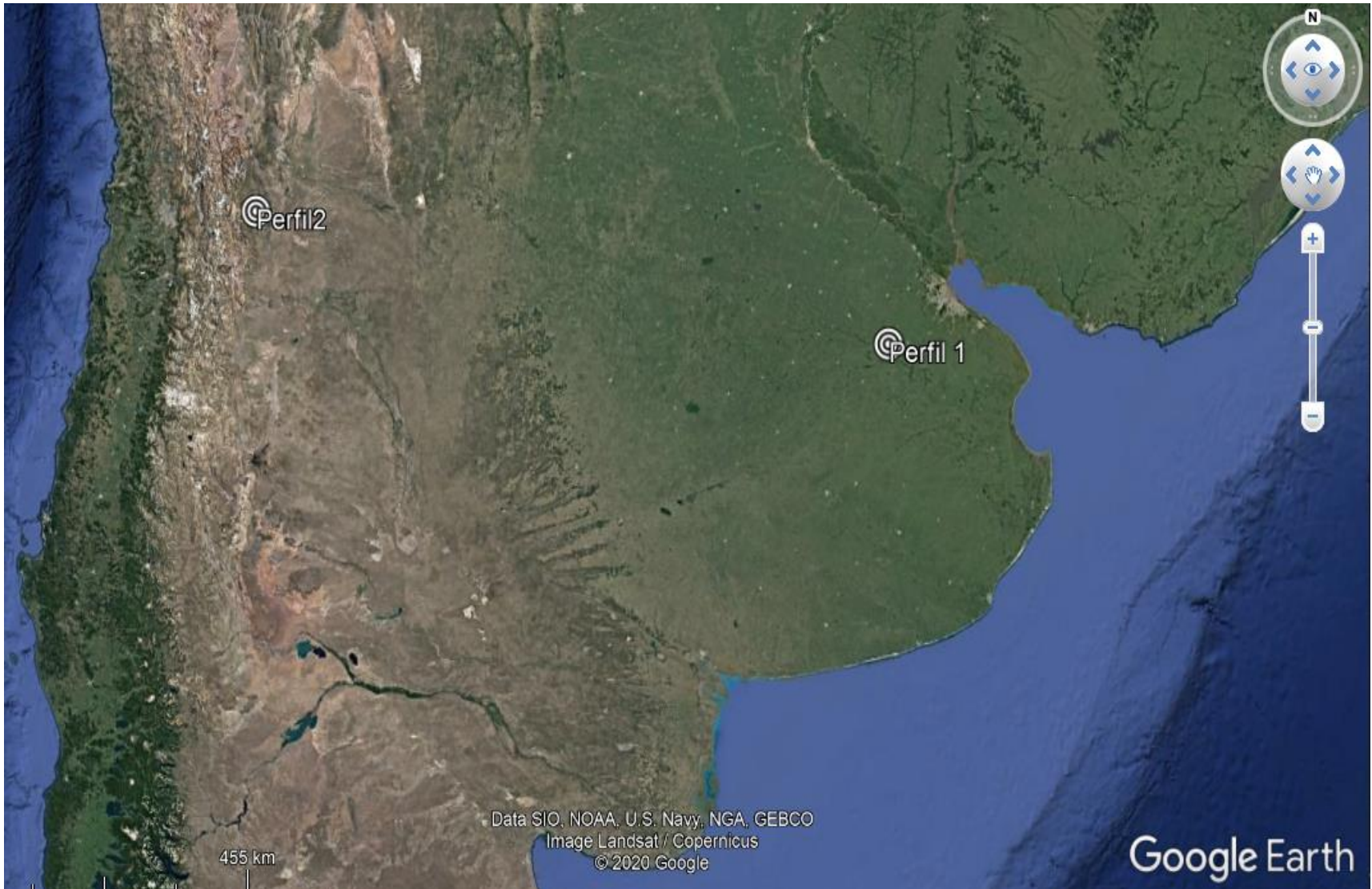
Silty clay



Medium grain sand



Clay



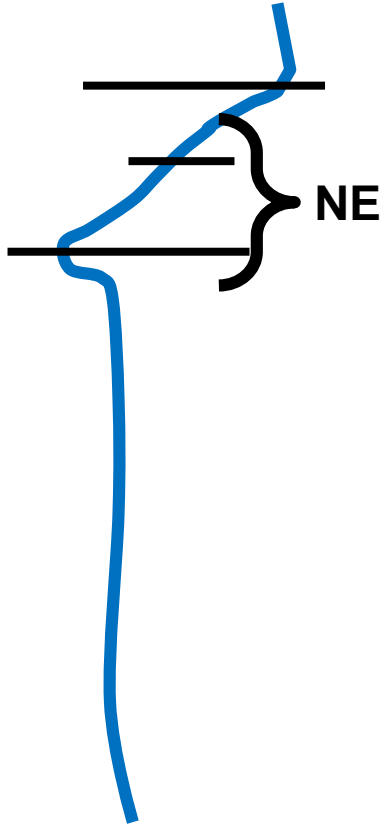
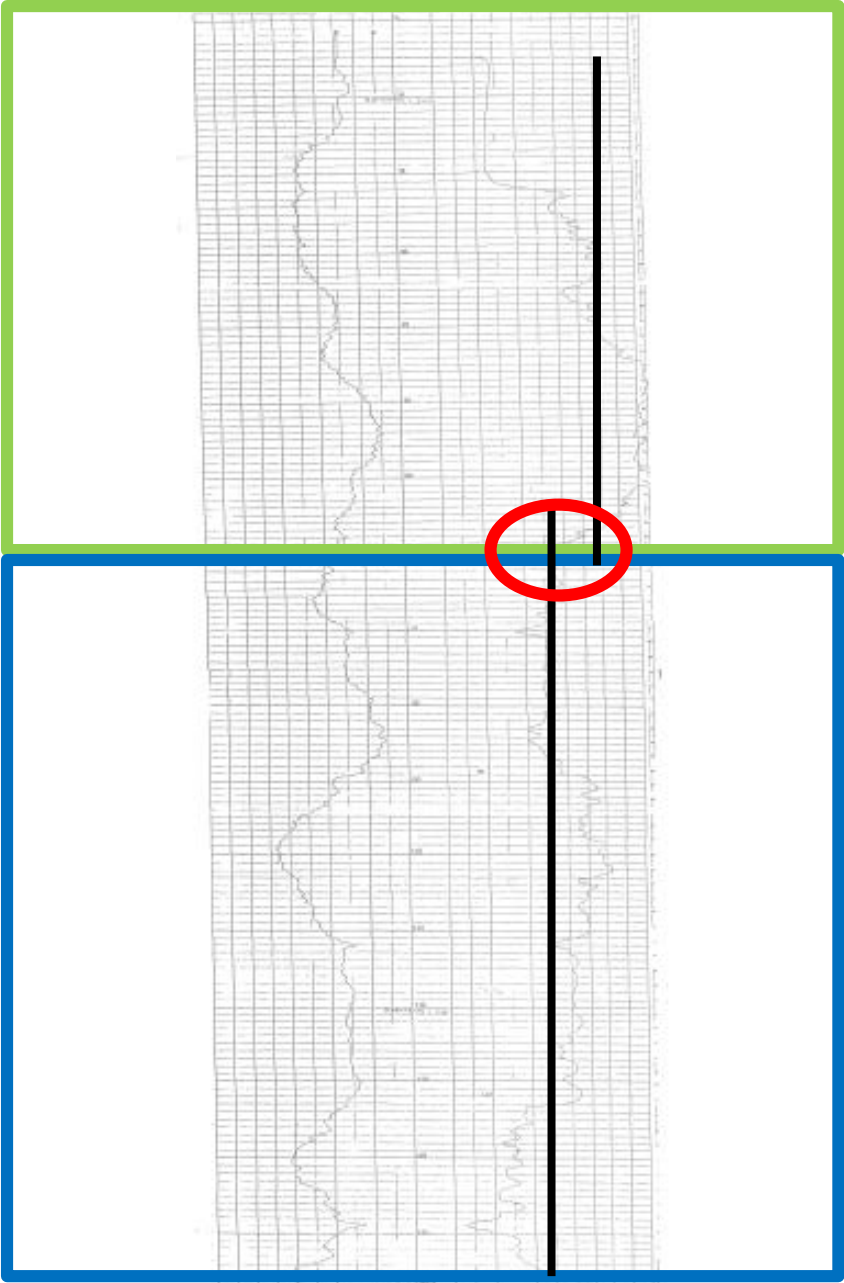
Perfil 2

Perfil 1

455 km

Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO  
Image Landsat / Copernicus  
© 2020 Google

Google Earth



# Acuífero Pampeano-Puelche-Paranaense

