



**Universidad Nacional de Catamarca**  
**Facultad de Tecnología y Ciencias**  
**Aplicadas**



**ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN  
DE PILETAS DE EVAPORACIÓN – MINERA SANTA  
RITA S.R.L. SALAR DEL HOMBRE MUERTO  
DEPARTAMENTO ANTOFAGASTA DE LA SIERRA –  
PROVINCIA DE CATAMARCA**

**SEMINARIO**

**Licenciatura en Geología**



Alumno: Franco Lebian Marcial  
M.U.Nº: 0374

Director: Licenciado Ricardo Rojas

**Junio 2018**



## **AGRADECIMIENTOS**

A mi madre, Ana, por darme la oportunidad de estudiar.

A mi tía Rosa y su familia por brindarme su apoyo en mi etapa de formación.

A mi Director de Seminario Lic. Ricardo Rojas, por haberme guiado y ayudado con su experiencia en este trabajo final

A las empresas Minera Santa Rita S.R.L.y Kgori Punku.

A la Universidad Nacional de Catamarca, en especial a la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, que me proporcionó los medios e instrumentos para formarme profesionalmente.

A mi amigos y compañeros de cursado y de campañas de trabajos de campo: Oscar Silva, José Blas Bosh, Gaspar Narváez, Alan Moreno, Ing. Carlos Regalado y Aldana Sueiro

A mis profesores Margarita Sánchez y Atilio Fabian.

## **DEDICATORIA**

A mi recordado gran amigo “El Tigre Medina”, por haber empezado a formarme en esta profesión, y por haber compartido sus conocimientos



CONTENIDO	
RESUMEN .....	1
CAPÍTULO I: CARACTERISTICAS GENERALES .....	2
1.1 INTRODUCCIÓN .....	3
1.2. UBICACIÓN.....	3
1.2.1. VÍAS DE ACCESO. ....	4
1.3. CLIMA .....	5
1.4. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS .....	7
1.4.1. Objetivo General. ....	7
1.4.2. Objetivos Específicos.....	8
1.5. METODOLOGÍA .....	8
CAPÍTULO II: DESCRIPCION GENERAL DEL AMBIENTE .....	10
2.1. GEOLOGIA REGIONAL .....	11
2.3. GEOLOGÍA LOCAL.....	16
2.4. GEOMORFOLOGÍA .....	19
2.5. HIDROLOGÍA.....	19
CAPÍTULO III: MARCO TEORICO .....	20
3.1. MECÁNICA DE SUELOS .....	21
3.2. LOS SUELOS SON DE DOS ORÍGENES: RESIDUAL Y SEDIMENTARIO. ....	21
3.3. PLANIFICACIÓN DE UN ESTUDIO DE SUELOS .....	22
3.4. TIPOS DE MUESTRAS .....	24
3.5. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS .....	25
3.6. HUMEDAD DEL SUELO .....	25
3.7. GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS.....	27
3.8. LÍMITES DE CONSISTENCIA .....	29
3.9. CLASIFICACIÓN UNIFICADA.....	32
3.10. IDENTIFICACIÓN DE SUELOS EN AL CAMPO .....	32
3.11. COMPACTACIÓN DE SUELOS. ENSAYO PROCTOR. ....	35
3.12. DENSIDAD NATURAL: MÉTODOS DE DETERMINACIÓN.....	36
3.13. ENSAYO DE PENETRACIÓN STANDARD (SPT).....	38



3.14. RESISTENCIA AL CORTE DE LOS SUELOS. ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE. ENSAYO TRIAXIAL .....	41
3.15. SELECCIÓN DE LOS MATERIALES PARA TERRAPLENES .....	43
3.15. COMPACTACIÓN DE SUELOS.....	45
3.17. NIVEL FREÁTICO .....	50
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA .....	51
4.1. METODOLOGIA DE TRABAJO .....	52
4.2. PRIMERA ETAPA.....	52
4.3. SEGUNDA ETAPA .....	52
4.3.1. TRABAJO DE CAMPO .....	53
4.3.1.1. CALICATAS .....	53
4.3.1.2 DENSIDAD NATURAL: MÉTODOS DE CONO DE ARENA.....	55
4.3.1.3. ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR O SPT .....	56
4.3.1.4. DETERMINACIÓN DE NIVEL FREÁTICO .....	57
4.4. TERCERA ETAPA.....	58
4.4.1. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD NATURAL .....	58
4.4.2. PESO UNITARIO SUELTO.....	59
4.4.3. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.....	59
4.4.4. ESTADOS DE CONSISTENCIA: LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO.....	60
4.4.5. ENSAYO PROCTOR .....	61
4.4.6. RESISTENCIA AL CORTE DE LOS SUELOS FINOS. ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE.....	62
4.5. CUARTA ETAPA .....	63
CAPÍTULO V: RESULTADOS ALCANZADOS .....	64
5.1. RESULTADOS OBTENIDOS.....	65
5.2. ESTRATIGRAFÍA .....	65
5.3. DENSIDAD NATURAL.....	87
5.4. DENSIDAD RELATIVA .....	88
5.5. ENSAYOS DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR O SPT .....	90
5.6. ANGULO DE FRICCIÓN Y COHESIÓN DE LOS SUELOS .....	90
5.7. CÁLCULO DE CAPACIDAD DE CARGA Y TENSIÓN ADMISIBLE .....	91



**ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PILETAS DE  
EVAPORACIÓN – MINERA SANTA RITA S.R.L. – SALAR DEL  
HOMBRE MUERTO DEPARTAMENTO ANTOFAGASTA DE LA  
SIERRA – PROVINCIA DE CATAMARCA**



5.8. NIVEL FREÁTICO .....	92
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	93
6.1. CONCLUSIONES .....	94
6.2. RECOMENDACIONES .....	94
CAPITULO VI BIBLIOGRAFIA .....	96
6.1. BIBLIOGRAFÍA .....	97
CAPITULO VII ANEXOS .....	99
7.1. ENSAYO GRANULOMETRICO .....	100
7.2. ENSAYO PROCTOR .....	148
7.3. ENSAYO COMPRESION SIMPLE.....	152
7.4. ENSAYO DE CONSISTENCIA (LIMITES DE ATTEMBERG) .....	154



## **RESUMEN**

El objetivo de este Seminario fue caracterizar los distintos suelos del área de estudio, y los parámetros geomecánicos de los mismos, a fin de determinar su aptitud para ser utilizados en la construcción de las piletas de evaporación de salmuera enriquecida en litio, de la empresa Minera Santa Rita S.R.L., en el sector Sur de la cuenca oriental del Salar del Hombre Muerto.

El estudio consistió en un mapeo geológico – geotécnico del sector, mediante calicatas de exploración distribuidas en la zona con toma de muestras para ser ensayadas en laboratorio. Se tomaron los datos in situ de: Densidad natural, SPT y cota de nivel freático. De la evaluación de los resultados de los ensayos de laboratorio y campo se determinó la capacidad portante del suelo, marcando el sitio más favorable para la ubicación de las piletas.

Se concluyó el informe con recomendaciones para la construcción de las mismas.

**Palabras claves:** Salar del Hombre Muerto, Piletas de Evaporación, Construcción, Estudios Geotécnicos.



## **CAPÍTULO I: CARACTERÍSTICAS GENERALES**



## **1.1 INTRODUCCIÓN**

El litio es el tercer elemento más liviano de la tabla periódica de Mendeléiev y protagoniza actualmente una verdadera revolución que podría transformar por completo los sectores de la energía y del transporte. Se trata de un metal blanco con características muy electroactivas, es decir, que forma compuestos capaces de almacenar mucha energía por unidad de peso.

En la Argentina, el litio se extrae a través de la evaporación de las salmueras contenidas en piletas presentes en los salares. Se trata de una técnica más económica, que la extracción del mineral de roca. Por otro lado, goza de ventajas medioambientales. En el país las concentraciones en los salares en la Puna de Jujuy, Salta y Catamarca son muy importantes y con un futuro promisorio.

El proceso consiste en depositar la salmuera en piletas construidas con suelos naturales revestidas con membrana geotextil de alta densidad. En dichas piletas se produce la evaporación del agua por acción de la elevada radiación solar, la cual calienta la salmuera y conjuntamente con la acción del viento posibilitan la evaporación del agua de la salmuera logrando así su concentración.

La empresa Minera Santa Rita S.R.L. cuya pertenencia minera se ubica en el extremo oriental del Salar del Hombre Muerto - Departamento Antofagasta de la Sierra - Provincia de Catamarca, requiere determinar un área para la ubicación de las piletas de evaporación. Para ello, se procedió a la realización de calicatas, ensayos in-situ y toma de muestras para ser analizadas en laboratorio. De los resultados se logró caracterizar, clasificar y determinar las condiciones físicas – químicas y mecánicas de los distintos suelos del área explorada. Con esa información se estableció si el sitio elegido por la empresa es apto o no para la construcción de las piletas.

Este estudio se realizó en etapas: trabajo de gabinete, trabajo de campo, ensayos de laboratorio, y procesamiento de resultados.

## **1.2. UBICACIÓN**

El área de estudio se encuentra ubicada en el margen oriental del Salar del Hombre Muerto, al sudeste del Farallón Catal, en el Departamento Antofagasta de la Sierra, Provincia de Catamarca, en la pertenencia minera de Minera Santa Rita S.R.L.. Las coordenadas geográficas de la zona de estudio son las siguientes: 25°27'19.98"S y 66°58'14.83"O a 25°28'25.30"S y 66°57'05.77"O, abarcando una área de 107,5 hectáreas a una altitud promedio de 4.100 msnm en la región de la Puna.(Figura.1)



Figura 1: Área de construcción de piletas, fuente Google Earth.

### 1.2.1. VÍAS DE ACCESO.

Se accede al área de trabajo, partiendo desde San Fernando del Valle de Catamarca hacia el Sur, por Ruta Nacional 38, pasando por la localidad de Chumbicha, hasta empalmar con la Ruta Nacional 60. Por esta ruta se atraviesa la quebrada de la Cébila, y las localidades de Villa Mazán, Aimogasta y Alpasinche de la Provincia de la Rioja, hasta interceptar en la localidad de Cerro Negro con la Ruta Nacional 40. Se toma hacia el norte pasando por la Ciudad de Belén, continuando por la Quebrada de Belén, hasta el paraje denominado El Eje, allí se gira a la izquierda, por la Ruta Provincial N° 36, para transitar por las localidades de Puerta de Corral Quemado y Villa Vil donde cambia de denominación a Ruta Provincial N° 43 para llegar, a la Cuesta de Randolpho. Continuando por la misma ruta, se ingresa al departamento Antofagasta de la Sierra, se atraviesa la localidad de El Peñón y pasando la cabecera departamental, se recorren 80 km hacia el norte y se ingresa al Salar del Hombre Muerto. (fig. 2).

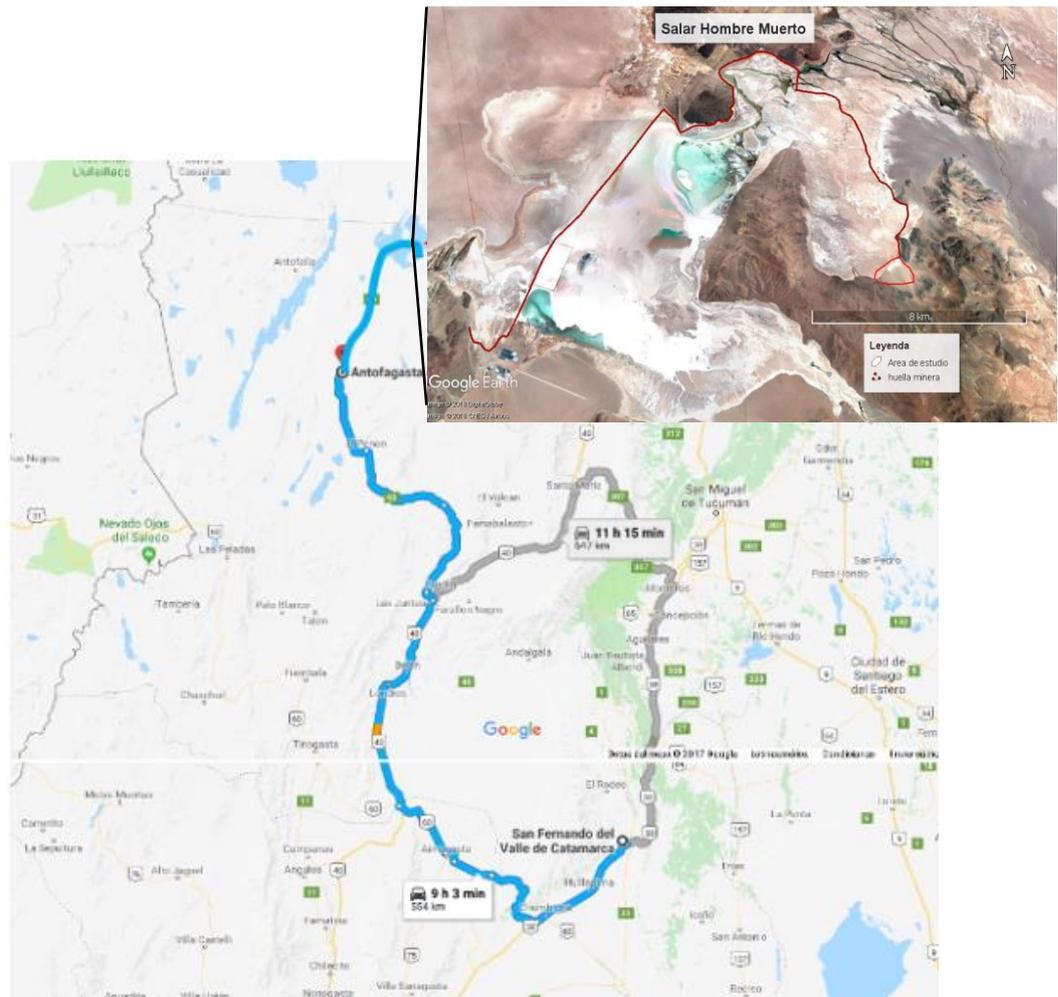


Figura 2: Vías de acceso, fuente: Google Earth y Google Maps.

### 1.3. CLIMA

El Salar del Hombre Muerto, al igual que el resto de los salares que se ubican en el borde oriental de la Puna Austral, pertenecen a una región con particulares condiciones climáticas debidas al aislamiento por la topografía y altura sobre el nivel del mar. Las cordilleras al oeste y oriente frenan el ingreso de aire húmedo, siendo escasas las precipitaciones. Entre estos cordones se encuentran valles elongados en sentido meridiano, en cuyas partes más bajas se forman lagunas y salares.

El clima Árido Andino Puneño es el imperante en la zona de interés.

La calidad del aire está influenciada por la altura, intensidad del viento y la baja presión atmosférica, lo que genera un aire muy seco, cargado de partículas (en época de viento) y con marcada deficiencia de oxígeno. Salvo en el invierno y principio de la primavera se puede establecer que para el resto del año un aire limpio, diáfano, fresco permitiendo una óptima visibilidad horizontal.

El viento es un factor predominante en el clima de la Puna, su presencia es notoria durante prácticamente todo el año. En los meses de invierno y principio de la primavera son secos,



fuerres y fríos; alcanzando algunas ráfagas los 100 km/h, que sumado a la altura genera un ambiente muy seco.

Durante el verano el viento sopla a partir del mediodía hasta la tarde, declinando al atardecer y desapareciendo al anochecer. Los vientos durante esta estación son cálidos a frescos y su dirección predominante es O-E y NO-SE.

Las precipitaciones son muy escasas, existen registros de 103.9mm anuales para la Estación San Antonio de los Cobres y 63.8 mm anuales para Salar de Hombre Muerto, distribuidas fundamentalmente en la temporada estival. Las precipitaciones, como granizo o nieve ocurren principalmente en la temporada invernal.

Las temperaturas son muy rigurosas, aún en temporada estival, por efecto de la altitud y de la sequedad atmosférica, con heladas todo el año. La evaporación es intensa, y la humedad relativa baja.

Si consideramos al clima como un conjunto de elementos (temperaturas, precipitaciones, humedad, vientos, etc.) que se extiende por un periodo de observación lo suficientemente largo como para abarcar todas las situaciones atmosféricas que se puedan presentar, debemos caracterizar al clima de la Puna como continental de altura, que permite el desarrollo de desiertos fríos de gran aridez, con discontinuidad de la cobertura vegetal, escasas precipitaciones y la rápida desaparición de la humedad por efecto de la evaporación; por lo que la flora y fauna de la región es escasa.

La zona de estudio se describe como un desierto de altura, de condiciones climáticas extremas para la actividad humana: frío, seco y muy ventoso. atlas catamarca (figura 3)

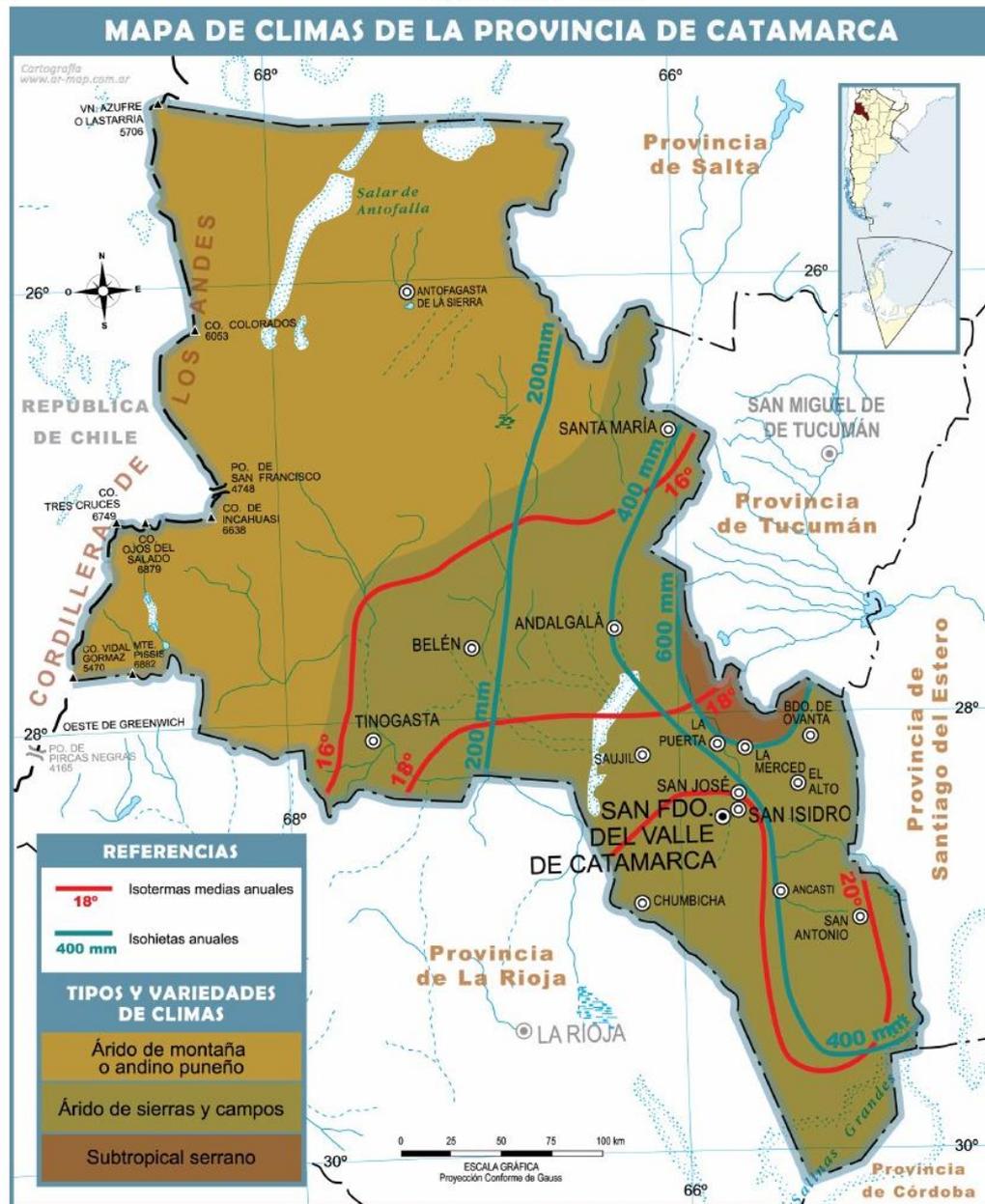


Figura 3: Mapa de Clima, fuente Atlas Catamarca

## 1.4. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS

### 1.4.1. Objetivo General.

Determinar la aptitud portante de los suelos por medio de ensayos geotécnicos, para la construcción de piletas de evaporación, en el emprendimiento minero, de la empresa Minera Santa Rita S.R.L.



### **1.4.2. Objetivos Específicos.**

- Buscar y seleccionar antecedentes bibliográficos y cartográficos de la zona de estudio.
- Reconocer la secuencia estratigráfica del subsuelo de la zona de estudio.
- Obtener los parámetros geo-mecánicos de los distintos materiales encontrados.
- Determinar la capacidad de carga de los distintos suelos.
- Determinar la cota del nivel freático.
- Determinar la probable ubicación de las futuras piletas de evaporación.

### **1.5. METODOLOGÍA**

El estudio geológico - geotécnico se realizó en etapas que incluyen trabajo de gabinete, de campo, de laboratorio y procesamiento de resultados.

Trabajo en Gabinete.

Búsqueda, análisis y selección de antecedentes bibliográficos y cartográficos de la zona de estudio.

- ✓ Carta geológica.
- ✓ Textos de diversos autores de mecánica de suelos.
- ✓ Imágenes satelitales a través de Google Earth y herramientas para mediciones.
- ✓ Software de tipo CAD, y otros de uso gratuito.

Trabajo de Campo.

La labor exploratoria consistió en:

- ✓ Ejecución de 20 calicatas, las mismas se realizaron con retroexcavadora y sus dimensiones fueron de 6 metros de largo, por 3 metros de ancho y una profundidad de 3 metros.
- ✓ Determinación del peso unitario natural, por el método cono de arena.
- ✓ Toma de muestras cada metro o cambio de suelo.
- ✓ Ejecución del Ensayo SPT (penetración estándar), en calicatas.
- ✓ Determinación de la cota del nivel freático.

Trabajos en Laboratorio.

Los ensayos se realizaron en el laboratorio de Vialidad Provincial.

- ✓ Determinación de humedad natural, norma ASTM D-2216
- ✓ Granulometría vía húmeda, norma ASTM D-422



- ✓ Determinación de los límites de Atterberg (límite líquido, límite plástico, índice plástico), norma ASTM D-4318.
- ✓ Ensayo Proctor (densidad máxima y humedad óptima), norma ASTM D-698.
- ✓ Peso unitario seco del suelo.
- ✓ Peso unitario húmedo del suelo.
- ✓ Compresión simple a deformación controlada para suelos finos.

#### Procesamiento de los Resultados, Análisis y Conclusiones.

- ✓ Representación y cálculos de los ensayos efectuados
- ✓ Clasificación de los suelos (clasificación unificada), norma ASTM D-2487
- ✓ Determinación de la densidad relativa.
- ✓ Estimación del ángulo de fricción interna y cohesión de los suelos.
- ✓ Determinación de capacidad de carga y tensión admisible de los suelos a distintas profundidades.
- ✓ Delimitar en un mapa los distintos sectores aptos y no aptos para construcción de las piletas de evaporación.
- ✓ Conclusiones y, recomendaciones.
- ✓ Elaboración del informe final.



## **CAPÍTULO II: DESCRIPCION GENERAL DEL AMBIENTE**



## 2.1. GEOLOGIA REGIONAL

El área de estudio pertenece a la provincia geológica Puna, que fue descrita como una unidad geológica por Brackebusch (1883), quien la denominó Puna de Atacama, nombre que fue reemplazado por el de Puna por Bonarelli (1913-1915) y Keidel (1927).

Es la prolongación del Altiplano Boliviano-Peruano y dentro de Argentina la parte occidental de Jujuy, Salta y Catamarca (Antofagasta de La Sierra y Norte de Belén).

La secuencia estratigráfica de la región está basada en la Hoja Geológica 2566-III, CACHI, y se compone:

### NEOPROTEROZOICO

#### Formación Pachamama

Esquistos y gneises (para y ortogneises) con intercalaciones de calizas y anfibolitas. Fue definida por Aramayo (1986) para incluir las metamorfitas de mediano-alto grado metamórfico que afloran en los contrafuertes orientales del salar del Hombre Muerto. Esta unidad es la más estudiada del basamento metamórfico de la Puna y fue denominada e interpretada de diferentes maneras (Koukharsky, 1984; Omarini et al., 1988; Quenardelle, 1989, 1990a; Mon y Hongn, 1987, 1988a; González, 1992; Hongn, 1992, 1994; Viramonte et al., 1993; Lucassen et al., 1996).

#### Edad y relaciones estratigráficas

Las relaciones estratigráficas de la Formación Pachamama son poco conocidas. Se infieren relaciones tectónicas con la faja de metamorfitas del basamento dispuesta hacia el naciente, a las que cabalgaría mediante una estructura inclinada hacia el oeste. La Formación Pachamama cabalga hacia el oeste a las secuencias ordovícicas de la Formación Falda Ciénega (Mon y Hongn, 1987, 1991; Hongn, 1992, 1994). La estructura interna de la Formación Pachamama muestra una superposición de deformaciones que la distingue nítidamente de los depósitos ordovícicos. A partir de estas diferencias se postuló que representa un basamento preordovícico (Mon y Hongn, 1988a; Hongn, 1992). Las edades del pico metamórfico de 508 Ma en los afloramientos de los contrafuertes orientales del salar del Hombre Muerto (Lucassen et al., 1996).

### ORDOVÍCO

#### Formación Falda Ciénega

Grauvacas y pelitas con intercalaciones de areniscas cuarzosas, lavas dacíticas y areniscas volcanoclásticas, con anquimetamorfismo. Depósitos marinos

Fue definida por Aceñolaza et al. (1976a) para incluir los afloramientos con fósiles ordovícicos que hasta ese momento se asignaban a las Formaciones Caucota y Copalayo del Precámbrico (Turner, 1964).



### Distribución áreal

Se encuentra en los contrafuertes noroccidental, occidental y austral del Salar del Hombre Muerto y en las inmediaciones de Los Nacimientos.

### Pegmatitas, apalitas y lamprófiros

Las rocas filonianas son abundantes en el Complejo Eruptivo. Están representadas por una amplia variedad de diques, alojados tanto en las rocas eruptivas como en la caja metamórfica. Se distinguen diques pegmatíticos, apalíticos y de rocas básicas.

La mayor parte de los diques son de rumbo meridiano, subparalelos a la foliación de las rocas del Complejo Eruptivo. Los diques poseen diferentes grados de deformación, desde intensamente deformadas hasta sin deformación, con estados intermedios entre estos extremos.

## TERCIARIO

### Formación Catal

Conglomerados y areniscas con intercalaciones ignimbríticas y volcanoclásticas. Depósitos fluviales Fue definida por Alonso y Gutiérrez (1986) para designar los conglomerados y piroclastitas que constituyen la parte superior de la secuencia que aflora en Farallón Catal. Allí se ha identificado una potente secuencia de casi 5.000 m de espesor compuesta por capas rojas que culminan en piroclastitas y conglomerados. En la base de esta secuencia se ha datado una ceniza volcánica en  $15,0 \pm 2,4$  Ma y en el techo otra ceniza en  $7,2 \pm 1,4$  Ma (Alonso et al., 1991). De acuerdo con ello se aprecia que esta secuencia sedimentaria es más antigua que las Formaciones Pozuelos y Sijes en el perfil tipo de Pastos Grandes. Los únicos fósiles descubiertos corresponden a icnitas de aves (Charadriformes: *Reyesichnus punensis*), en capas rojas cerca de la base de la secuencia (Alonso et al., 1980). En la península de Hombre Muerto se halla una parte de la secuencia que aflora en la isla de Farallón Catal, principalmente los niveles superiores. También al Neógeno pertenecen los afloramientos clásticos y piroclásticos que se ubican sobre la falda oriental de la sierra de los Ratones. El contacto de base es por falla con rocas del Ordovícico. Hacia el techo la sección se cubre por los depósitos de pie de monte que descienden hacia el salar Ratones. En la quebrada de Puesto Fabian se ha reconocido una secuencia verde, que corresponde a una toba soldada, conglomerádica, con rodados de dacitas con una edad de  $16,7 \pm 0,1$  Ma, a la cual se superponen conglomerados que tienen intercaladas cenizas y un manto de ignimbritas. Una datación en esta última sección a lo largo de la quebrada de Fabian donde se encuentran las mejores exposiciones dio  $13,21 \pm 0,09$  Ma (Marrett *et al.*, 1994), lo que indicaría Mioceno medio. Estas unidades serían correlacionables con parte de la secuencia que aflora en la isla de Farallón Catal, en la cual una ignimbrita en la sección media arrojó una edad de 13 Ma (B.Watson en Alonso y Gutiérrez, 1986, p.43). A la Formación Catal también se asignan, con reservas, las areniscas grises con niveles silicificados y argilizados que se encuentran entre la laguna Caro y el salar del Hombre Muerto. Estas areniscas se apoyan sobre la Formación Falda Ciénega y su espesor es de aproximadamente 150 metros.



## Formación Sijes

Areniscas y pelitas gris verdosas con intercalaciones volcanoclásticas y evaporíticas, principalmente boratos de interés económico Fue definida por Turner (1961, 1964) como la unidad superior del Grupo Pastos Grandes.

En la mina Tincalayu, ubicada al sur de la península del mismo nombre, está constituida por una secuencia compuesta por sal de roca sin base conocida, con un espesor superior a 150 m, sobre la que se apoya un cuerpo de tincal de 30 m de espesor, al que se sobreponen capas rojas limoarcillosas. Todo el conjunto está cubierto por coladas basálticas cuaternarias de la Formación Incahuasi (Aceñolaza et al., 1976c). Una datación en una toba de la base del cuerpo de tincal dio un valor de  $5,86 \pm 0,14$  Ma lo que indica una edad miocena superior para la secuencia sedimentaria clástico-evaporítica de Tincalayu (Alonso, 1986; Alonso et al., 1984b, 1991). El tincal se presenta en capas macizas, vítreas, con cuerpos de kernita y otras quince especies minerales de boro acompañantes.

## Formación Tebenquicho

Dacitas y andesitas

Complejo Volcánico ubicado en la Península del Hombre Muerto

La península del Hombre Muerto está integrada por un conjunto de depósitos piroclásticos y lávicos en su mayor parte de composición dacítica, incluidas en este trabajo en la Formación Tebenquicho. En el interior de uno de los posibles centros de emisión de este complejo volcánico delimitado por una estructura circular, se aloja un domo dacítico. El crecimiento del domo arqueó los depósitos que integran las paredes del centro de emisión, con lo que se infiere podría corresponder a un evento posterior a las emisiones piroclásticas y lávicas iniciales. Las rocas dacíticas que componen el domo están formadas por fenocristales idiomorfos de plagioclasa, biotita y abundante cuarzo levemente rosado inmersos en una matriz vítrea apenas desvitrificada. Hacia el oeste del domo se observa un campo de lavas dacíticas del cual se diferencian por la presencia de cristales menos desarrollados. En la península de Hombre Muerto propiamente dicha, afloran brechas ignimbríticas integradas por bloques dacíticos de tamaños que oscilan desde escasos centímetros a bloques de 0,80 m, junto a pómez que van de 0,5 cm a 10 cm de diámetro. En la parte externa de la península las brechas pasan lateralmente a flujos de bloques y cenizas donde los fragmentos lávicos son de menor tamaño que en la brecha. Las variaciones faciales laterales observadas en este depósito indican su procedencia a partir del centro ocupado por el domo. En las facies distales los flujos están compuestos por una gran cantidad de pómez redondeadas, en algunos casos estiradas o colapsadas, de tamaños menores que en las partes proximales. Los fragmentos líticos accesorios y cognatos, compuestos en su mayoría por cuarcitas y dacitas, poseen formas angulosas a subredondeadas y con tamaños que no superan el centímetro de diámetro, inmersos en una matriz vítrea levemente argilitizada con abundantes fenocristales de plagioclasa, cuarzo y biotita. Contiguos al centro descrito, hacia el sudoeste, se suceden otros tres centros de emisión alineados. Las lavas emitidas por estos aparatos volcánicos

presentan relaciones estratigráficas que indican una migración de la actividad hacia el oeste, acompañada de variaciones en la composición del material emitido hacia productos menos diferenciados que van desde piroclastitas dacíticas hasta lavas andesíticas.



## Andesita Ratones

### Andesitas

Constituye el cerro Ratones que se encuentra entre el salar de Ratones y el salar del Hombre Muerto. Esta unidad está integrada por andesitas cuya ubicación temporal es controvertida. Mientras que Linares y González (1990) obtuvieron una edad de  $30 \pm 3$  Ma (K/Ar), Vandervoort (1993) la dató en 7 Ma (40Ar/39Ar). Si ambas edades fueran correctas, las lavas más viejas representarían eventos volcánicos cenozoicos más antiguos de la Puna.

## CUATERNARIO

### Formación Incahuasi

#### Basaltos

Bajo el nombre de Formación Incahuasi (Aceñolaza *et al.*, 1976c) se engloban las coladas y conos de escorias basálticos y andesítico-basálticos que afloran en el sector sur y sudoeste. Se trata en general de basaltos con fenocristales de olivina y clinopiroxenos y xenocristales de cuarzo y plagioclasa.

Esta unidad está bien representada en la sierra de Incahuasi y bordeando el salar del Hombre Muerto. La edad de estas rocas podría ser extrapolable de una datación de 0,754 Ma realizada en el borde oeste de la península de Tincalayu por Watson (en Alonso *et al.*, 1984b)

### Depósitos aluviales y coluviales

#### Gravas, arenas y arcillas. Barreales

Los depósitos de pie de monte están muy distribuidos a partir de algunos de los relieves mayores y tienen una buena representación en el flanco occidental del salar Ratones y al norte y sur del salar Diablillos. Los cursos fluviales que desembocan en las depresiones dan lugar a abanicos aluviales muy bien definidos. Algunos ejemplos notables se presentan en el borde occidental del salar de Antofalla. Están compuestos por gravas, arenas y arcillas (barreales). Muestran una variación granulométrica bien definida entre las zonas proximales y distales donde generalmente están en contacto con las evaporitas de los salares. También contienen intercalaciones delgadas de tobas.

### Depósitos evaporíticos. Salares

#### Cloruros, boratos, sulfatos y carbonatos

Las depresiones cerradas pequeñas están ocupadas por lagunas (ej. Caro, Diamante, Verde, Ciénaga Redonda, y otras), salitrales (Gallego, Tolar Chico) o barreales, mientras que las grandes cuencas lo están por extensos salares. Entre éstos se destacan Hombre Muerto, Antofalla, Ratones, Diablillos y Tolillar.

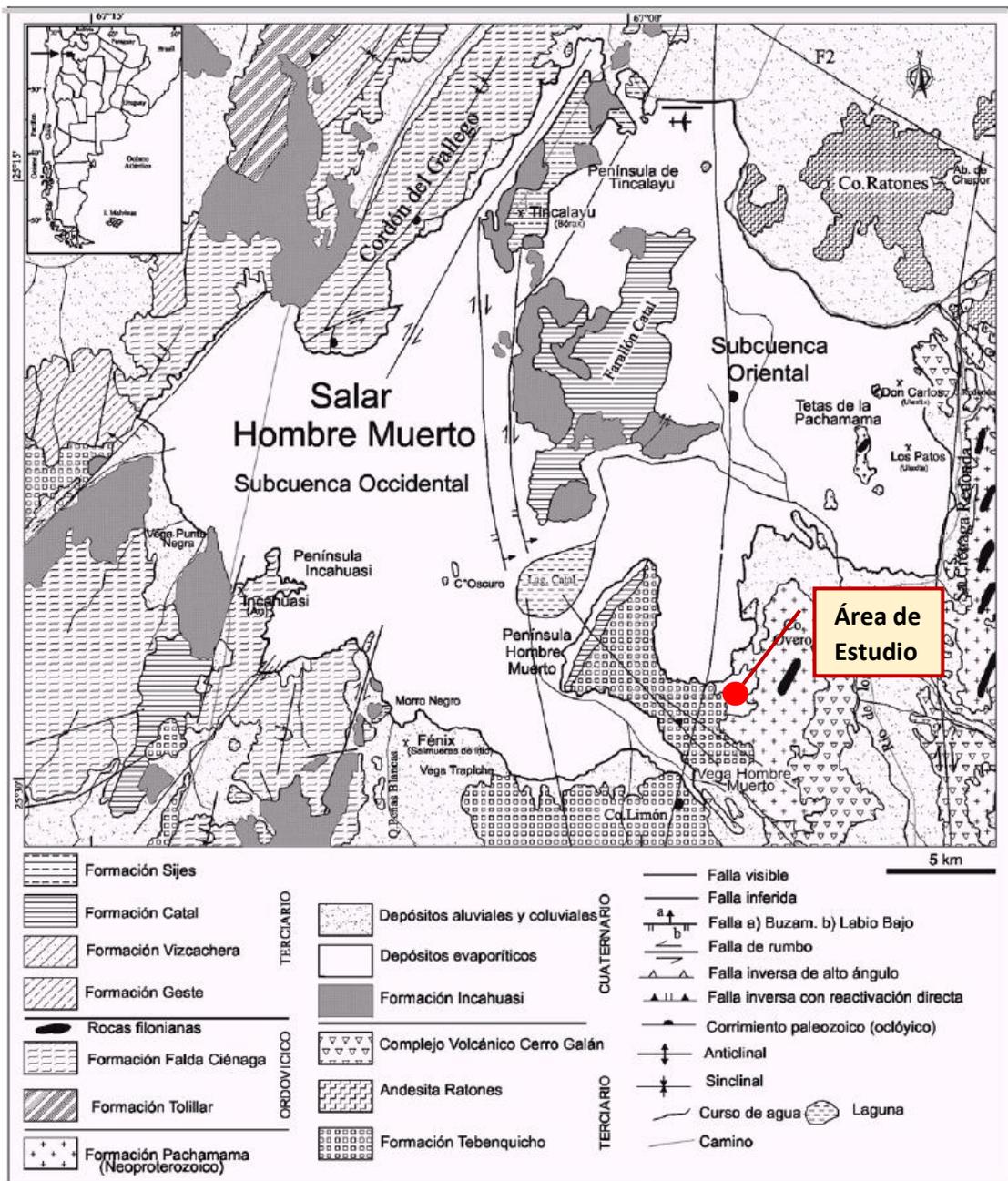


Figura 4: Mapa geológico del Salar Hombre Muerto, fuente Hongn y Seggiaro 2001.

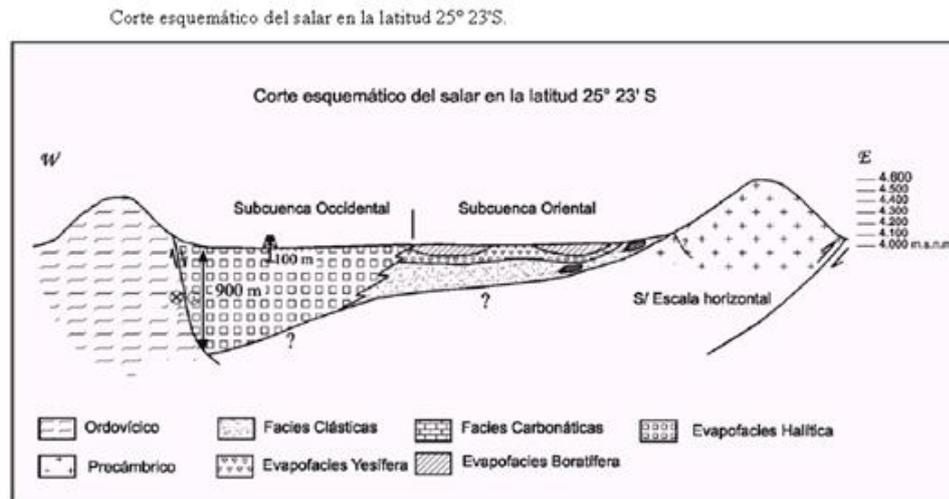


Figura 5: Corte Esquemático del Salar Hombre Muerto, fuente basado en Hongn y Seggiaro 2001

### 2.3. GEOLOGÍA LOCAL

En el área de estudio sólo se reconocieron afloramientos correspondientes a las Formaciones Pachamama, Formación Tebenquincho, Depósitos aluviales, coluviales y los depósitos evaporativos del Salar del Hombre Muerto

#### Roca Metamórfica Fm. Pachamama

La Formación Pachamama reconocida en terreno corresponde a afloramiento de esquistos con venas de cuarzo paralelas a su esquistosidad, que tiene un dip/dip direction de 27/048. Los afloramientos rocosos se encuentran principalmente en colinas y cerros en la zona oriental del área de estudio, los cuales están cubiertos por depósitos coluviales en las laderas y faldas de estas colinas.

En estas rocas se reconocen 2 sets estructurales, uno de dip/dip direction 72/120 y el otro de dip/dip direction 35/080, que generando bloques de 20 a 30 cm.

#### Formación Tebenquincho

Está representada por un conjunto de depósitos piroclásticos y lávicos en su mayor parte de composición dacítica. En la península de Hombre Muerto, afloran brechas ignimbríticas integradas por bloques dacíticos de tamaños que oscilan desde escasos centímetros a bloques de 0,80 m, junto a piedra pómez que van de 0,5 cm a 10 cm de diámetro. En la parte externa de la península las brechas pasan lateralmente a flujos de bloques y cenizas donde los fragmentos lávicos son de menor tamaño que en la brecha. En las facies distales los flujos están compuestos por una gran cantidad de pómez redondeadas, en algunos casos estiradas o colapsadas, de tamaños menores que en las partes proximales.



### **Depósitos aluviales y coluviales**

Los depósitos de pie de monte están muy distribuidos a partir de algunos de los relieves mayores. Los cursos fluviales que desembocan en las depresiones dan lugar a abanicos aluviales muy bien definidos. Están compuestos por gravas, arenas y limos. Muestran una variación granulométrica bien definida entre las zonas proximales y distales donde generalmente están en contacto con las evaporitas de los salares. También contienen intercalaciones delgadas de tobas.

### **Depósitos Evaporativos**

Los depósitos evaporativos corresponden a las rocas del Salar del Hombre Muerto, que abarcan la mayor parte del área occidental del estudio.

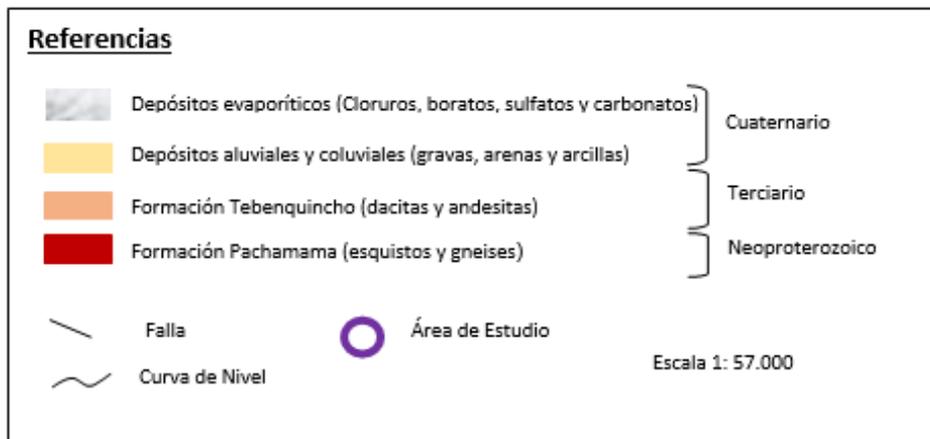
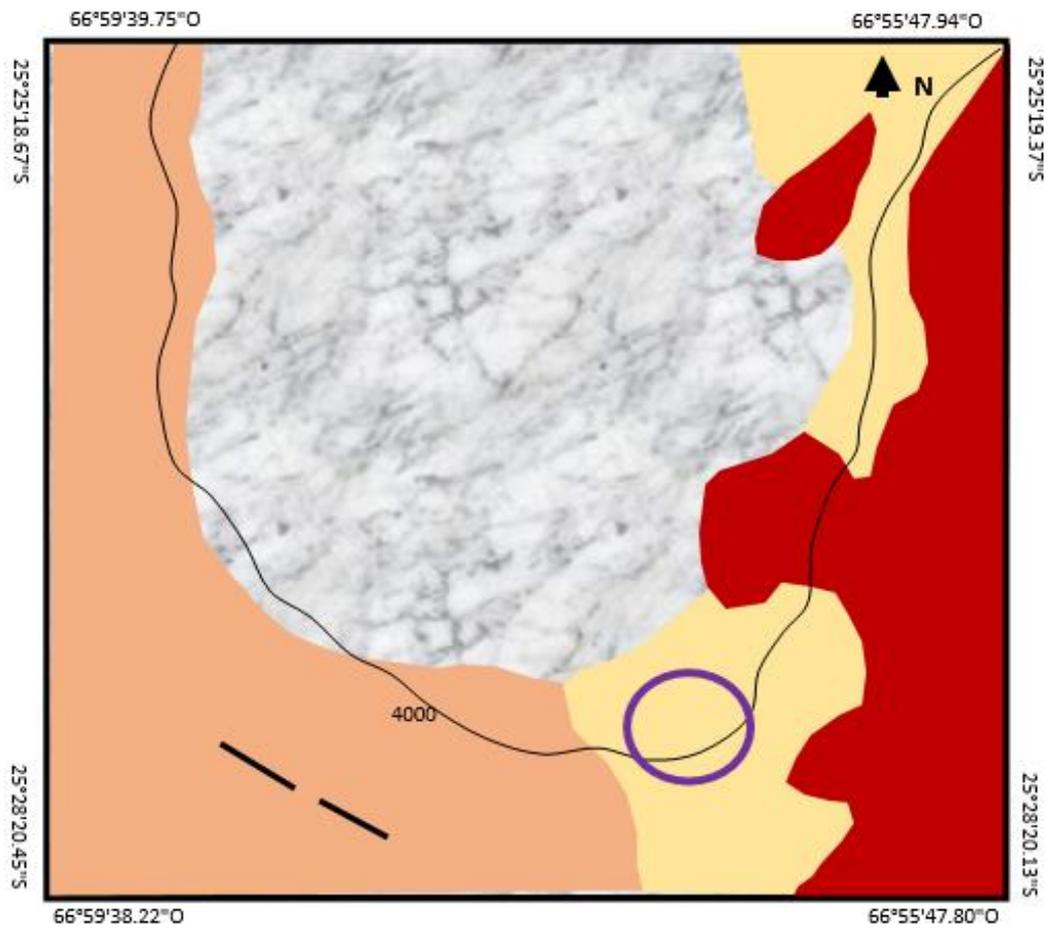


Figura 6: Mapa geológico del área de estudio.

## **2.4. GEOMORFOLOGÍA**

El Salar del Hombre Muerto se encuentra emplazado en una depresión topográfica, dividida por un angosto y alargado relieve residual de escasa altura conocido como Farallón Catal; dividiendo al Salar en dos cuencas, la occidental y la oriental, siendo esta última, la subcuenca en la que se ubica, el proyecto en estudio “Virgen del Valle Lítico”.

El sector oriental ocupa aproximadamente un tercio de la superficie total del Salar, y está asociado a un relieve montano en donde se mezcla el relieve volcánico por el Norte (Cerro Ratonés) y las serranías al Este de un Basamento Metamórfico, al centro de la subcuenca yacen algunos morros y cordones bajos con rocas de dicho Basamento.

Al pie de este sistema montano, se generan una serie de geformas importantes en forma de bajada y conos aluviales menores que se unen al Salar. Al Sur de la subcuenca se encuentra el abanico aluvial terminal de la cuenca del río Los Patos, una importante geforma cuya descarga sólida y de agua influyen en la subcuenca oriental del Salar del Hombre Muerto.

Esta subcuenca, con facies de evaporitas de carácter yesífera – boratífera, posee bajo contenido en cloruros y presenta una resolución superficial de limos y arcillas dominante, cubierta en la mayoría de los casos por una capa salina de espesor milimétrico a centimétrico, producto de la descarga generada por el abanico terminal del río Los Patos.

La subcuenca occidental presenta un relieve generalmente con suaves lomadas, donde se asienta una densa red de drenaje de arroyos y arroyuelos de régimen temporal, sin la presencia de ningún curso fluvial importante; y se diferencia claramente de la anterior por que presentan tanto en superficie como en profundidad potentes acumulaciones de halita y escasa presencia de boratos.

Las demás unidades geomórficas de carácter general adquieren validez para la información de los recursos hídricos del proyecto.

## **2.5. HIDROLOGÍA**

El área de estudio se puede definir como una cuenca endorreica siendo el escurrimiento superficial caracterizado por una baja densidad de drenaje y un alto porcentaje de cursos con régimen temporario. Los ríos de régimen permanente que pertenecen a la cuenca del Salar del Hombre Muerto son río Los Patos, Aguas Calientes y Trapiche. Los dos primeros pertenecen al área del presente proyecto exploratorio.

El río Los Patos presenta variaciones de caudales entre las temporadas secas y húmedas caracterizándose por presentar una red de drenaje amplia e integrada al salar alimentando la laguna Catal, la que en épocas de lluvias desborda inundando el área, las nacientes se encuentran en el faldeo norte y este del cerro Galán e ingresa al salar por el oeste, el tributario principal es el río Aguas Calientes que se une cerca del cerro Aguas Calientes, este nace en el lado norte del cerro Galán.

En el extremo sureste del salar se encuentran vegas de agua dulce como las de Puesto Guitian y Los Patos hacia el norte del colector en la desembocadura del salar.

El aporte de los ríos permanentes y de las vegas constituyen la recarga del salar impidiendo la depresión del nivel freático, el cual se puede estimar entre -1.50 m y -0.70 de promedio, en el sector central del salar medidos en pozos de exploración



### **CAPÍTULO III: MARCO TEORICO**

### 3.1. MECÁNICA DE SUELOS

Se denomina suelo a todo agregado natural no cementado de granos minerales que pueden separarse por medio de una acción mecánica sencilla y que incluyen cantidades variables de agua y aire, independientemente de que tengan o no contenido de materia orgánica.

### 3.2. LOS SUELOS SON DE DOS ORÍGENES: RESIDUAL Y SEDIMENTARIO.

Los suelos residuales se forman in situ por la intemperización química de las rocas y, como no fueron perturbados físicamente, conservan las características geológicas del material rocoso de origen. En el campo, la transición de roca a suelo suele ser gradual.

Los suelos sedimentarios son transportados y depositados por la acción de ríos, mares, glaciares y vientos. En general, el mecanismo de sedimentación regula la granulometría (tamaño de las partículas), sus variaciones, y la estratigrafía y uniformidad de las capas edafológicas.

La Mecánica de Suelos se dedica a estudiar las fuerzas o cargas que son establecidas en cualquier tipo de suelo, buscando sus propiedades, comportamiento y utilización del mismo como material de soporte, de tal manera que las deformaciones y resistencia del suelo ofrezcan seguridad, durabilidad y estabilidad a las estructuras.

Está siempre presente:

Toda construcción que se apoya sobre suelos, ese material es el que sirve de soporte.

En algunos casos como terraplenes para caminos, diques de tierra, grandes rellenos, es el material de construcción con el cual hemos de trabajar. (figura 8)

En estructura de contención, muros de sostenimiento, túneles, taludes en excavación o en terraplén, y otro en que el suelo, obra como un elemento activo, que origina presiones sobre la estructura, y esta debe dimensionarse para ser capaz de soportarlas. Simultáneamente una parte de esa estructura, actúa sobre el terreno en que se apoya es necesario calcular esas presiones para evitar asentamientos o deformaciones nocivas.

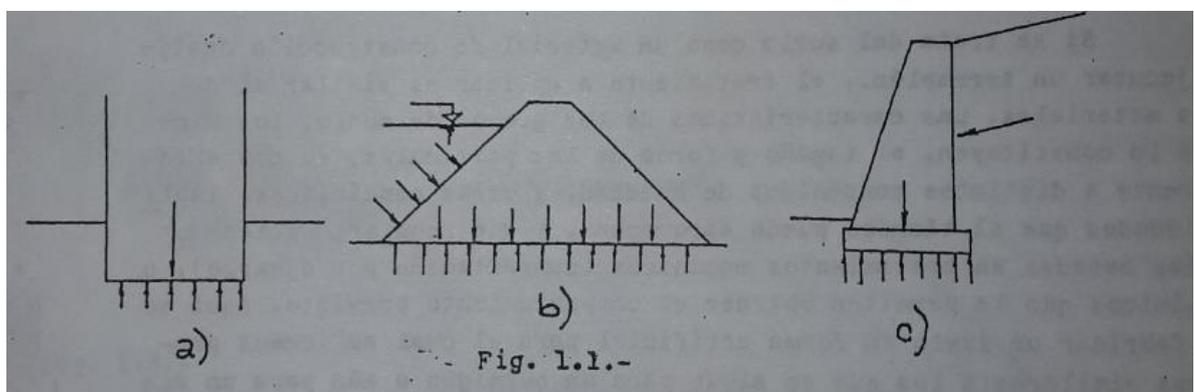


figura 8: casos de terraplenes, Terzaghi, Kart y Peck, Ralph. (1975) – Mecánica de suelos.

Si consideramos el suelo tal como lo encontramos en la naturaleza podemos afirmar que sus características más frecuentes es la heterogeneidad, cada lugar nos ofrece una situación diferente, y en el mismo lugar a distintas profundidades encontramos materiales



diversos y formaciones geológicas variadas. Cada proceso geológico de formación de suelos, y cada conformación del terreno del lugar dan origen a diferentes resultados, y por consiguiente también será diferente su reacción frente a las cargas a que los someten las estructuras, por ellos las estructuras iguales ubicadas en lugares diferentes requieren también de cimentaciones diferentes.

En un mismo lugar, estructuras distintas requieren fundaciones de distinta dimensión, y aun de distinto tipo según la magnitud de las cargas que transfieren al terreno, a la consiguiente afectación a estratos profundos

Si se trata del suelo como un material de construcción destinado a ejecutar un terraplén, el tratamiento a aplicar es similar al de otros materiales. Las características de los granos del suelo, los minerales que los constituyen, el tamaño y forma de las partículas, su comportamiento frente a distintos contenidos de humedad, y otras condiciones, implican propiedades que el técnico debe aprovechar, para aplicar metodologías basadas en tratamientos mecánico, por ejemplo, compactación de suelos o físico - químicos que le permitan obtener el comportamiento previsto.

Todo lo expuesto requiere un conocimiento de las propiedades características del suelo debidamente cuantificadas, los distintos ensayos de laboratorio o los ejecutados in situ, nos dan los valores con los que podemos asignar resistencia o comportamiento al suelo natural o artificial. Es fundamental una correcta interpretación de los problemas que se analicen y de los resultados que se obtengan.

### **3.3. PLANIFICACIÓN DE UN ESTUDIO DE SUELOS**

Existen dos condicionantes para una planificación adecuada y son el conocimiento del subsuelo y el conocimiento de la estructura.

Aparece como una incongruencia la necesidad de conocer el subsuelo para poder ejecutar una adecuada planificación del estudio del mismo, pero esto es necesario porque el tipo de equipo a utilizar no es el mismo para estudios en los suelos granulares que en cohesivos, dependiendo también de la existencia de un nivel freático, que indique la presencia de materiales saturados con agua, y de la formación del suelo, etc.

Este conocimiento previo de la estratificación del lugar puede obtenerse de datos zonales (estudios de los suelos en que se haya participado con anterioridad y que se puedan tomar como antecedentes, estudios geológicos y en algunas obras de gran envergadura suele ser necesario ejecutar cateos previos cuando no se disponen de antecedentes suficientes y la magnitud de los estudios a realizar así lo justifica, en algunas ocasiones las perforaciones para agua o para pozos absorbentes suelen dar informaciones al respecto.

Es conveniente obtener como dato para el conocimiento del subsuelo los siguiente:

- ✓ Agente de formación de los estratos (formación aluvional, eólico, glacial, etc.)
- ✓ Espesores aproximados de los mismos.
- ✓ Tipo de estructura del suelo, tamaño máximo de partículas
- ✓ Profundidad del nivel freático o presencia de una zona saturada.

El segundo elemento a tener en cuenta es el conocimiento de la obra que va a ejecutarse en el predio, es conveniente conocer:

Tamaño de la obra en m<sup>2</sup> cubiertos, costos, destino, materiales de construcción a utilizar, asentamientos diferenciales, cargas máximas por columnas, módulos entre columnas

## Tipos de sondeos

- ✓ Excavación mediante pozos a cielo abierto o calicatas
- ✓ Perforaciones con equipo manuales (pala vizcachera, helicoidales, etc.)
- ✓ Perforaciones con equipo mecánicos ( perforadoras, método de rotación)

## Calicatas

Es una de las técnicas de prospección empleadas para facilitar el reconocimiento geotécnico, estudios edafológicos o pedológicos de un terreno. Son excavaciones de profundidad pequeña a media, realizadas normalmente con pala retroexcavadora.

Las calicatas permiten la inspección directa del suelo que se desea estudiar y, por lo tanto, es el método de exploración que normalmente entrega la información más confiable y completa. En suelos con grava, la calicata es el único medio de exploración que puede entregar información confiable, y es un medio muy efectivo para exploración y muestreo de suelos de fundación y materiales de construcción a un costo relativamente bajo.

Es necesario registrar la ubicación y la cota de cada pozo, los que son numerados según la ubicación. Si un pozo programado no se ejecuta, es preferible mantener el número del pozo en el registro como "no realizado" en vez de volver a usar el número en otro lugar, para eliminar confusiones. La profundidad está determinada por las exigencias de la investigación, pero puede estar limitada por el nivel freático.

La sección mínima recomendada es de 0.80 m por 1.00 m, a fin de permitir una adecuada inspección de las paredes. El material excavado deberá depositarse en la superficie en forma ordenada separado de acuerdo a la profundidad y horizonte correspondiente. Debe desecharse todo el material contaminado con suelos de estratos diferentes. Se dejarán plataformas o escalones de 0.30 a 0.40 metros al cambio de estrato, reduciéndose la excavación. Esto permite una superficie para efectuar la determinación de la densidad del terreno. Se deberá dejar al menos una de las paredes lo menos contaminada posible, de modo que representen fielmente el perfil estratigráfico del pozo. En cada calicata se deberá realizar una descripción visual o registro de estratigrafía comprometida.

Las calicatas permiten:

- ✓ Una inspección visual del terreno in situ.
- ✓ Toma de muestras.
- ✓ Realización de algún ensayo de campo.

La profundidad de este tipo de reconocimiento no suele pasar de los 5 metros, aunque en casos extremos puede alcanzar los 10 metros de profundidad.

En determinados tipos de terrenos, cuando haya personal en su interior realizando la maniobra de toma de muestras, la calicata deberá ser entibada.

La apertura de una calicata también nos dará idea del comportamiento del terreno en zanja abierta, dato importante si se tiene previsto llevar a cabo algún tipo de vaciado en el futuro proyecto. Una vez realizada la calicata, testificado el terreno por el geólogo y recogidas las muestras de terreno para su análisis, normalmente esta se vuelve a tapar, con el fin de evitar accidentes.



### **Perforaciones manuales: posteadora, barrenos helicoidales o métodos similares:**

Estos sondeos exploratorios manuales las muestra de suelos obtenida es alterada, pero suele ser representativa del suelo en lo referente al contenido de agua, granulometría y límites de consistencia.

Los barrenos helicoidales pueden ser de diferentes tipos no sólo dependiendo del suelo por atacar, sino de acuerdo con la preferencia particular de cada perforista. Un factor importante es el paso de la hélice que debe ser muy cerrado para suelos arenosos y mucho más abierto para el muestreo en suelos plásticos.

Posiblemente más usadas que los barrenos son las posteadora a las que se hace penetrar en el terreno ejerciendo un giro sobre la manivela adaptada al extremo superior de la tubería. Las herramientas se conectan al extremo de una tubería, formada por secciones de igual longitud, que se van añadiendo según aumenta la profundidad del sondeo.

### **Perforaciones con equipo mecánico**

Se trata de perforaciones de pequeño diámetro, (entre 65 y 140 mm) que permiten obtener testigos del terreno perforado, así como muestras, y realizar determinados ensayos en su interior. Los métodos más habituales son el de rotación con extracción continua de testigo, percusión y mediante barrena helicoidal hueca o maciza. El sistema que permite extraer mayor información geotécnica es el de extracción continua de testigo. Para su ejecución es necesario el uso de maquinaria específica. Se trata de una sonda con una corona de corte de vidia o diamante, que se introduce a rotación en el terreno y que se extrae en maniobras con el testigo de terreno perforado en su interior. Este testigo de terreno es inmediatamente colocado en cajas normalmente de cartón parafinado, para su posterior descripción y estudio.

Este tipo de prospección permite realizar algunos ensayos in situ en su interior, como toma de muestras inalteradas para su posterior estudio en laboratorio o el más común, el SPT (Standard Penetration Test) que nos da los valores de resistencia del terreno. Otros ensayos que se pueden realizar, aunque menos frecuentemente son ensayos de permeabilidad como Lefranc (suelo) y Lugeon (roca).

## **3.4. TIPOS DE MUESTRAS**

De acuerdo con el Manual de Diseños de Obras Civiles, las muestras pueden ser alteradas o inalteradas.

a. Muestras Alteradas: Una muestra alterada se define como aquella donde parte de ella o toda, ha sufrido una alteración tal que ha perdido la estructura que poseía in-situ, estas muestras no representan de forma real las propiedades ingenieriles de resistencia y permeabilidad del suelo. Una muestra alterada generalmente es usada para los procesos de identificación y caracterización del suelo. Las muestras inalteradas también son usadas para preparar especímenes de laboratorio y evaluar en ellos propiedades de permeabilidad y resistencia mecánica, cuando la destinación del suelo sea como elemento de construcción.

b. Muestras Inalteradas: Son aquellas muestras obtenidas por medio de muestreadores y usando técnicas en las cuales es posible preservar de la estructura natural del material; aunque se use la expresión "inalterada" se debe tener en cuenta que una muestra de suelo



al ser retirada de sus condiciones naturales sufre algún tipo de remoldeo o alteración, se denomina así porque representan fielmente las condiciones del suelo in-situ. En estas muestras se realizan todos aquellos ensayos que permiten evaluar las condiciones de resistencia del suelo y comportamiento ingenieril y las propiedades de permeabilidad, además determinar la humedad natural y todos los demás ensayos que se pueden ejecutar en las muestras alteradas.

### **3.5. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS**

Las propiedades de los suelos se determinan mediante ensayos y se expresan numéricamente por determinados coeficientes. Las investigaciones se realizan con muestras alteradas e inalteradas.

Las muestras alteradas son suficientes cuando se quieren determinar características generales, como, granulometría, tamaño, peso de las partículas, humedad, límite líquido, plástico, capacidad de absorción de agua, materias presentes o valores límite de densidad. Se requieren muestras inalteradas cuando se desean obtener magnitudes dependientes de la estructura o de la densidad in situ, como el índice de poros la densidad aparente, la permeabilidad, la succión capilar, etc.

### **3.6. HUMEDAD DEL SUELO**

El agua suele estar presente en los suelos o terrenos en forma de una delgada capa absorbida a la superficie de las partículas o como líquido libre entre éstas.

Si el contenido de agua de un suelo está principalmente en forma de capa, o humedad absorbida, entonces no se comporta como líquido. Todos los sólidos tienden a absorber o condensar en su superficie cualquier líquido y gas que entra en contacto con ellos.

El tipo de ión, o de elemento metálico, presente en la composición química de un sólido, influye considerablemente en la cantidad de agua que éste pueda absorber. Por tanto, los procedimientos de intercambio iónico para la estabilización de los suelos y el control de la percolación forman parte importante de la mecánica de suelo.

Las capas delgadas de agua son más fuertes que el agua de poros. En 1920, Terzaghi estableció que las películas de agua de menos de  $5.04 \times 10^{-5}$  mm de espesor se comportan como semi-sólidos; no hierven ni se congelan a temperaturas normales.

En consecuencia, con lo anterior, los suelos o terrenos saturados se congelan con más facilidad que los suelos anegados, y los cristales de hielo crecen al tomar humedad libre de los poros. Luego un deshielo repentino libera grandes cantidades de agua, lo que suele tener drásticos resultados. Cuando los líquidos se evaporan, lo primero que hacen es formar capas, por lo que se requiere un considerable aumento térmico para efectuar el cambio de estado entre la película líquida y el vapor. Por consiguiente, el efecto de temperatura sobre el estado físico del suelo se explica en términos de la reducción del espesor de las capas de líquido al elevarse dicha temperatura.

La presencia de humedad en el suelo o terreno es fundamental para controlar la compactación. La mejor manera de efectuar la compactación de suelos, sea por medios artificiales o naturales, es bajo condiciones de humedad bastante definidas, ya que la redistribución de las partículas del suelo para que ocupen un menor volumen no es posible cuando se carece de suficiente humedad para cubrir cada gránulo. La película de agua hace

las veces de lubricante, lo que facilita los movimientos relativos de las partículas, y su tensión capilar las sostiene en su sitio. Desde luego, si los granos son de menor diámetro se necesita más agua a fin de lograr mejor estabilización que en el caso de partículas más gruesas. (figura 9)

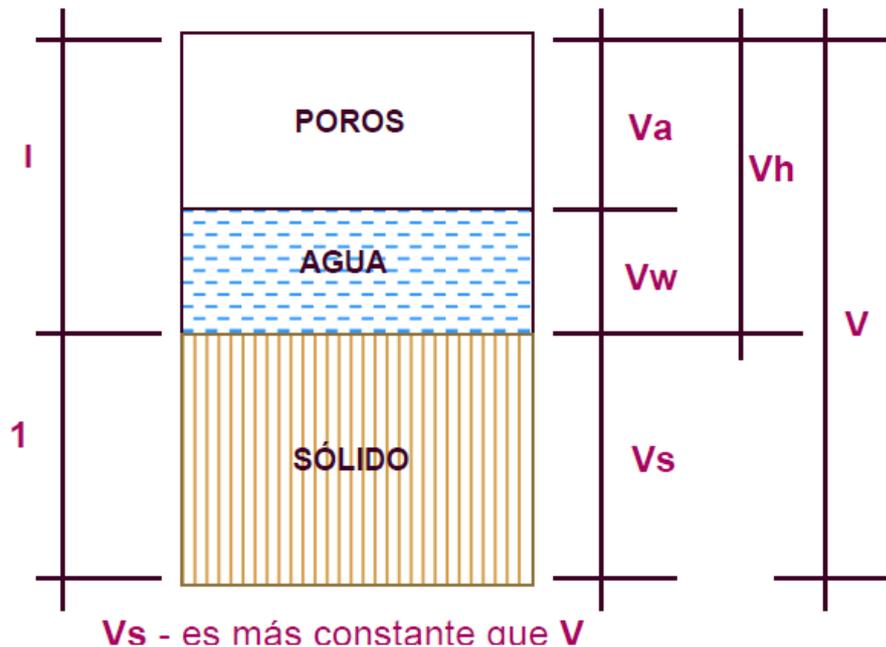


Figura 9: Humedad del suelo, fuente: Geotecnia III Ing. Augusto J. Leoni.

### Fases del suelo

En un suelo se distinguen 3 fases: sólida, líquida y gaseosa. La fase sólida está formada por las partículas minerales del suelo, la líquida por el agua libre y la fase gaseosa por el aire. Las fases líquida y gaseosa del suelo suelen comprenderse en el volumen de vacíos, mientras que la fase sólida constituye el volumen de los sólidos.

Se dice que el suelo está saturado cuando todos sus vacíos están ocupados por agua, en este caso el suelo consta solo de dos fases: la sólida y la líquida. Muchos suelos que están por debajo del nivel son totalmente saturados.

### Relaciones Volumétricas Y Gravimétricas

Relación de vacíos: Es la relación entre el volumen de vacíos y el de sólidos de un suelo.

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

Porosidad: Es la relación entre el volumen de vacíos y el volumen total de un suelo, y se expresa en porcentaje.

$$n\% = \frac{V_v}{V_t} \times 100$$



Grado de Saturación: Es la relación entre el volumen de agua en el suelo y el volumen de vacíos de un suelo, y se expresa en porcentaje.

$$S\% = \frac{V_w}{V_v} \times 100$$

Humedad: Es la relación entre el peso de agua en el suelo y el peso de los sólidos suelo, y se expresa en porcentaje.

$$H\% = \frac{W_w - W_s}{W_s} \times 100$$

Gravedad Específica: Es la relación entre el peso de los sólidos suelo y el volumen de los sólidos.

$$G_s = \frac{W_s}{V_s}$$

Los valores más comunes de  $G_s$  varían entre 2,65 a 2,72.

Pesos Unitarios del Suelo Seco, Húmedo y Sumergido: Es la relación entre el peso del suelo y el volumen total del suelo. En cada caso serán los pesos seco, húmedo y sumergido.

$$\gamma_h = \frac{W_h}{V_t} \quad \text{Peso Unitario húmedo}$$

$$\gamma_s = \frac{W_{sec}}{V_t} \quad \text{Peso Unitario seco}$$

$$\gamma' = \gamma_{sat} - 1 \quad \text{Peso Unitario sumergido}$$

### 3.7. GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS

El propósito del análisis granulométrico es determinar la distribución de los distintos tamaños, en sus porcentajes de pesos con respecto al total de la muestra en suelo. La distribución granulométrica es importante en el comportamiento mecánico de los suelos granulares, pero de mucho menor incidencia en suelos finos donde otros factores resultan más determinantes en el comportamiento.

#### Tamizado

Este es el método más directo para separar un suelo granular en fracciones de distinto tamaño.

Consiste en hacer pasar sucesivamente a través de un juego de tamices de abertura descendente de una serie standard. Los tamices generalmente utilizados son los que corresponden a las normas ASTM. (figura 10)

Tamices más usados para la Clasificación de Suelos (tabla 1)

Mallas U.S.	Abertura en mm
3"	76.2
2"	50.8
1 1/2"	38.1
1"	2.54
3/4"	19.1
3/8"	9.52
Nº 4	4.75
Nº 10	2.00
Nº 40	0.420
Nº 200	0.074

Tabla 1: Malla y abertura de los distintos tamices.



Figura 10: Set de tamices, fuente: Geotecnia III Ing. Augusto J. Leoni.

### Representación Grafica

Para la representación gráfica de los resultados de los ensayos se utiliza un diagrama de coordenada semilogarítmicas, como el de la planilla adjunta, en el que se indican en abscisas el logaritmo de las aberturas de los tamices y en ordenadas están representados en escala aritmética, los porcentajes librados por cada tamiz.

Se unen con un trazo continuo los puntos de intersección y se obtiene la curva granulométrica del material estudiado. (figura 11)

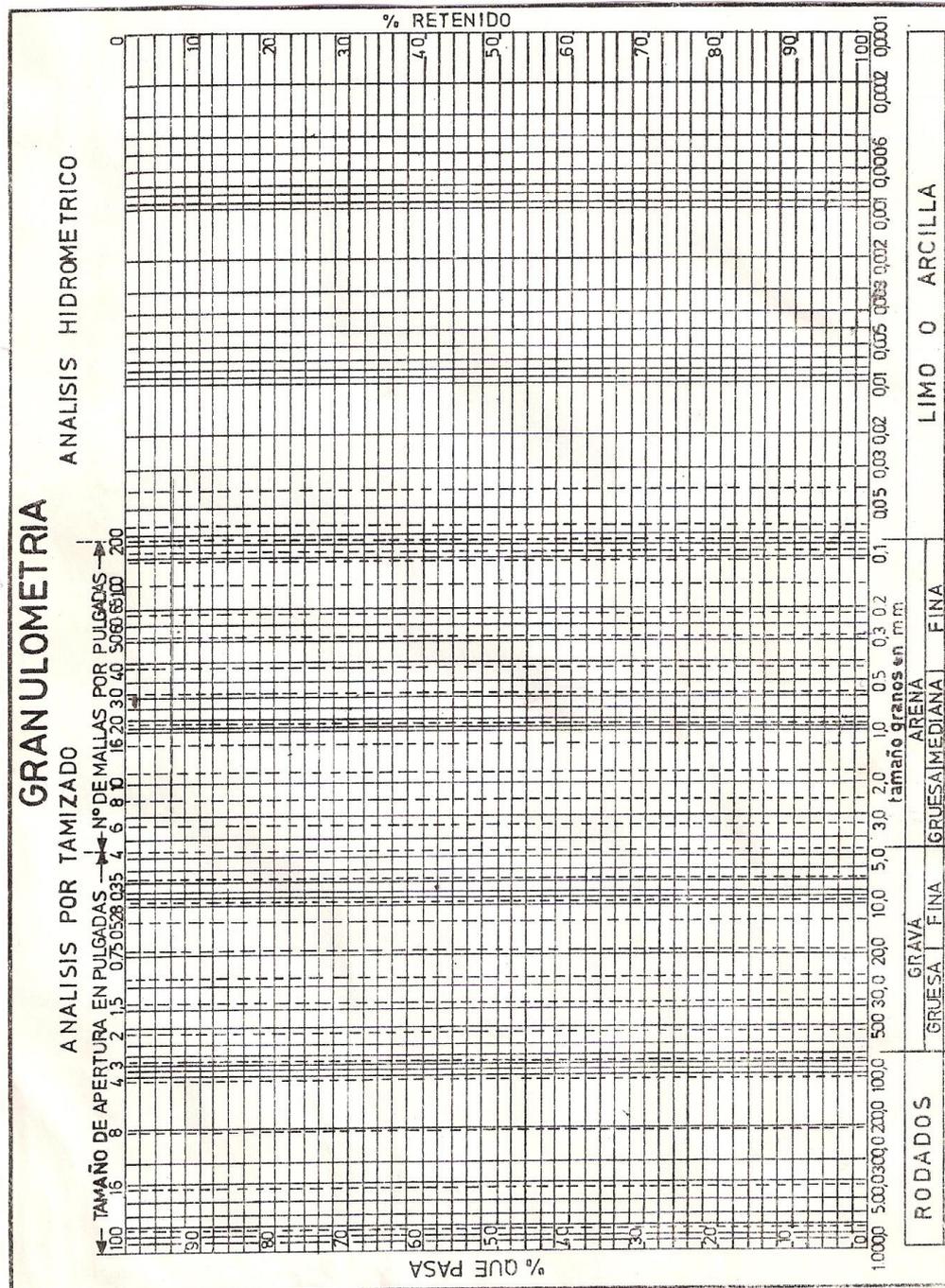


Figura 11: Planilla de granulometría, fuente: Prácticos de la catedra de mecánica de suelos

### 3.8. LÍMITES DE CONSISTENCIA

Los límites de Atterberg o límites de consistencia se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo del contenido de agua. Así un suelo se puede encontrar en un estado sólido, semisólido, plástico, semilíquido y líquido. La arcilla, por ejemplo, al agregarle agua, pasa gradualmente del estado sólido al estado plástico y finalmente al estado líquido.

El contenido de agua con que se produce el cambio de estado varía de un suelo a otro y en mecánica de suelos interesa fundamentalmente conocer el rango de humedades, para el cual el suelo presenta un comportamiento plástico, es decir, acepta deformaciones sin romperse (plasticidad), es decir, la propiedad que presenta los suelos hasta cierto límite sin romperse.

El método usado para medir estos límites de humedad fue ideado por Atterberg a principios de siglo a través de dos ensayos que definen los límites del estado plástico.

Los límites de Atterberg son propiedades índices de los suelos, con que se definen la plasticidad y se utilizan en la identificación y clasificación de un suelo.

### **Límite líquido (LL)**

Es el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra, con el cual el suelo cambia del estado líquido al plástico. Los suelos plásticos tienen en el límite líquido una resistencia muy pequeña al esfuerzo de corte, según Atterberg es de 25 g/cm<sup>2</sup>.

### **Límite plástico (LP)**

Es el contenido de humedad expresado en porcentaje al peso seco de la muestra, para el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico.

### **Índice de plasticidad**

Se define como la diferencia numérica entre los límites líquidos y plásticos, e indica el margen de humedades dentro del cual se encuentra el suelo en estado plástico y este depende generalmente de la cantidad de arcilla presente.

Aparatos (figura 12,13)

Elementos de laboratorio para ensayos.

- ✓ Capsula de porcelana de diámetro de porcelana de 120 mm. de diámetro.
- ✓ Espátula flexible de aproximadamente 75 mm. de largo por 20 mm. de ancho.
- ✓ Aparato de límite líquido según esquema: Taza de bronce con una masa de 200±20(g) montada en un dispositivo de apoyo fijado a una base de plástico duro de una resiliencia tal que una bolita de acero de 8 mm. de diámetro, dejada caer libremente desde una altura de 25 cm. rebote entre 75% y 90%.
- ✓ Acanalador: Combinación de acanalador y calibre, construido de acuerdo con el plano y dimensiones de uno de los tipos
- ✓ Recipientes. Para la muestra de contenido de humedad.
- ✓ Balanza. Con una precisión de 0.01(g).
- ✓ Probeta. Con una capacidad de 25 ml.
- ✓ Horno.

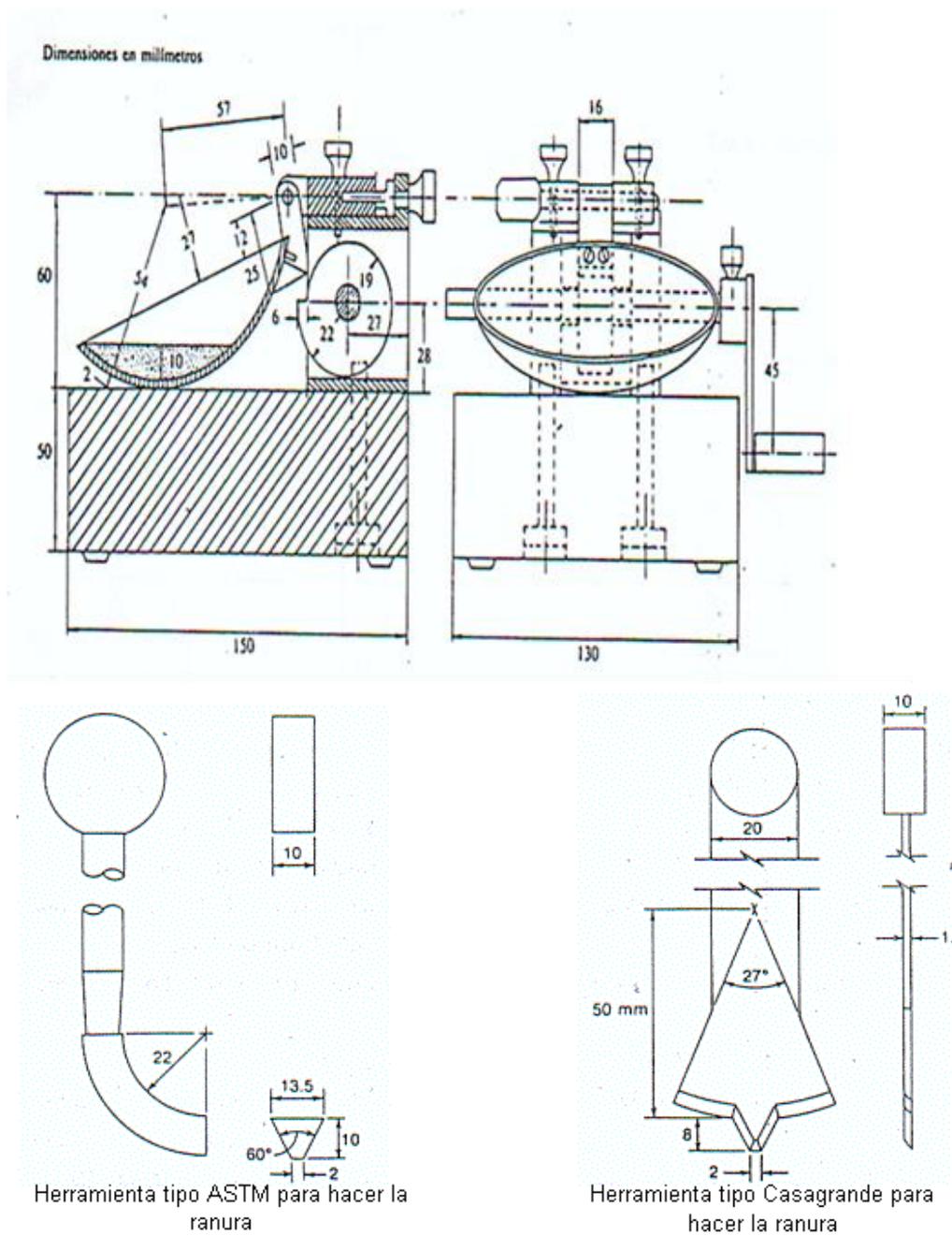


Figura12 : Aparato Tasa de Casagrande, fuente: Prácticos de mecánica de suelos



Figura 13: Instrumental para determinación de los Límites de Atterberg.

### 3.9. CLASIFICACIÓN UNIFICADA

El problema de la identificación de los suelos es de importancia fundamental; identificar un suelo es, en rigor, encasillarlo en un sistema previo de clasificación.

La identificación permite conocer las propiedades mecánicas e hidráulicas del suelo, atribuyéndole las del grupo en que se sitúe, naturalmente la experiencia juega un papel importante en la utilidad que se le pueda sacar de la clasificación.

En el Sistema Unificado hay criterios para la identificación de suelos en el laboratorio; estos son del tipo granulométrico y de características de plasticidad.

### 3.10. IDENTIFICACIÓN DE SUELOS EN AL CAMPO

#### Suelos Granulares

Los materiales constituidos por partículas gruesas sobre una base prácticamente visual, extendiéndose una muestra seca de suelo sobre una superficie plana, puede juzgarse en forma aproximada su graduación, tamaño de las partículas, composición mineralógica, forma. Para distinguir las gravas de las arenas puede usarse el tamaño de 1/2 cm. como equivalente a la malla N° 4 y para la identificación del contenido de finos basta considerar que las partículas de tamaño correspondiente a la malla N° 200, son las más pequeñas para distinguirse a simple vista.

En lo que respecta a la graduación del material se debe tener algo de experiencia a fin de diferenciar los suelos bien graduados de los mal graduados.



Para examinar la fracción fina en el suelo deberán ejecutarse las pruebas de identificación de campo de los suelos finos que se detallarán más adelante.

### **Suelos finos**

Estos procedimientos se ejecutan con la fracción que pasa el tamiz N° 40. Para los fines de clasificación en el campo si no se usa la malla se quitan a mano las partículas gruesas que interfieren con las pruebas.

#### **Dilatancia: (reacción al agitado)**

Después de quitar las partículas mayores a la malla N° 40 si las contiene el suelo, prepárese una pastilla de suelo húmedo aproximadamente de 10cm<sup>3</sup> si es necesario añadiéndose suficiente agua para dejar el suelo suave, pero no pegajoso.

Se coloca la pastilla en la palma de la mano y agítese horizontalmente golpeando contra la otra mano varias veces. Una reacción positiva consiste en la aparición de agua en la superficie de la pastilla, la cual cambia adquiriendo una consistencia de hígado y se vuelve lustrosa.

Cuando la pastilla se aprieta entre los dedos el agua y el lustre desaparece de la superficie, la muestra se vuelve tiesa, se agrieta y se desmorona. La rapidez de la aparición de agua durante el agitado y su desaparición durante el apretado sirve para identificar el carácter de los finos en un suelo.

Las arenas finas a muy finas limpias dan una reacción rápida y distintiva, mientras las arcillas plásticas no tienen reacción, los limos inorgánicos poco plásticos dan una reacción moderada.

#### **Resistencia en estado seco**

Después de eliminar las partículas mayores que la malla N° 40, se moldea una pastilla de suelo hasta alcanzar una consistencia de una masilla. Déjese secar la pastilla en el sol, al aire o en un horno y pruébese su resistencia rompiéndola y desmoronándola entre los dedos. La resistencia en estado seco aumenta con la plasticidad.

Una alta resistencia en seco es característica de las arcillas especialmente las del grupo CH, un limo de baja plasticidad posee una muy ligera resistencia.

#### **Tenacidad (Consistencia cerca del límite plástico)**

Se procede como en el punto anterior hasta alcanzar la consistencia de una masilla.

Se rola el material sobre una superficie lisa o entre las palmas de las manos hasta hacer un rollito de 3mm de diámetro, se amasa y se vuelve a rolar varias veces.

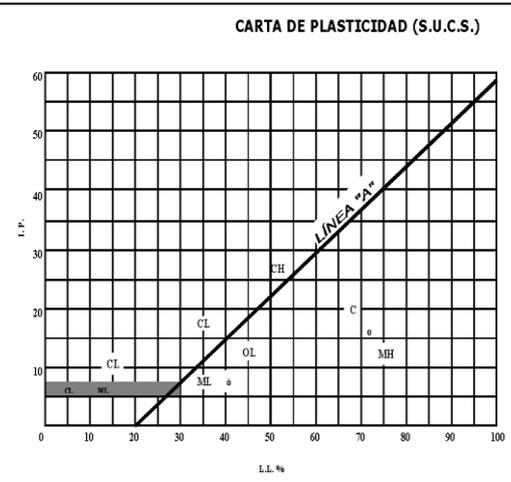
Durante estas operaciones el contenido de humedad se reduce gradualmente, perdiendo finalmente su plasticidad y desmoronando.

La potencialidad de la fracción coloidal arcillosa de un suelo se identifica con la mayor o menor tenacidad del rollito al acercarse al límite plástico y por la rigidez del rollito al romperse entre los dedos. La debilidad del rollito en el límite plástico y la pérdida rápida de la

coherencia de la muestra al rebasar ese límite, indican la presencia de arcillas de baja compresibilidad, y la alta tenacidad de las arcillas de alta compresibilidad.

**SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (S.U.C.S.)**  
INCLUYENDO IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN

DIVISIÓN MAYOR		símbolo	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO	
<b>SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS</b> Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 ⊕ son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.	<b>GRAVAS</b> Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4 PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE 1/2 cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	DETERMÍNENSE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA, DEPENDIENDO DEL PORCENTAJE DE FINOS (fracción que pasa por la malla No. 200) LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUE: Menos del 5%: GW, GP, SW, SP; más del 12%: GM, GC, SM, SC. Entre 5% y 12%: Casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles **  COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Cu: mayor de 4. COEFICIENTE DE CURVATURA Cc: entre 1 y 3. $Cu = D_{60} / D_{10}$ $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$  NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW.  LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4.      Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.  LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.  $Cu = D_{60} / D_{10}$ mayor de 6 ; $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$ entre 1 y 3.  No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW  LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4.      Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.  LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.	
		GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos		
		GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo		
		GU			
		GC	Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla		
		<b>ARENAS</b> Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4 PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE 1/2 cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4	SW		Arenas bien graduadas, arena con
	SP		Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.		
	SM		Arenas limosas, mezclas de arena y limo.		
	SU				
	SC		Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.		
	<b>SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS</b> Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 ⊕ Las partículas de 0.074 mm de diámetro (la malla No.200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.		<b>LIMOS Y ARCILLAS</b> Límite Líquido menor de 50		ML
		CL			Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.
OL		Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.			
<b>LIMOS Y ARCILLAS</b> Límite Líquido Mayor de 50		MH		Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos.	
		CH		Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.	
		OH		Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.	
<b>SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS</b>		P	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.		



\*\* CLASIFICACIÓN DE FRONTERA- LOS SUELOS QUE POSEAN LAS CARACTERÍSTICAS DE DOS GRUPOS SE DESIGNAN CON LA COMBINACIÓN DE LOS DOS SÍMBOLOS; POR EJEMPLO GW-GC, MEZCLA DE ARENA Y GRAVA BIEN GRADUADAS CON CEMENTANTE ARCILLOSO.  
 ⊕ TODOS LOS TAMAÑOS DE LAS MALLAS EN ESTA CARTA SON LOS U.S. STANDARD.  
 \* LA DIVISIÓN DE LOS GRUPOS GM Y SM EN SUBDIVISIONES d Y u SON PARA CAMINOS Y AEROPUERTOS ÚNICAMENTE, LA SUB-DIVISIÓN ESTA BASADA EN LOS LÍMITES DE ATTERBERG EL SUFIJO d SE USA CUANDO EL L.L. ES DE 28 O MENOS Y EL I.P. ES DE 6 O MENOS. EL SUFIJO u ES USADO CUANDO EL L.L. ES MAYOR QUE 28.

Figura 14: Clasificación unificada de suelos (S.U.C.S.) fuente: Práctico de la catedra mecánica de suelos

### 3.11. COMPACTACIÓN DE SUELOS. ENSAYO PROCTOR.

#### Definición

Se denomina compactación de suelos al proceso mecánico por el cual se busca mejorar las características de resistencia, compresibilidad y esfuerzo-deformación de los mismos, disminuyendo el volumen de los vacíos y aumentando la densidad del suelo.

De acuerdo al tipo de suelo que se trate será el método utilizado para la compactación: amasado, presión e impacto. (figura 15)

#### Ensayo Proctor

La finalidad del ensayo es reproducir en laboratorio las condiciones de compactación que pueden darse en el campo y determinar la máxima densidad que se puede obtener para una cierta energía que se entrega al suelo y la humedad óptima para llegar a la misma.

El ensayo consiste sintéticamente en compactar el suelo a distintas humedades en capas en el interior de un molde metálico cilíndrico mediante un pisón metálico cuyo peso, dimensiones, altura de caída y número de golpes estará de acuerdo a qué tipo de ensayo se trate.

#### Tipos

Existen varios ensayos, los más utilizados son los ensayos Standard y modificados con sus variantes de acuerdo al tipo de suelo. La energía específica de compactación para el primero es de 6 kg. cm/cm<sup>3</sup> y para el segundo de 27,2 kg. cm/cm<sup>3</sup>.

#### Características de los ensayos

Ensayo	Diámetro molde mm	Peso pisón Kg	Altura caída cm	Nº de capas	Nº de golpes
I	101,6	2,5	30,5	3	25
II	101,6	4,53	45,7	5	25
III	152,4	2,5	30,5	3	56
IV	152,4	4,53	4,53	5	56

Tabla 2: Distintos tipos de ensayos

Los ensayos I y II se utilizan para suelos, sin contenido o un contenido menor al 5% de partículas de tamaño grava se denomina T/99, los ensayos III y IV se utilizan para suelos con contenido de grava en este caso para los ensayos se deben efectuar con materiales librados tamiz ¾" y se denomina T/180.



Figura 15: Moldes y pisones utilizados para el ensayo fuente: Mecánica de suelos. tomo I y II. ed. limusa.

### 3.12. DENSIDAD NATURAL: MÉTODOS DE DETERMINACIÓN

Existen varios métodos a fin de determinar la densidad natural de un suelo o peso unitario natural o densidad in situ o para controlar la compactación de suelos se puede utilizar los siguientes métodos: de la arena, volumétricos, densímetro nuclear, etc.

#### Método del Cono de Arena:

##### Aparatos

- ✓ Dispositivo que permite el escurrimiento del material utilizado para la medición del volumen, cono de arena. figura 16
- ✓ Bandeja de hierro, con orificio central, de acuerdo a las dimensiones del orificio de salida del cono.
- ✓ Recipiente cilíndrico con boca de volumen conocido
- ✓ Balanza de 10 Kg de capacidad.
- ✓ Cortafierros, punta, espátula, maza, etc.
- ✓ Bolsas de material plástico.
- ✓ Tamices N° 20 y N° 30
- ✓ Elementos de Laboratorio.

##### Calibración

- ✓ Se seca en estufa 25 kg. de arena silíceá seleccionada de tamaño medio.
- ✓ Por tamizado se separa la fracción que pasa tamiz N° 20 y retiene tamiz N° 30.
- ✓ Se coloca la arena en el cono sobre el recipiente de hierro de boca igual al de la descarga del cono, se abre el robinete y se deja deslizar la arena seleccionada del cono al recipiente hasta llenarlo, se enrasa y se determina el peso de la arena utilizada para llenar el recipiente cilíndrico, se repite la operación por lo menos tres

veces y se saca el promedio, se lo divide en el volumen y se determina el peso aparente suelto de la arena (calibración).



Figura 16: Instrumental para ensayo método de cono de arena fuente: Mecánica de suelos Juárez Badillo y Rico Rodríguez

### Procedimiento

- Se emparejo el lugar donde se efectuó la determinación, se eliminó todo el material suelto.
- Se colocó la platina del cono en la superficie se marca el contorno del orificio y con la ayuda de un cortafierro, punta y cuchara, se ejecutó un hoyo de una profundidad de 15 a 20cm de profundidad, tratando de obtener paredes verticales y lisas. Se recoge cuidadosamente todo el material retirado del pozo, colocándolo dentro de una bolsa tratando de no perder material, rotulándola y cerrándola.
- Se vacía el contenido de una bolsa de arena previamente tarada en la parte superior del cono, colocando previamente el embudo en coincidencia con la platina.
- Se abre el robinete y se deja fluir libremente la arena dentro del pozo, hasta que permanezca en reposo. Se cierra el robinete y se recoge la arena sobrante en una bolsa con su respectiva identificación. Se levanta la arena en un recipiente para utilizarla nuevamente, previo retamizado.
- Se pesa el material húmedo recogido en la bolsa obteniéndose el peso húmedo  $P_h$  de la muestra.
- Se coloca el material en una bandeja y se seca a estufa, pesando nuevamente y obteniendo el peso seco  $P_s$ .
- Se pesa la arena sobrante del ensayo.

### Cálculos

- ✓ Se determina primeramente la constante del embudo, que es el peso de la arena necesaria para llenarlo.



- ✓ Se calcula el peso unitario de la arena seca de acuerdo a lo indicado en puntos anteriores.
- ✓ Se determina el volumen del pozo el que estará dado por la arena que llena el pozo dividido en el peso unitario de la arena seleccionada.

$$V = \frac{Pt - Pas - Pae}{\delta}$$

Siendo Pt = Peso total de la arena para el ensayo

Pas = Peso de la arena sobrante

Pae = Constante del embudo

$\delta$  = Peso unitario arena seleccionada.

- ✓ Se calcula la densidad húmeda  $Dh = Ph/V$
- ✓ Se calcula la densidad seca  $Ds = Ps/V$
- ✓ El contenido de humedad se determina de la siguiente manera:

$$H\% = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100$$

### 3.13. ENSAYO DE PENETRACIÓN STANDARD (SPT)

Es un tipo de prueba de penetración dinámica, empleada para ensayar terrenos en los que queremos realizar un estudio geotécnico.

Descripción: Es el ensayo más empleado en la realización de sondeos, y se lleva a cabo en el fondo de la perforación.

Es muy utilizado principalmente en suelos arenosos y arena gravosos y sirve para determinar la densidad relativa, el ángulo de fricción interna, el módulo de deformación y en los suelos finos podemos determinar la compacidad y la resistencia a la compresión simple

Consiste en medir el número de golpes necesario para que se introduzca una determinada profundidad una cuchara (cilíndrica y hueca) muy robusta (diámetro exterior de 50,8 milímetros e interior de 35 milímetros, lo que supone una relación de áreas superior a 100), que le permite tomar una muestra en su interior, naturalmente alterada. El peso de la maza y la altura de la caída libre, están normalizados, siendo de 63,5 kg. y 76 centímetros respectivamente.

#### Procedimiento:

- 1- Se efectúa la perforación hasta la cota que se desea ensayar con alguno de los métodos ya conocidos.
- 2- De baja el sacamuestra o sacatestigo hasta el piso de la perforación prolongándose con una serie de caños o barras de prolongación (1,50m a 2,00m) de manera que sobresalga del nivel del terreno; finalizando arriba con un tramo con cabeza a

golpear. De esta manera queda apoyado el sacamuestra en el suelo del fondo de la perforación y la cabeza de golpear en la superficie. A esta última se le acopla una barra guía por donde correrá el martillo. (Figura 17)

- 3- A este martillo de peso normalizado(63,5Kg) se lo deja caer de 75 cm de manera de tener una acción dinámica que produce un trabajo constante, que es la unidad de medida para evaluar el trabajo necesario para hincar 30 cm el sacamuestra. Como al hacer la perforación se perturba un poco el terreno, se introduce 15 cm el sacatestigo el número de golpes solo sirve para control. Luego en condiciones normales (suelo no perturbado), se cuenta el número de golpes necesario (N) para introducirlo los 30 cm subsiguientes. Cuanto más resistente el terreno mayor será el número de golpes necesario para hincar el sacatestigo desde los 15cm a 45cm (30cm útiles).(figura 18)
- 4- Luego se extrae el sacamuestra, se recoge la muestra alojada en el cilindro para efectuarles ensayos de identificación (Humedad natural, Granulometría, Límites de Consistencia)

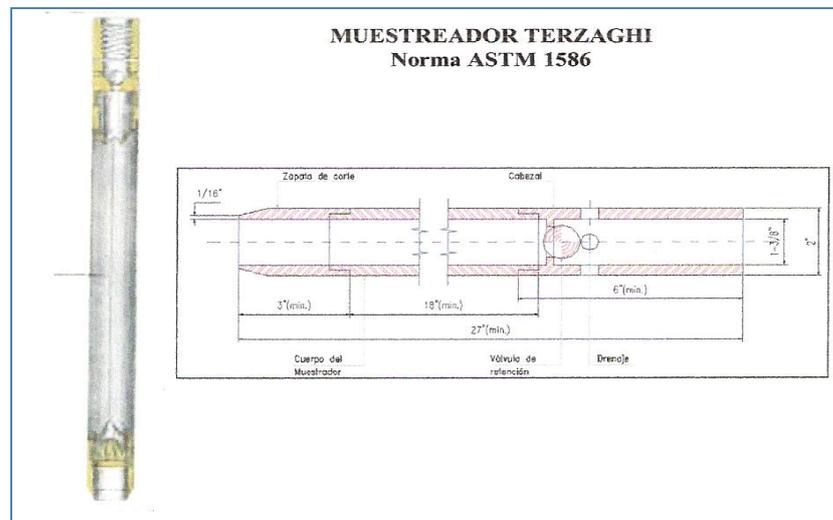


Figura 17: Muestreador de ensayo Terzaghi fuente: Geotecnia III Ing. Augusto J. Leoni.

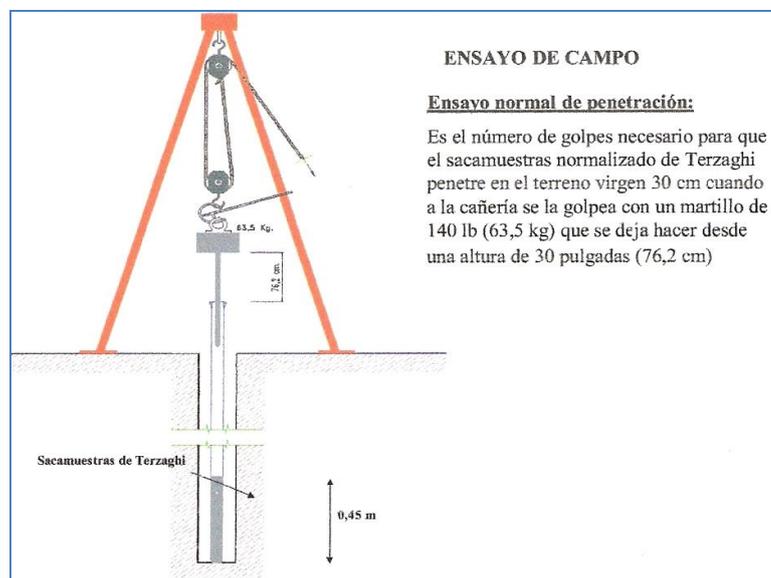


Figura 18: Ensayo de penetración fuente: Geotecnia III Ing. Augusto J. Leoni.

**Cuadros para determinar Densidad Relativa y Angulo de Fricción Interna partir de  
Ensayo SPT**

<b>ENSAYO SPT Y DENSIDAD RELATIVA</b> (suelos granulares)						
	Descripción	Muy Suelta	Suelta	Med. densa	Densa	Muy Densa
	<b>Dr (%)</b>	0 a 15	15 a 30	30 a 60	60 a 80	80 a 100
<b>Valores de "Nc"</b>	Arena fina	1 – 2	3 – 6	7 – 15	16 – 30	> 30
	Arena media	2 – 3	4 – 7	8 – 20	21 – 40	> 40
	Arena gruesa	3 – 6	5 - 9	10 - 25	26 - 45	> 45

Tabla 3: Ensayo SPT y densidad relativa fuente: Geotecnia III Ing. Augusto J. Leoni.

<b>ENSAYO DE SPT Y ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA</b>	
	$\phi' = 20^\circ + (0,45.Nc)$
(Peck)	$\phi' = 28,5^\circ + (0,40.Nc)$
(Kishida)	$\phi' = 15^\circ + \sqrt{18.Nc}$
(Hatanaka – Uchida)	$\phi' = 20^\circ + \sqrt{15,4.Nc}$
(Muromachi 1974)	$\phi' = 20^\circ + 3,5\sqrt{Nc}$
(Schmertmann)	$\phi' = Arc \tan \left[ \left[ \frac{Nc}{27} \right]^{0,34} \right]$
(Peck Hanson Thornburn)	$\phi' = 26,25 \times \left[ 2 - e^{-\frac{Nc}{30}} \right]$
(Japan National Railway)	$\phi' = 27^\circ + (0,30.Nc)$
(Japan Road Boreau)	$\phi' = 15^\circ + \sqrt{(1,5.Nc)}$

Tabla 4: Formulas utilizadas para el ensayo, fuente: Geotecnia III Ing. Augusto J. Leoni.

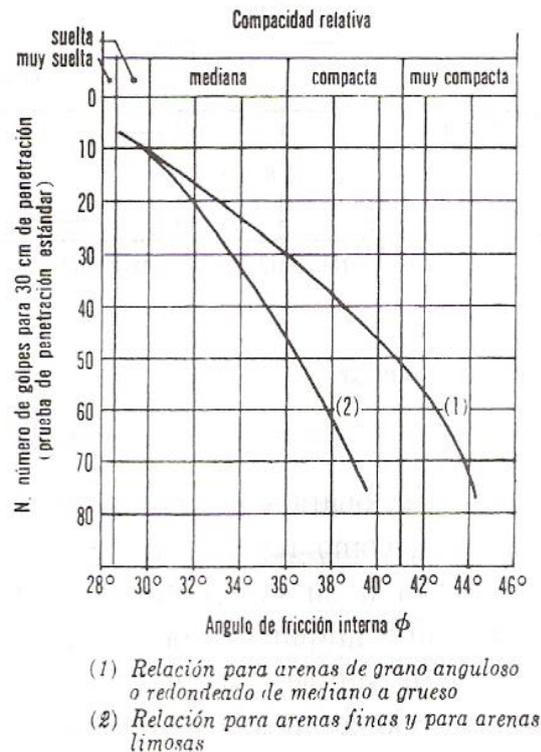


Figura 19: Correlación entre el número de golpes para 30 cm de penetración estándar y el ángulo de fricción interna de las arenas, fuente Mecánica de suelos Juárez Badillo y Rico Rodríguez

### 3.14. RESISTENCIA AL CORTE DE LOS SUELOS. ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE. ENSAYO TRIAXIAL.

La Resistencia al corte de los suelos depende de dos acciones fundamentales: Fricción y cohesión de las partículas que lo constituyen. La forma como intervienen estas dos propiedades tienen características bien diferenciadas. De allí podemos distinguir dos comportamientos que permiten clasificar los suelos en: a) sin cohesión y b) cohesivos. En los primeros predominan los efectos friccionales. En los segundos junto con aquellos, actúan las fuerzas de cohesión, cuya acción es bastante compleja.

#### Ensayos para determinar cohesión y ángulo de fricción interna.

En los suelos cohesivos existen varios métodos para determinar los parámetros de resistencia al corte podemos nombrar entre los principales: Ensayo de Compresión Simple o Uniaxial, Ensayo Triaxial, Ensayo de Corte directo, etc.

#### Ensayo de Compresión Simple

El ensayo de compresión no confinado es un ensayo de laboratorio de amplio uso debido a su rapidez y facilidad de ejecución para determinar los parámetros de resistencia al corte de suelos en condiciones no drenadas, su uso es utilizado en suelos cohesivos. Consiste en la

aplicación de una carga axial con control de deformación. El ensayo se ejecuta sobre muestras inalteradas, remoldeadas o compactadas. (figura 20)

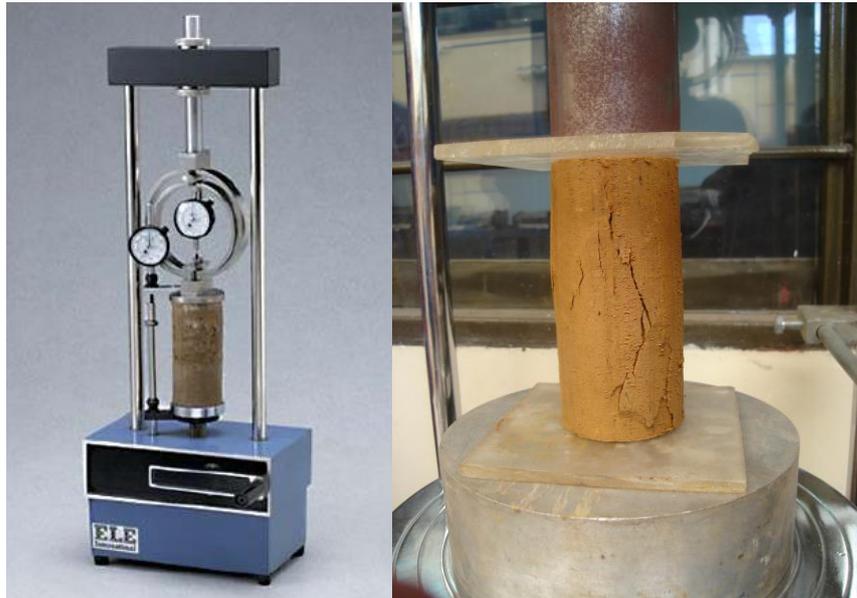


Figura 20: Prensa para ensayo de compresión simple fuente: Geotecnia III Ing. Augusto J. Leoni.

### **Resistencia al corte de suelos granulares incoherentes**

La resistencia al corte en los suelos granulares responde a los mecanismo de la fricción entre cuerpos, que analizaremos anteriormente, pero aclarando que en este caso estamos en presencia de una formada por un conjunto de partículas, y que las acciones friccionales solo podrán actuar en los puntos de contacto, y a igualdad de las otras condiciones, mayor la concentración de presiones en esos puntos. Análogamente, el número de puntos de contacto aumenta con la mejor distribución granulométrica. la importancia de las presiones de contacto se relaciona con la resistencia del material de las partículas, pues bajo su efecto, estas pueden llegar a deformarse o romperse.

La resistencia cortante de un suelo granular depende en resumen de una serie de factores que podemos agrupar en dos clases.

La primera agrupa los afectan la resistencia de un suelo dado, y son principal:

Compacidad (en general referida a relación de vacíos inicial)

Presiones de confinamiento (en la naturaleza o en la cámara triaxial)

La segunda clase agrupa los factores que hacen que la resistencia de un suelo sea distinta a la de otro, aun para igual compacidad y presión de confinamiento.

Forma de rugosidad de los granos.

Tamaño de las partículas.

Distribución granulométrica.

Resistencia de las partículas.

Hay además otros factores circunstanciales que dependen de como se hace llegar el material:

Velocidad de aplicación del esfuerzo.

Niveles de esfuerzo (magnitud de las presiones actuantes)

Valor de Angulo  $\phi$  en los medios incoherentes.

$$\phi = 36^\circ + \phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \phi_4$$

Compacidad	$\phi$	Suelta	-6
		Media	0
		Compacta	+6
Forma y rugosidad de los granos	$\phi$	Aguda	+1
		Media	0
		Redondeada	-3
		Muy redondeada	-5
Tamaño de los granos	$\phi$	Arena	0
		Grava fina	+1
		Grava gruesa	+2
Distribución granulométrica	$\phi$	Uniforme	-3
		Media	0
		Abierta	+3

Tabla 5: Distintos valores para aplicar a la fórmula de ángulo de fricción

En esta tabla se ve que el efecto más importante, aisladamente considerado, es el de la compacidad del material

Densidad relativa o grado de compacidad: se define de la siguiente expresión varía entre 0 para el estado de menor compacidad y 100 para el estado más denso. Para el cálculo se necesita, conocer la densidad máxima (obtenida del ensayo Proctor, la densidad mínima o suelta y la densidad natural)

La compacidad relativa es una propiedad índice de los suelos y se emplea principalmente en gravas y arenas y se puede correlacionar con otras propiedades índices, como el Angulo de fricción interna

$$Dr\% = \frac{\gamma_d - \gamma_{min}}{\gamma_{max} - \gamma_{min}} \left( \frac{\gamma_{max}}{\gamma_d} \right) \times 100$$

### 3.15. SELECCIÓN DE LOS MATERIALES PARA TERRAPLENES

Para que un material sea utilizado tiene que cumplir dos condiciones esenciales.

- a- Que sea posible su puesta en obra y que las deformaciones que se produzcan durante su vida resulten favorables. Estas deformaciones incluyen todos los asentamientos, cuando se trate de materiales húmedos mal compactados.
- b- Que la obra construida sea estable y que las deformaciones que se produzcan durante su vida resulten favorables. estas deformaciones incluyen todos los asentamientos, cuando se trate de materiales húmedos mal compactados, como los hinchamientos

cuando se empleen suelos expansivos sin cumplir con las condiciones más convenientes al caso.

Por ello un suelos puede clasificarse para su utilización exclusivamente por lo que pudiéramos llamar sus características intrínsecas, que es a las que se refiere las clasificaciones antes mencionadas, es preciso tener en cuenta también su estado de consistencia, o lo que es lo mismo sus características en el momento de su puesta en obra, así como las posibilidad de modificar estas condiciones, es decir hay que considerar la humedad con que se encuentra en cantera, la influencia en la misma de las condiciones meteorológicas durante su manejo, y las posibilidades de aumentarla o disminuirla para su colocación

En general la gama de los materiales aptos para la construcción de terraplenes es amplia. Estos dependerán de la función que debe cumplir el mismo. Pueden ser cohesivos como limos y arcillas o no cohesivos, como de bloques, gravas o arenas o mezclas de estos, si lo requiriera las condiciones de trabajo de las estructuras e incluso se los mejora con la inclusión de aditivos, como cal, cemento etc. En líneas generales, se trata de lograr un material seleccionados que satisfaga las condiciones que el proyecto le impone al terraplén con suelos cercanos al lugar de ejecución y tratando de lograr en lo posible la incorporación de aquellos provenientes de las excavaciones, de desmontes, túneles y demás obras auxiliares

### **Para la selección deberán tenerse en cuenta, condiciones**

#### **Relativas de terraplén:**

- ✓ Estabilidad. Altas resistencias al corte para soportar los distintos tipos de esfuerzos que deberán absorber satisfactoriamente a lo largo de su vida útil
- ✓ Estanqueidad: según el tipo de obra que se trate esta propiedad adquiere relevancia. Es importante en diques y canales y puede ser contra productiva en obra viales, sobre todo en caminos en zonas frías facilitando el ascenso capilar por efecto del congelamiento del suelo
- ✓ Adaptabilidad: que es la capacidad de acomodarse a los asentamientos según se produzcan grietas, fisuras o deformaciones que pudieran poner en peligro la estabilidad de la obra.

#### **Relativas a los materiales en sí.**

- ✓ Trabajabilidad. Que es la mayor o en menor dificultad que se presenta un material para lograr una adecuada compactación. la ausencia de esta propiedad incide directamente en los costos, por los trabajos adicionales para lograr las condiciones exigidas.
- ✓ Insolubilidad: de las partículas del suelo en agua, los líquidos que percolan a través del terraplén pueden contener sustancias químicas que en contacto en la estructura del suelo puedan disolver los vínculos entre las partículas, produciendo la rotura de la estructura resistente del material
- ✓ Bajo costo de manipuleo: debido a los grandes volúmenes de material a remover en un terraplén debe ponerse énfasis en la reducción del costo de estos.

Definidas las condiciones que debe cumplir un terraplén nos abocamos a estudiar los materiales que se disponen en las canteras cercanas a la obra



Se comienza con una selección preliminar de los materiales provenientes de los yacimientos de la zona teniendo en cuenta su composición granulométrica.

**El estudio de las curvas de los distintos materiales nos permitirá determinar:**

- ✓ tamaño máximo de los agregados
- ✓ continuidad granulométrica de la curva.
- ✓ extensión de la curva granulométrica propuesta.
- ✓ estimación de la permeabilidad del material por medio de fórmulas empíricas.
- ✓ mezclas de curvas proveniente de distintos yacimientos a fin de mejorar algunas de las características necesarias.
- ✓ estudio comparativo con curvas estadísticas utilizadas en terraplenes similares

### **3.15. COMPACTACIÓN DE SUELOS**

Se denomina compactación de suelos al proceso mecánico por el cual se busca mejorar las características de resistencia, comprensibilidad y esfuerzo-deformación de los mismos, por lo general el proceso implica una reducción más o menos rápida de los vacíos como consecuencia de la cual en el suelos ocurren cambios de volúmenes importancia, fundamente ligados a pérdida de volumen de aire, pues por lo común no se expulsa agua de los huecos durante el proceso de compactación, no todo el aire del suelo, por lo que la condición de un suelo compactado es la de un suelo parcialmente saturado.

El objetivo principal de la compactación es obtener un suelo de tal manera estructurado que posea y mantenga un comportamiento mecánico adecuado a través de la vida útil de la obra, las propiedades requeridas pueden variar de caso a caso, pero la resistencia la comprensibilidad y una adecuada relación ( $\sigma$ -E) esfuerzo – deformación figuran entre aquellas cuyo mejoramiento se busca siempre, es menos frecuente, aunque a veces menos importante, que también se compacte para obtener unas características idóneas de permeabilidad y flexibilidad . finalmente, suelos favorecerse mucho la permanencia de la estructura terrea ante la acción de los agentes erosivos como consecuencia de un proceso de compactación.

Por lo general, las técnicas de compactación se aplican a rellenos artificiales, como cortinas para presas de tierra, diques, terraplenes para caminos y ferrocarriles, bordos de defensa, muelles, bermas para piletas de evaporación, etc. en ocasiones se hace necesario compactar el terreno natural, como en el caso de las cimentaciones sobre arenas sueltas, así, la compactación de suelos es, ante todo, un problema constructivo, de campo.

La eficiencia de cualquier proceso de compactación depende de varios factores y para poder analizar la influencia particular de cada uno se requiere disponer de procedimiento estandarizados que produzcan los procesos de compactación de campo en el laboratorio, en forma representativa (hasta donde ello sea posible). De esta manera, pasan a primer plano de interés las pruebas de compactación de laboratorio y os estudios que en este han de hacerse en torno a tales procesos. Como quiera que los procesos de campo involucran costos altos, en general los estudios para proyecto habrán de hacerse con base en el trabajo de laboratorio, esta afirmación no la invalida el hecho de que en la técnica actual se haga un uso cada vez más extenso de terraplenes de prueba, en que se investiga modelos a escala natural para obtener normas de proyecto. Los estudios de compactación en el



laboratorio también desempeñan un papel muy importante en el control de calidad de los trabajos.

### **Variables que afectan el proceso de compactación de los suelos**

Como es natural, un suelo puede compactarse de varias maneras, y en cada caso se obtendrá un resultado diferente, por otra parte, una misma forma de compactación dará resultados distintos si se aplica a diversos suelos, por último, si una misma forma de compactación se aplica a un suelo determinado podrá lograrse resultados muy diferentes si de un acaso a otro se varían ciertas condiciones de las prevalecientes en dichos suelos

Los resultados de un proceso de compactación dependen de varios factores, unos que atañen al tipo de suelos otros relativos al método de compactación que se emplee y por último varios más que se refieren a determinadas circunstancias que en ese momento pudieran prevalecer en el suelo con que se trabaja. Estos factores suelen denominarse las variables que rigen el proceso de compactación. las principales de estas se reseñan a continuación.

#### 1- La naturaleza del suelo

Es claro que la clase de suelo con que se trabaja influye de manera decisiva en el proceso de compactación

#### 2- El método de compactación

En el laboratorio resulta bastante fácil clasificar los métodos de compactación en uso en tres tipos bien diferenciados. la compactación por impacto, por amasado, y por aplicación de carga estática

Resulta bastante difícil diferenciar de un modo análogo los métodos de compactación de campo, es común describir estos con base en el equipo mecánico que se emplee en el proceso, y así se habla de la compactación con rodillo liso, con rodillo neumático, con equipo vibratorio, etc. Se suponen que los métodos de laboratorio reproducen las condiciones del proceso de campo, pero en muchos casos no es fácil establecer una correspondencia clara entre el tren de trabajo de campo y las pruebas de laboratorio, en el sentido de contar con que estas últimas reproduzcan en forma suficientemente representativa todas las condiciones del suelo compactado en el campo.

#### 3- La energía específica

Se entiende por energía específica de compactación la que se entrega al suelo por unidad de volumen, durante el proceso mecánico de que se trate

### **Fórmula general de capacidad de carga- Teoría de Terzaghi**

La teoría de Terzaghi es uno de los primeros esfuerzos por adaptar a la Mecánica de Suelos los resultados de la Mecánica del Medio Continuo. En lo que sigue se presenta en la forma original utilizada por el propio Terzaghi. La Teoría cubre el caso más general de suelos con “cohesión y fricción” y su impacto en la Mecánica de Suelos ha sido de tal trascendente que aún hoy, es posible la teoría más usada para el cálculo de capacidad de carga en los proyectos prácticos, especialmente en el caso de cimientos poco profundos.

La expresión cimiento poco profundo se aplica a aquel en el que el ancho B es igual o mayor que la distancia vertical entre el terreno natural y la base del cimiento (profundidad de

desplante,  $D_f$ ). En estas condiciones Terzaghi despreció la resistencia al esfuerzo cortante arriba del nivel de desplante del cimiento, considerándola sólo de dicho nivel hacia abajo. El terreno sobre la base del cimiento se supone que sólo produce un efecto que puede representarse por una sobrecarga,  $q = \gamma \cdot D_f$ , actuante precisamente en un plano horizontal que pase por la base del cimiento, en donde  $\gamma$  es el peso específico del suelo. Con la base en los estudios de Prandtl, para cargas de una faja plana rígida, de longitud infinita en la superficie de un medio semi infinito, homogéneo, rígido-plástico, y la variante de Reissner que lo extendió al caso de que el cuerpo rígido se inserta en el medio, y no en su superficie, Terzaghi propuso el mecanismo de falla para un cimiento poco profundo, de longitud infinita normal al plano del papel. (figura 19)

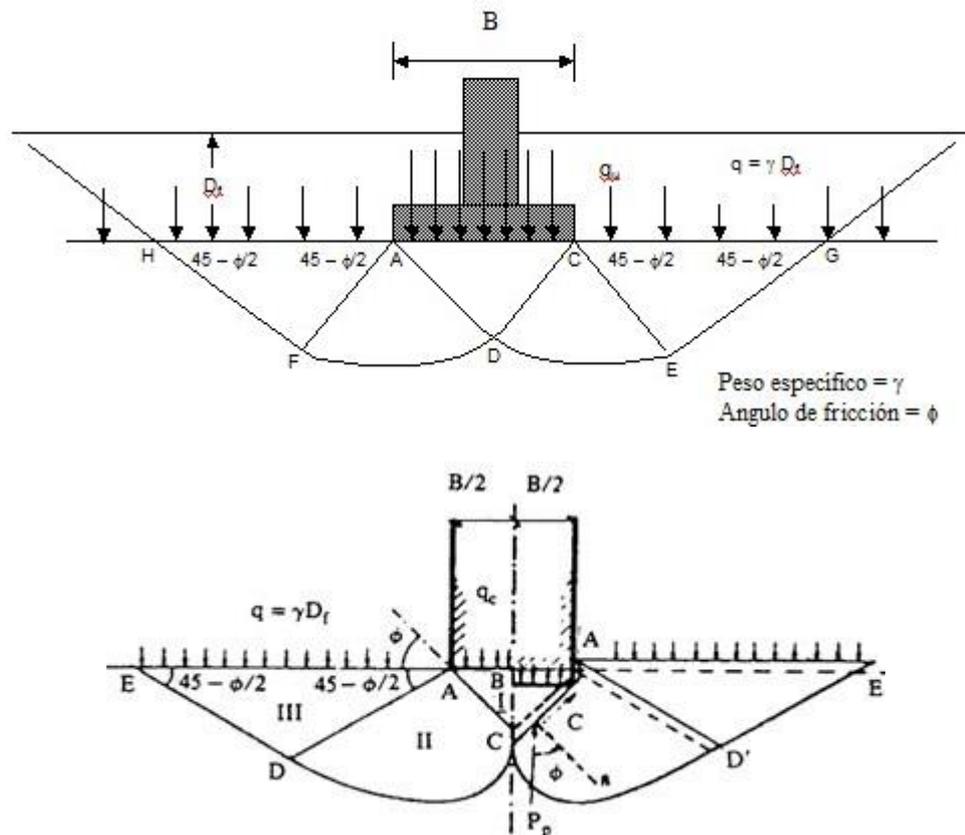


Figura 21: Mecanismo de falla para un cimiento fuente: Terzaghi, Kart y Peck, Ralph. (1975) – mecánica de suelos en la ingeniería práctica. ed. el ateneo

La zona I es una cuña que se mueve como cuerpo rígido con el cimiento, verticalmente hacia abajo. La zona II es de deformación tangencial radial; la frontera AC de esta zona forma con la horizontal el ángulo  $\phi$ , cuando la base del cimiento es rugosa, si fuera idealmente lisa, dicho ángulo sería  $45 + \phi/2$  con la horizontal, en cualquiera de los dos casos. La zona III es una zona de estado plástico pasivo de Rankine.

La penetración del cimiento en el terreno sólo será posible si se vencen las fuerzas resistentes que se oponen a dicha penetración, éstas comprenden al efecto de la cohesión en las superficies AC y la resistencia pasiva del suelo desplazado, actuante en dichas superficies. Por estarse tratando un caso de falla incipiente, estos empujes formarán un ángulo  $\phi$  con las superficies, es decir, serán verticales en cada una de ellas.



Trabajando matemáticamente su modelo de falla, Terzaghi obtuvo como valor límite de la carga que puede transmitir el cimiento, la expresión:

$$q_c = c. N_c + \gamma_l. D_f. N_q + \frac{1}{2} . \gamma. B. N_\gamma$$

Siendo:

$q_c$  = carga de falla o rotura

$c$  = cohesión

$\gamma_l$  = peso unitario efectivo del suelo por encima del nivel de desplante

$\gamma$  = peso unitario efectivo del suelo por debajo del nivel de desplante

$D_f$  = profundidad de la superficie de apoyo del cimiento

$B$  = ancho de la zapata corrida

$N_c, N_q, N_\gamma$  = factores de capacidad de carga adimensionales, funciones únicamente de  $\phi$  del suelo soporte.

Donde  $q_c$  es la presión máxima que puede darse al cimiento por unidad de longitud, sin provocar una falla, o sea, representa la capacidad de carga última del cimiento. Se expresa en unidades de presión.  $N_c, N_q, N_\gamma$  son coeficientes adimensionales que dependen sólo del valor de  $\phi$ , ángulo de fricción interna del suelo y se denominan “factores de capacidad de carga” debidos a la cohesión, a la sobrecarga y al peso del suelo, respectivamente.  $N_c$  se relaciona con la cohesión del suelo;  $N_q$  con la sobrecarga existente al nivel de desplante y,  $N_\gamma$  con el peso del suelo comprendido en las zonas II y III.

El mecanismo de falla adoptado por Terzaghi supone que al ir penetrando el cimiento en el suelo se va produciendo cierto desplazamiento lateral de modo que los estados plásticos desarrollados incipientemente bajo las cargas se amplían hasta los puntos más extremos de la superficie de falla, de tal modo que en el instante de la falla toda la longitud de la superficie de falla trabaja al esfuerzo límite. Sin embargo, en materiales arenosos, sueltos o arcillosos blandos en los que la deformación crece mucho para cargas próximas a la de falla, Terzaghi considera que al penetrar el cimiento no logra desarrollarse el estado plástico hasta puntos tan alejados como los E y E', sino que la falla ocurre antes, a carga menor, por haberse alcanzado un nivel de asentamiento en el terreno del cimiento que para fines prácticos, equivale a la falla del mismo. Terzaghi denomina a este tipo de falla, “falla local” en lugar de “falla general”.

Para obtener la capacidad límite soporte para una falla local, Terzaghi corrigió su teoría de un modo sencillo. En lugar de utilizar la expresión  $q_c = c. N_c + \gamma_l. D_f. N_q + \frac{1}{2} . \gamma. B. N_\gamma$ , se trabaja con  $c'$  y  $\phi'$  para efectos del cálculo trabajando así:

$$c' = 2/3. c \quad \text{y} \quad \text{Tg } \phi' = 2/3 \text{ tg. } \phi$$

O sea que, asigna al suelo una resistencia de las dos terceras partes de la real, a este suelo equivalente, Terzaghi le aplica su teoría y la expresión sería:

$$q_c = 2/3 c. N_c' + \gamma_l'. D_f. N_q' + \gamma. B. N_\gamma$$

Todo lo anterior se refiere únicamente a cimientos continuos, es decir, de longitud infinita normal al plano del papel. Para cimientos cuadrados o circulares no existe ninguna teoría ni

aún aproximada. Las siguientes fórmulas han sido propuestas por Terzaghi y son modificaciones de la expresión fundamental, basadas en resultados experimentales:

Zapata cuadrada:  $q_c = 1.2 c. N_c + \gamma_l. D_f. N_q + 0.4 \gamma. B. N_\gamma$

Zapata circular:  $q_c = 1.2 c. N_c + \gamma_l. D_f. N_q + 0.3 \gamma. B. N_\gamma$

En las ecuaciones anteriores, los factores de capacidad de carga se obtienen de los mismos. En la ecuación para zapata circular “D” es el diámetro de la zapata. Se debe tener en cuenta que todas las fórmulas anteriores son válidas solo para cimientos sujetos a la carga vertical y sin ninguna excentricidad.

$\phi$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$N_q/N_c$	$\text{tg } \phi$
0	5.14	1.00	0.00	0.20	0.00
1	5.35	1.09	0.07	0.20	0.02
2	5.63	1.20	0.15	0.21	0.03
3	5.90	1.31	0.24	0.22	0.05
4	6.19	1.43	0.34	0.23	0.07
5	6.49	1.57	0.45	0.24	0.09
6	6.81	1.72	0.57	0.25	0.11
7	7.16	1.88	0.71	0.26	0.12
8	7.53	2.06	0.86	0.27	0.14
9	7.92	2.25	1.03	0.28	0.16
10	8.35	2.47	1.22	0.30	0.18
11	8.80	2.71	1.44	0.31	0.19
12	9.28	2.97	1.69	0.32	0.21
13	9.81	3.26	1.97	0.33	0.23
14	10.37	3.59	2.29	0.35	0.25
15	10.98	3.94	2.65	0.36	0.27
16	11.63	4.34	3.06	0.37	0.29
17	12.34	4.77	3.53	0.39	0.31
18	13.10	5.26	4.07	0.40	0.32
19	13.93	5.80	4.68	0.42	0.34
20	14.83	6.40	5.39	0.43	0.36
21	15.82	7.07	6.20	0.45	0.38
22	16.88	7.82	7.13	0.46	0.40
23	18.05	8.66	8.20	0.48	0.42
24	19.32	9.60	9.44	0.50	0.45
25	20.72	10.66	10.88	0.51	0.47
26	22.25	11.85	12.54	0.53	0.49
27	23.94	13.20	14.47	0.55	0.51
28	25.80	14.72	16.72	0.57	0.53
29	27.86	16.44	19.34	0.59	0.55
30	30.14	18.40	22.40	0.61	0.58
31	32.67	20.63	25.99	0.63	0.60
32	35.49	23.18	30.22	0.65	0.62
33	38.64	26.09	35.19	0.68	0.65
34	42.16	29.44	41.06	0.70	0.67
35	46.12	33.30	48.03	0.72	0.70
36	50.59	37.75	56.31	0.75	0.73
37	55.63	42.92	66.19	0.77	0.75
38	61.35	48.93	78.03	0.80	0.78
39	67.87	55.96	92.25	0.82	0.81
40	75.31	64.20	109.41	0.85	0.84
41	83.86	73.90	130.22	0.88	0.87
42	93.71	85.38	155.55	0.91	0.90
43	105.11	99.02	186.54	0.94	0.93
44	118.37	115.31	224.64	0.97	0.97
45	133.88	134.88	271.76	1.01	1.00
46	152.10	158.51	330.35	1.04	1.04
47	173.64	187.21	403.67	1.08	1.07
48	199.26	222.31	496.01	1.12	1.11
49	229.93	265.51	613.16	1.15	1.15
50	266.89	319.07	762.89	1.20	1.19

Tabla 6: Factores de capacidad de carga (Vesic, 1973)



### **3.17. NIVEL FREÁTICO**

La Hidrología es la ciencia que trata de las aguas terrestres, de sus maneras de aparecer, de su circulación y de su distribución en el globo, de sus propiedades físicas y químicas y sus interacciones con el medio físico y biológico, sin olvidar las reacciones a la acción del hombre”. De la misma forma se puede adoptar para la Hidrología Subterránea o Hidrogeología la definición siguiente: Hidrología subterránea o Hidrogeología es aquella parte de la Hidrología que corresponde al almacenamiento y circulación y distribución de las aguas terrestres en la zona saturada de las formaciones geológicas, teniendo en cuenta sus propiedades físicas y químicas, sus interacciones con el medio físico y biológico y sus reacciones a la acción del hombre”.

La definición de “nivel freático” o manto freático, es el lugar geométrico de los puntos donde la presión del agua es igual a la presión atmosférica. En otras palabras, el nivel freático está definido por los niveles alcanzados por el agua subterránea en pozos de observación (nivel piezométrico).



## **CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA**

#### **4.1. METODOLOGIA DE TRABAJO**

El presente trabajo se realizó aplicando una metodología la cual fue dividida en cuatro (4) etapas. La primera etapa comprendió las tareas de gabinete previas a los trabajos de campo; en la segunda se llevó a cabo el control de campo, en la tercera se ejecutaron los ensayos en laboratorio de las muestras obtenidas en el campo, y la cuarta consistió en el procesamiento e interpretación de la información obtenida, que llevo a las conclusiones y recomendaciones en la elaboración del informe final.

#### **4.2. PRIMERA ETAPA**

Las tareas realizadas en la primera etapa estuvieron vinculadas principalmente a la búsqueda y recopilación de información cartográfica y bibliográfica sobre el área de estudio, la región y la temática abordada. Para esto se consultaron, informes técnicos, bibliografía específica, publicaciones, investigaciones, cartas y hojas geológicas, disponibles en la biblioteca de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la UNCA, bibliografía técnica de las empresas Minera Santa Rita S.R.L. y Kgori Punku, el uso de software como ser Google Earth Pro, Geocalc

En base a esto se realizó:

- ✓ Ubicación e interpretación e imágenes satelitales.
- ✓ Confección de mapa geológico – geotécnico del área de estudio.
- ✓ Digitalización de imágenes satelitales empleando el software Google Earth Pro, lo cual comprende la delimitación de las distintas áreas aptas y no aptas para la ubicación de las piletas.
- ✓ Descripción de los componentes ambientales propios de la región: Clima, Geología, Geomorfología e Hidrología.
- ✓ Confección de gráficos y tablas a partir de la información recopilada.
- ✓ Selección de puntos estratégicos preliminares para la observación en campo.

#### **4.3. SEGUNDA ETAPA**

Se realizó el correspondiente control de campo, recorriendo toda el área de exploración constatando, correlacionando, ajustando y corrigiendo los mapas confeccionados, con la observación directa en el campo de las diversas geformas presentes, y de todas las características del relieve, relevando puntos estratégicos con navegador GPS, para facilitar el posicionamiento de campo en la cartografía.

La labor exploratoria consistió en la ejecución de:

- ✓ Ejecución de 20 calicatas, las mismas se realizaron con retroexcavadora y sus dimensiones serán de 6 metros de largo, por 3 metros de ancho y una profundidad de 3 metros.
- ✓ Determinación el Peso unitario natural, por el método cono de arena, en 16 calicatas.
- ✓ Toma de muestras alteradas cada metro o cambio de suelo.
- ✓ Ejecución del Ensayo SPT (penetración estándar), en calicata 13.

- ✓ Determinación de la cota del nivel freático

### 4.3.1. TRABAJO DE CAMPO

#### 4.3.1.1. CALICATAS

Se realizaron 20 calicatas figura. 22 con máquina retroexcavadora en la zona de estudio, las cuales permitieron la inspección directa del suelo que se deseaba estudiar, por lo tanto, fue el método de exploración más confiable y completo.

La profundidad se determinó por las exigencias de la investigación, pero está dada, generalmente, por el nivel freático. La misma fue de 3 metros de ancho por 6 metros de largo y una profundidad de 3 metros en algunos sectores, permitiendo una adecuada inspección de las paredes. El material excavado se depositó en la superficie en forma ordenada separado de acuerdo a la profundidad y horizonte correspondiente. Se dejaron plataformas o escalones de 0,60 a 1 metros al cambio de estrato, reduciéndose la excavación. Esto permitió una superficie para efectuar la determinación de la densidad del terreno. Se dejó al menos una de las paredes lo menos contaminada posible, de modo que representen fielmente el perfil estratigráfico del pozo. En cada calicata se realizó una descripción visual o registro de estratigrafía donde se determinó color, contenido de materia orgánica y/o carbonatos, estructuras, forma de las partículas y compacidad aparente. Se tomó muestra de cada uno de los horizontes y se la colocó en bolsas de polietileno con su respectiva referencia, para ser ensayadas en el laboratorio.

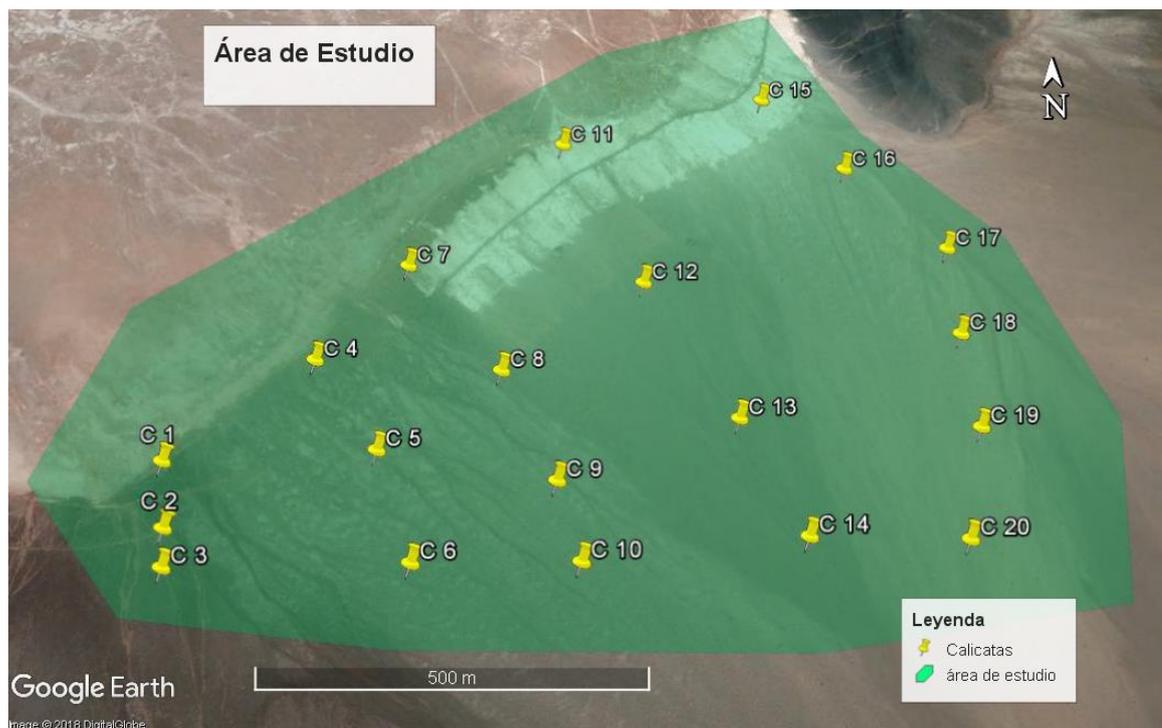


Figura 22: Ubicación de calicatas realizadas fuente: Google Earth

UBICACION DE CALICATAS				
COORDENADAS GEOGRAFICAS				
1	S	25°27'57.30"	O	66°57'56.04"
2	S	25°28'00.34"	O	66°57'55.54"
3	S	25°28'02.06"	O	66°57'55.35"
4	S	25°27'52.55"	O	66°57'48.96"
5	S	25°27'57.01"	O	66°57'45.55"
6	S	25°28'02.12"	O	66°57'43.65"
7	S	25°27'47.70"	O	66°57'44.42"
8	S	25°27'53.29"	O	66°57'39.44"
9	S	25°27'58.62"	O	66°57'36.68"
10	S	25°28'02.24"	O	66°57'35.58"
11	S	25°27'40.90"	O	66°57'36.10"
12	S	25°27'48.89"	O	66°57'31.98"
13	S	25°27'55.90"	O	66°57'27.54"
14	S	25°28'01.37"	O	66°57'24.70"
15	S	25°27'38.39"	O	66°57'24.70"
16	S	25°27'42.71"	O	66°57'20.52"
17	S	25°27'47.38"	O	66°57'15.62"
18	S	25°27'51.93"	O	66°57'15.72"
19	S	25°27'56.57"	O	66°57'15.56"
20	S	25°28'01.66"	O	66°57'17.06"

Tabla 7: Ubicación mediante coordenadas de calicatas.



Foto 1: Apertura de calicatas



Foto 2: calicata abierta



Foto 3: cierre de calicata

#### 4.3.1.2 DENSIDAD NATURAL: MÉTODOS DE CONO DE ARENA

Para la ejecución de este ensayo se utilizó, el método de cono de arena, el cual consistió en determinar la densidad natural de un suelo o peso unitario natural o densidad in situ. El mismo se realizó en el horizonte inferior de cada una de las calicatas a excepción de las que están afectadas por el nivel freático, ya que imposibilitaría su práctica.

Para este ensayo se utilizó los instrumentos y materiales:

- ✓ Cono de arena
- ✓ Cortafierro, punta, nivel, cuchara
- ✓ Arena estandarizada (6kg para ensayo)
- ✓ Bolsas de muestras (las cual para muestras que luego fueron ensayadas)
- ✓ Rótulos (para identificación de las muestras)



Foto 4: Ensayo de densidad (método de Cono)

**CONTROL DE COMPACTACION  
(METODO DE LA ARENA)**

Obra:

Constantes del Equipo

Peso Esp. Aparente (g/cm<sup>3</sup>) =  
Peso Arena Cono (q) =

UBICACION		PESO MATERIAL EXTRAIDO DEL POZO			PESO DE LA ARENA			VOLUMEN DEL POZO cm <sup>3</sup>	DENSIDAD		COMPACTACION %
MUESTRA	Prof.	HUMEDO g	SECO g	HUMEDAD %	INICIAL g	SOBRANTE g	LLENA POZO g		IN SITU Kg./m <sup>3</sup>	MAXIMA Kg./m <sup>3</sup>	

Tabla 8: Control de compactación

**4.3.1.3. ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR O SPT**

Este ensayo se ejecutó en el área seleccionada de la zona de exploración, consistió en medir el número de golpes necesarios para que se introduzca una determinada profundidad una cuchara (cilíndrica y hueca), que permitió tomar una muestra del interior, naturalmente alterada. Con los números de golpe de este ensayo se determinó la compacidad de cada uno de los estratos y el ángulo de fricción interna

Los materiales e instrumentos que se utilizaron son:

- ✓ Trípode
- ✓ Roldanas
- ✓ Sogas
- ✓ Barras o caños de prolongación.

- ✓ Muestreador o saca muestra Terzaghi
- ✓ Martillo o pesa de 63,5 kg
- ✓ Disparador

#### 4.3.1.4. DETERMINACIÓN DE NIVEL FREÁTICO

En las calicatas de N° 1, N°4, N°7 y N°11 realizadas en el área de estudio, donde se encontró el nivel freático se midió la profundidad del mismo, el método de medición se realizó con cintra métrica midiendo desde la superficie del terreno natural hasta la profundidad donde aflora.

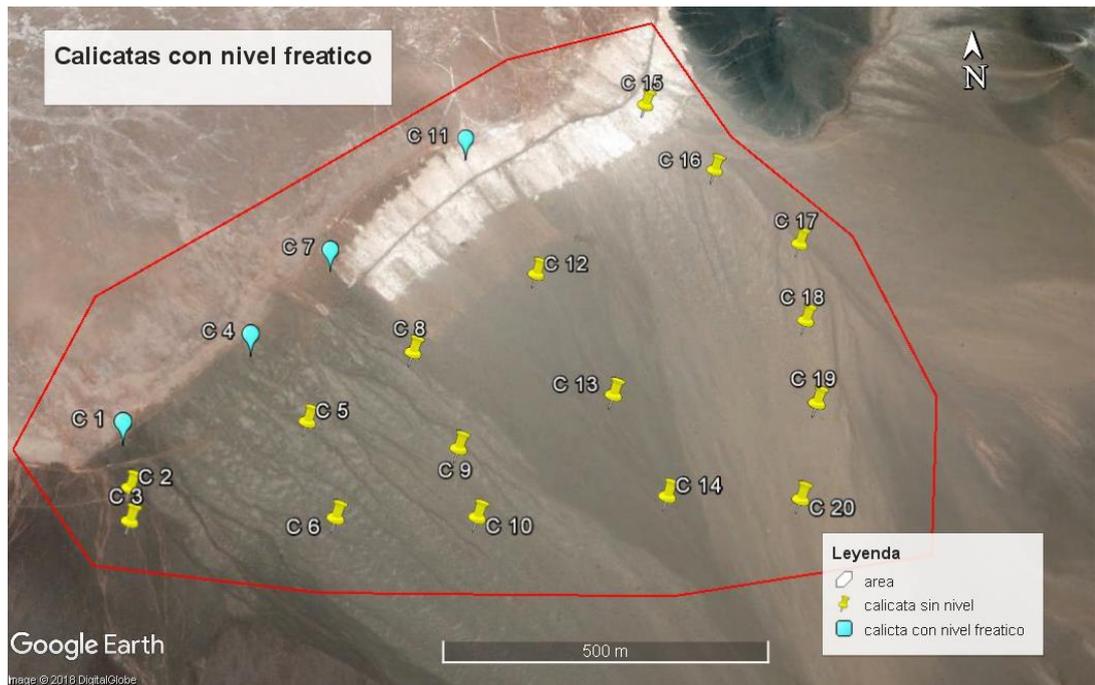


Figura 23: Calicatas en color celeste donde se encontró nivel freático, fuente: Google earth.



Foto 5: medición del nivel freático en calicatas desde superficie.

#### 4.4. TERCERA ETAPA

En esta etapa se realizaron los distintos ensayos, para cada muestra tomada en el área de exploración, los mismos se efectuaron en Laboratorio de Suelos de Vialidad Provincial, a fin de determinar el comportamiento físicos- químicos y mecánicos de los suelos. Las muestras fueron sometida a los siguientes ensayos:

- ✓ Determinación de humedad natural, norma ASTM D-2216
- ✓ Granulometría vía húmeda, norma ASTM D-422
- ✓ Determinación de los límites de Atterberg (limite líquido, limite plástico, índice plástico), norma ASTM D-4318.
- ✓ Ensayo Proctor (densidad máxima y humedad óptima), norma ASTM D-698.
- ✓ Peso unitario seco del suelo.
- ✓ Peso unitario húmedo del suelo.
- ✓ Compresión Simple a deformación controlada para suelos finos.

##### 4.4.1. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD NATURAL

Este ensayo consiste en determinar la humedad de cada uno de los horizontes, para el cual se pesa la muestra extraída (peso húmedo), se la coloca en una estufa u horno durante 12 a 24 horas a menos de 100°C y se la vuelve a pesar obteniendo el peso seco, con estos valores se procedió a realizar el cálculo el cual se obtiene de las siguiente formula:

$$H\% = \frac{Ww - Ws}{Ws} \times 100$$



Foto 6: Instrumentos para determinación de humedad

#### 4.4.2. PESO UNITARIO SUELTO

Es la relación entre el peso del suelo en estado suelto y el volumen ocupado por el mismo. Se disgrega y se seca la muestra del suelo luego se vierte con ayuda de una cuchara tipo almacenero en un recipiente de volumen conocido, se enrasa a la altura de la boca del recipiente y se pesa el contenido del mismo. El valor se obtiene de la siguiente relación.

- ✓ Horno
- ✓ Recipiente de volumen conocido
- ✓ Cuchara de almacenero
- ✓ Balanza

$$S = \frac{P_{\text{suelto}}}{V_R}$$

#### 4.4.3. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

En este ensayo se procedió a la utilización de un juego de tamices los cuales fueron utilizados en grado decreciente desde el tamiz de 2" al tamiz N°200.

El procedimiento consistió en tamizar las muestras por el tamiz N°4 a fin de separar la arena de la grava, luego el material retenido en tamiz N°4 se pasó por los tamices de 1<sup>1/2</sup>", 1", 3/4", 3/8" y N°4, y se pesó los retenidos en cada tamiz, se pesó el material pasante Tamiz N° 4 y se tomó una porción de 1.000 grs, el cual se pasó por los tamices de N°10, N°40, y N°200 determinándose el peso retenido y luego mediante cálculos se determinaron los porcentajes pasantes de cada criba, para establecer la distribución de los distintos tamaños de granos y sus porcentajes.

Este es el método más directo para separar un suelo granular en fracciones de distinto tamaño.

Los tamices generalmente utilizados son los que corresponden a las normas ASTM.

Tamices más usados para la Clasificación de Suelos

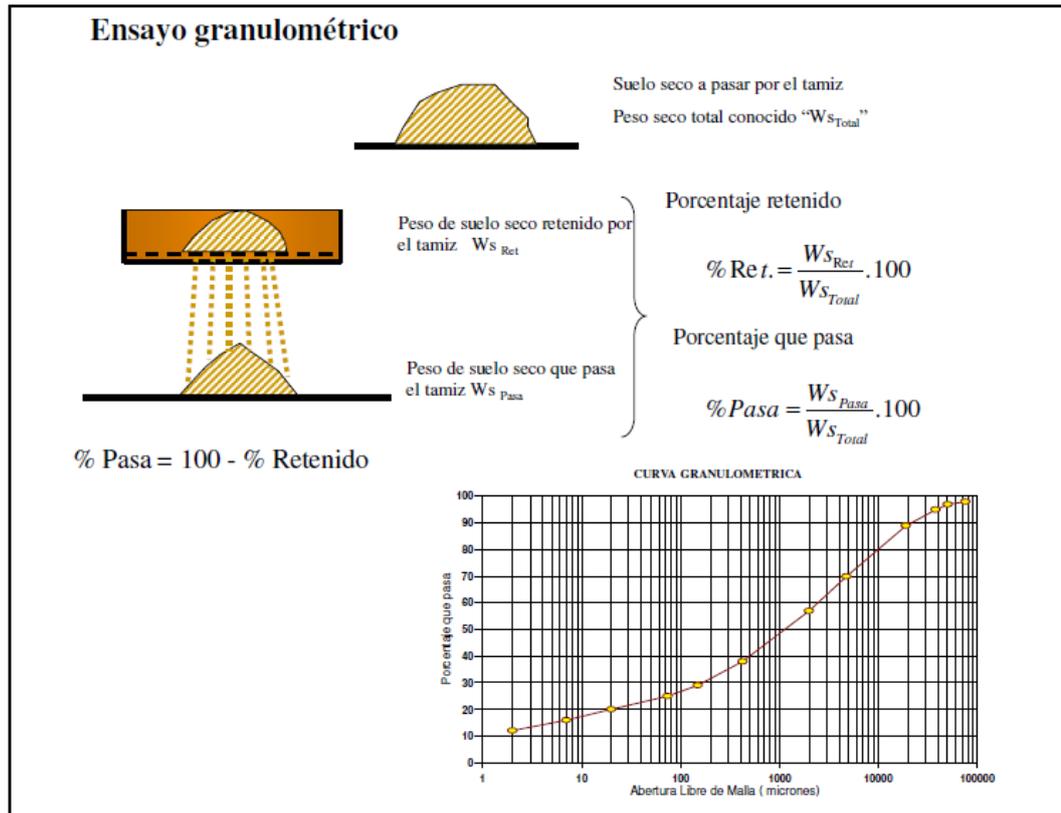


Figura 24: Procedimiento de ensayo granulométrico fuente: Geotecnia III Ing. Augusto J. Leoni

#### 4.4.4. ESTADOS DE CONSISTENCIA: LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO.

Estos ensayos se efectuaron en los suelos con un contenido de finos mayor al 12%, se tamizo la muestra por tamiz N° 40 y se tomó 100 gramos del material pasante y se lo colocó en una capsula el que fue humedecido con agua para obtener una mezcla homogénea luego de un cierto periodo de tiempo se lo puso en la taza de bronce del instrumento Casagrande y nivelando con la espátula se procedió a separar con un acanalador la muestra realizando una ranura por la mitad, con la ayuda de la manivela se procede a golpear la taza con la base hasta volver a unir la misma, se anota el número de golpes y se coloca una porción en un pesafiltro, se la pesa (peso húmedo) luego se lleva a estufa a 100° C durante 24 horas y se vuelve a pesar obteniéndose el peso seco mediante cálculos se determina el limite liquido del suelo, se toma una parte de la muestra humedecida y se la hace rodar en una placa de vidrio reduciendo la humedad hasta lograr un rolito de diámetro de 3mm y este comience a agrietarse o disgregarse, se hacen varios rolitos y se coloca en un pesafiltro procediendo de la misma manera que para el L.L. obteniéndose así mediante el cálculo el Limite Plástico y por diferencia de los dos se obtiene el índice plástico



Foto 7: Tasa de Casagrande e instrumento para determinar plasticidad

#### 4.4.5. ENSAYO PROCTOR

Este ensayo nos determina cual es la densidad máxima que se puede compactar el suelo y cuál es la humedad óptima para lograrla, consiste en compactar el suelo a distintas humedades en capas en el interior de un molde metálico cilíndrico mediante un pisón metálico cuyo peso, dimensiones, altura de caída y número de golpes estará de acuerdo al tipo de suelo se trate.

Se seca la muestra a ensayar en un horno o estufa a 110°C, se toma 2.500 gr. de suelo para cada punto de Humedad-Densidad para suelos finos y de 6.000 gr. para suelos granulares.

Si estamos en presencia de un suelo granular se pasa la muestra por tamiz  $\frac{3}{4}$ ", colocando la muestra en una bandeja y se le agrega el agua prevista para el primer punto, se homogeniza con espátula o cuchara de albañil.

Se opera con el molde de 101,6 mm. o el de 152,4 mm. de acuerdo al tipo de suelo, previa verificación de las constantes del molde: peso y volumen.

El molde se apoya sobre una base firme y con una cuchara se coloca dentro del molde una cantidad de material suelto que alcance una altura un poco mayor del tercio o del quinto de la altura del molde de acuerdo a la cantidad de capas necesarias según el ensayo.

Con el pisón se aplica el número de golpes previsto, uniformemente distribuidos sobre la superficie del suelo. Se repite la operación las veces necesarias según la cantidad de capas. Se retira el collar de extensión con una regla metálica o espátula se limpia el exceso de material y se pesa (Ph).

Se toma una porción de suelo para secar y se determina la humedad.

Se repite la operación para cada punto de humedad.

Se da por finalizado el ensayo cuando se tiene la certeza de tener 1 o 2 puntos de descenso de la curva humedad-densidad.



Foto 8: Molde de Proctor para ser pesado

#### 4.4.6. RESISTENCIA AL CORTE DE LOS SUELOS FINOS. ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE.

Para la realización de este ensayo se procedió a moldear una probeta a la densidad natural que se encuentra el suelo, para ello se debe eliminar por tamizado las partículas gruesas (arenas gruesa y grava), se mide el diámetro, la altura y se pesa la muestra. Se coloca la probeta en la prensa cuidando que quede bien centrada y se llevan a cero los comparadores de carga y deformación.

Como el ensayo se lo realiza a deformaciones controladas, se le imprime a la probeta una velocidad de deformación de 1 mm por minuto realizando lecturas en los comparadores cada 15 segundos. Para una prueba de deformación constante se aplica una velocidad de deformación axial a la muestra entre el 2% al 2,5% min respecto al altura de la muestra.

Si el flexímetro correspondiente al anillo de carga a intervalos regulares de deformación, continuando el ensayo hasta que los valores de carga disminuyan con el incremento de deformación, hasta que se tenga 3 lecturas iguales consecutivas de carga, o hasta que la muestra presente fisuras.

Se mide el ángulo de falla o bien determinar el valor  $h_0$  a fin de determinar el ángulo de fricción interna, luego se vuelcan los datos de deformación y se cargan en planilla de cálculo.



Foto 8: Prensa y probeta de ensayo para compresión simple

#### 4.5. CUARTA ETAPA

Con el procesamiento de los resultados obtenidos mediante trabajo de campo y laboratorio se procedió a la elaboración del informe final. El mismo concluyo con la representación y cálculos de los ensayos efectuados, para determinar la calificación de los suelos, la densidad relativa de los suelos, también establecer la capacidad de carga y tensión admisible a distintas profundidades, el ángulo lo de fricción interna y la confección de un mapa de los distintos sectores aptos y no aptos dependiendo del nivel freático, como así también análisis, conclusiones y recomendaciones, para la empresa Minera Santa Rita S.R.L. en la construcción de las piletas de evaporación.



## **CAPÍTULO V: RESULTADOS ALCANZADOS**



## **5.1. RESULTADOS OBTENIDOS**

En función de los resultados obtenidos, se analizó e interpreto la información de los ensayos in situ y ensayos de laboratorio.

Los mismos se detallan a continuación:

## **5.2. ESTRATIGRAFÍA**

El terreno en el cual está fijado el emplazamiento de las piletas de evaporación tiene una leve pendiente sur- norte y los suelos explorados corresponde a una depositación sedimentaria aluvial compuesta por arenas, arenas gravosas, gravas arenosas, y arenas limosas.

De acuerdo a los ensayos efectuados en laboratorio y a las observaciones de campo se confeccionaron los perfiles estratigráficos y la descripción de los suelos en cada una de las calicatas.

**Tesis: Estudio Geotécnico para la Construcción de Piletas de Evaporación  
Empresa Minera Santa Rita S.R.L  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca  
CALICATA N° 1**

Profundidad (m)	Perfil del Suelo	Napa de agua	Granulometría				Clasificación Unif.	Humedad											
			% que pasa					Natural	Constantes			Grafico							
			T 4	T 10	T 40	T 200			L.L.	L.P.	I.P.	3	6	9	12	15			
0.15	Arena fina																		
0.30	mal graduada		80.2	70.7	49.4	10.7	SP-SM	5.3	19.7	18.3	1.4								
0.45	con limo																		
0.60																			
0.75																			
0.90	Arena limosa																		
1.05																			
1.20	con grava fina		74.3	69	59.4	37.1	SM	7.8	23.0	20	3								
1.35																			
1.50																			
1.65																			
1.80																			
1.95								14.2											
2.10	NF																		
2.25																			
2.40																			
2.55																			
2.70																			
2.85																			
3.00																			

Representación gráfica: Perfil calicata N°1

**Calicata N°1**

Horizonte N°1: Arena fina mal graduada (SP-SM) con algo de grava fina, color pardo rojizo, de compacidad baja, presenta clastos sub redondeados a sub angulosos, no presenta estratificación.

Horizonte N°2: Arena limosa con algo de grava fina (SM), color pardo rojizo, de compacidad baja, clastos sub redondeados a sub angulosos, presencia de carbonatos, nivel freático a los – 2,10 metros, no presenta estratificación.

**Tesis: Estudio Geotécnico para la Construcción de Piletas de Evaporación  
Empresa Minera Santa Rita S.R.L  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca  
CALICATA N° 2**

Profundidad (m)	Perfil del Suelo	Napa de agua	Granulometría				Clasificación Unif.	Humedad										
			% que pasa					Natural	Constantes			Grafico						
			T 4	T 10	T 40	T 200			L.L.	L.P.	I.P.	2	4	6	8	10		
0.15	Arena																	
0.30	Limosa		87.9	82.6	63.8	32.7	SM	4.7	22.1	19.2	2.9							
0.45																		
0.60																		
0.75																		
0.90																		
1.05																		
1.20																		
1.35	Arena media																	
1.50																		
1.65	bien graduada																	
1.80			75.7	59	30.7	3.3	SW	4.1	19.4									
1.95	con grava																	
2.10																		
2.25																		
2.40																		
2.55																		
2.70																		
2.85																		
3.00																		

Representación gráfica: Perfil calicata N°2

**Calicata N° 2**

Horizonte N°1: Arena limosa (SM) con clastos aislados de grava fina, color pardo rojizo compacidad baja, presenta materia orgánica, y carbonatos.

Horizonte N°2: Arena bien graduada (SW) con grava fina a media, color pardo rojizo, compacidad baja, presenta clastos sub redondeados, a sub angulosos, de rocas metamórficas (esquistos micáceos).

**Tesis: Estudio Geotécnico para la Construcción de Piletas de Evaporación  
Empresa Minera Santa Rita S.R.L  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca  
CALICATA N° 3**

Profundidad (m)	Perfil del Suelo	Napa de agua	Granulometría				Clasificación Unif.	Humedad											
			% que pasa					Natural	Constantes			Grafico							
			T 4	T 10	T 40	T 200			L.L.	L.P.	I.P.	2	4	6	8	10			
0.15	Arena Limosa						SM												
0.30	con grava fina		88.4	79.5	56.5	26.5		4.3	21.8	18.9	2.8								
0.45							SW												
0.60																			
0.75																			
0.90																			
1.05																			
1.20	Arena media																		
1.35																			
1.50	bien graduada		76.7	61.6	31.7	1.5		4.8											
1.65																			
1.80	con grava																		
1.95																			
2.10																			
2.25																			
2.40																			
2.55																			
2.70																			
2.85	Toba						Toba												
3.00																			

Representación gráfica: Perfil calicata N°3

**Calicata N°3**

Horizonte N°1: Arena limosa con clastos aislados de grava fina (SM), color pardo grisáceo, compacidad baja, contiene algo de materia orgánica y carbonatos.

Horizonte N°2. Arena bien graduada con grava, (SW), color pardo rojizo, de compacidad baja, presenta clastos sub angulosos a sub redondeados, no presenta estratificación.

Horizonte N°3. Toba fina de color blanquecino sin estratificación en estado suelto.

**Tesis: Estudio Geotécnico para la Construcción de Piletas de Evaporación  
Empresa Minera Santa Rita S.R.L  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca  
CALICATA N° 4**

Profundidad (m)	Perfil del Suelo	Napa de agua	Granulometría % que pasa				Clasificación Unif.	Humedad										
			T 4	T 10	T 40	T 200		Natural	Constantes			Grafico						
									L.L.	L.P.	I.P.	3	6	9	12	15		
0.15	Arena limosa		89.2	78.6	57.2	13.2	SM	6.8	18.7	17.7	1							
0.30																		
0.45		Arena media bien graduada con grava							SW									
0.60			60	42.9	20.5	2.1	5.8											
0.75	Arena limosa						SM											
0.90																		
1.05																		
1.20																		
1.35																		
1.50																		
1.65				97.4	92.9	77.5		42.2	9.1	22.5	19.9	2.6						
1.80																		
1.95																		
2.10																		
2.25																		
2.40	NF						13.9											
2.55																		
2.70																		
2.85																		
3.00																		

Representación gráfica: Perfil calicata N°4

**Calicata N°4**

Horizonte N°1: Arena limosa (SM) con clastos aislados de grava fina, color pardo amarillento, de compacidad baja, presenta materia orgánica y carbonatos.

Horizonte N°2: Arena media bien graduada con grava (SW), color pardo grisáceo, compacidad baja, contiene clastos sub angulosos a sub redondeados principalmente de rocas metamórficas, en menor proporción de rocas volcánicas.

Horizonte N°3: Arena limosa poco plástica (SM), de color pardo rojizo, compacidad baja. Aumento progresivo del contenido de humedad hasta nivel freático.

Presencia de nivel freático a los – 2,50 metros de profundidad.

**Tesis: Estudio Geotécnico para la Construcción de Piletas de Evaporación  
Empresa Minera Santa Rita S.R.L  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca  
CALICATA N° 5**

Profundidad (m)	Perfil del Suelo	Napa de agua	Granulometría % que pasa				Clasificación Unif.	Humedad												
			T 4	T 10	T 40	T 200		Natural	Constantes			Grafico								
									LL	LP	IP	2	4	6	8	10				
0.15	Arena mal graduada					SP														
0.30			77.1	68.1	42		1.5	4.3												
0.45																				
0.60																				
0.75	Grava Bien Graduada					GW														
0.90																				
1.05			45.5	37.5	21.9		1.2	2.3												
1.20																				
1.35																				
1.50																				
1.65	Arena mal graduada					SP														
1.80																				
1.95																				
2.10																				
2.25			83.2	73	49		2.4	2.7												
2.40																				
2.55																				
2.70																				
2.85																				
3.00																				

Representación gráfica: Perfil calicata N°5

**Calicata N° 5**

Horizonte N°1: Arena mal graduada (SP) con cantos aislados de grava fina, color pardo grisáceo, compacidad baja, presenta clastos sub angulosos a sub redondeados, presencia de carbonatos

Horizonte N°2: Grava arenosa fina a media bien graduada (GW), color pardo rojizo, compacidad media, presenta clastos sub angulosos de esquistos y gneis de tamaño máximo 2", presencia de carbonatos.

Horizonte N°3. Arena mal graduada (SP) con cantos aislados de grava fina, color pardo rojizo, compacidad media, presenta clastos sub angulosos a sub redondeados, presencia de carbonatos. No presenta estratificación.

**Tesis: Estudio Geotécnico para la Construcción de Piletas de Evaporación  
Empresa Minera Santa Rita S.R.L  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca  
CALICATA N° 6**

Profundidad (m)	Perfil del Suelo	Napa de agua	Granulometría				Clasificación Unif.	Humedad											
			% que pasa					Natural	Constantes			Gráfico							
			T 4	T 10	T 40	T 200			L.L.	L.P.	I.P.	2	4	6	8	10			
0.15	Arena mal Graduada					SP													
0.30		72.2	61.1	43.7	2.4		5.3												
0.45																			
0.60	Arena bien Graduada					SW													
0.75																			
0.90																			
1.05																			
1.20																			
1.35		63.7	52.6	31	1.1		4.3												
1.50																			
1.65																			
1.80	Arena mal Graduada					SP													
1.95																			
2.10																			
2.25																			
2.40																			
2.55		84.5	79.4	45.9	3		4												
2.70																			
2.85																			
3.00																			

Representación gráfica: Perfil calicata N°6

**Calicata N° 6**

Horizonte N°1: Arena mal graduada (SP) con cantos de grava fina, color pardo grisáceo, compacidad suelta, presenta clastos sub angulosos a sub redondeados, presencia de carbonatos.

Horizonte N°2: Arena gravosa bien graduada (SW), color pardo rojizo, compacidad media, presenta clastos sub angulosos a sub redondeados de esquistos, gneis y andesitas presencia de carbonatos.

Horizonte N°3: Arena mal graduada (SP) con cantos aislados de grava fina, color pardo rojizo compacidad media, presenta clastos sub angulosos a sub redondeados, presencia de carbonatos.

**Tesis: Estudio Geotécnico para la Construcción de Piletas de Evaporación  
Empresa Minera Santa Rita S.R.L  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca  
CALICATA N° 7**

Profundidad (m)	Perfil del Suelo	Napa de agua	Granulometría				Clasificación Unif.	Humedad											
			% que pasa					Natural	Constantes			Grafico							
			T 4	T 10	T 40	T 200			L.L.	L.P.	I.P.	3	6	9	12	15			
0.15	Arena mal graduada					SP													
0.30																			
0.45																			
0.60																			
0.75			75.9	64.8	33.9		2.3	4.9											
0.90																			
1.05																			
1.20	Arena fina mal graduada con limo					SP-SM													
1.35																			
1.50																			
1.65																			
1.80																			
1.95																			
2.10			84.3	79.9	55.1	6.2	13.7												
2.25	NF																		
2.40																			
2.55																			
2.70																			
2.85																			
3.00																			

Representación gráfica: Perfil calicata N°7

**Calicata N° 7**

Horizonte N°1: Arena mal graduada (SP), color pardo grisáceo, compacidad suelta, presenta clastos sub angulosos a sub redondeados, presencia de carbonatos.

Horizonte N°2: Arena fina mal graduada (SP-SM) con algo de limo y cantos aislados, color pardo grisáceo, compacidad media, presenta clastos sub angulosos a sub redondeados de esquistos y gneis, presencia de carbonatos.

**Tesis: Estudio Geotécnico para la Construcción de Piletas de Evaporación  
Empresa Minera Santa Rita S.R.L  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca  
CALICATA N° 8**

Profundidad (m)	Perfil del Suelo	Napa de agua	Granulometría				Clasificación Unif.	Humedad													
			% que pasa					Natural	Constantes			Gráfico									
			T 4	T 10	T 40	T 200			L.L.	L.P.	I.P.	2	4	6	8	10					
0.15	Arena bien						SW	4.3													
0.30	Graduada		78	57.4	36.8	1.9															
0.45	Grava mal Graduada						GP	3.1													
0.60																					
0.75																					
0.90																					
1.05																					
1.20																					
1.35																					
1.50																					
1.65				37.3	28.9	16.8			1.6												
1.80																					
1.95																					
2.10																					
2.25																					
2.40																					
2.55																					
2.70																					
2.85																					
3.00																					

Representación gráfica: Perfil calicata N°8

**Calicata N° 8**

Horizonte N°1: Arena gravosa bien graduada (SW), color pardo grisáceo, compacidad suelta, presenta clastos sub angulosos a sub redondeados, presencia de materia orgánica y carbonatos

Horizonte N°2: Grava media mal graduada (GP), color pardo rojizo, compacidad media, presenta clastos sub angulosos a sub redondeados principalmente de rocas metamórficas y en menor proporción de rocas volcánicas, tamaño máximo 2”.

**Tesis: Estudio Geotécnico para la Construcción de Piletas de Evaporación  
Empresa Minera Santa Rita S.R.L  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca  
CALICATA N° 9**

Profundidad (m)	Perfil del Suelo	Napa de agua	Granulometría				Clasificación Unif.	Humedad										
			% que pasa					Natural	Constantes			Gráfico						
			T 4	T 10	T 40	T 200			L.L.	L.P.	I.P.	2	4	6	8	10		
0.15	Arena mal																	
0.30	Graduada		72.4	64.5	41.7	1.5	SP	4.9										
0.45																		
0.60																		
0.75																		
0.90	Arena bien		62.9	51	31.1	1.5	SW	3.3										
1.05	Graduada																	
1.20																		
1.35																		
1.50																		
1.65																		
1.80																		
1.95	Arena mal																	
2.10	Graduada		83.2	70.3	35.7	2.5	SP	5.4										
2.25																		
2.40																		
2.55																		
2.70																		
2.85																		
3.00																		

Representación gráfica: Perfil calicata N°9

**Calicata N°9**

Horizonte N°1: Arena mal graduada (SP) con cantos aislados de grava fina, color pardo amarillento, compacidad baja, presenta clastos sub angulosos a sub redondeados, presencia de materia orgánica.

Horizonte N°2: Arena gravosa bien graduada (SW), color pardo rojizo, compacidad media, clastos sub angulosos a sub redondeados de rocas metamórficas, presencia de carbonatos.

Horizonte N°3: Arena mal graduada (SP) con cantos aislados de grava fina, color pardo rojizo, compacidad media, presenta clastos sub angulosos a sub redondeados.

**Tesis: Estudio Geotécnico para la Construcción de Piletas de Evaporación  
Empresa Minera Santa Rita S.R.L  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca**

**CALICATA N° 10**

Profundidad (m)	Perfil del Suelo	Napa de agua	Granulometría				Clasificación Unif.	Humedad												
			% que pasa					Natural	Constantes			Grafico								
			T 4	T 10	T 40	T 200			L.L.	L.P.	I.P.	2	4	6	8	10				
0.15	Arena bien Graduada					SW														
0.30		68.1	55.8	38.1	1.2		3.7													
0.45																				
0.60	Arena mal Graduada					SP														
0.75																				
0.90																				
1.05																				
1.20																				
1.35																				
1.50																				
1.65		73.2	63	40.2	1.5		6.3													
1.80																				
1.95																				
2.10																				
2.25																				
2.40																				
2.55																				
2.70																				
2.85																				
3.00																				

Representación gráfica: Perfil calicata N°10

**Calicata N°10**

Horizonte N°1: Arena gravosa bien graduada (SW), color pardo grisáceo, compacidad suelta, presenta clastos sub angulosos a sub redondeados de esquistos y gneis, presencia de materia orgánica y carbonatos.

Horizonte N°2: Arena mal graduada (SP) con clastos de grava fina, color pardo grisáceo, compacidad media, presenta clastos sub angulosos a sub redondeados.

**Tesis: Estudio Geotécnico para la Construcción de Piletas de Evaporación  
Empresa Minera Santa Rita S.R.L  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca**

**CALICATA N° 11**

Profundidad (m)	Perfil del Suelo	Napa de agua	Granulometría				Clasificación Unif.	Humedad											
			% que pasa					Natural	Constantes			Grafico							
			T 4	T 10	T 40	T 200			L.L.	L.P.	I.P.	3	6	9	12	15			
0.15	Arena bien graduada					SW													
0.30			65.9	59	41.3		3.4	3.8											
0.45	Arena mal graduada					SP													
0.60																			
0.75																			
0.90																			
1.05																			
1.20																			
1.35																			
1.50																			
1.65				87.1	73.2		40.8	2.1	10.2										
1.80																			
1.95																			
2.10																			
2.25																			
2.40							14.8												
2.55	NF																		
2.70																			
2.85																			
3.00																			

Representación gráfica: Perfil calicata N°11

**Calicata N° 11**

Horizonte N°1: Arena gravosa bien graduada (SW), color pardo grisáceo, compacidad suelta, presenta clastos sub angulosos a sub redondeados de rocas metamórficas, presencia de carbonatos.

Horizonte N°2: Arena mal graduada (SP) con cantos aislados de grava fina, color pardo rojizo compacidad media, presenta clastos sub angulosos a sub redondeados, presencia de carbonatos.

**Tesis: Estudio Geotécnico para la Construcción de Piletas de Evaporación  
Empresa Minera Santa Rita S.R.L  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca**

**CALICATA N° 12**

Profundidad (m)	Perfil del Suelo	Napa de agua	Granulometría				Clasificación Unif.	Humedad											
			% que pasa					Natural	Constantes			Grafico							
			T 4	T 10	T 40	T 200			L.L.	L.P.	I.P.	2	4	6	8	10			
0.15	Arena mal																		
0.30	Graduada		71.8	62.2	34.7	1.7	SP	5.5											
0.45																			
0.60																			
0.75																			
0.90																			
1.05																			
1.20																			
1.35																			
1.50																			
1.65	Arena bien		57.2	37.7	20.4	1	SW	3.9											
1.80	Graduada																		
1.95																			
2.10																			
2.25																			
2.40																			
2.55																			
2.70																			
2.85																			
3.00																			

Representación gráfica: Perfil calicata N°12

**Calicata N°12**

Horizonte N°1: Arena mal graduada (SP) con cantos aislados de grava fina, color pardo grisáceo, compacidad suelta, presenta clastos sub angulosos a sub redondeados, presencia de materia orgánica y carbonatos.

Horizonte N°2. Arena gravosa bien graduada (SW), color pardo rojizo, compacidad media, presenta clastos sub angulosos a sub redondeados de principalmente de rocas metamórficas y en menor proporción de rocas volcánicas.

**Tesis: Estudio Geotécnico para la Construcción de Piletas de Evaporación  
Empresa Minera Santa Rita S.R.L  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca**

**CALICATA N° 13**

Profundidad (m)	Perfil del Suelo	Napa de agua	Granulometría % que pasa				Clasificación Unif.	Humedad												
			T 4	T 10	T 40	T 200		Natural	Constantes			Grafico								
									LL	LP	IP	2	4	6	8	10				
0.15	Arena mal Graduada					SP														
0.30																				
0.45		71.5	61.7	40.4	2.3		4.1													
0.60																				
0.75																				
0.90	Arena bien Graduada		53.3	34.3	16.6	1.2	SW	3.5												
1.05																				
1.20	Arena mal Graduada					SP														
1.35																				
1.50																				
1.65																				
1.80																				
1.95		77.2	68.7	42.6	2.6		4.5													
2.10																				
2.25																				
2.40																				
2.55																				
2.70																				
2.85																				
3.00																				

Representación gráfica: Perfil calicata N°13

**Calicata N°13:**

Horizonte N°1: Arena mal graduada (SP) con cantos aislados de grava fina, color pardo grisáceo, compacidad suelta, presenta clastos sub angulosos a sub redondeados, presencia de materia orgánica y carbonatos

Horizonte N°2: Arena gravosa bien graduada (SW), color pardo rojizo, compacidad media, presenta clastos sub angulosos a sub redondeados de principalmente de rocas metamórficas y en menor proporción de rocas volcánicas.

Horizonte N°3: Arena mal graduada (SP) con cantos aislados de grava fina, color pardo rojizo, compacidad media, presenta clastos sub angulosos a sub redondeados.

**Tesis: Estudio Geotécnico para la Construcción de Piletas de Evaporación  
Empresa Minera Santa Rita S.R.L  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca**

**CALICATA N° 14**

Profundidad (m)	Perfil del Suelo	Napa de agua	Granulometría				Clasificación Unif.	Humedad												
			% que pasa					Natural	Constantes			Grafico								
			T 4	T 10	T 40	T 200			L.L.	L.P.	I.P.	2	4	6	8	10				
0.15	Arena mal Graduada					SP														
0.30		81	70.7	49.2	2.6		4.6													
0.45																				
0.60	Arena bien Graduada					SW														
0.75																				
0.90																				
1.05																				
1.20																				
1.35																				
1.50																				
1.65																				
1.80																				
1.95																				
2.10																				
2.25																				
2.40																				
2.55																				
2.70																				
2.85																				
3.00																				

Representación gráfica: Perfil calicata N°14

**Calicata N°14**

Horizonte N°1: Arena mal graduada (SP) con cantos aislados de grava fina, color rojizo, compacidad suelta, presenta clastos sub angulosos a sub redondeados, presencia de materia orgánica y carbonatos

Horizonte N°2: Arena gravosa bien graduada (SW) color pardo rojizo, compacidad media, presenta clasto sub angulosos a sub redondeados de esquistos y gneis.

**Tesis: Estudio Geotécnico para la Construcción de Piletas de Evaporación  
Empresa Minera Santa Rita S.R.L  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca**

**CALICATA N° 15**

Profundidad (m)	Perfil del Suelo	Napa de agua	Granulometría				Clasificación Unif.	Humedad												
			% que pasa					Natural	Constantes			Grafico								
			T 4	T 10	T 40	T 200			L.L.	L.P.	I.P.	2	4	6	8	10				
0.15	Arena mal Graduada					SP														
0.30		90.4	83.3	58.8	1.8		5.2													
0.45																				
0.60	Arena bien Graduada					SW														
0.75																				
0.90																				
1.05																				
1.20																				
1.35																				
1.50																				
1.65		64.9	52.8	30.1	2.1		4.8													
1.80																				
1.95																				
2.10																				
2.25																				
2.40																				
2.55																				
2.70																				
2.85																				
3.00																				

Representación gráfica: Perfil calicata N°15

**Calicata N° 15**

Horizonte N°1: Arena mal graduada (SP), color pardo grisáceo, compacidad suelta, presenta clastos sub angulosos a sub redondeados presencia de materia orgánica y carbonatos.

Horizonte N°2: Arena gravosa bien graduada (SW), color pardo rojizo, compacidad media, presenta clastos sub angulosos a sub redondeados de rocas metamórficas.

**Tesis: Estudio Geotécnico para la Construcción de Piletas de Evaporación  
Empresa Minera Santa Rita S.R.L  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca**

**CALICATA N° 16**

Profundidad (m)	Perfil del Suelo	Napa de agua	Granulometría				Clasificación Unif.	Humedad												
			% que pasa					Natural	Constantes			Gráfico								
			T 4	T 10	T 40	T 200			L.L.	L.P.	I.P.	2	4	6	8	10				
0.15	Arenas bien Graduadas					SW														
0.30			57.2	48.7	28.3		1.7	3.9												
0.45																				
0.60	Arena mal Graduada					SP														
0.75																				
0.90																				
1.05			83.4	71.1	44.7		2.7	5												
1.20																				
1.35																				
1.50	Grava bien Graduada					GW														
1.65																				
1.80																				
1.95																				
2.10																				
2.25			43.1	32.3	21.8		1.1	4.2												
2.40																				
2.55																				
2.70																				
2.85																				
3.00																				

Representación gráfica: Perfil calicata N°16

**Calicata N°16**

Horizonte N°1: Arena gravosa bien graduada (SW), color pardo grisáceo, compacidad suelta, presenta clastos sub angulosos a sub redondeados de gneis y esquistos, presencia de materia orgánica y carbonatos.

Horizonte N°2: arenal mal graduada(SP) con cantos aislados, color pardo grisáceo, compacidad media presenta clastos sub angulosos a sub redondeados.

Horizonte N°3: Grava media bien graduada (GW), color pardo rojizo, compacidad media, presenta clastos sub angulosos de gneis y esquistos, tamaño máximo 2”.

**Tesis: Estudio Geotécnico para la Construcción de Piletas de Evaporación  
Empresa Minera Santa Rita S.R.L  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca**

**CALICATA N° 17**

Profundidad (m)	Perfil del Suelo	Napa de agua	Granulometría				Clasificación Unif.	Humedad										
			% que pasa					Natural	Constantes			Gráfico						
			T 4	T 10	T 40	T 200			L.L.	L.P.	I.P.	2	4	6	8	10		
0.15																		
0.30																		
0.45																		
0.60																		
0.75																		
0.90																		
1.05																		
1.20	Arena mal																	
1.35	Graduada		76.9	63.1	38.8	2.6	SP	4.8										
1.50																		
1.65																		
1.80																		
1.95																		
2.10																		
2.25																		
2.40																		
2.55																		
2.70	Arena mal		91.9	86	52	3.1	SP	5.8										
2.85	Graduada																	
3.00																		

Representación gráfica: Perfil calicata N°17

**Calicata N°17**

Horizonte N°1: Arena media mal graduada (SP) con cantos de grava fina, color pardo grisáceo, compacidad media, presenta clastos sub angulosos a sub redondeados de gneis y esquistos, presencia de materia orgánica y carbonatos

Horizonte N°2: Arena fina mal graduada (SP), color pardo rojizo, compacidad media, presencia de carbonatos.

**Tesis: Estudio Geotécnico para la Construcción de Piletas de Evaporación  
Empresa Minera Santa Rita S.R.L  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca**

**CALICATA N° 18**

Profundidad (m)	Perfil del Suelo	Napa de agua	Granulometría				Clasificación Unif.	Humedad												
			% que pasa					Natural	Constantes			Grafico								
			T 4	T 10	T 40	T 200			L.L.	L.P.	I.P.	2	4	6	8	10				
0.15	Arena mal Graduada					SP														
0.30																				
0.45		86.6	75.3	39.3	3.5		5													
0.60																				
0.75																				
0.90																				
1.05	Arena mal Graduada					SP														
1.20																				
1.35																				
1.50																				
1.65																				
1.80																				
1.95																				
2.10		78.9	68.5	46.1	1.4		3.6													
2.25																				
2.40																				
2.55																				
2.70																				
2.85																				
3.00																				

Representación gráfica: Perfil calicata N°18

**Calicata N°18:**

Horizonte N°1: Arena mal graduada (SP) con cantos de grava fina, color pardo grisáceo, compacidad suelta, presenta clastos sub angulosos a sub redondeados, presencia de materia orgánica y carbonatos.

Horizonte N°2: Arena gravosa bien graduada (SP), color pardo rojizo, compacidad media, presenta clastos sub angulosos de rocas metamórficas.

**Tesis: Estudio Geotécnico para la Construcción de Piletas de Evaporación  
Empresa Minera Santa Rita S.R.L  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca**

**CALICATA N° 19**

Profundidad (m)	Perfil del Suelo	Napa de agua	Granulometría				Clasificación Unif.	Humedad											
			% que pasa					Natural	Constantes			Grafico							
			T 4	T 10	T 40	T 200			L.L.	L.P.	I.P.	2	4	6	8	10			
0.15	Arena mal																		
0.30	Graduada		83.7	72.3	32.3	1.6	SP	4.8											
0.45																			
0.60																			
0.75																			
0.90																			
1.05																			
1.20																			
1.35																			
1.50																			
1.65	Grava bien		49.8	40.6	27.6	1.3	GW	2.9											
1.80	Graduada																		
1.95																			
2.10																			
2.25																			
2.40																			
2.55																			
2.70																			
2.85																			
3.00																			

Representación gráfica: Perfil calicata N°19

**Calicata N°19**

Horizonte N°1. Arena mal graduada (SP) con cantos de grava fina, color pardo grisáceo, compacidad suelta, presenta clastos sub angulosos, presencia de materia orgánica y carbonatos

Horizonte N°2: Grava arenosa bien graduada (GW,) color pardo rojizo, compacidad media, presenta clastos sub angulosos de gneis y esquistos, presencia de carbonatos

**Tesis: Estudio Geotécnico para la Construcción de Piletas de Evaporación  
Empresa Minera Santa Rita S.R.L  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca**

**CALICATA N° 20**

Profundidad (m)	Perfil del Suelo	Napa de agua	Granulometría				Clasificación Unif.	Humedad											
			% que pasa					Natural	Constantes			Gráfico							
			T 4	T 10	T 40	T 200			L.L.	L.P.	I.P.	2	4	6	8	10			
0.15	Arena fina																		
0.30	mal graduada		86.5	80.4	61.6	2.4	SP	4.2											
0.45	Arena media																		
0.60	bien graduada		66.7	52.3	28	1.6	SW	3.8											
0.75	con grava																		
0.90																			
1.05																			
1.20	Arena fina																		
1.35	mal graduada		93.1	83.9	51.2	2	SP	5.3											
1.50																			
1.65																			
1.80																			
1.95																			
2.10																			
2.25	Arena media																		
2.40	bien graduada		68.2	53	34.6	1.6	SW	5.6											
2.55	con grava																		
2.70																			
2.85																			
3.00																			

Representación gráfica: Perfil calicata N°20

**Calicata N°20:**

Horizonte N°1: Arena fina mal graduada (SP) color pardo grisáceo, compacidad suelta presenta clastos sub angulosos a sub redondeados, presencia de materia orgánica y carbonatos.

Horizonte N°2. Arena gravosa bien graduada (SW), color pardo amarillento, compacidad media, presenta clastos sub angulosos a sub redondeados de gneis y esquistos.

Horizonte N°3: Arena mal graduada (SP) color pardo rojizo, compacidad media, presenta clastos sub angulosos a sub redondeados.

Horizonte N°4: Arena gravosa bien graduada (SW) color pardo rojizo, compacidad media, presenta clastos sub angulosos a sub redondeados de gneis y esquistos.

De la información obtenida de los perfiles, se pueden agrupar los suelos de explorados en el área estudiada en 3 zonas bien definidas, las cuales se designan según la siguiente nomenclatura:

**Zona 1:** representa un subsuelo predominante de arenas finas limosas de baja plasticidad con presencia de gravas aisladas, con intercalaciones de arena media bien graduada con grava fina. En esta zona se observa el afloramiento del nivel freático aproximadamente a 2,5 m de profundidad desde la superficie en la Calicatas N° 1 y N°4, en las calicatas N°2 y N°3 por la cota de boca de pozo se puede inferir que el nivel se encuentra a 4 m aproximadamente.

**Zona 2:** representa un subsuelo predominante de arenas finas mal graduadas con presencia de gravas aisladas, con intercalaciones de arena media bien graduada con grava de cantos subredondeados a subangulosos. En esta zona se observa el afloramiento del nivel freático aproximadamente a 2,6 m de profundidad desde la superficie en la Calicatas N° 7 y N°11, en la calicata N°15 por la cota de boca de pozo se puede inferir que el nivel se encuentra a 4 m aproximadamente.

**Zona 3:** representa un subsuelo predominante de arenas gravosas bien graduadas con intercalaciones de arenas medias a finas mal graduadas y gravas medias arenosas con clastos de cantos subredondeados y subangulosos lajeados principalmente de esquistos provenientes de la Formación Pachamama y en menor proporción de rocas volcánicas, con compacidad media a alta en relación con la profundidad, de estructura homogénea. No se observa nivel freático en el sector.

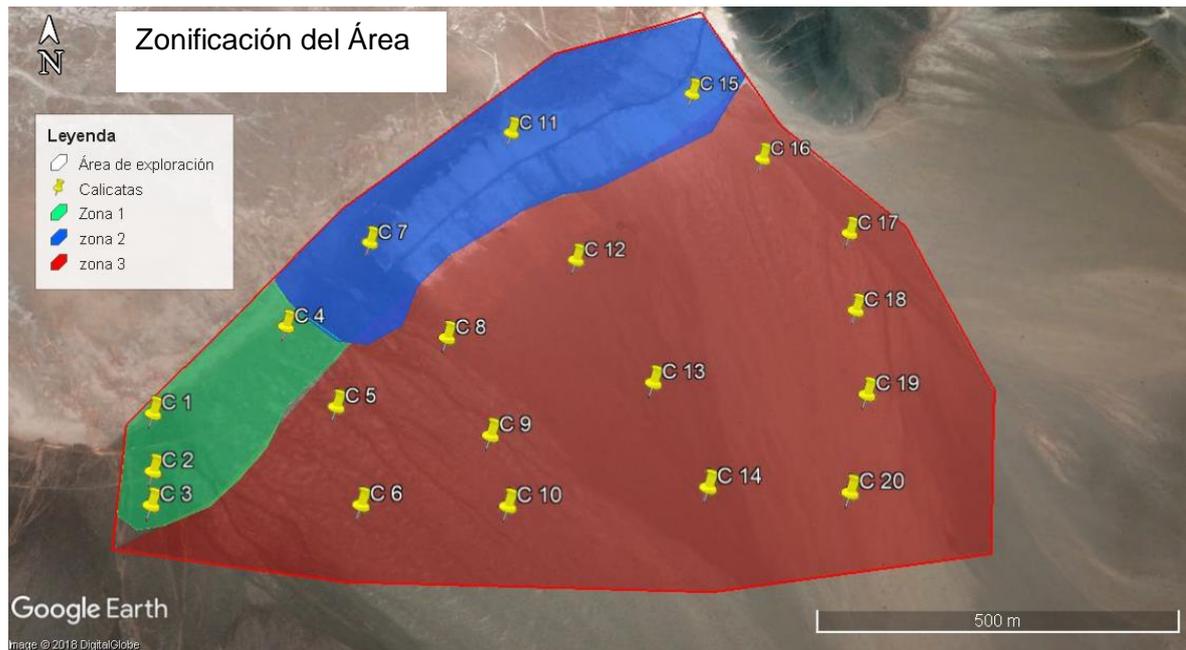


Figura 25: Zonificación de área, ubicación de calicatas, fuente: Google Eathr

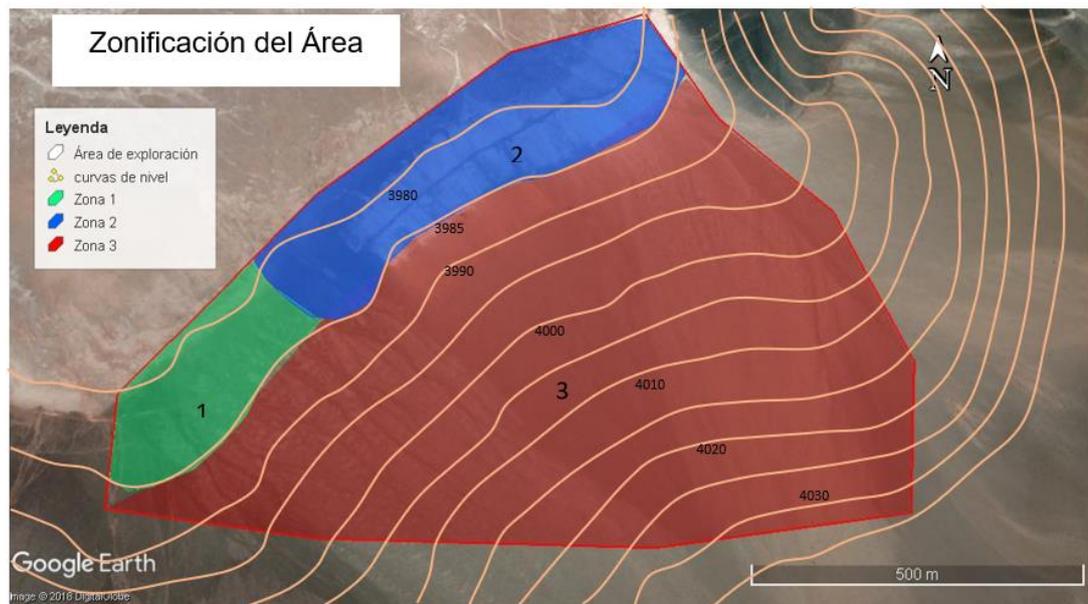


Figura 26: Zonificación de área, zona de estudio, fuente: Google Eathr

### 5.3. DENSIDAD NATURAL

La determinación de este parámetro se efectuó mediante el método de cono de arena en el horizonte inferior de 16 calicatas, en los cuatro restantes al borde del salar, donde se encontró nivel freático, se vio imposibilitado de realizarlo.

Los mismos se detallan en la siguiente tabla, la cual contiene el número de calicata, la clasificación de suelo, la densidad húmeda expresada en (grs/cm<sup>3</sup>), Densidad seca (grs/cm<sup>3</sup>) y Humedad (%).(tabla 10)

Ensayos de Densidad In Situ (método de cono de arena) a profundidad de – 2.50				
Calicata N°	Clasificación de suelo	Densidad húmeda (grs/Cm <sup>3</sup> )	Densidad seca (grs/Cm <sup>3</sup> )	Humedad %
C 20	SW	2.081	1.976	5,3
C 19	GW	1.954	1.901	2,9
C 18	SP	1.961	1.893	3,6
C 17	SP	1.837	1.736	5,8
C 16	GW	1.957	1.879	4,2
C 15	SW	1.906	1.819	4,8
C 14	SW	2.064	2.006	2,9
C 13	SP	1.875	1.795	4,5

C 12	SW	1.996	1.922	3,9
C 11	NIVEL FREATICO			
C 10	SP	2.037	1.917	6,3
C 9	SP	1.925	1.827	5,4
C 8	GP	2.065	2.003	3,1
C 7	NIVEL FREATICO			
C 6	SP	1.895	1.823	4
C 5	SP	1.889	1.840	2,7
C 4	NIVEL FREATICO			
C 3	SW	1.738	1.659	4,8
C 2	SW	1.741	1.673	4,1
C 1	NIVEL FREATICO			

Tabla 9: Densidad in situ (método cono de arena)

#### 5.4. DENSIDAD RELATIVA

Con los resultados obtenidos de la densidad natural y la determinación en laboratorio de las densidades mínimas y máximas se calculó la densidad relativa (tabla 11), cuyo valor expresa la compacidad de los distintos suelos explorados, matemáticamente esta expresado por la siguiente formula.

$$Dr\% = \frac{\gamma_d - \gamma_{min}}{\gamma_{max} - \gamma_{min}} \left( \frac{\gamma_{max}}{\gamma_d} \right) \times 100$$

DENSIDAD RELATIVA					
CALICATA	SUELO	$\delta$ natural	$\delta$ máxima	$\delta$ suelta	Dr %
1	NIVEL FREATICO				
2	SW	1.773	2.117	1.670	27.5
3	SW	1.759	2.117	1.668	24.3
4	NIVEL FREATICO				
5	SP	1.840	2.000	1.621	62.8
6	SP	1.823	2.000	1.629	57.2
7	NIVEL FREATICO				
8	GP	2.003	2.153	1.668	74.2

9	SP	1.827	2.000	1.633	57.9
10	SP	1.917	2.000	1.645	80
11	NIVEL FREATICO				
12	SW	1.922	2.117	1.673	61.7
13	SP	1.795	2.000	1.621	51.1
14	SW	2.006	2.117	1.711	76.6
15	SW	1.819	2.117	1.658	40
16	GW	1.879	2.153	1.719	47
17	SP	1.736	2.000	1.594	40.3
18	SP	1.893	2.000	1.617	76.1
19	GW	1.901	2.153	1.726	46.5
20	SW	1.976	2.117	1.679	72.6

Tabla 10: Densidad relativa

	Densidad relativa	Compacidad
1	0 – 15	Muy suelta
2	15 – 30	Suelta
3	30 – 60	Mediantemente Densa
4	60 – 80	Densa
5	80 - 100	Muy Densa

Tabla 11: Comparativa entre densidad relativa y compacidad

CALICATA	SUELO	Dr %	Compacidad
1	NIVEL FREATICO		
2	SW	27.5	Suelta
3	SW	24.3	Suela
4	NIVEL FREATICO		
5	SP	62.8	Densa
6	SP	57.2	Mediantemente Densa
7	NIVEL FREATICO		
8	GP	74.2	Densa
9	SP	57.9	Mediantemente Densa
10	SP	80	Densa
11	NIVEL FREATICO		

12	SW	61.7	Densa
13	SP	51.1	Mediantemente Densa
14	SW	76.6	Densa
15	SW	40	Mediantemente Densa
16	GW	47	Mediantemente Densa
17	SP	40.3	Mediantemente Densa
18	SP	76.1	Densa
19	GW	46.5	Mediantemente Densa
20	SW	72.6	Densa

Tabla 12: Compacidad en función de densidad relativa

## 5.5. ENSAYOS DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR O SPT

El ensayo se efectuó en la calicata N°13, sector central del área seleccionada para realizar el estudio.

Se determinaron el número de golpes para cada tramo ensayado (tabla 14), a partir de los cuales se estimaron la compacidad y el ángulo de fricción interna (Formula de Kishida), los que se expresan en las siguientes tablas.

$$\text{Formula de Kishida} \quad \phi = 15^\circ + \sqrt{18.Nc}$$

ENSAYO (SPT)				
CALICATA N°13				
Profundidad	Clasificación	N° de Golpes	Compacidad	Angulo de fricción ( $\phi$ )
0,00 a 0,60	SP	6	Suelta	25°
1,00 a 1,30	SW	11	Medianamente densa	29°
2,00 a 2,30	SP	13	Medianamente densa	30°
3,00 a 3,30	SP	15	Medianamente densa	31°

Tabla 13: Resultado de ensayo SPT

## 5.6. ANGULO DE FRICCIÓN Y COHESIÓN DE LOS SUELOS

Estos parámetros se determinaron en los suelos areno-limosos mediante pruebas de compresión simple sobre probetas moldeadas a densidad in situ, en los suelos puramente granulares a través de la Formula de Chenn para suelos granulares incoherentes (tabla 15).

**Formula de Chenn**

$$\phi = 36^\circ + \phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \phi_4$$

CALICATA	SUELO	Angulo de fricción $\phi$	Cohesión Kpa
1	<b>NIVEL FREATICO</b>		
2	SM	24°	16 Kpa
3	SM	23°	10 Kpa
4	<b>NIVEL FREATICO</b>		
5	SP	31°	0 Kpa
6	SP	33°	0 Kpa
7	<b>NIVEL FREATICO</b>		
8	GP	34°	0 Kpa
9	SP	31°	0 Kpa
10	SP	31°	0 Kpa
11	<b>NIVEL FREATICO</b>		
12	SW	33°	0 Kpa
13	SP	31°	0 Kpa
14	SW	33°	0 Kpa
15	SW	33°	0 Kpa
16	GW	35°	0 Kpa
17	SP	31°	0 Kpa
18	SP	31°	0 Kpa
19	GW	35°	0 Kpa
20	SW	33°	0 Kpa

Tabla 14: Ángulo de fricción

## 5.7. CÁLCULO DE CAPACIDAD DE CARGA Y TENSIÓN ADMISIBLE

Los cálculos se efectuaron para los suelos más representativos y de mayor distribución de la zona N°3 utilizando el Criterio de Terzaghi, y un coeficiente de seguridad de 3  
Los parámetros para el cálculo se tomaron de los resultados de los ensayos.

### Formula de Terzaghi

$$Q_c = C \times N_c + q N_q + \frac{1}{2} \delta \times B \times N_6$$

#### Para suelos SP (arena media mal graduada)

$$\phi = 31^\circ \quad C = 0$$

$$Q_c = 45,32 \text{ Tn/m}^2 = 4,53 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\bar{\sigma}_{adm} = 4,53/3 = 1,5 \text{ Kg/cm}^2$$

#### Para suelos SW (arena gravosa bien graduada)

$$\phi = 33^\circ \quad C = 0$$

$$Q_c = 54,43 \text{ Tn/m}^2 = 5,44 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\bar{\sigma}_{adm} = 5,44/3 = 1,81 \text{ Kg/cm}^2$$

## 5.8. NIVEL FREÁTICO

Los resultados de las mediciones donde se encontró nivel freático, mediante cinta métrica desde superficie hasta donde aflora son las siguientes

Nivel Freático de Calicatas		
N°	Altura msnm.	Medición a profundidad
1	3980	Nivel freático 1,70 m
4	3980	Nivel freático 2,40m
7	3981	Nivel freático 2,60
11	3980	Nivel freático 2,50



## **CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**



## 6.1. CONCLUSIONES

1. El terreno explorado para el emplazamiento de las piletas de evaporación corresponde a una deposición sedimentaria del tipo aluvial. Compuesta por gravas arenosa, arenas gravosas, arenas medias y finas mal graduadas limosas.
2. Superficialmente los suelos presentan una compacidad baja hasta la cota -0,50 metros aproximadamente y en algunos sectores se determinó la presencia de materia orgánica, pasando en profundidad a suelos con una compacidad medianamente densa a densa a excepción de las calicatas 2 y 3 donde la densidad relativa es suelta.
3. Con los resultados obtenidos de las prospecciones realizadas en el área de estudio, se dividió el área en 3 zonas.
4. Se propone la zona 3 para la ubicación de las piletas de evaporación, donde los suelos son aptos como material de fundación de relleno de las piletas de evaporación. El área que ocupa esta zona es mayor a la necesaria para la construcción de las piscinas.
5. En la zona 1 y 2 las más cercanas a la fase evaporítica, el nivel freático se encuentra cercano a la superficie condición que puede afectar el proceso de evaporación. Se tomo como límites de las zonas 1 y 2 con la 3 la cota 3.985 metros a fin de tomar un buen margen de seguridad.
6. El ángulo de fricción interna de los suelos arenosos y gravas arenosas varía entre 31° a 35° y la cohesión es mala, en los suelos areno limosos finos, el ángulo varía entre 23° y 24° con una cohesión entre 10 a 16 kpa
7. La tensión admisible de los suelos en el sector 3, es mayor a 1,5 k x cm<sup>2</sup>, lo que indica, el buen comportamiento como medio de cimentación

## 6.2. RECOMENDACIONES

- 1 Al comenzar la construcción se debe eliminar el estrato superior de compacidad baja y con presencia de materia orgánica, espesor de 0,50 metros y fundar el terraplén en el estrato medianamente denso.
- 2 Los terraplenes se deben construir en capas de hasta 0,20 metros y compactarlo hasta lograr el 95% de densidad máxima Proctor.
- 3 El material deberá ser esparcido en capas horizontales de espesor uniforme y deberá humedecerse homogéneamente.



**ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PILETAS DE  
EVAPORACIÓN – MINERA SANTA RITA S.R.L. – SALAR DEL  
HOMBRE MUERTO DEPARTAMENTO ANTOFAGASTA DE LA  
SIERRA – PROVINCIA DE CATAMARCA**



- 4 En los 0,20 metros superiores del talud y fondo se colocará un suelo seleccionado sin la presencia de partículas de tamaño grava a fin de que las mismas no dañen la geomembrana ya que los suelos explorados contienen clastos sub-angulosos.
- 5 Se puede utilizar el suelo de la zona arenoso o areno limoso zarandeado en 5 mm, o de cantera solicitada por la empresa.
- 6 Tener en cuenta algún tipo de contención o desviación, en la parte superior del abanico (proximal) para crecidas o deslizamientos, que puedan ser provocados por algunas precipitaciones extraordinarias, las cuales puedan afectar a las piletas de evaporación ya construidas.



## **CAPITULO VI BIBLIOGRAFIA**



## 6.1. BIBLIOGRAFÍA

- ALONSO, R. Y GUTIERREZ, R.,1984. ZONACIÓN DE ULEXITA EN LOS SALARES DE LA PUNA ARGENTINA. REV.ASOC.GEOL. ARG. XXXIX (1-2): 52-57.
- ALONSO, R.N.; J. VIRAMONTE Y R.GUTIÉRREZ. 1984. PUNA AUSTRAL – BASES PARA EL SUBPROVINCIALISMO GEOLÓGICO DE LA PUNA ARGENTINA. NOVENO CONGRESO GEOLÓGICO ARGENTINO, S.C. BARILOCHE. ACTAS: 43-63.
- ALONSO, R., GUTIERREZ, R. Y VIRAMONTE, J.,1984. MEGACUERPOS SEDIMENTARIOS CENOZOICOS EN LA PUNA ARGENTINA. IX CONGR. GEOL.ARG. SAN CARLOS DE BARILOCHE. ACTAS 1: 25.42.
- ALONSO, R.N. Y R.GUTIÉRREZ. 1986. LITOESTRATIGRAFÍA DEL NEÓGENO TERMINAL, PUNA SUDORIENTAL ARGENTINA. INSTITUTO DE MINERÍA Y GEOLOGÍA, JUJUY, REVISTA, N° 6, P. 29-46.
- ALONSO, R.N. 1986: TESIS DOCTORAL. UNIVERSIDAD NACIONAL DE SALTA, ARGENTINA.
- CRESPO VILLALAZ. MECÁNICA DE SUELO Y CIMENTACIONES. EDITORES LIMUSA NORIEGA. CAPACIDAD DE CARGA DE LAS CIMENTACIONES
- CUSTODIO, E ; LLAMAS, M. R. HIDROLOGIA SUBTERRANEA. DIC. OMEGAM S.A. BARCELONA. TOMO I.
- FRENGUELLI, J., 1938. A CERCA DEL ORIGEN DE LOS SALARES DE LA REGIÓN DE LOS DESIERTOS DE LA PUNA DE ATACAMA. ANAL SECRETARÍA DE ESTUDIOS GEOGRÁFICOS
- GONZÁLES DE VALLEJO, (2004) – INGENIERÍA GEOLÓGICA. ED. PEARSON-PRENTICE HALL.
- GONZÁLES DE VALLEJO, (2003) – INGENIERÍA GEOLÓGICA. ED. PEARSON-PRENTICE HALL.
- HOJA GEOLÓGICA 2566-III, CACHI
- IMÁGENES DE GOOGLE EARTH
- ING. AUGUSTO J. LEONI GEOTECNIA III FACULTAD DE INGENIERÍA U.N.L.P.
- JUAREZ BADILLO Y RICO RODRÍGUEZ, (1984) – MECÁNICA DE SUELOS. TOMO I Y II. ED. LIMUSA.
- LLANO SANZ, J. J. MECÁNICA DE SUELOS. REUNIÓN DE INGENIEROS-EDITORES TÉCNICOS ASOCIADOS S.A. BARCELONA 1975. (ENSAYO DE PRÓCTOR).



**ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PILETAS DE  
EVAPORACIÓN – MINERA SANTA RITA S.R.L. – SALAR DEL  
HOMBRE MUERTO DEPARTAMENTO ANTOFAGASTA DE LA  
SIERRA – PROVINCIA DE CATAMARCA**



- REBORATTI, C.,1994. LA PUNA. GTZ, SALTA.-
- SKM CHILE LTDA. INFORME GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO PROYECTO SALAR DE OLAROS
- SOWERS, GEORGE B. Y SOWERS, G.F. (1986) – INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES. ED. LIMUSA.
- TERZAGHI, KART Y PECK, RALPH. (1975) – MECÁNICA DE SUELOS EN LA INGENIERÍA PRACTICA. ED. EL ATENEO.
- TURNER, J.C. 1960. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DE LA HOJA 7C, NEVADO DE CACHI, PROVINCIA DE SALTA. DIRECCIÓN NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA, BOLETÍN 99. BUENOS AIRES.



## **CAPITULO VII ANEXOS**

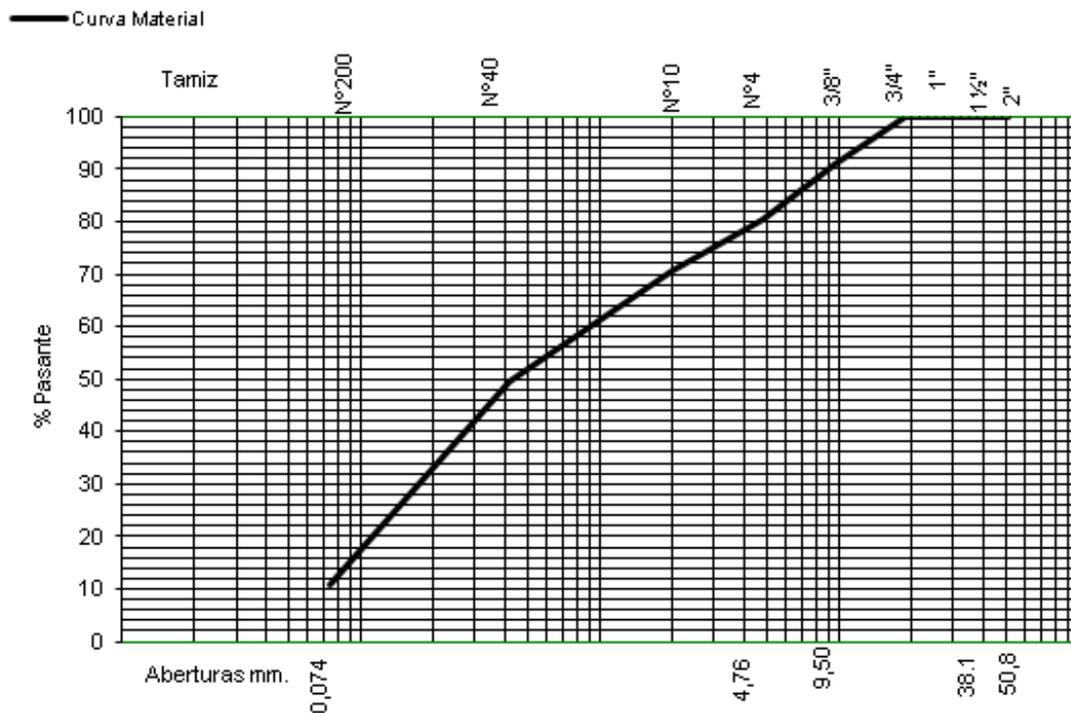
## 7.1. ENSAYO GRANULOMETRICO

**Obra: Piletas de Evaporación**  
**Salar del Hombre Muerto - Catamarca**  
**Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

### ENSAYO GRANULOMETRICO

Calicata Nº 1  
 Profundidad = 0,00 a 0,45 m.  
 Peso Muestra Ensayada = 2.931 grs.  
 Clasificación = SP-SM  
 Humedad Natural = 5,3 %

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"			
1 ½"			
1"			
¾"	0	2.931	100
⅜"	263	2.668	91
Nº4	318	2.350	80,2
Nº10	118	882	70,7
Nº40	266	616	49,4
Nº200	482	134	10,7

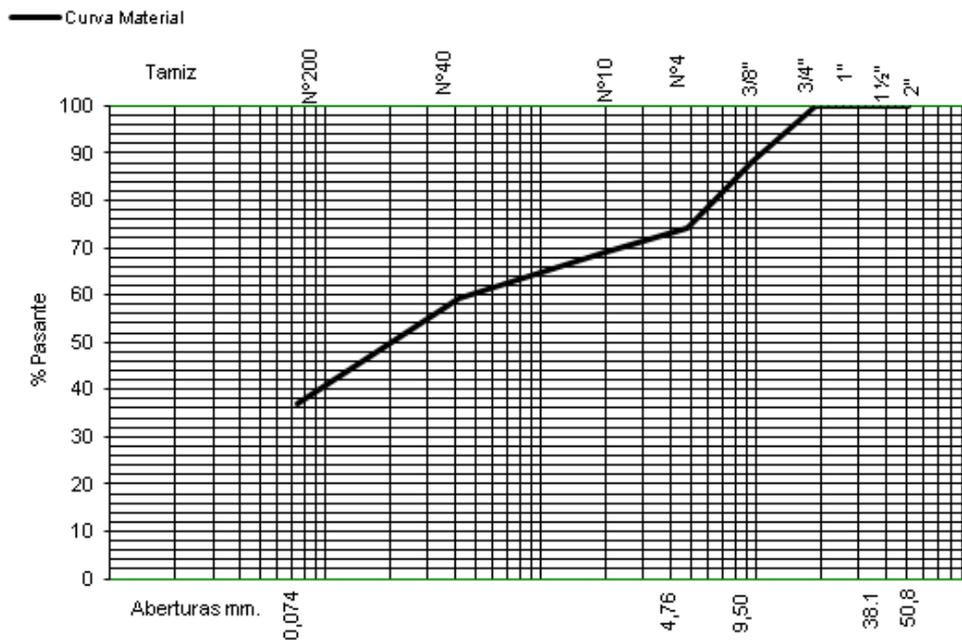


**Obra: Piletas de Evaporación**  
**Salar del Hombre Muerto - Catamarca**  
**Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 1  
 Profundidad = 0,45 a 2,10 m.  
 Peso Muestra Ensayada = 2.252 grs.  
 Clasificación = SM

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"			
1 ½"			
1"			
¾"	0	2.252	100
⅜"	262	1.990	88,3
Nº4	316	1.674	74,3
Nº10	70	930	69
Nº40	130	800	59,4
Nº200	300	500	37,1

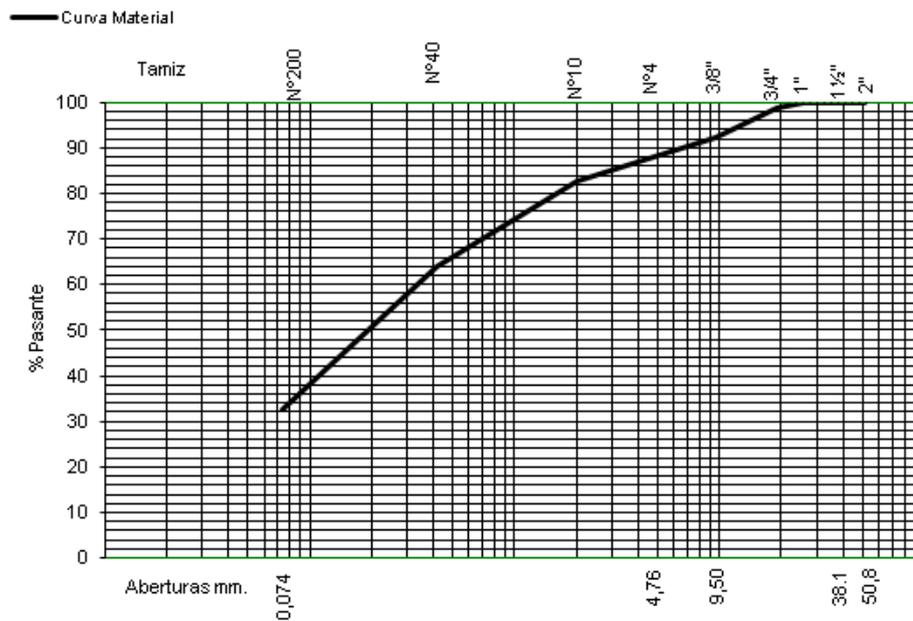


**Obra: Piletas de Evaporación  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca  
Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 2  
Profundidad = 0,00 a 0,25 m.  
Peso Muestra Ensayada = 3.699 grs.  
Clasificación = SM  
Humedad Natural = 4,7 %

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"			
1 ½"			
1"	0	3.699	100
¾"	50	3.649	98,6
⅜"	237	3.412	92,2
Nº4	158	3.254	87,9
Nº10	60	916	82,6
Nº40	214	782	63,8
Nº200	354	82	32,7

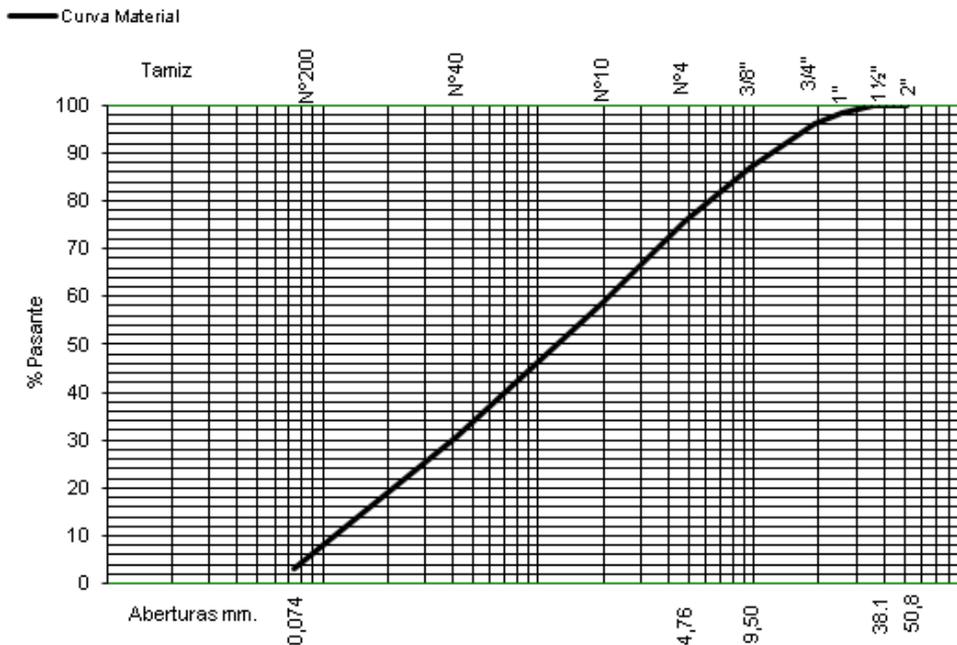


**Obra: Piletas de Evaporación  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca  
Empresa: minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 2  
Profundidad = 0,25 a 2,50 m.  
Peso Muestra Ensayada = 3.086 grs.  
Clasificación = SW  
Humedad Natural = 4,1 %  
Peso Unitario Natural = 1,673 g/cm<sup>3</sup>

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"			
1 ½"	0	3.086	100
1"	60	3.026	98,5
¾"	60	2.966	96,1
⅜"	280	2.686	87
Nº4	350	2.336	75,7
Nº10	220	780	59
Nº40	374	406	30,7
Nº200	362	44	3,3

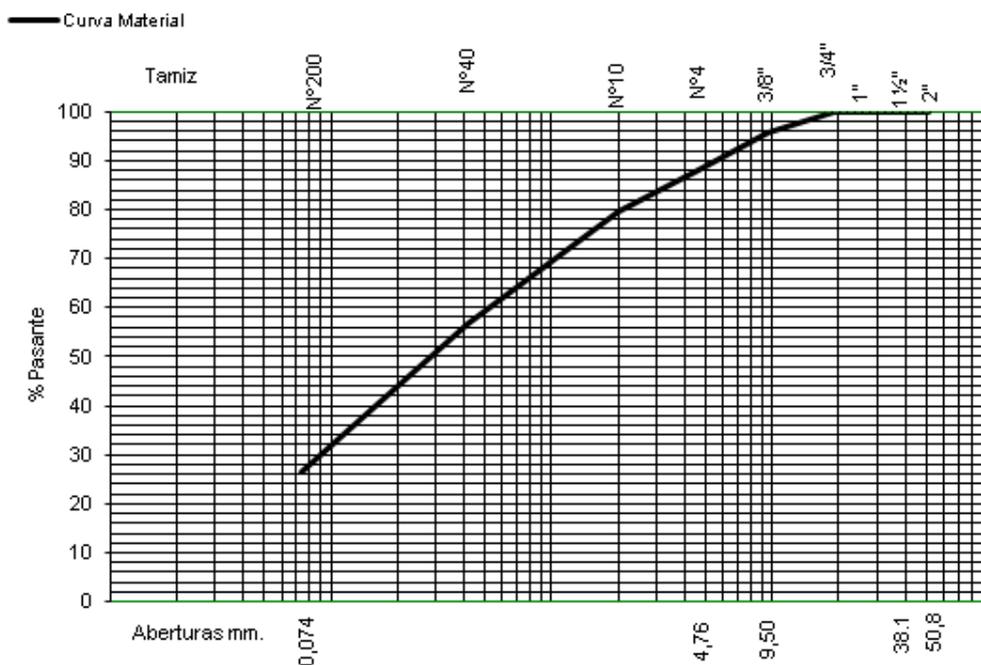


**Obra: Piletas de Evaporación**  
**Salar del Hombre Muerto - Catamarca**  
**Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 3  
 Profundidad = 0,00 a 0,30 m.  
 Peso Muestra Ensayada = 3.481 grs.  
 Clasificación = SM  
 Humedad Natural = 4,7 %

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"			
1 ½"			
1"			
¾"	0	3.411	100
⅜"	150	3.261	95,6
Nº4	244	3.017	88,4
Nº10	100	900	79,5
Nº40	260	640	56,5
Nº200	340	300	26,5

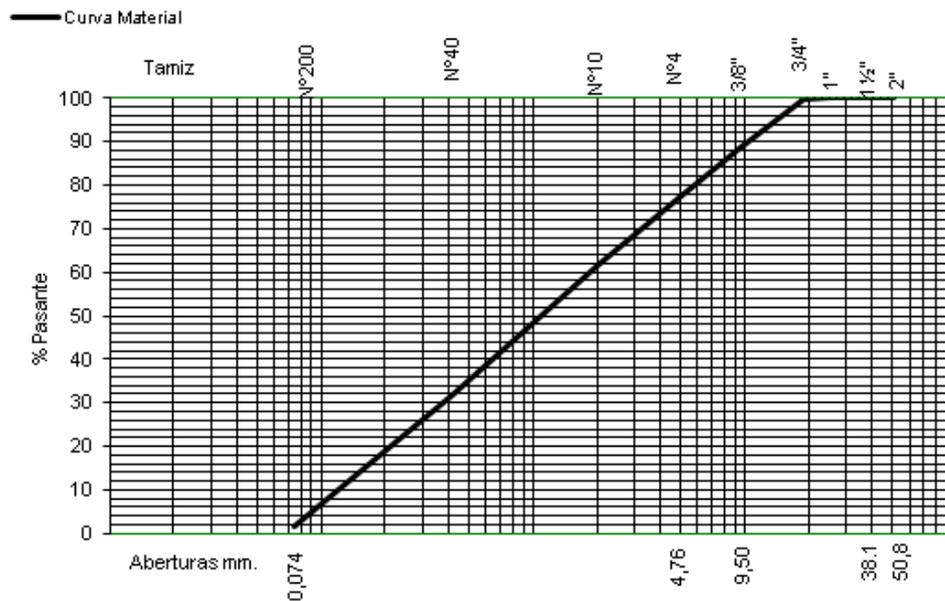


**Obra: Piletas de Evaporación  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca  
Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 3  
Profundidad = 0,30 a 2,70 m.  
Peso Muestra Ensayada = 3.717 grs.  
Clasificación = SW  
Humedad Natural = 4,8 %  
Peso Unitario Natural = 1,659 g/cm3

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"			
1 ½"			
1"	0	3.717	100
¾"	17	3.700	99,5
⅜"	420	3.280	88,2
Nº4	428	2.852	76,7
Nº10	196	804	61,6
Nº40	390	414	31,7
Nº200	384	20	1,5

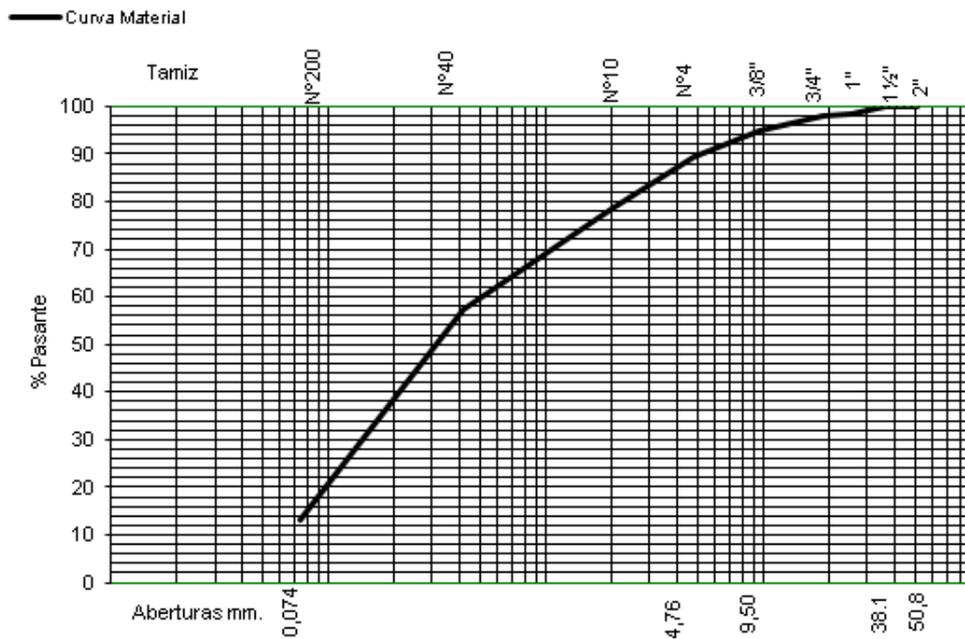


**Obra: Piletas de Evaporación  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca  
Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 4  
Profundidad = 0,00 a 0,30 m.  
Peso Muestra Ensayada = 3.138 grs.  
Clasificación = SM

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"			
1 ½"	0	3.138	100
1"	47	3.091	98,5
¾"	10	3.081	98,1
⅜"	101	2.980	94,9
Nº4	178	2.802	89,2
Nº10	118	882	78,6
Nº40	236	642	57,2
Nº200	494	148	13,2

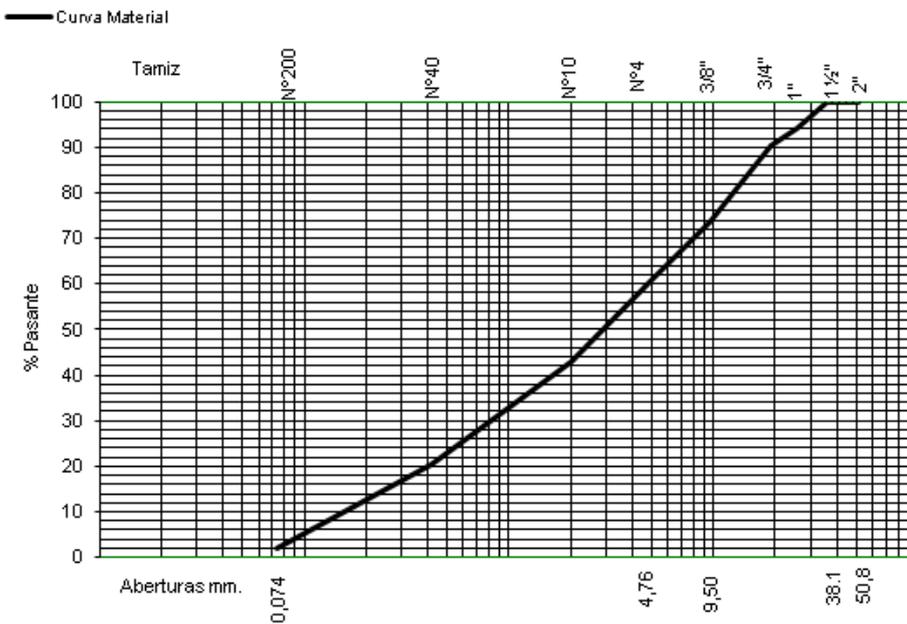


**Obra: Piletas de Evaporación  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca  
Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 4  
Profundidad = 0,30 a 0,60 m.  
Peso Muestra Ensayada = 3.765 grs.  
Clasificación = SW  
Humedad Natural = 6,8 %  
Peso Unitario Natural = 1,573 g/cm<sup>3</sup>

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"			
1 ½"	0	3.765	100
1"	221	3.544	94,1
¾"	133	3.411	90,5
⅜"	641	2.770	73,5
Nº4	508	2.262	60
Nº10	284	716	42,9
Nº40	368	348	20,5
Nº200	314	34	2,1

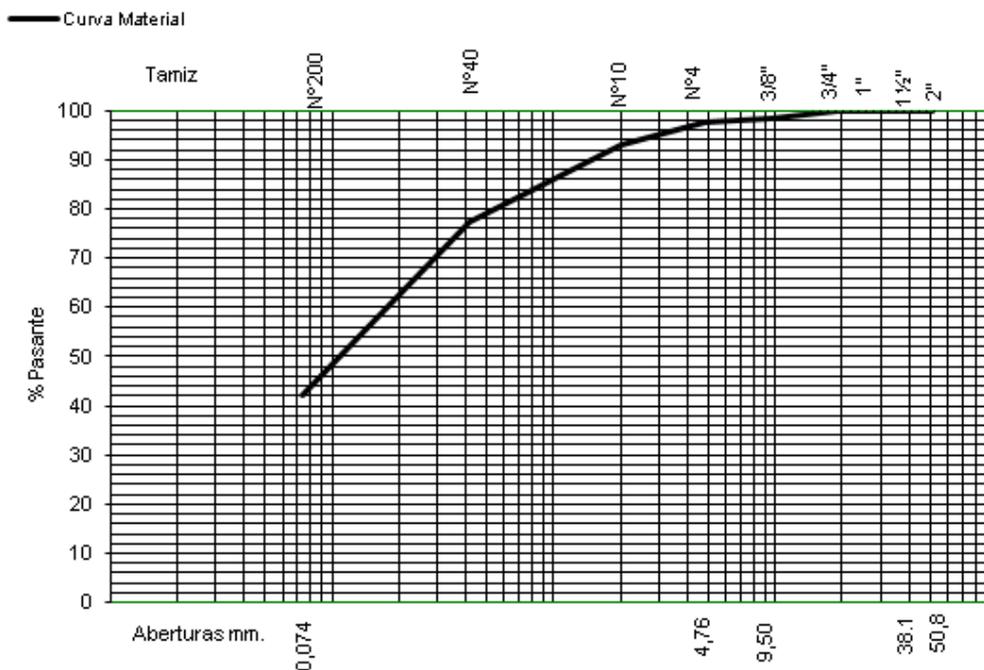


**Obra: Piletas de Evaporación**  
**Salar del Hombre Muerto - Catamarca**  
**Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 4  
 Profundidad = 0,60 a 2,50 m.  
 Peso Muestra Ensayada = 2.334 grs.  
 Clasificación = SM

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"			
1 ½"			
1"			
¾"	0	2.334	100
⅜"	34	2.300	98,5
Nº4	26	2.274	97,4
Nº10	46	954	92,9
Nº40	158	796	77,5
Nº200	362	434	42,2

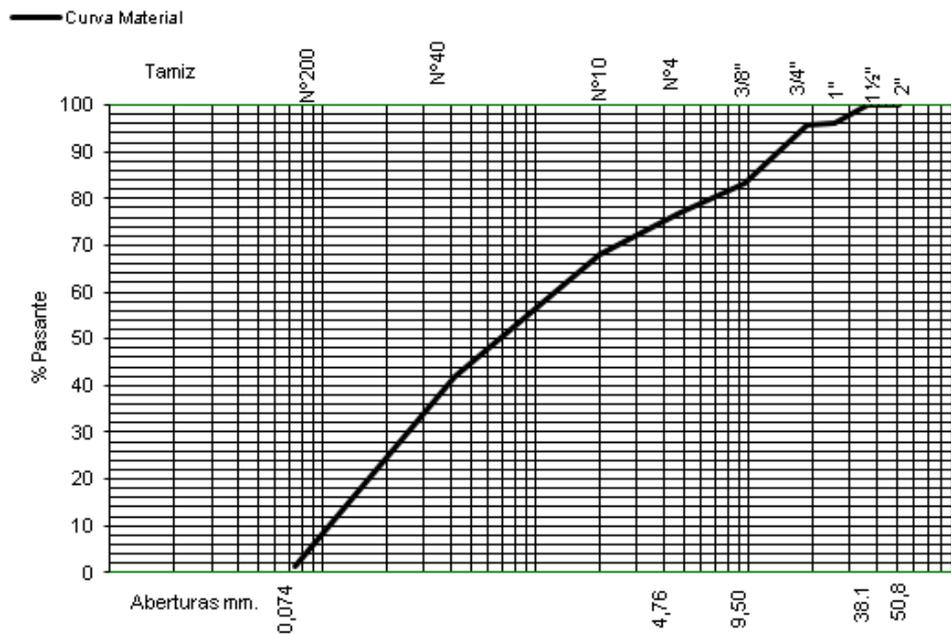


**Obra: Piletas de Evaporación**  
**Salar del Hombre Muerto - Catamarca**  
**Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 5  
 Profundidad = 0,00 a 0,60 m.  
 Peso Muestra Ensayada = 3.078 grs.  
 Clasificación = SP  
 Humedad Natural = 4,3 %

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"			
1 ½"	0	3.078	100
1"	113	2.965	96,3
¾"	19	2.946	95,7
⅜"	377	2.569	83,4
Nº4	193	2.376	77,1
Nº10	116	994	68,1
Nº40	338	546	42
Nº200	526	20	1,5

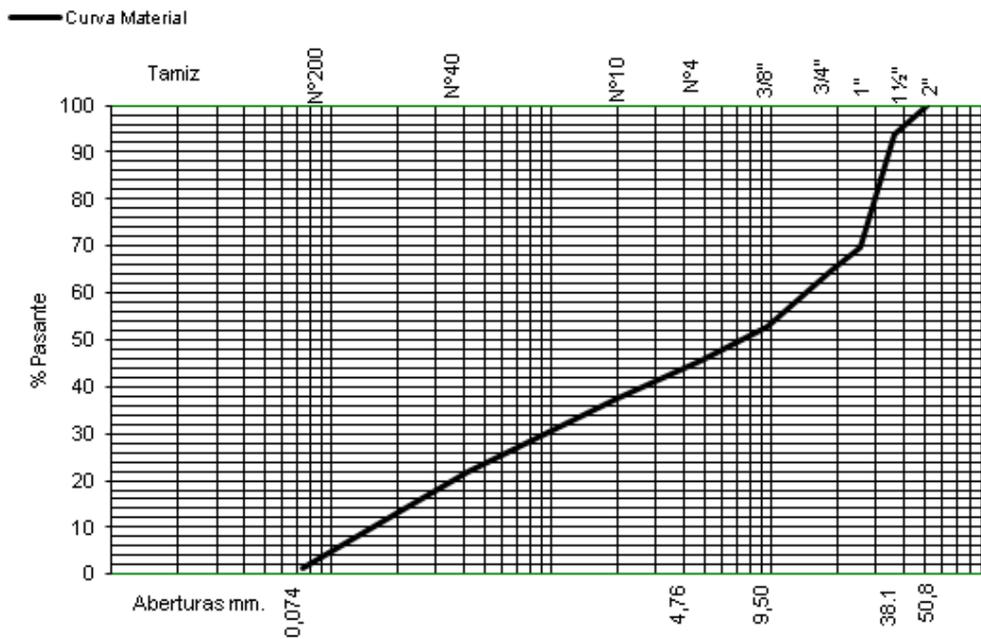


**Obra: Piletas de Evaporación**  
**Salar del Hombre Muerto - Catamarca**  
**Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 5  
 Profundidad = 0,60 a 1,40 m.  
 Peso Muestra Ensayada = 4.161 grs.  
 Clasificación = GW  
 Humedad Natural = 2,3 %

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"	0	4.161	100
1 ½"	268	3.893	93,6
1"	1.000	2.893	69,5
¾"	200	2.693	64,7
⅜"	492	2.201	52,8
Nº4	308	1.893	45,5
Nº10	174	826	37,5
Nº40	342	484	21,9
Nº200	456	28	1,2

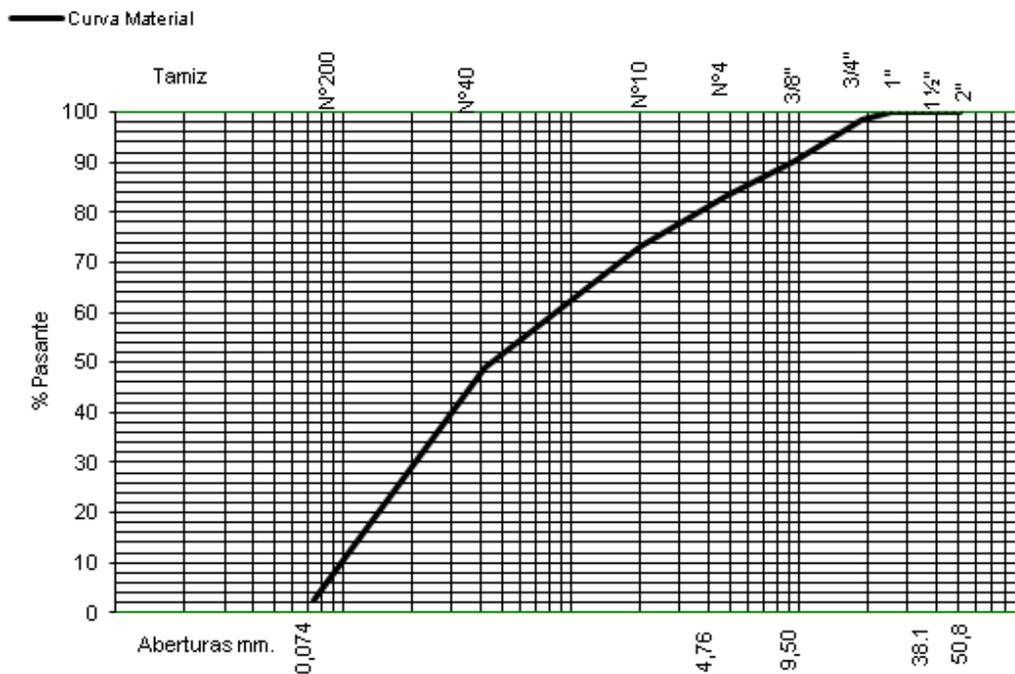


**Obra: Piletas de Evaporación  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca  
Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 5  
Profundidad = 1,40 a 2,50 m.  
Peso Muestra Ensayada = 2827 grs.  
Clasificación = SP  
Humedad Natural = 2,7 %  
Peso Unitario Natural = 1,840 g/cm<sup>3</sup>

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"			
1 ½"			
1"	0	2.827	100
¾"	44	2.783	98,4
⅜"	232	2.551	90,2
Nº4	197	2.354	83,2
Nº10	122	878	73
Nº40	288	590	49
Nº200	560	30	2,4

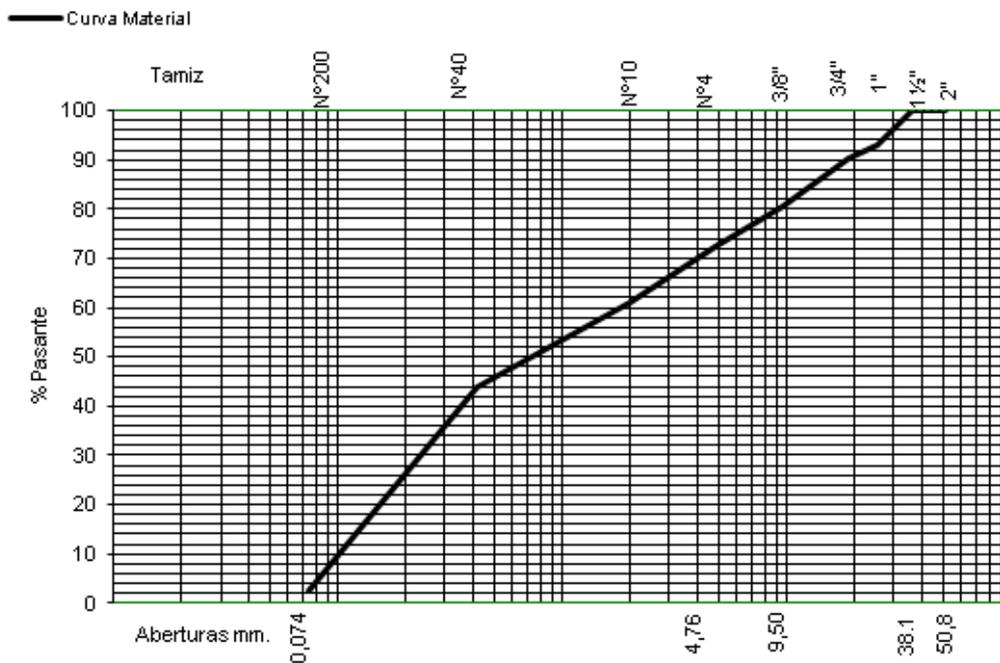


**Obra: Piletas de Evaporación**  
**Salar del Hombre Muerto - Catamarca**  
**Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 6  
 Profundidad = 0,00 a 0,50 m.  
 Peso Muestra Ensayada = 4.007 grs.  
 Clasificación = SP  
 Humedad Natural = 5,3 %

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"			
1 ½"	0	4.007	100
1"	278	3.729	93,1
¾"	113	3.616	90,2
⅜"	286	3.230	80,6
Nº4	336	2.894	72,2
Nº10	154	846	61,1
Nº40	240	606	43,7
Nº200	572	34	2,4

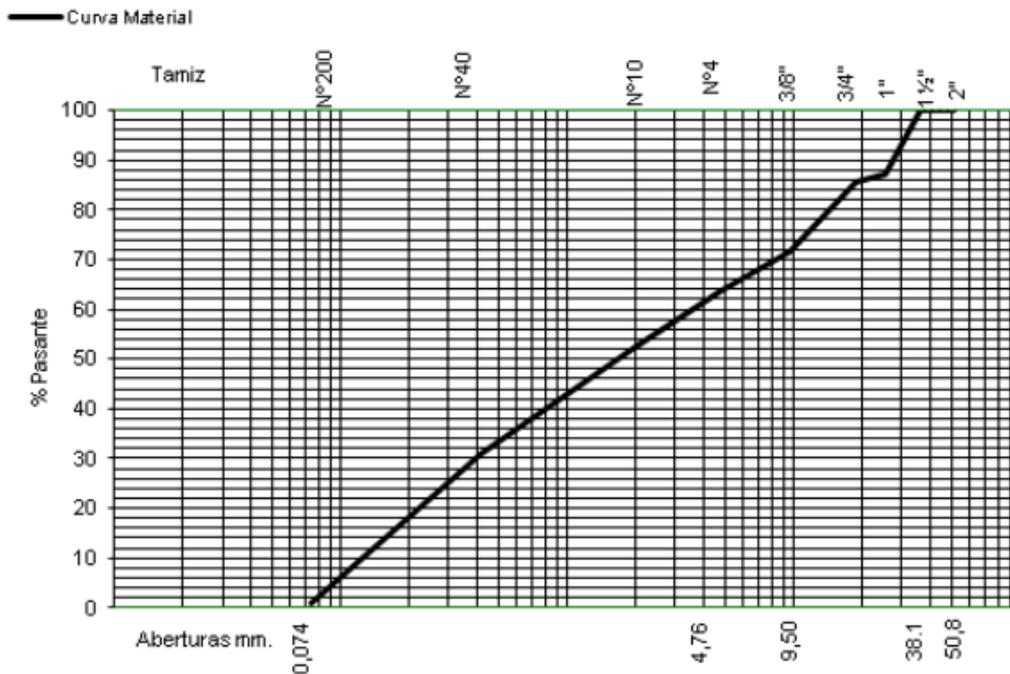


**Obra: Piletas de Evaporación**  
**Salar del Hombre Muerto - Catamarca**  
**Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 6  
 Profundidad = 0,50 a 2,00 m.  
 Peso Muestra Ensayada = 3.038 grs.  
 Clasificación = SW  
 Humedad Natural = 4,3 %

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"			
1 ½"	0	3.038	100
1"	390	2.648	87,2
¾"	47	2.601	85,6
3/8"	428	2.173	71,5
Nº4	939	1.934	63,7
Nº10	174	826	52,6
Nº40	340	486	31
Nº200	468	18	1,1

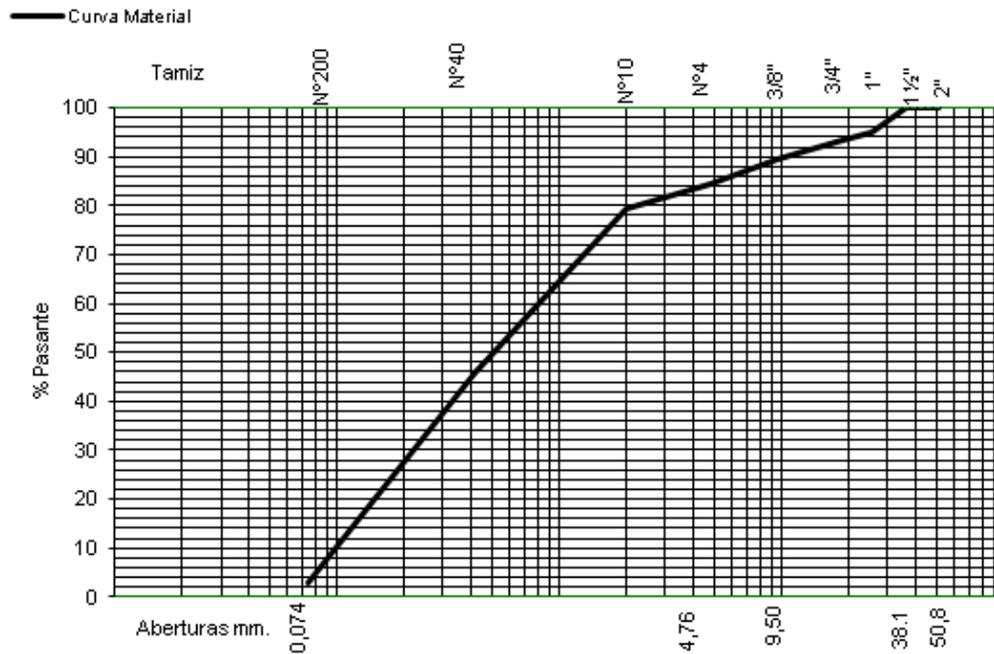


**Obra: Piletas de Evaporación**  
**Salar del Hombre Muerto - Catamarca**  
**Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 6  
 Profundidad = 2,00 a 3,00 m.  
 Peso Muestra Ensayada = 2.688 grs.  
 Clasificación = SP  
 Humedad Natural = 4 %  
 Peso Unitario Natural = 1,823 g/cm<sup>3</sup>

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"			
1 ½"	0	2.688	100
1"	137	2.551	94,9
¾"	38	2.513	93,4
⅜"	110	2.403	89,3
Nº4	132	2.271	84,5
Nº10	110	890	79,4
Nº40	376	514	45,9
Nº200	480	34	3

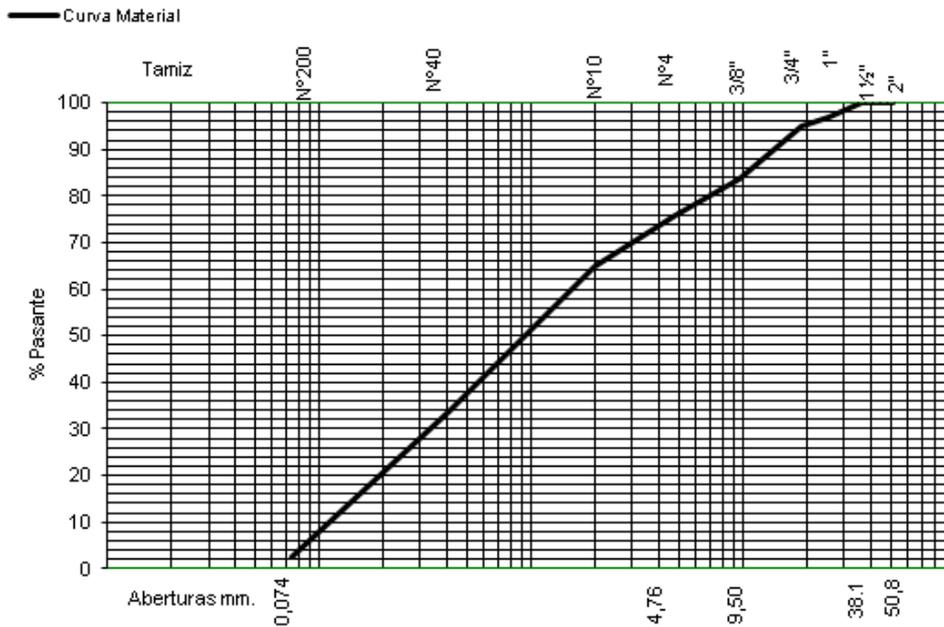


**Obra: Piletas de Evaporación  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca  
Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 7  
Profundidad = 0,00 a 1,40 m.  
Peso Muestra Ensayada = 3.194 grs.  
Clasificación = SP  
Humedad Natural = 4,9 %

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"			
1 ½"	0	3.194	100
1"	103	3.091	96,7
¾"	54	3.037	95
⅜"	360	2.677	83,8
Nº4	252	2.425	75,9
Nº10	145	855	64,8
Nº40	408	447	33,9
Nº200	416	31	2,3

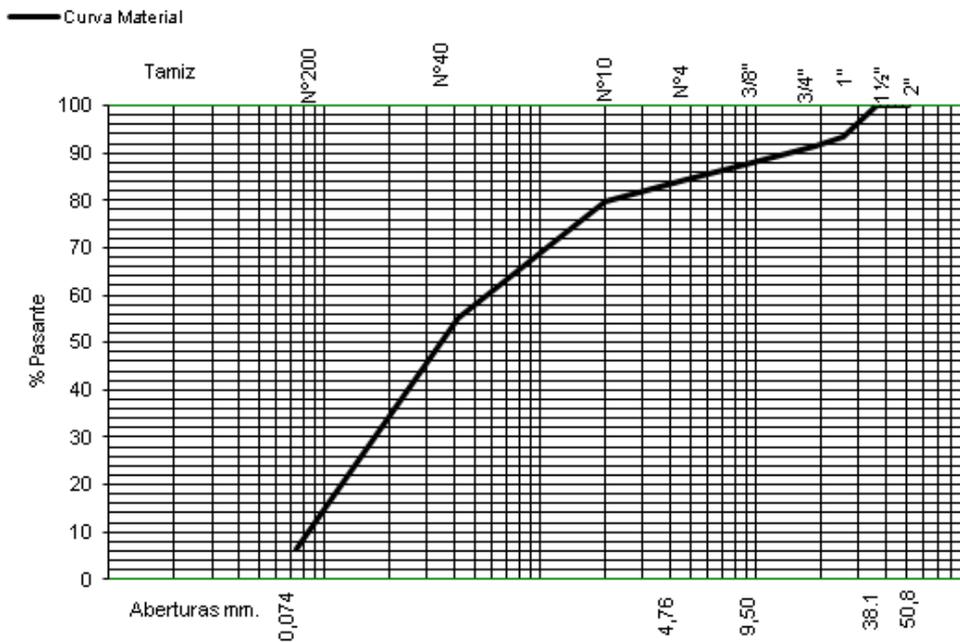


**Obra: Piletas de Evaporación  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca  
Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 7  
Profundidad = 1,40 a 2,60 m.  
Peso Muestra Ensayada = 3.860 grs.  
Clasificación = SP-SM

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"			
1 ½"	0	3.860	100
1"	247	3.603	93,3
¾"	77	3.536	91,6
⅜"	143	3.393	87,9
Nº4	138	3.255	84,3
Nº10	94	906	79,9
Nº40	252	654	55,1
Nº200	580	74	6,2

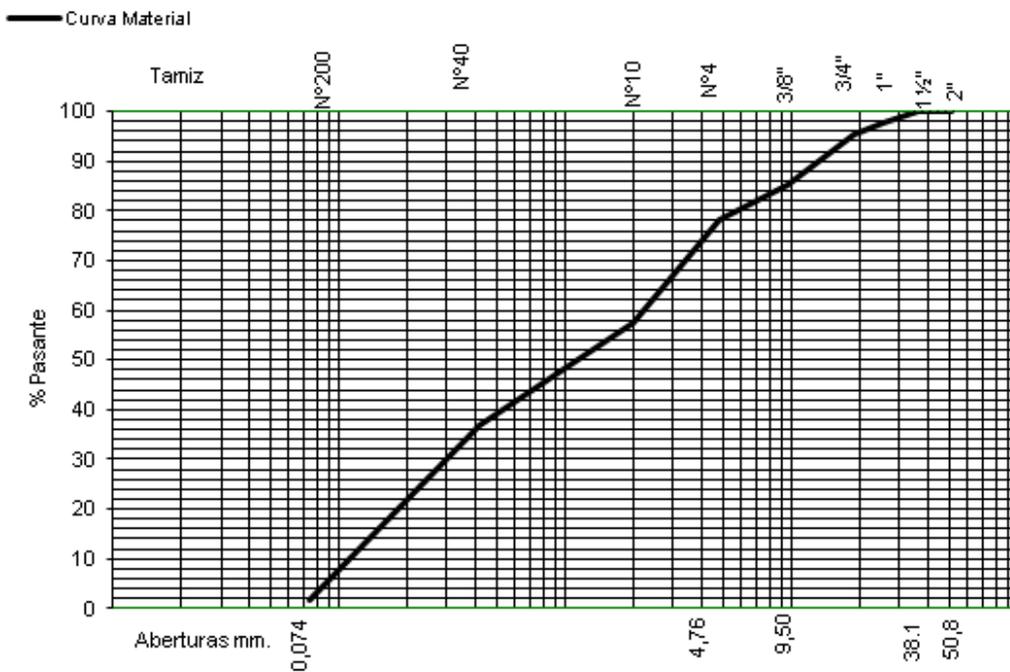


**Obra: Piletas de Evaporación  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca  
Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 8  
Profundidad = 0,00 a 0,20 m.  
Peso Muestra Ensayada = 2.450 grs.  
Clasificación = SW  
Humedad Natural = 4,3 %

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"			
1 ½"	0	2.450	100
1"	59	2.391	97,6
¾"	58	2.333	95,2
⅜"	248	2.085	85,1
Nº4	173	1.912	78
Nº10	264	736	57,4
Nº40	264	472	36,8
Nº200	448	24	1,9

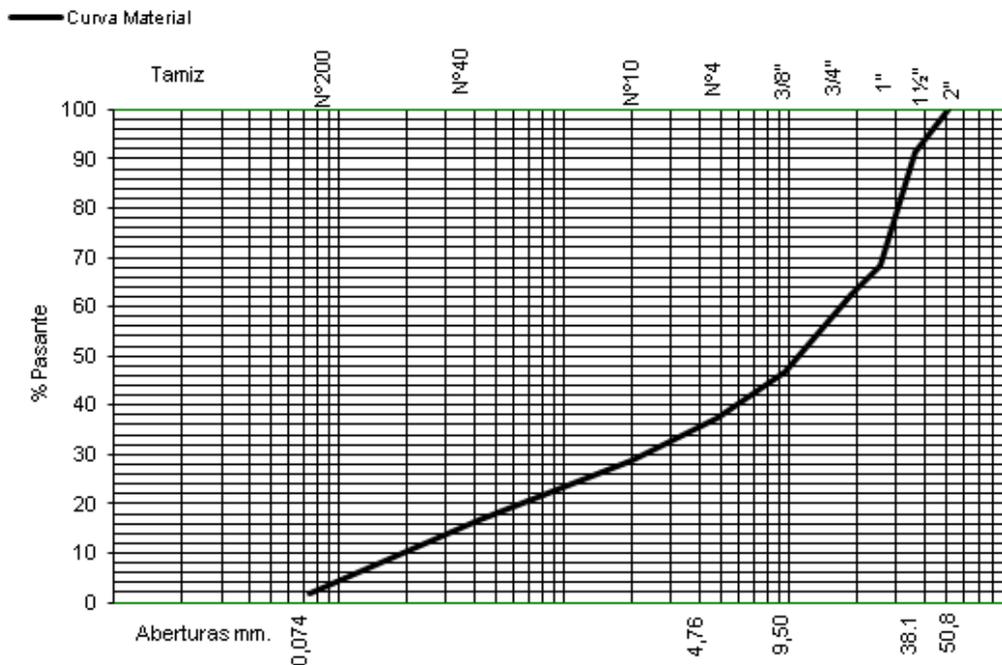


**Obra: Piletas de Evaporación  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca  
Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 8  
Profundidad = 0,20 a 3,00 m.  
Peso Muestra Ensayada = 4,058 grs.  
Clasificación = GP  
Humedad Natural = 3,1 %  
Peso Unitario Natural = 2,003 g/cm<sup>3</sup>

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"	0	4.058	100
1 ½"	350	3.708	91,4
1"	942	2.766	68,1
¾"	232	2.534	62,4
⅜"	635	1.899	46,7
Nº4	383	1.516	37,3
Nº10	234	776	28,9
Nº40	314	452	16,8
Nº200	410	42	1,6

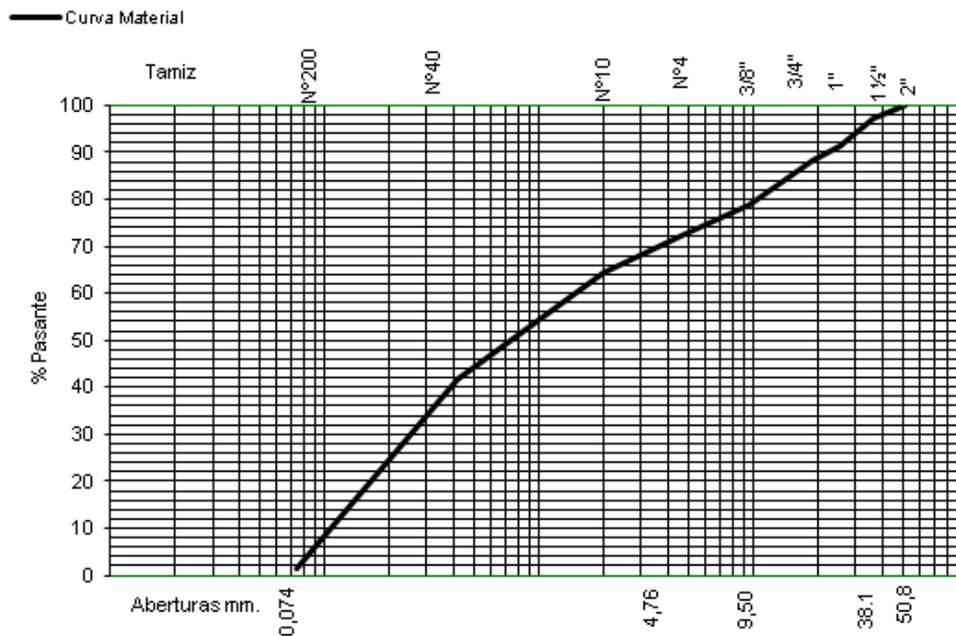


**Obra: Piletas de Evaporación  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca  
Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 9  
Profundidad = 0,00 a 0,40 m.  
Peso Muestra Ensayada = 3.428 grs.  
Clasificación = SP  
Humedad Natural = 4,9 %

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"	0	3.428	100
1 ½"	101	3.327	97,1
1"	200	3.127	91,2
¾"	105	3.022	88,1
⅜"	323	2.699	78,7
Nº4	214	2.485	72,4
Nº10	108	892	64,5
Nº40	316	576	41,7
Nº200	554	22	1,5

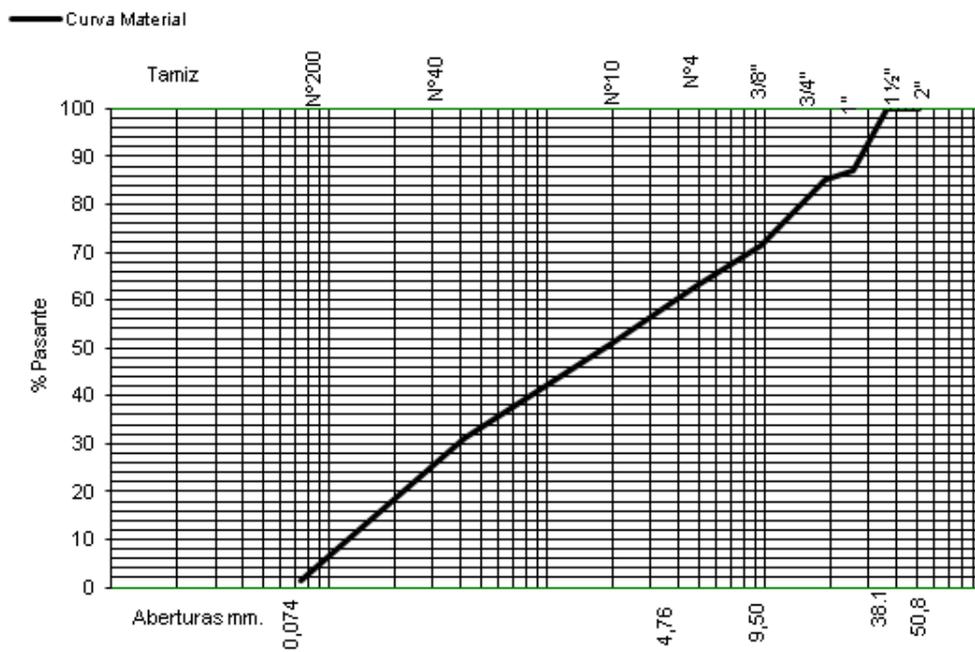


**Obra: Piletas de Evaporación**  
**Salar del Hombre Muerto - Catamarca**  
**Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 9  
 Profundidad = 0,40 a 1,20 m.  
 Peso Muestra Ensayada = 3.274 grs.  
 Clasificación = SW  
 Humedad Natural = 3,3 %

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"			
1 ½"	0	3.274	100
1"	418	2.856	87,2
¾"	71	2.785	85
⅜"	441	2.344	71,5
Nº4	294	2.050	62,9
Nº10	188	812	51
Nº40	316	496	31,1
Nº200	472	24	1,5

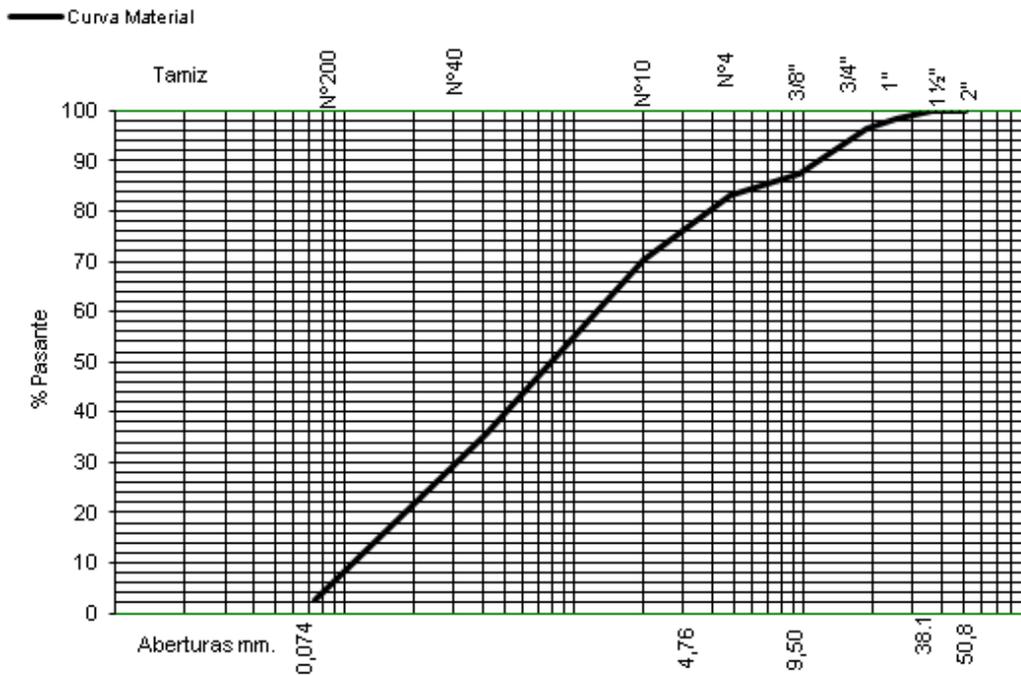


**Obra: Piletas de Evaporación**  
**Salar del Hombre Muerto - Catamarca**  
**Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 9  
 Profundidad = 1,20 a 3,20 m.  
 Peso Muestra Ensayada = 2.658 grs.  
 Clasificación = SP  
 Humedad Natural = 5,4 %  
 Peso Unitario Natural = 1,827 g/cm<sup>3</sup>

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"			
1 ½"	0	2.658	100
1"	39	2.619	98,5
¾"	52	2.567	96,5
⅜"	231	2.336	87,5
Nº4	124	2.212	83,2
Nº10	154	846	70,3
Nº40	416	430	35,7
Nº200	400	30	2,5

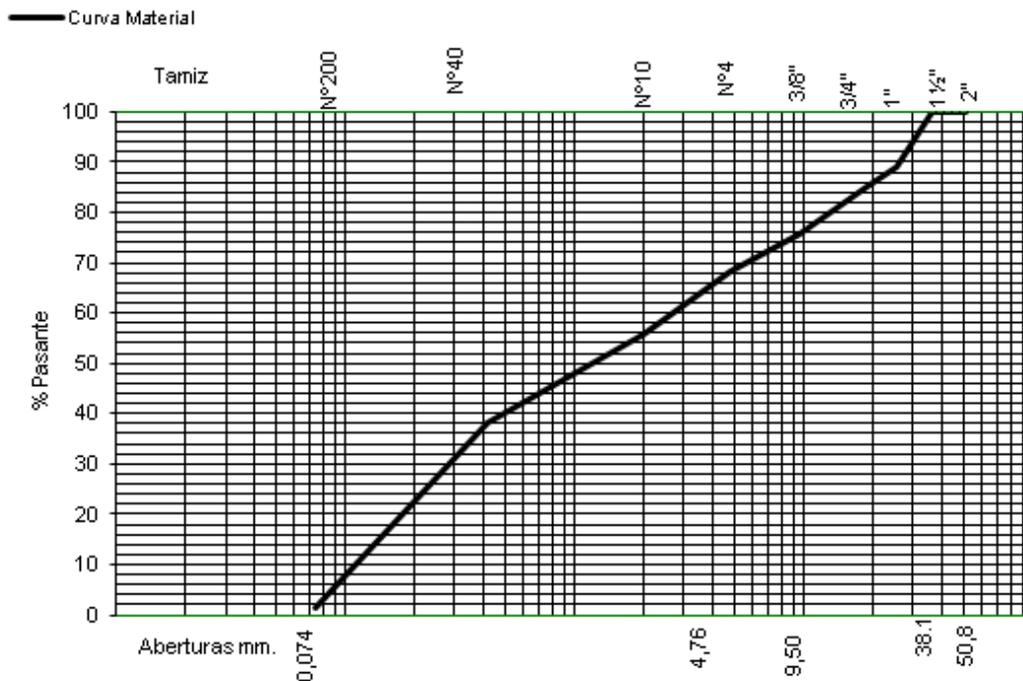


**Obra: Piletas de Evaporación**  
**Salar del Hombre Muerto - Catamarca**  
**Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 10  
 Profundidad = 0,00 a 0,40 m.  
 Peso Muestra Ensayada = 4.596 grs.  
 Clasificación = SW  
 Humedad Natural = 3,7 %

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"			
1 ½"	0	4.596	100
1"	512	4.084	88,8
¾"	170	3.914	85,2
⅜"	433	3.481	75,7
Nº4	352	3.129	68,1
Nº10	180	820	55,8
Nº40	260	560	38,1
Nº200	542	18	1,2

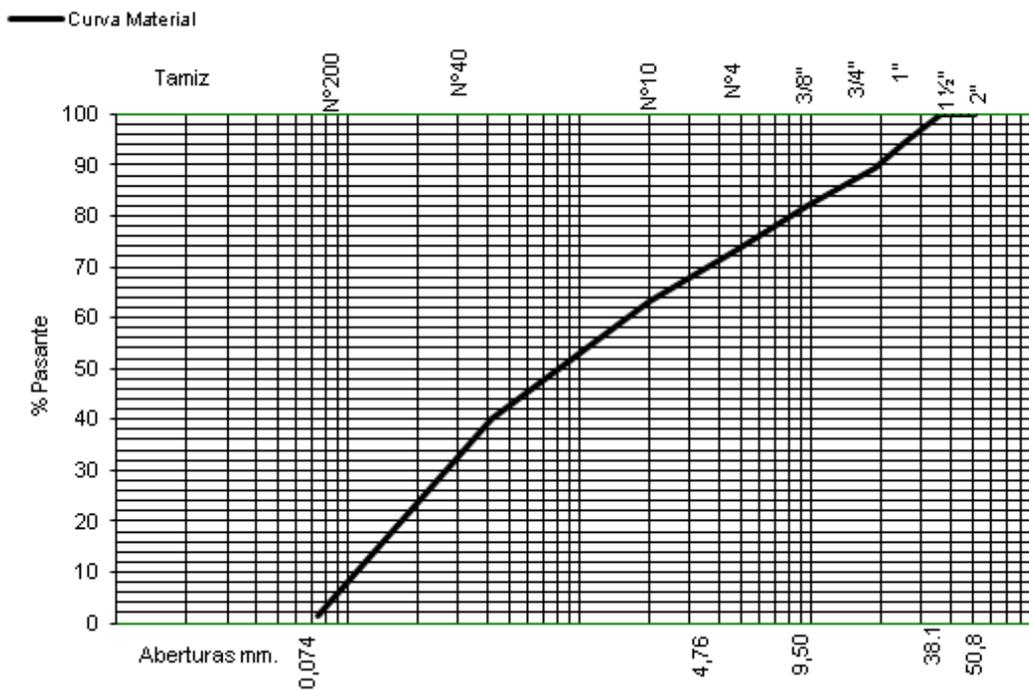


**Obra: Piletas de Evaporación**  
**Salar del Hombre Muerto - Catamarca**  
**Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 10  
 Profundidad = 0,40 a 3,15 m.  
 Peso Muestra Ensayada = 3.340 grs.  
 Clasificación = SP  
 Humedad Natural = 6,3 %  
 Peso Unitario Natural = 1,917 g/cm<sup>3</sup>

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"			
1 ½"	0	3.340	100
1"	184	3.156	94,4
¾"	76	3.080	89,5
⅜"	341	2.739	82
Nº4	292	2.447	73,2
Nº10	138	862	63
Nº40	312	550	40,2
Nº200	530	20	1,5

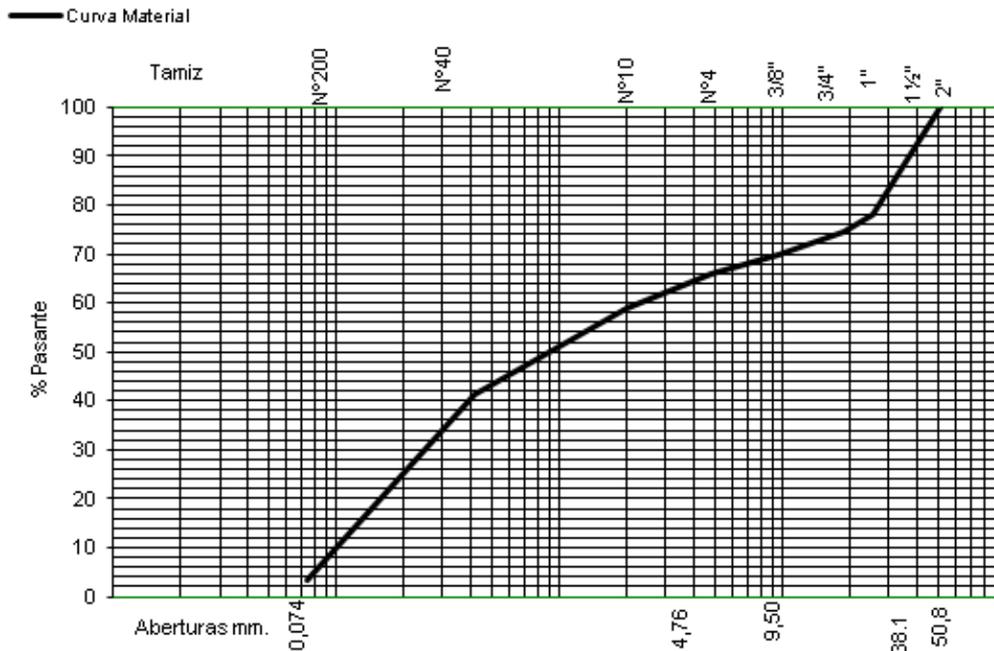


**Obra: Piletas de Evaporación  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca  
Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 11  
Profundidad = 0,00 a 0,35 m.  
Peso Muestra Ensayada = 4.636 grs.  
Clasificación = SW  
Humedad Natural = 3,8 %

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"	0	4.636	100
1 ½"	500	4.136	89
1"	514	3.622	78,1
¾"	170	3.452	74,5
⅜"	220	3.232	69,7
Nº4	179	3.053	65,9
Nº10	104	896	59
Nº40	270	626	41,3
Nº200	574	52	3,4

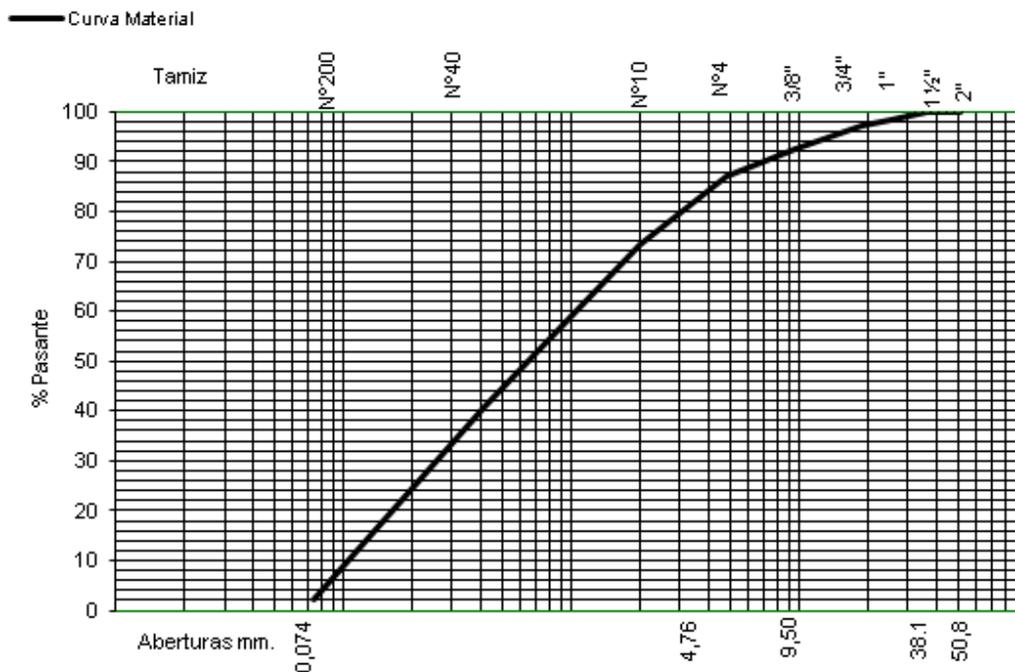


**Obra: Piletas de Evaporación  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca  
Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 11  
Profundidad = 0,35 a 2,50 m.  
Peso Muestra Ensayada = 4.649 grs.  
Clasificación = SP

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"			
1 ½"	0	4.649	100
1"	86	4.563	98,2
¾"	48	4.515	97,1
⅜"	210	4.305	92,6
Nº4	257	4.048	87,1
Nº10	160	840	73,2
Nº40	372	468	40,8
Nº200	444	24	2,1

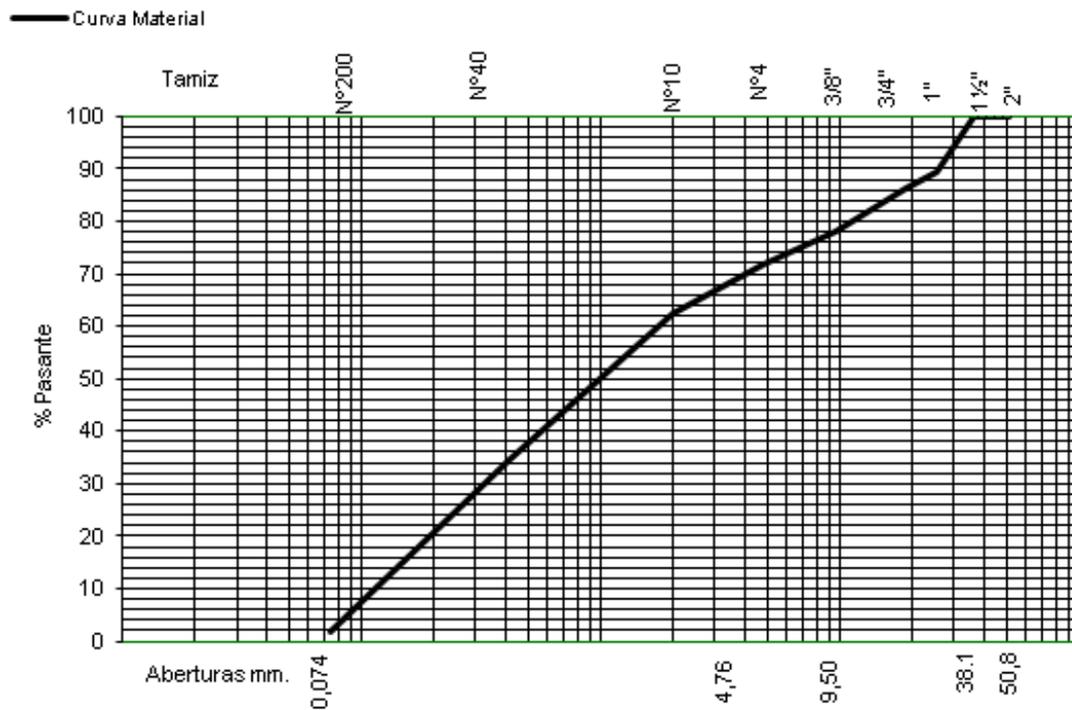


**Obra: Piletas de Evaporación**  
**Salar del Hombre Muerto - Catamarca**  
**Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 12  
 Profundidad = 0,00 a 0,25 m.  
 Peso Muestra Ensayada = 2.945 grs.  
 Clasificación = SP  
 Humedad Natural = 5,5 %

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"			
1 ½"	0	2.945	100
1"	311	2.634	89,4
¾"	89	2.545	86,4
⅜"	248	2.297	77,9
Nº4	180	2.117	71,8
Nº10	134	866	62,2
Nº40	382	484	34,7
Nº200	460	24	1,7

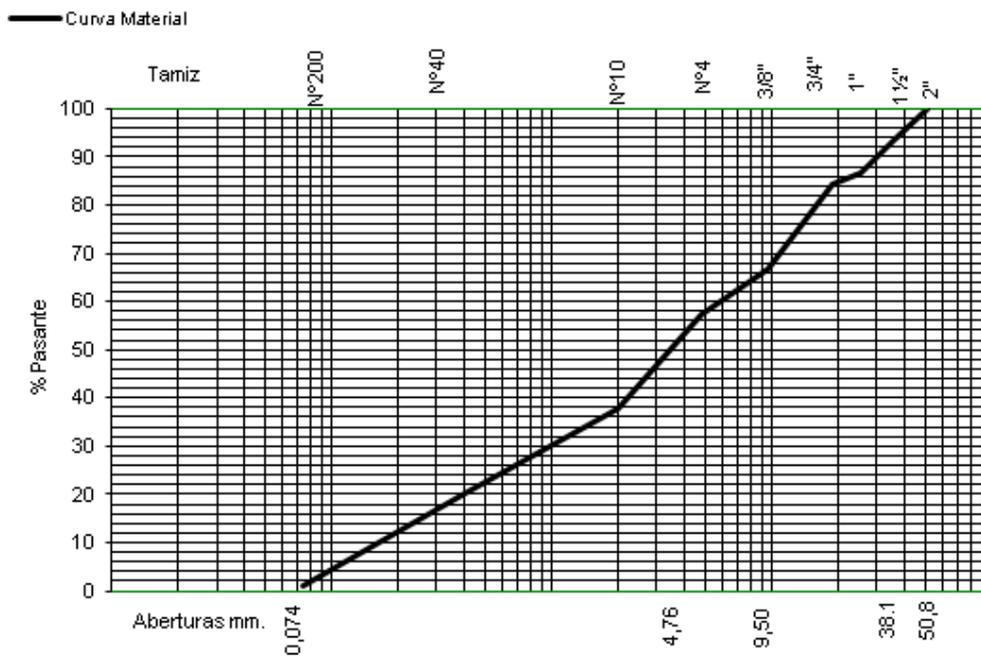


**Obra: Piletas de Evaporación  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca  
Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 12  
Profundidad = 0,25 a 3,00 m.  
Peso Muestra Ensayada = 4.651 grs.  
Clasificación = SW  
Humedad Natural = 3,9 %  
Peso Unitario Natural = 1,922 g/cm<sup>3</sup>

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"	0	4.651	100
1 ½"	300	4.351	94
1"	320	4.031	86,7
¾"	107	3.924	84,4
⅜"	823	3.101	66,7
Nº4	438	2.663	57,2
Nº10	340	660	37,7
Nº40	304	356	20,4
Nº200	338	18	1



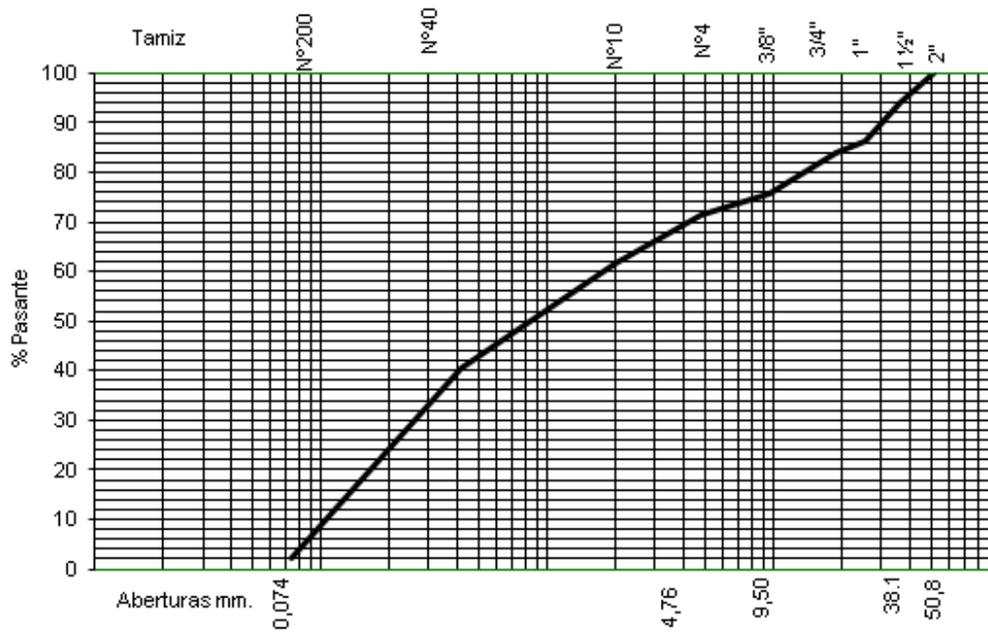
**Obra: Piletas de Evaporación  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca  
Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 13  
Profundidad = 0,00 a 0,70 m.  
Peso Muestra Ensayada = 3.455 grs.  
Clasificación = SP  
Humedad Natural = 4,1 %

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"	0	3.455	100
1 ½"	200	3.255	94
1"	274	2.981	86,2
¾"	78	2.903	84
⅜"	285	2.618	75,7
Nº4	146	2.472	71,5
Nº10	136	864	61,7
Nº40	298	566	40,4
Nº200	533	33	2,3

— Curva Material

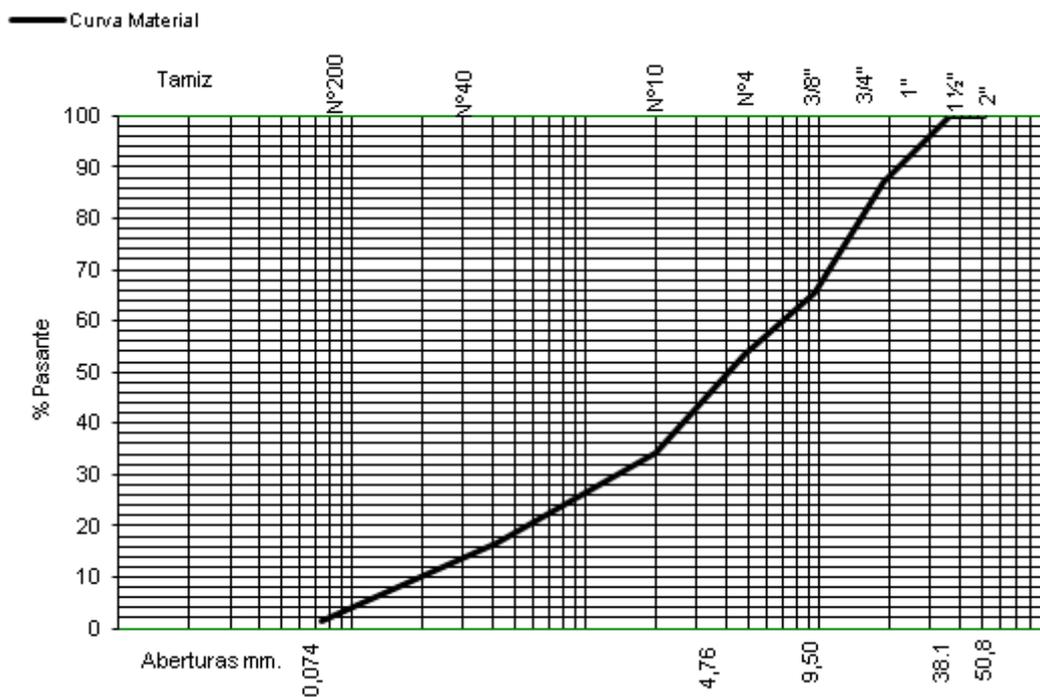


**Obra: Piletas de Evaporación  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca  
Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 13  
Profundidad = 0,70 a 0,85 m.  
Peso Muestra Ensayada = 4.109 grs.  
Clasificación = SW  
Humedad Natural = 3,5 %

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"			
1 ½"	0	4.109	100
1"	294	3.815	92,8
¾"	243	3.572	86,9
⅜"	877	2.695	65,5
Nº4	504	2.191	53,3
Nº10	356	644	34,3
Nº40	332	332	16,6
Nº200	290	22	1,2



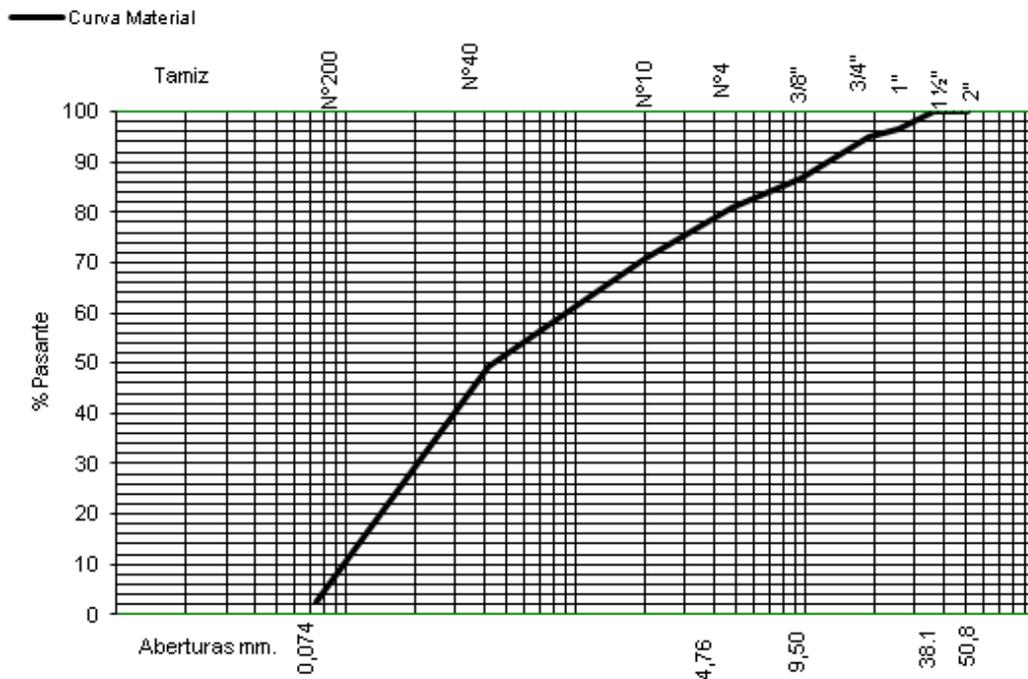


**Obra: Piletas de Evaporación**  
**Salar del Hombre Muerto - Catamarca**  
**Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 14  
 Profundidad = 0,00 a 0,40 m.  
 Peso Muestra Ensayada = 2.871 grs.  
 Clasificación = SP  
 Humedad Natural = 4,6 %

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"			
1 ½"	0	2.871	100
1"	97	2.774	96,6
¾"	48	2.726	94,9
⅜"	235	2.491	86,8
Nº4	165	2.326	81
Nº10	126	874	70,7
Nº40	266	608	49,2
Nº200	576	32	2,6



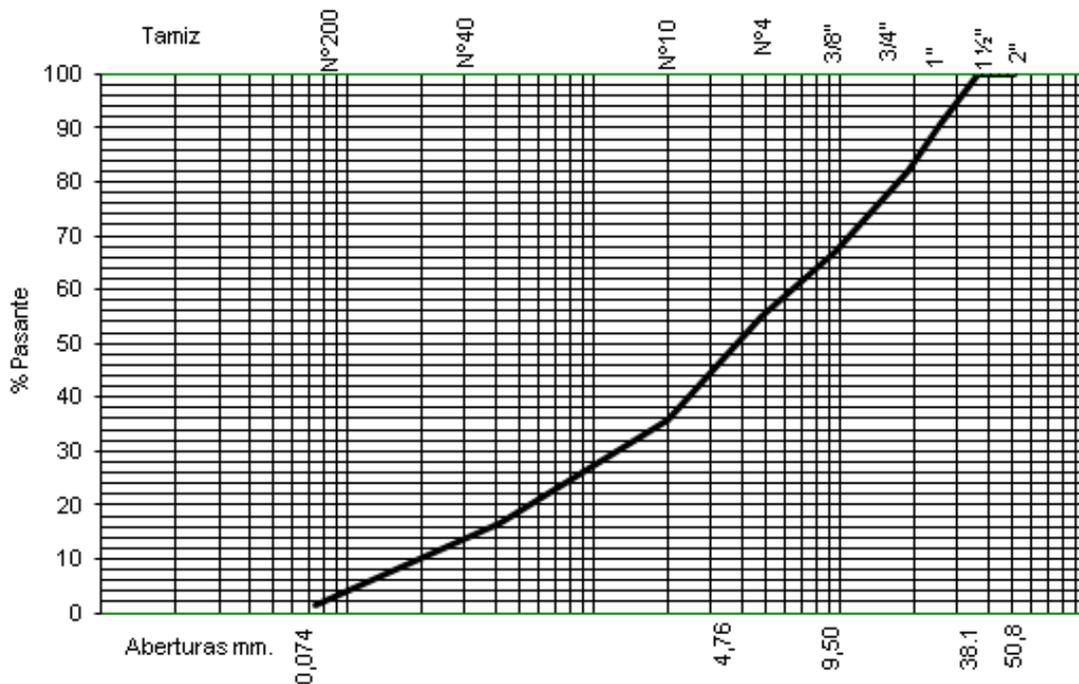
**Obra: Piletas de Evaporación  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca  
Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 14  
 Profundidad = 0,40 a 3,50 m.  
 Peso Muestra Ensayada = 4.694 grs.  
 Clasificación = SW  
 Humedad Natural = 2,9 %  
 Peso Unitario Natural = 2,006 g/cm<sup>3</sup>

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"			
1 ½"	0	4.694	100
1"	440	4.254	90,6
¾"	414	3.840	81,8
⅜"	690	3.150	67,1
Nº4	563	2.587	55,1
Nº10	350	650	35,8
Nº40	344	304	16,8
Nº200	280	24	1,3

— Curva Material

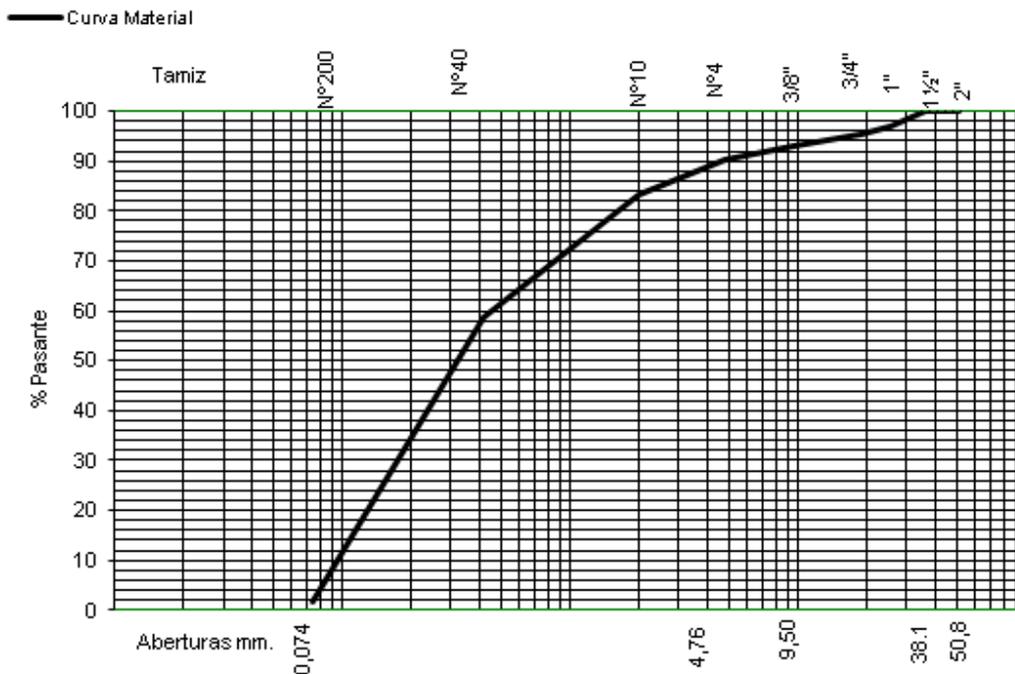


**Obra: Piletas de Evaporación  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca  
Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 15  
Profundidad = 0,00 a 0,40 m.  
Peso Muestra Ensayada = 4.123 grs.  
Clasificación = SP  
Humedad Natural = 5,2 %

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"			
1 ½"	0	4.123	100
1"	136	3.987	96,7
¾"	51	3.936	95,5
⅜"	100	3.836	93
Nº4	110	3.726	90,4
Nº10	78	922	83,3
Nº40	272	650	58,8
Nº200	630	20	1,8

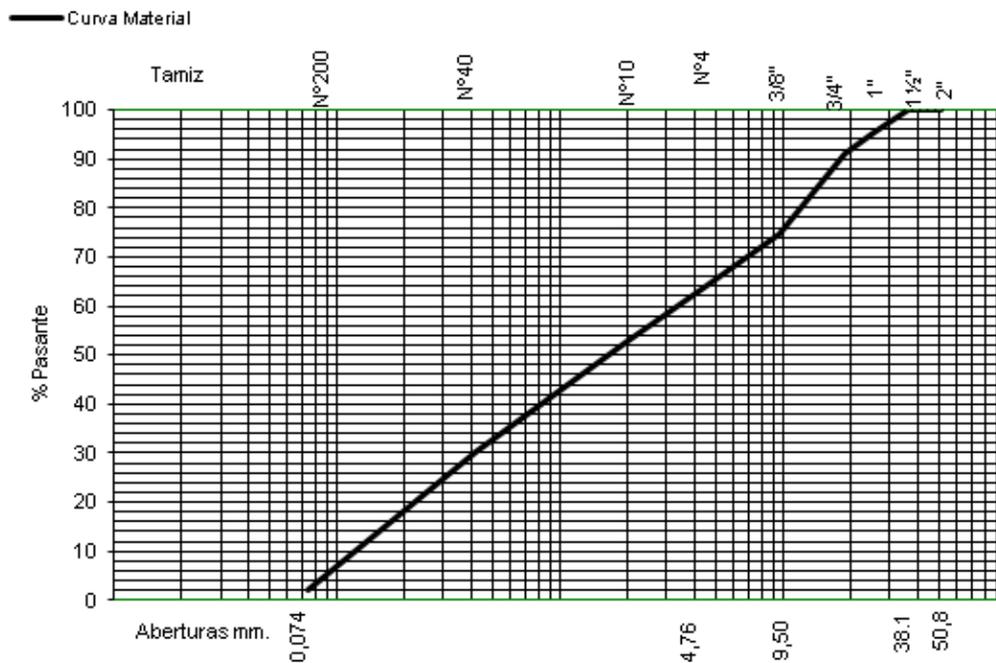


**Obra: Piletas de Evaporación  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca  
Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 15  
Profundidad = 0,40 a 3,00 m.  
Peso Muestra Ensayada = 4.871 grs.  
Clasificación = SW  
Humedad Natural = 4,8 %  
Peso Unitario Natural = 1,819 g/cm3

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"			
1 ½"	0	4.871	100
1"	219	4.652	95,5
¾"	225	4.427	90,9
⅜"	789	3.638	74,7
Nº4	475	3.163	64,9
Nº10	186	814	52,8
Nº40	350	464	30,1
Nº200	432	32	2,1

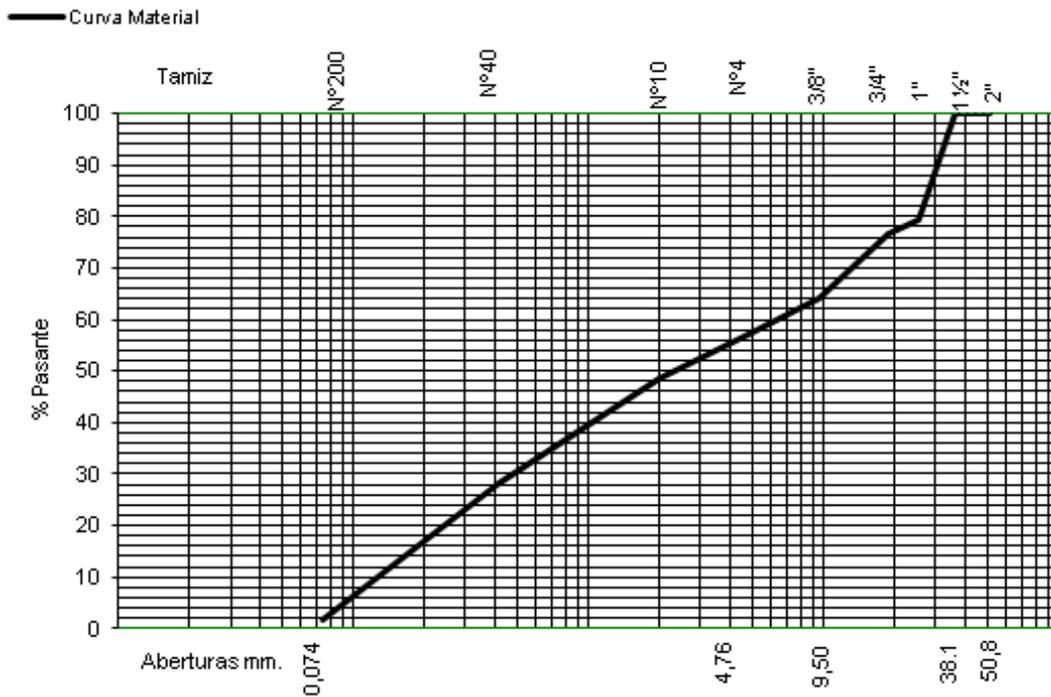


**Obra: Piletas de Evaporación**  
**Salar del Hombre Muerto - Catamarca**  
**Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 16  
 Profundidad = 0,00 a 0,40 m.  
 Peso Muestra Ensayada = 4.024 grs.  
 Clasificación = SW  
 Humedad Natural = 3,9 %

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"			
1 ½"	0	4.024	100
1"	839	3.185	79,2
¾"	105	3.080	76,5
⅜"	493	2.587	64,3
Nº4	286	2.301	57,2
Nº10	148	852	48,7
Nº40	358	494	28,3
Nº200	464	30	1,7



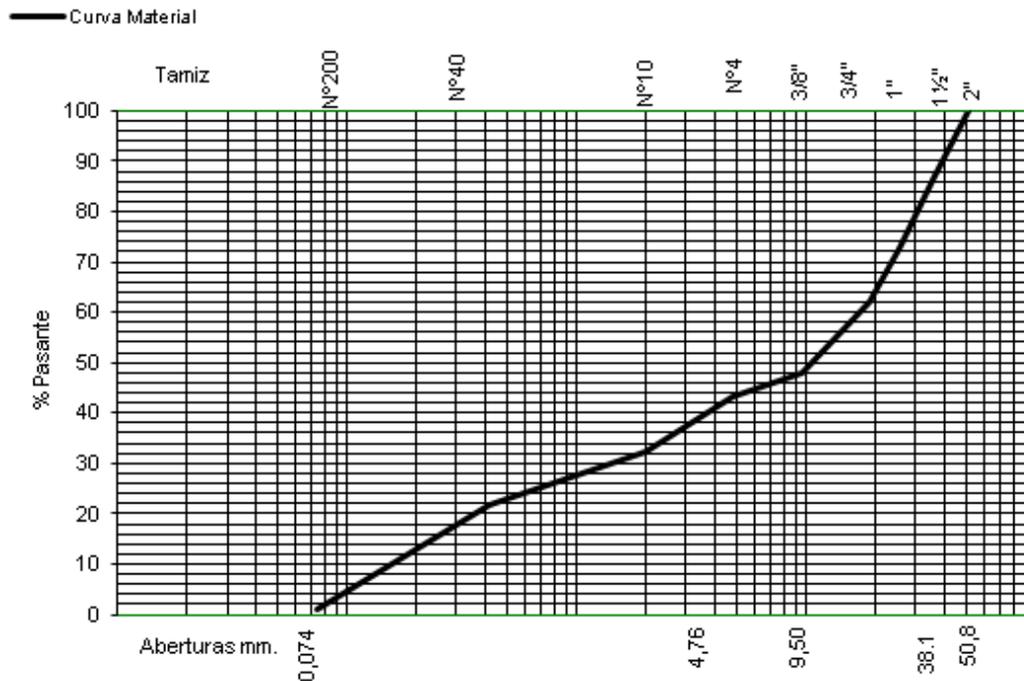


**Obra: Piletas de Evaporación  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca  
Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 16  
Profundidad = 1,50 a 3,00 m.  
Peso Muestra Ensayada = 6.977 grs.  
Clasificación = GW  
Humedad Natural = 4,2 %  
Peso Unitario Natural = 1,879 g/cm<sup>3</sup>

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"	0	6.977	100
1 ½"	918	6.069	87
1"	1.000	5.069	72,5
¾"	737	4.322	61,9
3/8"	976	3.346	47,9
Nº4	339	3.007	43,1
Nº10	250	750	32,3
Nº40	244	506	21,8
Nº200	482	24	1,1

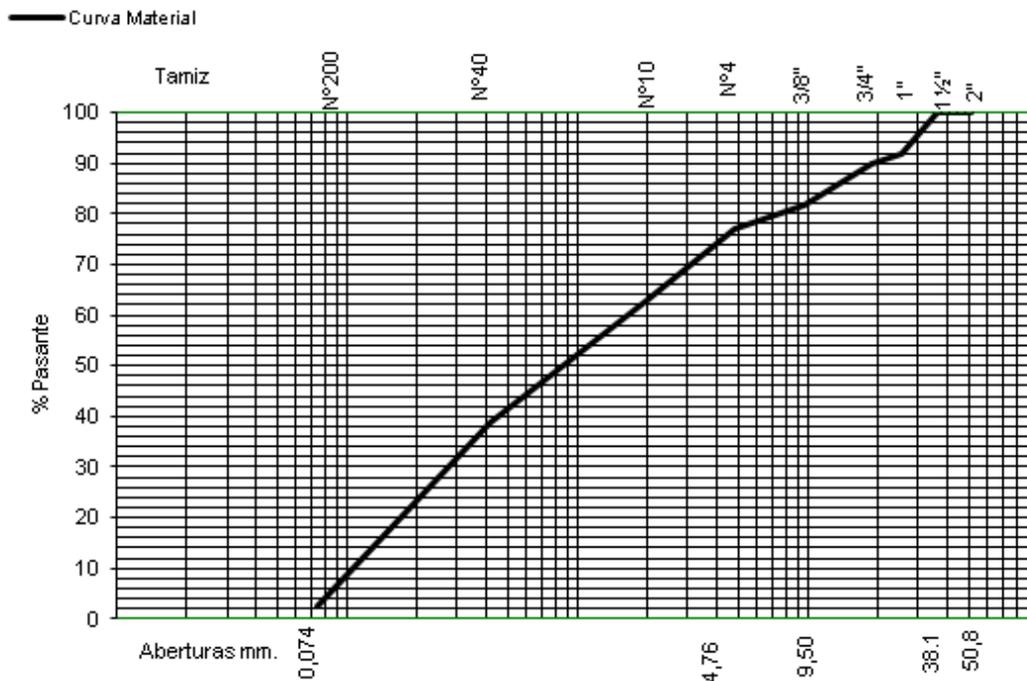


**Obra: Piletas de Evaporación**  
**Salar del Hombre Muerto - Catamarca**  
**Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 17  
 Profundidad = 0,00 a 2,50 m.  
 Peso Muestra Ensayada = 4.329 grs.  
 Clasificación = SP  
 Humedad Natural = 4,8 %

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"			
1 ½"	0	4.329	100
1"	353	3.976	91,8
¾"	88	3.888	89,8
⅜"	352	3.536	81,7
Nº4	203	3.333	76,9
Nº10	180	820	63,1
Nº40	316	504	38,8
Nº200	470	34	2,6

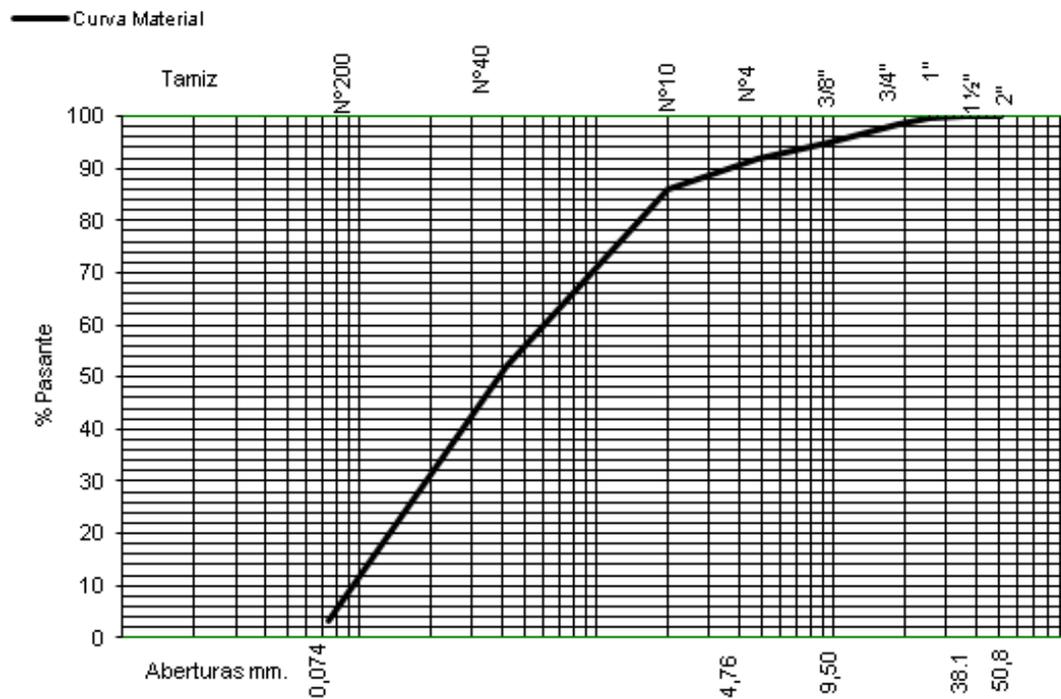


**Obra: Piletas de Evaporación  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca  
Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 17  
Profundidad = 2,50 a 3,00 m.  
Peso Muestra Ensayada = 3.645 grs.  
Clasificación = SP  
Humedad Natural = 5,8 %  
Peso Unitario Natural = 1,736 g/cm<sup>3</sup>

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"			
1 ½"	0	3.645	100
1"	10	3.635	99,7
¾"	47	3.588	98,4
⅜"	132	3.456	94,8
Nº4	131	3.325	91,9
Nº10	64	936	86
Nº40	370	566	52
Nº200	532	34	3,1

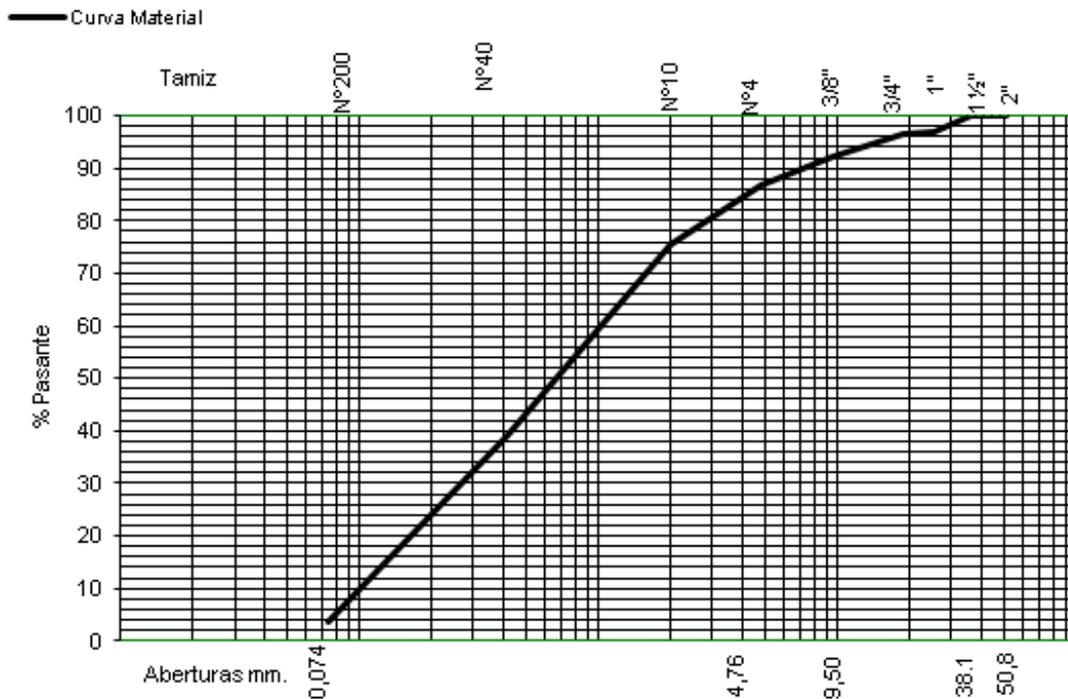


**Obra: Piletas de Evaporación**  
**Salar del Hombre Muerto - Catamarca**  
**Empresa: Minera Santa Rita S.R.L**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 18  
 Profundidad = 0,00 a 0,90 m.  
 Peso Muestra Ensayada = 3.642 grs.  
 Clasificación = SP  
 Humedad Natural = 5 %

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"			
1 ½"	0	3.642	100
1"	116	3.526	96,8
¾"	15	3.511	96,4
⅜"	153	3.358	92,2
Nº4	204	3.154	86,6
Nº10	130	870	75,3
Nº40	416	454	39,3
Nº200	414	40	3,5



**Obra: Piletas de Evaporación  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca  
Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata N° 18

Profundidad = 0,90 a 2,50 m.

Peso Muestra Ensayada = 3.656 grs.

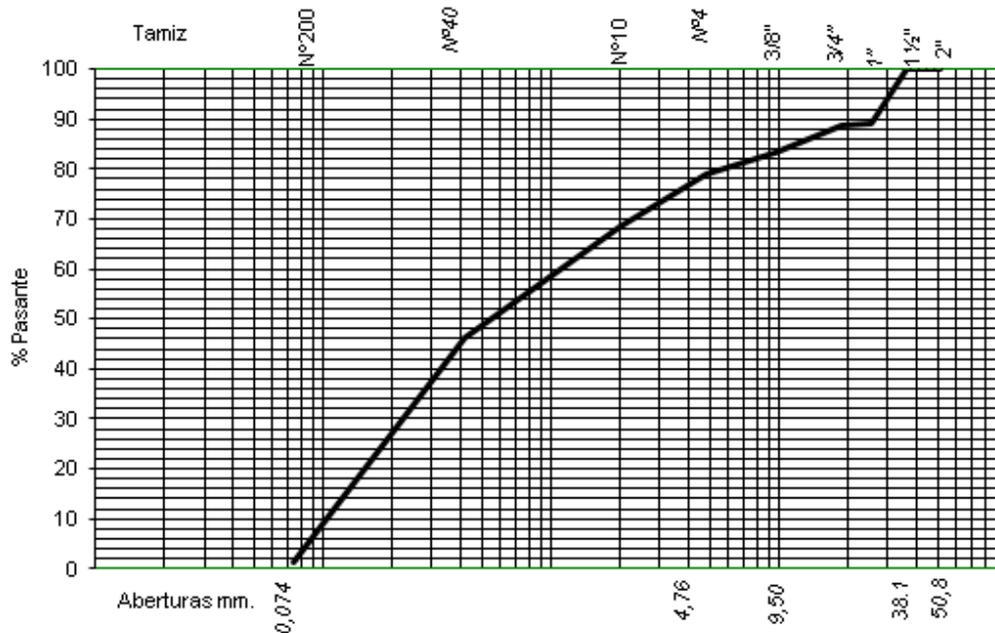
Clasificación = SW

Humedad Natural = 3,6 %

Peso Unitario Natural = 1,893 g/cm3

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"			
1 ½"	0	3,656	100
1"	402	3,254	89
¾"	12	3,242	88.7
⅜"	195	3,047	83.3
N°4	163	2,884	78.9
N°10	132	868	68.5
N°40	284	584	46.1
N°200	566	18	1.4

— Curva Material



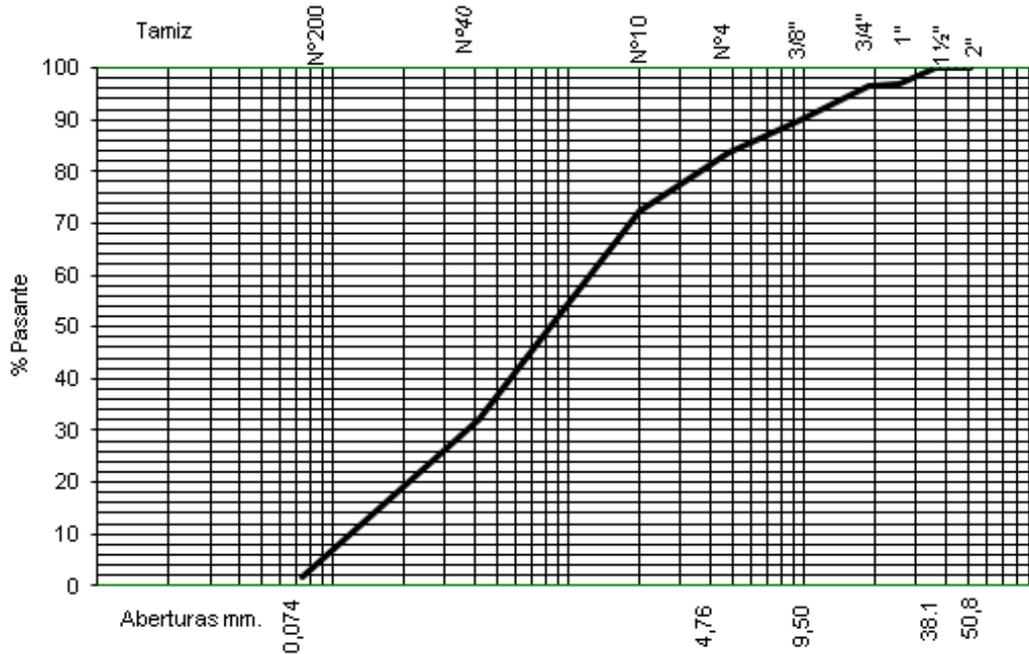
**Obra: Piletas de Evaporación  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca  
Empresa: Minera Santa Rita S.R.L**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 19  
Profundidad = 0,00 a 0,40 m.  
Peso Muestra Ensayada = 3.026 grs.  
Clasificación = SP  
Humedad Natural = 4,8 %

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"			
1 ½"	0	3.026	100
1"	96	2.930	96,8
¾"	10	2.920	96,5
⅜"	205	2.715	89,7
Nº4	183	2.532	83,7
Nº10	136	864	72,3
Nº40	478	386	32,3
Nº200	366	20	1,6

— Curva Material

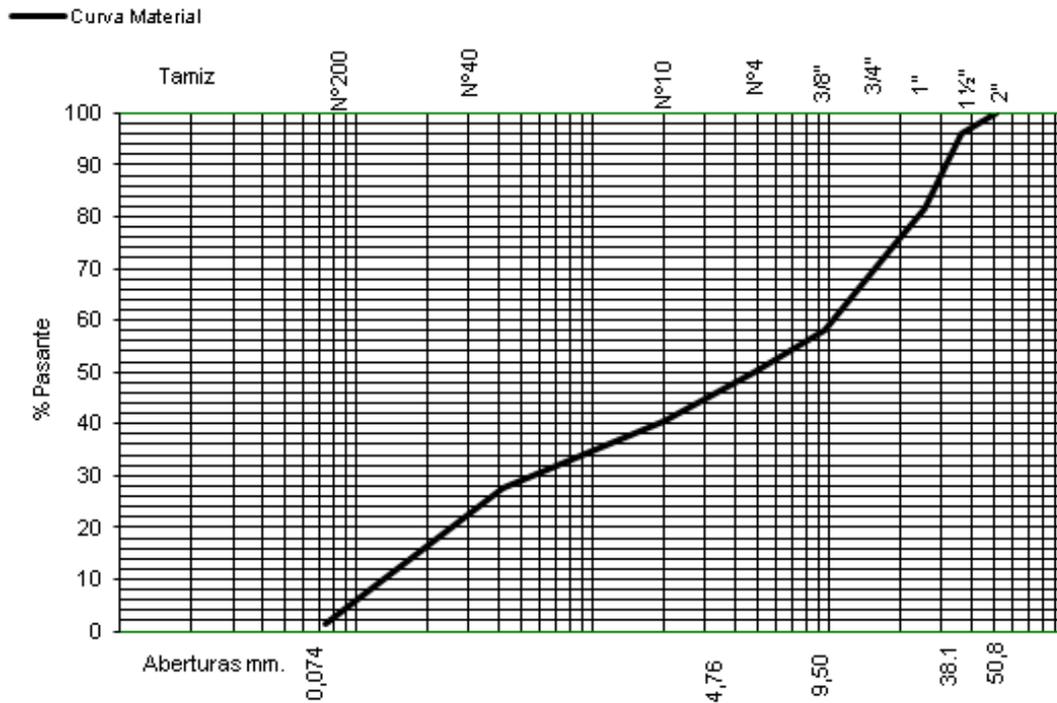


**Obra: Piletas de Evaporación**  
**Salar del Hombre Muerto - Catamarca**  
**Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 19  
 Profundidad = 0,40 a 2,75 m.  
 Peso Muestra Ensayada = 4.935 grs.  
 Clasificación = GW  
 Humedad Natural = 2,9 %  
 Peso Unitario Natural = 1,901 g/cm<sup>3</sup>

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"	0	4.935	100
1 ½"	200	4.735	96
1"	703	4.032	81,7
¾"	352	3.680	74,6
⅜"	822	2.858	57,9
Nº4	400	2.458	49,8
Nº10	184	816	40,6
Nº40	262	554	27,6
Nº200	528	26	1,3

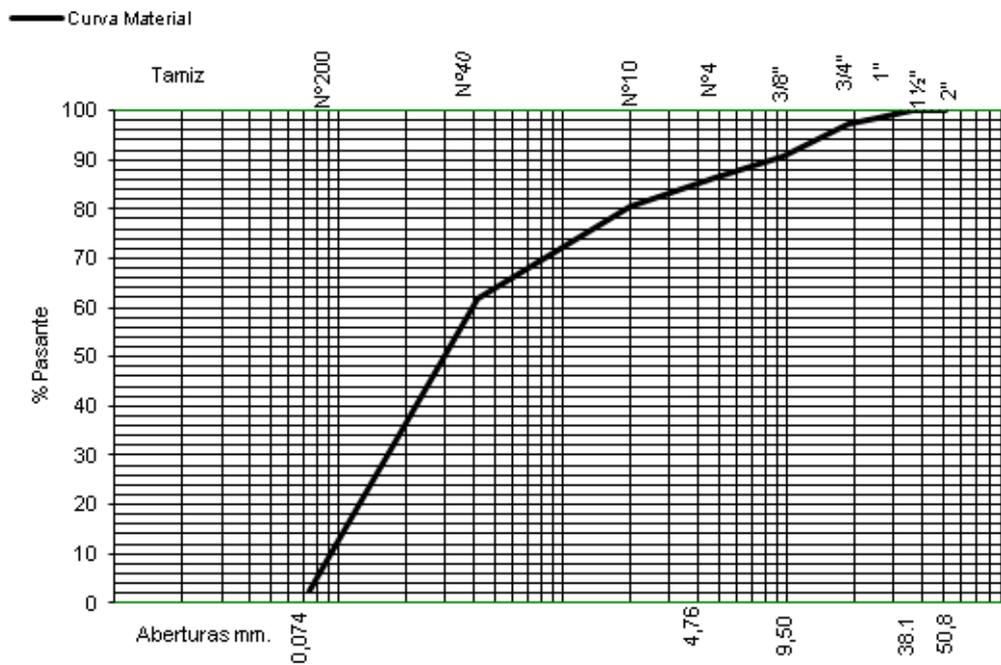


**Obra: Piletas de Evaporación**  
**Salar del Hombre Muerto - Catamarca**  
**Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 20  
 Profundidad = 0,00 a 0,20 m.  
 Peso Muestra Ensayada = 7.482 grs.  
 Clasificación = SP  
 Humedad Natural = 4,2 %

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"			
1 ½"	0	7.482	100
1"	123	7.359	98,3
¾"	76	7.283	97,3
⅜"	488	6.795	90,8
Nº4	322	6.473	86,5
Nº10	70	930	80,4
Nº40	218	712	61,6
Nº200	684	28	2,4

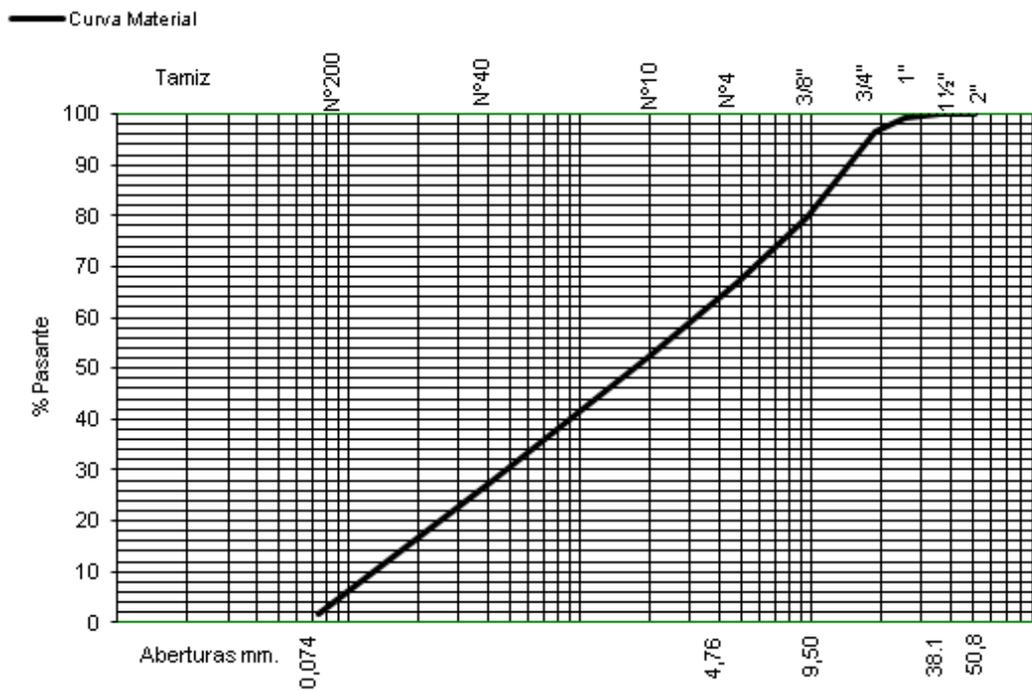


**Obra: Piletas de Evaporación  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca  
Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 20  
Profundidad = 0,20 a 0,70 m.  
Peso Muestra Ensayada = 5.484 grs.  
Clasificación = SW  
Humedad Natural = 3,8 %

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"			
1 ½"	0	5.484	100
1"	52	5.432	99,1
¾"	135	5.297	96,6
⅜"	917	4.380	79,9
Nº4	720	3.660	66,7
Nº10	216	784	52,3
Nº40	364	420	28
Nº200	396	24	1,6

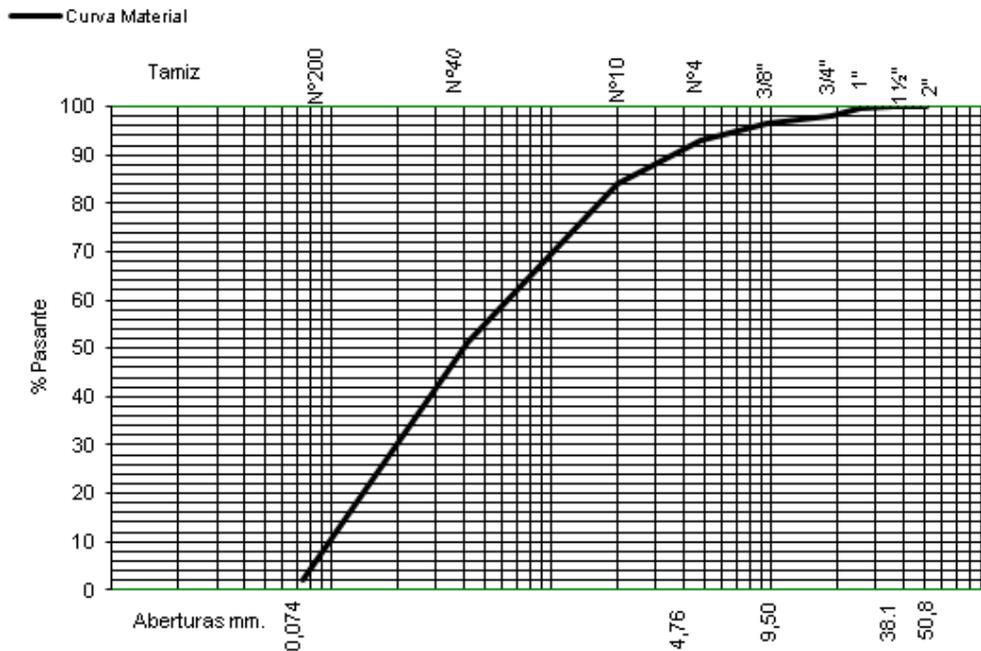


**Obra: Piletas de Evaporación**  
**Salar del Hombre Muerto - Catamarca**  
**Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 20  
 Profundidad = 0,70 a 1,85 m.  
 Peso Muestra Ensayada = 3.240 grs.  
 Clasificación = SP  
 Humedad Natural = 5,2 %

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"			
1 ½"	0	3.240	100
1"	10	3.230	99,7
¾"	49	3.181	98,2
⅜"	54	3.127	96,5
Nº4	111	3.016	93,1
Nº10	98	902	83,9
Nº40	352	550	51,2
Nº200	528	22	2

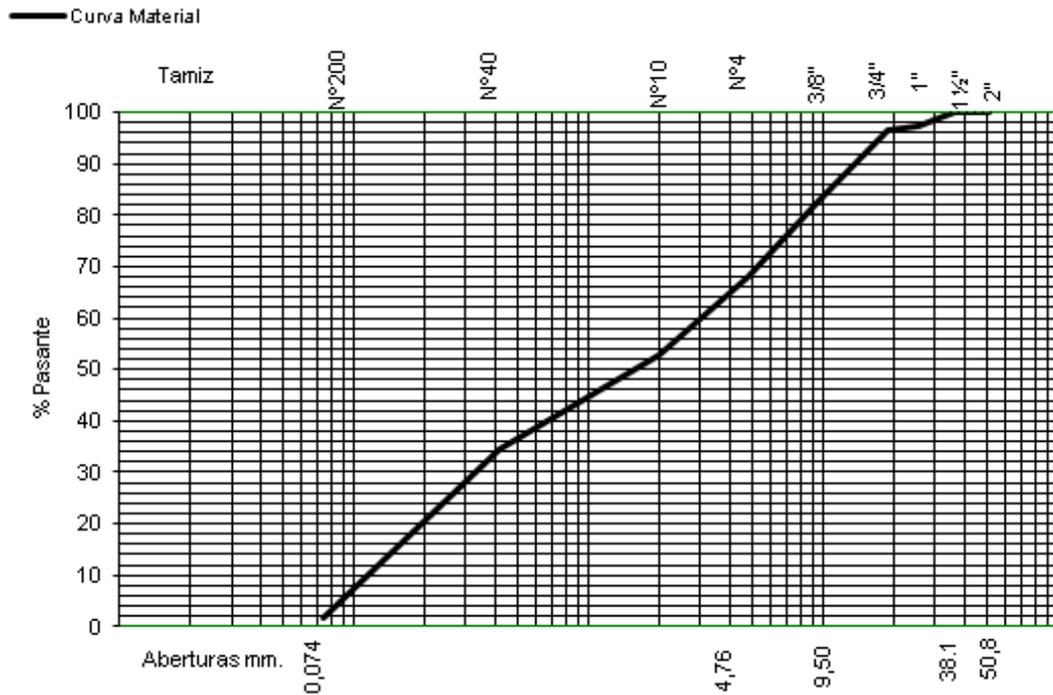


**Obra: Piletas de Evaporación  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca  
Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ENSAYO GRANULOMETRICO**

Calicata Nº 20  
 Profundidad = 1,85 a 3,00 m.  
 Peso Muestra Ensayada = 5.143 grs.  
 Clasificación = SW  
 Humedad Natural = 5,3 %  
 Peso Unitario Natural = 1,976 g/cm<sup>3</sup>

Tamiz	Retiene	Pasa	% Pasante
2"			
1 ½"	0	5.143	100
1"	151	4.992	97,1
¾"	23	4.969	96,6
⅜"	698	4.271	83
Nº4	762	3.509	68,2
Nº10	222	778	53
Nº40	270	508	34,6
Nº200	484	24	1,6



## 7.2. ENSAYO PROCTOR

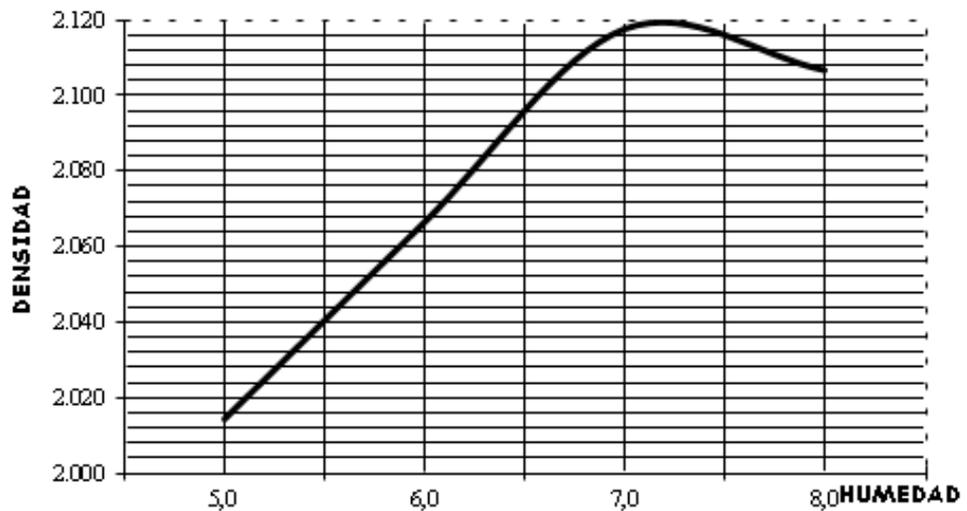
### ENSAYO PROCTOR

**Obra: Piletas de Evaporación**  
**Salar del Hombre Muerto - Catamarca**  
**Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

Material: SW (Arena bien graduada con 40% de grava)  
 Calicata N° 12, N° 14 y N°15

Ensayo	Proctor: T/180
	Capas: 5
	Nº Golpes: 56
	Pisón: 5,6 Kg
Equipo	Molde N° 1
	Tara: 2915
	Volúmen: 2123

N°	PESO SUELO + MOLDE (g.)	PESO DEL SUELO (g.)	DENSIDAD HUMEDA (Kg/m <sup>3</sup> )	HUMEDAD (%)	DENSIDAD SECA (Kg/m <sup>3</sup> )
1	7.405	4.490	2.115	5,0	2.014
2	7.565	4.650	2.190	6,0	2.066
3	7.725	4.810	2.266	7,0	2.117
4	7.745	4.830	2.275	8,0	2.107



**DENSIDAD MAXIMA = 2.119 Kg/m<sup>3</sup>**  
**HUMEDAD OPTIMA = 7,2 %**

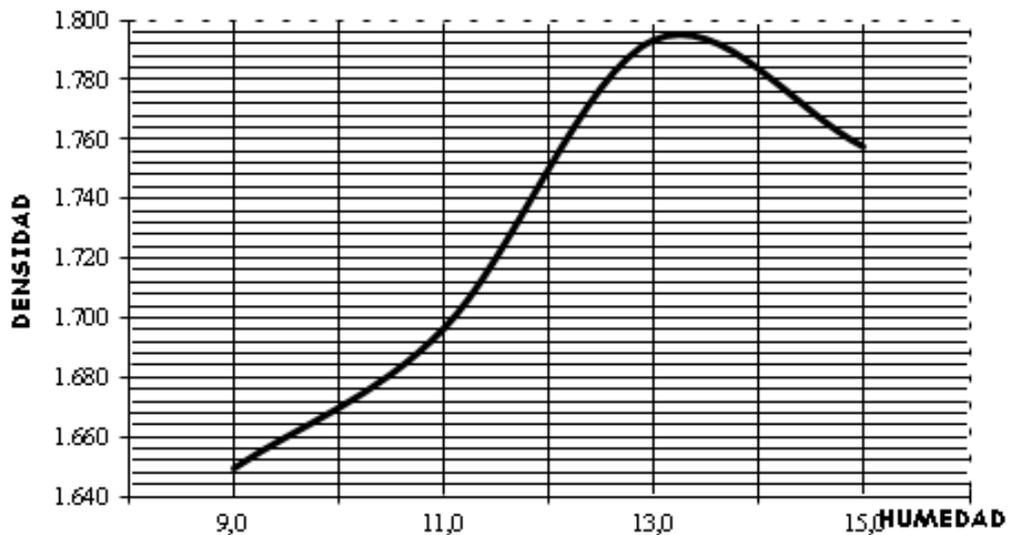
**ENSAYO PROCTOR**

**Obra: Piletas de Evaporación  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca  
Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

Material: SM (Arena Limosa)  
Calicata N° 1 y N°2

Ensayo	Proctor: T/99
	Capas: 3
	Nº Golpes: 25
	Pisón: 2,5 Kg
Equipo	Molde N° 2
	Tara: 1905
	Volúmen: 940

N°	PESO SUELO + MOLDE (g.)	PESO DEL SUELO (g.)	DENSIDAD HUMEDA (Kg/m <sup>3</sup> )	HUMEDAD (%)	DENSIDAD SECA (Kg/m <sup>3</sup> )
1	3.595	1.690	1.798	9,0	1.649
2	3.675	1.770	1.883	11,0	1.696
3	3.810	1.905	2.027	13,0	1.793
4	3.805	1.900	2.021	15,0	1.758



**DENSIDAD MAXIMA = 1.795 Kg/m<sup>3</sup>**  
**HUMEDAD OPTIMA = 13,2 %**

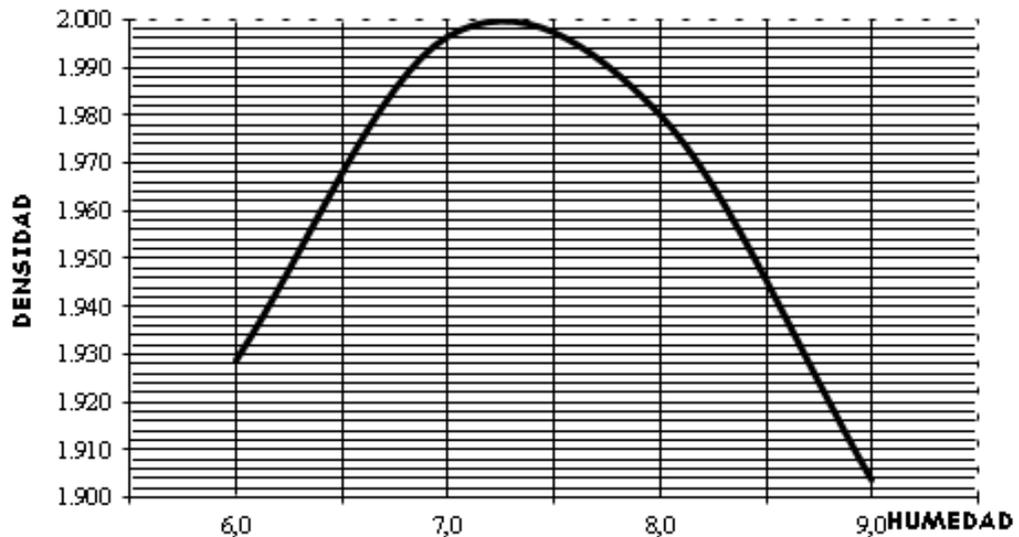
**ENSAYO PROCTOR**

**Obra: Piletas de Evaporación**  
**Salar del Hombre Muerto - Catamarca**  
**Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

Material: SP( Arena mal graduada con 15 a 20% de grava)  
 Calicata N°18, N° 19

Ensayo	Proctor: T/180
	Capas: 5
	Nº Golpes: 56
Equipo	Pisón: 5,6 Kg
	Molde Nº 1
	Tara: 2915
	Volúmen: 2123

Nº	PESO SUELO + MOLDE (g.)	PESO DEL SUELO (g.)	DENSIDAD HUMEDA (Kg/m <sup>3</sup> )	HUMEDAD (%)	DENSIDAD SECA (Kg/m <sup>3</sup> )
1	7.255	4.340	2.044	6,0	1.929
2	7.450	4.535	2.136	7,0	1.996
3	7.455	4.540	2.138	8,0	1.980
4	7.320	4.405	2.075	9,0	1.904



**DENSIDAD MAXIMA = 2.000 Kg/m<sup>3</sup>**  
**HUMEDAD OPTIMA = 7,3 %**

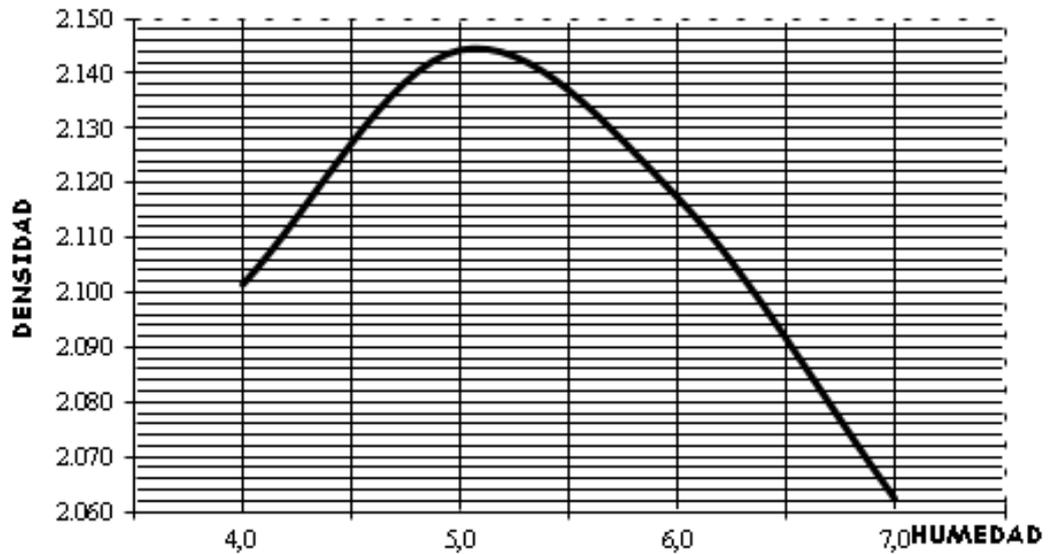
**ENSAYO PROCTOR**

**Obra: Piletas de Evaporación  
Salar del Hombre Muerto - Catamarca  
Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

Material: GW (Grava bien graduada)  
Calicata N° 16 y N° 17

Ensayo	Proctor: T/180
	Capas: 5
	Nº Golpes: 56
	Pisón: 5,6 Kg
Equipo	Molde N° 1
	Tara: 2915
	Volúmen: 2123

N°	PESO SUELO + MOLDE (g.)	PESO DEL SUELO (g.)	DENSIDAD HUMEDA (Kg/m <sup>3</sup> )	HUMEDAD (%)	DENSIDAD SECA (Kg/m <sup>3</sup> )
1	7.555	4.640	2.186	4,0	2.102
2	7.695	4.780	2.252	5,0	2.144
3	7.680	4.765	2.244	6,0	2.117
4	7.600	4.685	2.207	7,0	2.062



**DENSIDAD MAXIMA = 2.145 Kg/m<sup>3</sup>**  
**HUMEDAD OPTIMA = 5,2 %**







#### 7.4. ENSAYO DE CONSISTENCIA (LIMITE DE ATTEMBERG)

Obra: Piletas de Evaporación

Salar del Hombre Muerto - Catamarca

Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.

#### ESTADOS DE CONSISTENCIA (LIMITE DE ATTERBERG)

Calicata Nº	1 Hor. 1		1 Hor. 2		2 Hor. 1		2 Hor. 2	
	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.
Nº Golpes	21	---	18	---	24	---	15	
Pesafiltro = Nº	6	11	14	12	5	7	13	
Pf + Sh = Grs.	61,552	20,032	28,483	14,392	35,793	25,666	33,513	
Pf + Ss = Grs.	53,956	19,455	25,805	13,274	32,225	24,157	30,43	
Agua = %	7,596	0,577	2,678	1,118	3,568	1,509	3,083	
Tara Pesafiltro =Grs	16,171	16,314	14,632	7,675	16,165	16,311	14,641	
Suelo Seco = Grs.	37,785	3,141	11,173	5,599	16,060	7,846	15,789	
Humedad = %	20,103	18,370	23,968	19,968	22,217	19,233	19,526	
L.L. = Corregido	19,7	---	23,0	---	22,1	---	19,4	
<b>INDICE PLASTICO</b>	<b>1,3</b>		<b>3,0</b>		<b>2,9</b>			

11	1,106582	21	1,022334
12	1,095245	22	1,016273
13	1,084817	23	1,010481
14	1,075161	24	1,004936
15	1,066172	25	0,999618
16	1,057764	26	0,994508
17	1,049865	27	0,989591
18	1,042418	28	0,984853
19	1,035374	29	0,980281
20	1,028691	30	0,975864



**Obra: Piletas de Evaporación**  
**Salar del Hombre Muerto - Catamarca**  
**Empresa: Minera Santa Rita S.R.L.**

**ESTADOS DE CONSISTENCIA  
(LIMITE DE ATTERBERG)**

Calicata N°	3 Hor. 1		4 Hor. 1		4 Hor. 3			
	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.	L.L.	L.P.		
Nº Golpes	24	----	16	---	27	---		
Pesafiltros = Nº	9	11	30	12	3	7		
Pf + Sh = Grs.	29,151	15,954	30,267	16,737	22,203	16,542		
Pf + Ss = Grs.	25,739	14,725	26,701	15,555	20,341	15,387		
Agua = %	3,412	1,229	3,566	1,182	1,862	1,155		
Tara Pesafiltro =Grs	10,163	8,24	8,717	8,882	11,988	9,5902		
Suelo Seco = Grs.	15,576	6,485	17,984	6,673	8,353	5,797		
Humedad = %	21,905	18,951	19,829	17,713	22,291	19,925		
L.L. = Corregido	21,8	---	18,7	---	22,5	---		
<b>INDICE PLASTICO</b>	<b>2,8</b>		<b>1,0</b>		<b>2,6</b>			

11	1,106582	21	1,022334
12	1,095245	22	1,016273
13	1,084817	23	1,010481
14	1,075161	24	1,004936
15	1,066172	25	0,999618
16	1,057764	26	0,994508
17	1,049865	27	0,989591
18	1,042418	28	0,984853
19	1,035374	29	0,980281
20	1,028691	30	0,975864



**ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PILETAS DE  
EVAPORACIÓN – MINERA SANTA RITA S.R.L. – SALAR DEL  
HOMBRE MUERTO DEPARTAMENTO ANTOFAGASTA DE LA  
SIERRA – PROVINCIA DE CATAMARCA**

---

