



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

SUELOS SALINOS DE LA CIUDAD DE ARICA: GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

RODOLFO NICOLÁS GAÍNZA ACEVEDO

PROFESOR GUÍA:
SOFÍA REBOLLEDO LEMUS

PROFESOR COGUÍA:
MARISOL LARA CASTILLO

COMISIÓN:
SERGIO SEPULVEDA VALENZUELA

SANTIAGO DE CHILE

2021

RESUMEN

El presente trabajo consiste en la caracterización de suelos, en particular salinos, de la ciudad de Arica.

A partir de la información disponible se clasificaron los distintos tipos de suelos según la clasificación USCS, se agruparon los datos mediante la comparación de sus curvas granulométricas y las densidades de partícula sólida (DPS). Dicha información se utilizó para definir una unidad de Rocas Volcánicas y tres de suelo: Arenas y gravas limpias, Arenas Limosas y Gravas Limosas Salinas del Alto Sur, Arenas Limosas y Limos no plásticos salinos Noreste.

Con la ayuda de la información geológica disponible del área de estudio, más las descripciones estratigráficas existentes, y las observaciones geológicas realizadas en distintos puntos de la ciudad, fue posible asociar las distintas unidades de suelo a procesos geológicos, y con ello a Formaciones Geológicas.

Por último, se elaboró un mapa que muestra las distintas unidades de suelo, el cual sugiere que los suelos salinos están restringidos a dos zonas: La zona sur de la ciudad, la que correspondería a unidades del tras arco, asociadas a depósitos aluviales de la Cordillera de la Costa del Mioceno tardío - Plioceno, y la zona Noreste de la ciudad, que correspondería a depósitos fluviales del Plioceno, las que se deberían parte de su salinidad superficial a la acción de la "camanchaca" o neblina marina.

A Elisa y Lucas, la mayor inspiración para seguir.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a todas y todos los que han permitido llevar este trabajo a su fin.

A mi padre y madre, por las bases educativas y oportunidades para crecer y desarrollarme pleno. A mis compañeros de carrera que hicieron de la estadía en la Universidad algo grato y memorable.

A los docentes del departamento de Geología, por sus enseñanzas dentro y fuera de las aulas, por el apoyo entregado y por siempre hacerse un tiempo para una última duda, ya fuera en la sala de clases, en un pasillo o en su oficina.

A la Profesora Sofía Rebolledo, por proponer en un principio este trabajo, permitir desarrollarlo bajo su tutela y por su aporte con su opinión y revisiones.

A cada uno de los funcionarios del departamento de Geología, que siempre estuvieron dispuestos a prestar una mano cuando uno la necesitó.

A Mauricio Aguilera y el personal de Testcontrol S.A. por facilitar los contactos e informes de su autoría.

A Heriberto Rothkegel y GyL por facilitar los informes, permitir visitas a terreno y siempre estar disponible en caso de dudas.

A Mei-Lan por siempre acompañarme y apoyarme tanto durante este proceso, gracias por toda tu paciencia.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVOS	2
1.2. UBICACIÓN ZONA DE ESTUDIO	3
1.3. METODOLOGÍA Y LIMITACIONES	4
2. MARCO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO	6
2.1. GEOMORFOLOGÍA DEL AREA DE ESTUDIO	6
2.2. UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	7
2.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	14
2.4. CLIMA	14
2.5. HIDROGEOLOGÍA	15
3. DEPÓSITOS SALINOS EN EL NORTE DE CHILE	16
4. RESULTADOS	22
5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	37
6. CONCLUSIONES	41
7. BIBLIOGRAFÍA	43
8. ANEXOS	46
8.1. TABLAS DE DATOS GEOTÉCNICOS	46
8.2. TABLAS DE SALINIDAD	56
8.3. CURVAS GRANULOMÉTRICAS	60
8.4. TABLAS DE DATOS SIG	70

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tasa de solubilidad de minerales presentes en suelos en Chile, modificado de Olgún 2006.....16

Tabla 2: Resumen ensayos realizados por Proyecto. La "x" indica que se realizó el ensayo correspondiente. Los proyectos marcados con * son posteriores a la norma que establece la serie de ensayos obligatorios.....25

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Mapa Región de Arica y Parinacota, con zona urbana destacada. Modificado de Base cartográfica, Unidad de Gestión Territorial, Onemi.	3
Figura 2. Ciudad de Arica, modificado de maps.google.cl.	4
Figura 3. Perfiles esquemáticos del relieve costero en el "Codo de Arica y al sur de él. Imagen modificada de Madella (2016). En la imagen las unidades ED: Formación El Diablo, Ox: Formación Oxaya, Az: Formación Azapa, LS: Lagos Salinos.	7
Figura 4. Recorte de Hoja Arica, mapa 1:250.000 de García et al. (2004).....	8
Figura 5. Avances y Regresiones del Mar, (Corvalán y Hervé), tomado de Olguín (2006).....	18
Figura 6. Perfil de concentración de cloruros en cauce del Rio Lluta. Tomado de Olguín (2006).....	19
Figura 7. Mapa con la ubicación de las muestras de las que se tienen datos disponibles.	23
Figura 8. Fotografía de calicatas realizadas en roca volcánica, muestra roca fracturada con halita como relleno de fracturas.....	26
Figura 9. Fotografía calicata en arenas y gravas cercanas a la costa, proyecto Novotel.	27
Figura 10. Curvas granulométricas de arenas pobremente graduadas, correspondientes a los depósitos fluviales del Pleistoceno (SP).	28
Figura 11. Fotografía calicata en material aluvial. Se observan clastos mayores angulosos en matriz limosa. En blanco se puede observar la halita en ocupando parte de la matriz.....	29
Figura 12. Curvas granulométricas de arenas limosas salinas, encontradas en la zona del alto sur.....	30
Figura 13. Curvas granulométricas de gravas limosas salinas, encontradas en la zona del alto sur.....	31
Figura 14. Curvas granulométricas de arenas limosas salinas, encontradas en la zona Noreste.....	32
Figura 15. Curvas granulométricas de limos de baja plasticidad, encontradas en la zona Noreste.....	33
Figura 16. Afloramiento sector noreste de la ciudad, muestra contacto entre niveles salinos sobreyaciendo unidades no salinas.	34
Figura 17. Lugar de donde fue tomada la muestra de material salino. El martillo está apoyado justo en el contacto entre un material fuertemente cementado y otro parcialmente cementado.	34
Figura 18. Mapa de Suelos de la Ciudad de Arica, según Unidades de suelo definidas.	36
Figura 19. Curvas granulométricas disgregada y lixiviada de muestra de la zona Noreste de Arica. Tomadas de Olguín 2006.....	38
Figura 20. Curvas granulométricas disgregada y lixiviada de muestra de la zona Sur de Arica. Tomadas de Olguín 2006.....	39

1. INTRODUCCIÓN

En la comuna de Arica durante décadas se han desarrollado proyectos habitacionales y sus servicios asociados, en áreas en que los suelos presentan cantidades importantes de sales solubles. Desde ya los años noventa, vecinos de poblaciones presentaban reclamos debido a la presencia de socavones en hogares y calles.

En diciembre de 2013, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (Minvu), aprueba el primer documento que establece estándares mínimos para la construcción de proyectos habitacionales del Minvu a emplazarse en suelos con contenidos de sales solubles.

En 2014 estalla la polémica producto de un gran socavón el cual estaría afectando a 31 casas en la población Tucapel 2 (Figura 2). En ese momento se hablaba de problemas con las características de los suelos, particularmente con su contenido de sales solubles.

El mismo 2014 se establece la Norma Técnica 010 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo “Recomendaciones para intervención en edificaciones emplazadas en Suelos Salinos”, la cual amplía la normativa del listado de recomendaciones del año anterior.

El 25 de enero de 2017 se decreta la Norma Chilena NCH 3394: Suelo Salino – Requisitos geotécnicos y de instalaciones sanitarias para diseño y ejecución de obras, la cual presenta definiciones, y reglamentos asociados a la exploración y estudio geotécnico para el desarrollo de obras nuevas que sean emplazadas en suelos salinos, y los requisitos para diseño y construcción de sistemas de fundación de edificaciones, obras sanitarias y/o de pavimentación urbana.

Surge como inquietud del Laboratorio Test Control Ltda. la realización de un mapa con la localización de los suelos salinos a partir de los informes entregados a las distintas empresas a las cuales prestan servicios. Idea que se materializa con la realización de este trabajo y gracias a la empresa Guzmán y Larraín Spa., quienes accedieron a la entrega de la información de los estudios geotécnicos de suelos de sus proyectos en la comuna, con el objetivo de tener mejor identificados las zonas en las que se pueden encontrar suelos con sales solubles, así como sus características geológicas y geotécnicas.

1.1. OBJETIVOS

El **objetivo general** de este trabajo es identificar, localizar y caracterizar geológica y geotécnicamente, los sedimentos con sales solubles en la comuna de Arica.

Para llevar a cabo esto se ha planteado los siguientes objetivos específicos:

1. Determinar el origen y características geológicas de los suelos considerados salinos.
2. Confeccionar un catastro de suelos de la ciudad de Arica con las concentraciones de sales solubles y sus propiedades geotécnicas, tipificando las áreas según la definición de suelo salino descrita en NCh 3394 Suelo Salino – Requisitos geotécnicos y de instalaciones sanitarias para el diseño y ejecución de obras.
3. Zonificar los suelos salinos y no salinos de la comuna de Arica.

1.2. UBICACIÓN ZONA DE ESTUDIO

La comuna y ciudad de Arica se encuentra en los $18^{\circ}28'42''\text{S}$ y $70^{\circ}19'16''\text{W}$ en el extremo norte de Chile, a solo dieciocho kilómetros de la frontera con Perú en el Norte, y colindante con el océano Pacífico al Oeste como se puede observar en la Figura 1.

La comuna presenta una superficie de 4799 km^2 , de los cuales $41,89\text{ km}^2$ corresponden a la superficie urbana de la ciudad de Arica, que es donde se emplaza el presente estudio, que corresponde al polígono marcado en rojo en la Figura 2.

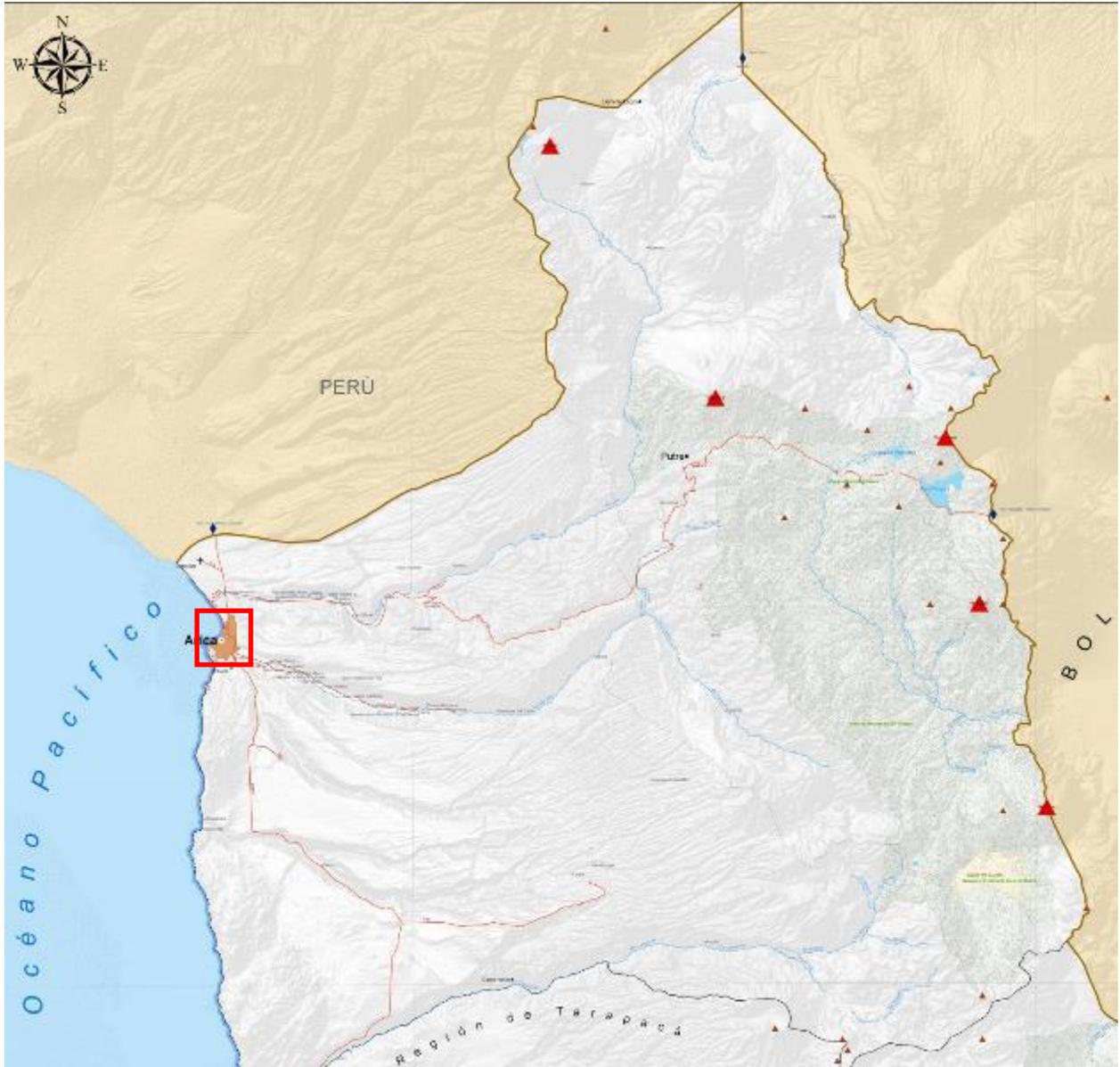


Figura 1. Mapa Región de Arica y Parinacota, con zona urbana destacada. Modificado de Base cartográfica, Unidad de Gestión Territorial, Onemi.

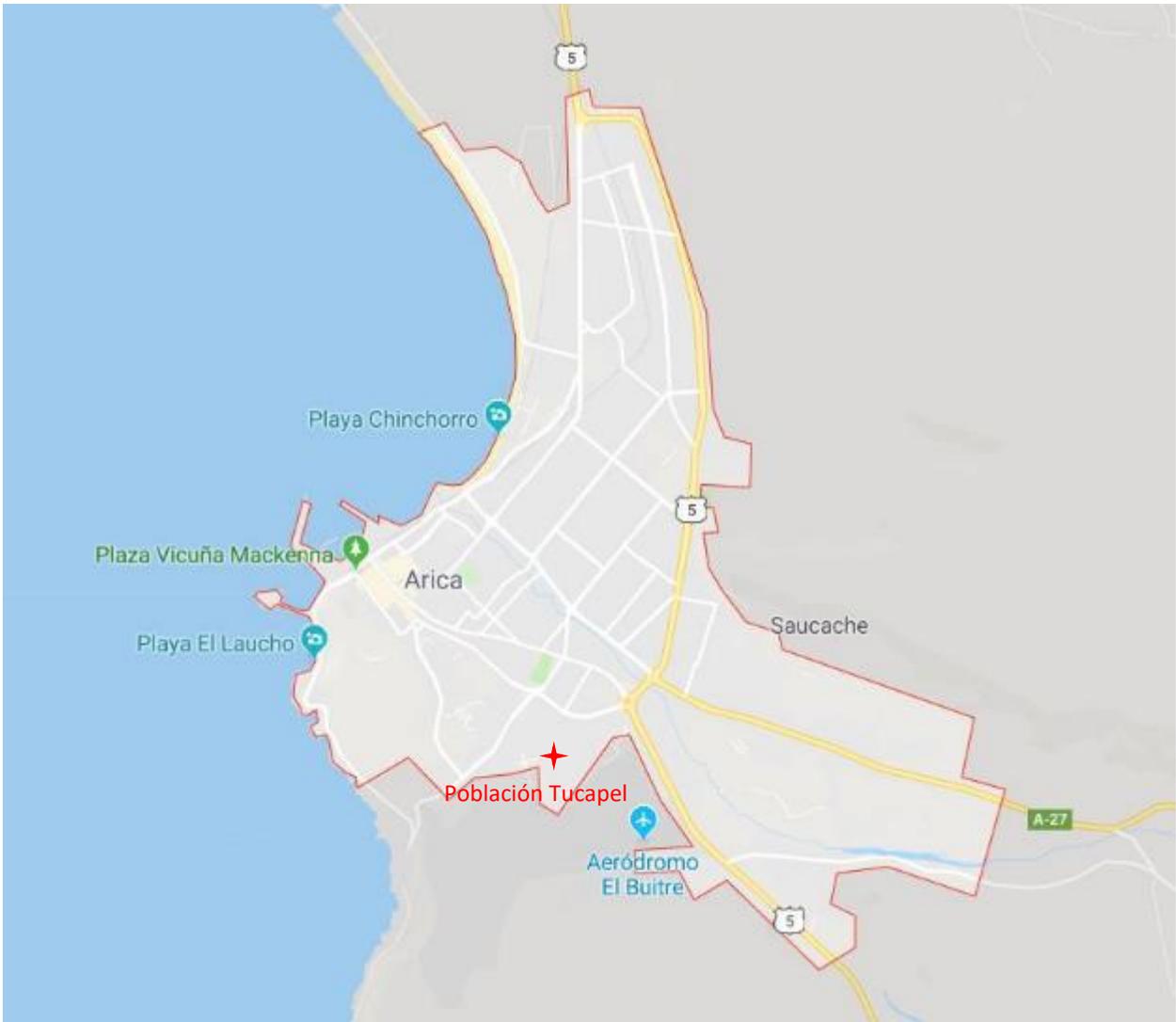


Figura 2. Ciudad de Arica, modificado de maps.google.cl.

1.3. METODOLOGÍA Y LIMITACIONES

Primero se realizó un análisis bibliográfico que incluyó la geología local, geología de depósitos asociados a sales solubles, geotecnia de suelos, estudios sobre geotecnia en suelos salinos y la regulación vigente sobre la construcción en suelo salino.

Paralelamente se realizó una recopilación de los resultados encontrados en los informes de mecánica de suelo facilitados por Guzmán y Larraín, en donde se encuentran: descripciones estratigráficas, resultado de ensayos de granulometría, consistencia y límites de Atterberg, ensayos de relaciones de humedad vs compactación, ensayos de densidad relativa, ensayos de corte directo, entre otros (no todos los suelos fueron

sometidos a todos los ensayos mencionados, por lo que los análisis serán con respecto a las muestras disponibles).

A partir de los informes se elaboraron tablas agrupadas por proyecto con los resultados de los ensayos realizados. A partir de esa información se utilizó la información granulométrica y de plasticidad para la clasificación USCS de los suelos. Además, se graficaron las curvas granulométricas, las cuales fueron analizadas y agrupadas según tendencias. Durante este proceso adicionalmente se tomó en cuenta la salinidad de las muestras, pues geológicamente corresponden a procesos distintos.

A partir de los análisis de los datos se definieron cuatro (4) tipos de suelos principales. Con los datos georreferenciados, y con la ayuda de observaciones en terreno se elaboró un mapa de tipos de suelos de la ciudad de Arica.

Con respecto a las limitaciones del estudio primero señalar que no todos los sitios cuentan con la misma batería de ensayos. De hecho, como se mencionó anteriormente, la obligatoriedad de ensayos referente al estudio de sales solubles se establece en 2017 y corre a partir de 2018, por ello solo cuatro informes cuentan con toda la batería de ensayos propuesta por la NCh 3394.

Otra limitante con respecto a los datos es el hecho que muchas muestras estuvieran asociadas a un proyecto sin mencionar la ubicación espacial exacta. En esos casos a todas las muestras se les asignó un punto central dentro del proyecto.

Adicionalmente mencionar la limitante de estudiar la geología en un espacio urbano, ya que la construcción y pavimentación no permite acceder a las capas de suelo subyacentes.

2. MARCO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO

2.1. GEOMORFOLOGÍA DEL AREA DE ESTUDIO

La Región de Arica y Parinacota se ubica en el extremo norte de Chile entre los paralelos 18 y 19 ° S, en la parte central y occidental de Los Andes centrales, los cuales presentan una forma arqueada, debido al Oroclino Boliviano o “Codo de Arica” (García et al, 2004).

A esta latitud, se distinguen claramente cuatro unidades fisiográficas mayores: la Cordillera de la Costa, la Depresión Central, la Precordillera y la Cordillera Occidental; rasgos fisiográficos que se extienden hacia el norte, hacia el sur del Perú (García et al., 2004, Mortimer y Saric, 1975; Paskoff, 1979; Tosdal et al. 1984; Naranjo y Paskoff, 1985; Macharé et al. 1986). En la región estos rasgos fisiográficos presentan una dirección N-S a NNW-SSE.

La Cordillera de la Costa es un cordón estrecho, de hasta 15 km de ancho, que alcanza los 1200 metros sobre el nivel del mar hasta la Depresión Central, mientras al Oeste su límite con el Océano Pacífico es abrupto, debido al escarpe costero con desnivel promedio de 1.000 m (García et al, 2004).

La Depresión Central tiene un ancho entre 45 y 50 km. la cual presenta una topografía mayoritariamente plana, la cual se eleva desde los 500 – 1.000 m hasta los 1.900 – 2.300. Esta depresión está rellena con depósitos volcanosedimentarios y volcánicos distales, limitada abruptamente por una estructura recta regional de origen tectónico. Su superficie corresponde al plano de pedimentación regional Mioceno, la cual es localmente disectada por los cañones de Lluta, Azapa, Vitor y Camarones, de profundidad cercana a 1000 m (García et al, 2004).

La Precordillera corresponde a una meseta alargada, de ancho entre 20 y 35 km, cuya altitud aumenta de oeste a este, de 1.900-2.300 a 3.200-3.800 m. Su superficie es regular y relativamente continua, cortada por las quebradas profundas de Lluta, Azapa y Camarones (García et al, 2004).

La Cordillera Occidental presenta una topografía muy irregular, con altitudes que aumentan abruptamente, de oeste a este, de 3.200-3.500 a 5.000-6.350 m. Las mayores elevaciones corresponden a los edificios volcánicos neógenos (García et al, 2004).

Cada una de estas unidades fisiográficas es paralela a la fosa, incluyendo (de oeste a este): la Cordillera de la Costa, la Depresión Central, la Precordillera y la Cordillera Occidental (Charrier et al., 2013), y están presentes a lo largo de la mayor parte de los Andes centrales occidentales peruanos y chilenos por una longitud de más de 1000 km. Sin embargo, a medida que nos acercamos al codo de Arica, la Cordillera de la Costa desciende gradualmente en elevación desde más de 1000 m.s.n.m. hasta alcanzar el nivel del mar, esto desde ambos lados de la curva. Desde el Morro de Arica hacia el norte hay una ausencia de relieve costero sobre un tramo aproximado de 50 km entre 18,2 ° S

y 18,4 ° S (Madella, 2016). Esta situación se puede observar en la Figura 3, que muestra el perfil esquemático del tramo del Codo de Arica, con la ausencia de la Cordillera de la Costa (Figura 3a), y lo que ocurre al sur de los 18°4' con la Cordillera de la Costa elevada, los sedimentos neógenos en el ante arco y el desarrollo de salares en la parte superior (Figura 3b).

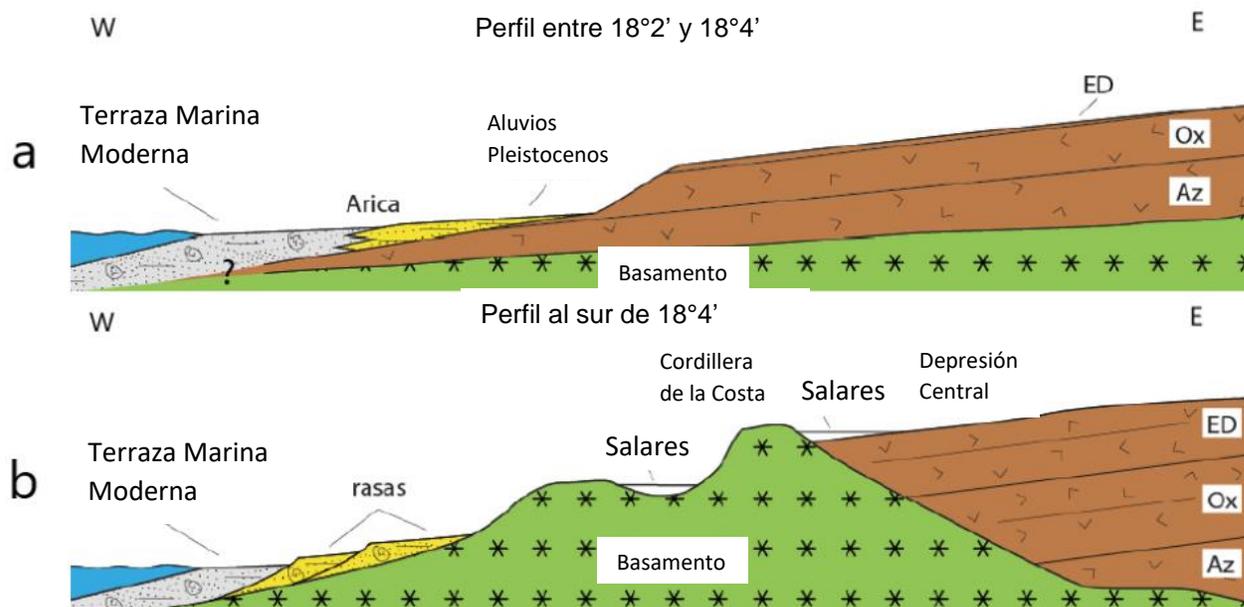


Figura 3. Perfiles esquemáticos del relieve costero en el "Codo de Arica y al sur de él. Imagen modificada de Madella (2016). En la imagen las unidades ED: Formación El Diablo, Ox: Formación Oxaya, Az: Formación Azapa, LS: Lagos Salinos.

2.2. UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

Para la elaboración de este marco geológico se consideró como guía el trabajo de García et al. (2004), de donde se seleccionaron las unidades litoestratigráficas cercanas a la ciudad de Arica (Figura 4). Se consideró que estas unidades son las que tienen influencia en el estudio.

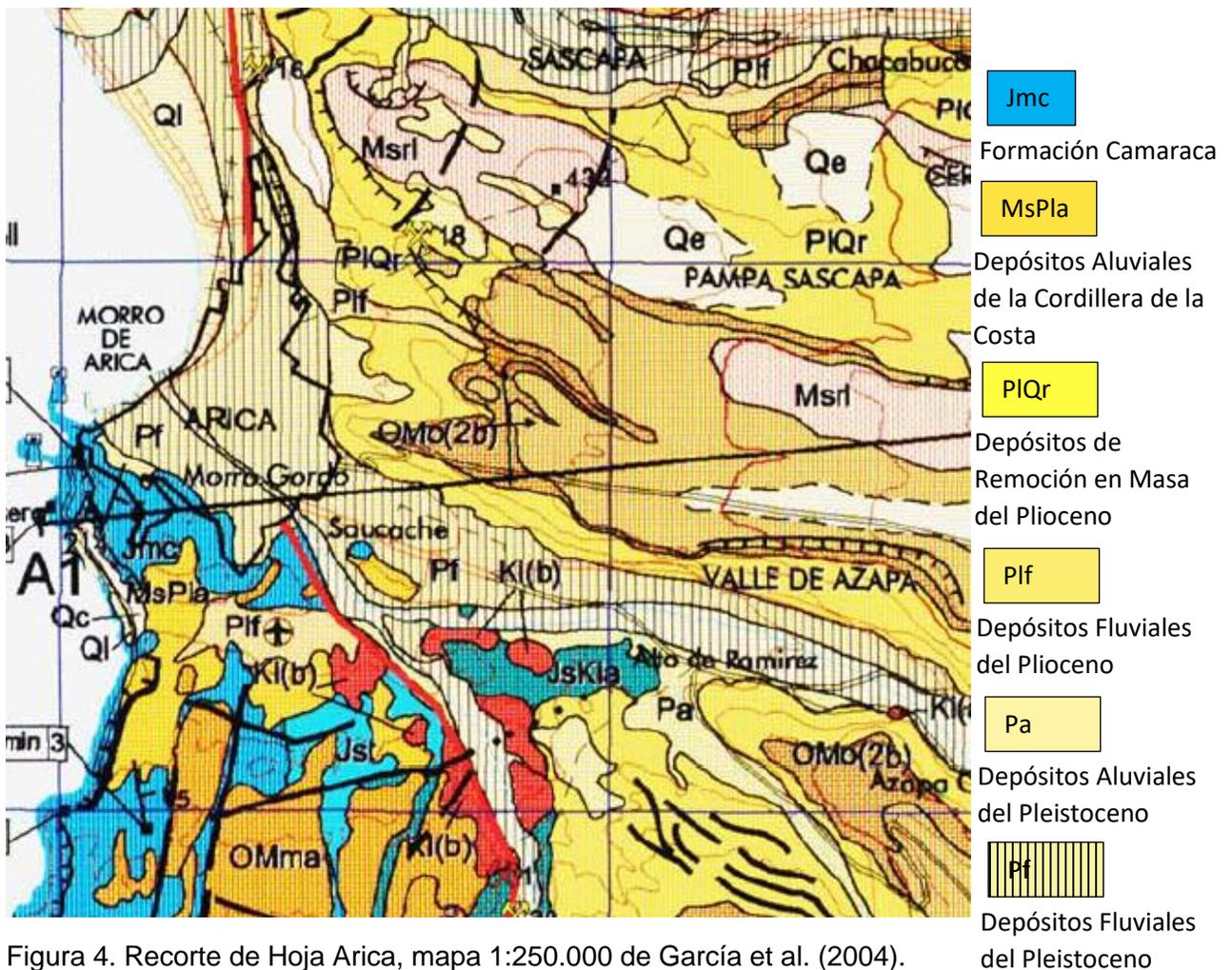


Figura 4. Recorte de Hoja Arica, mapa 1:250.000 de García et al. (2004).

Formación Camaraca Jmc

Sucesión esencialmente volcánica que aflora de manera amplia en la Cordillera de la Costa, al sur de Arica. Está constituida por 4.000 m. de espesor mínimo de lavas andesíticas, en parte basálticas, y en menor proporción lavas basálticas y daciandesíticas, tobas y rocas sedimentarias (areniscas, brechas, calizas, conglomerados y lutitas) (Salas et al., 1966). Subyace en concordancia y aparente transición a la Formación Los Tarros (Jst) y en discordancia angular a la Formación Atajaña. Está cubierta extensamente por depósitos sedimentarios aluviales del Oligoceno-Plioceno (OMma, MsPla). Su base no está expuesta y está intruída por los Intrusivos del Jurásico Medio-Superior (Jmsi) y por numerosos diques, filones, mantos y cuerpos subvolcánicos andesíticos y cicrodioríticos, asignados al Jurásico Medio-Superior. Fauna fósil permite asignar un rango de edad bajociano superior-caloviana.

Formación Los Tarros Jst

Sucesión sedimentaria marina que aflora en la quebrada Los Tarros, al sureste de Arica. Está constituida por hasta 500 m. de espesor, de areniscas y lutitas, con intercalaciones de calizas y lavas andesíticas. Sobreyace en concordancia, y aparentemente de manera transicional, a la Formación Camaraca, y subyace en discordancia angular a la Formación Atajaña. Se encuentra intruída por Intrusivos de Acha y por filones andesíticos, asignados al Cretácico. La fauna de amonites fósiles presentes permite asignarle una edad oxfordiana.

Formación Atajaña JsKia

Sucesión sedimentaria clástica continental, expuesta en el sector del cerro Atajaña en la Cordillera de la Costa, al sur. Tiene un espesor mínimo de 1.400 m. y está constituida principalmente por conglomerados de grano fino a muy grueso, areniscas y limolitas, con intercalaciones locales de brechas sedimentarias y lavas andesíticas. Sobreyace en discordancia a las formaciones Los Tarros y Camaraca y subyace, concordantemente a la Formación Blanco y discordantemente a la Formación Suca, por lo que se le asigna una edad Jurásico-Cretácico Inferior.

Intrusivos de Acha Ki(b)

Cuerpos expuestos a 5-10 km al sureste de Arica, en las quebradas Acha y Azapa, intruyendo a las formaciones Los Tarros y Atajaña. Están cubiertos por depósitos aluviales del Oligoceno-Mioceno. Corresponden a pórfidos granodiríticos y granodioritas porfídicas. No se tiene dataciones, pero se le asocia tentativamente edad cretácica por sus relaciones de intrusión y la relación espacial con los intrusivos de Azapa.

Formación Azapa Oa

Sucesión sedimentaria expuesta en la quebrada de Azapa y en alrededores de la localidad de Ausipar. Con potencias de 450 a 500 m, está dividido en dos asociaciones de facies, una oriental Oa(a) de grano grueso, formada por conglomerados y brechas sedimentaras de grano medio a muy grueso; y otra occidental Oa(b) de grano fino, formada por areniscas y limolitas, con intercalaciones locales de conglomerados de grano fino y arcillolitas. Sobreyace en discordancia a los Intrusivos de Esquiña y a la Formación Suca, así como a rocas de la Cordillera de la Costa de las formaciones Camaraca, Ajataña, y subyace concordante y transicionalmente a la Formación Oxaya. No hay antecedentes directos de la edad, como fósiles o dataciones de intercalaciones volcánicas, pero su posición con respecto a la Formación Oxaya, permiten inferir una edad Oligocena en el sentido amplio.

Depósitos Aluviales de la Cordillera de la Costa OMma

Depósitos sedimentarios continentales que rellenan depresiones aisladas en la Cordillera de la Costa. Alcanzan hasta 200 m y están formados por arenas, gravas y brechas sedimentarias, y limos, con intercalaciones locales de tobas y de niveles salinos. Dataciones radiométricas a tobas intercaladas permiten asignarlas al Oligoceno - Mioceno Medio.

Formación Oxaya OMo

Sucesión volcánica continental que se distribuye ampliamente por la Precordillera y Depresión Central. Su espesor varía desde 0 a 1.000 m en la Precordillera, disminuyendo al oeste hasta 0 a 20 m en el borde occidental de la Depresión Central. Se reconocen cinco facies de ignimbritas y rocas sedimentarias en la parte inferior-media OMo(1) y cinco estratos volcánicos individuales: Andesita Socoroma OMo(2a), Ignimbrita Oxaya OMo(2b), Ignimbrita Sucuna OMo(3a), Dacita Río Tignamar OMo(3b) e Ignimbrita Aico OMo(4). En la Precordillera sobreyacen en discordancia angular a rocas de la Formación Livilcar y a rocas de los Intrusivos de Lluta y de Esquiña y subyacen, en discordancia angular y de erosión, a rocas volcánicas miocenas y a depósitos sedimentarios de la Formación Huaylas. En la Depresión Central sobreyace concordante y transicionalmente a la Formación Azapa, y subyace a la Formación El Diablo. Todas las ignimbritas presentan dataciones radiométricas, siendo máxima en OMo(1) con $25,6 \pm 0,9$ Ma, y la mínima OMo(4) con $16,9 \pm 0,5$ Ma.

Formación El Diablo Mimd

Sucesión sedimentaria continental, predominantemente clástica, expuesta en las confluencias de las quebradas El Diablo y Azapa, y distribuida ampliamente en la depresión central. Está dividido en dos miembros, el Miembro Inferior constituido por 250 m de areniscas, limolitas y calizas, con intercalaciones locales de tobas retrabajadas, lentes de diatomitas, cherts y halita, y el Miembro Superior constituido por hasta 50 m (excepcionalmente 80 m) de ripios y gravas semiconsolidados, con intercalaciones de areniscas. Sobreyace en discordancia erosiva y en discordancia angular suave a las ignimbritas Oxaya y Sacuna de la Formación Oxaya. Subyace en discordancia de erosión a la Ignimbrita Lauca. La posición estratigráfica y datos radiométricos de rocas asociadas sugieren una edad de 12 a 20 Ma.

Depósitos de la Avalancha Lluta Msrl

Depósitos de remoción en masa de gran volumen distribuidos en la Depresión Central y borde occidental de la Precordillera, al norte y sur de la quebrada Lluta. Cubren un área aproximada de 600 m² y se extienden por más de 50 km de largo, alcanzando la

zona costera al norte de Arica. Corresponden a depósitos altamente caóticos y relativamente consolidados, formados por bloques de tamaño métrico a hectométrico de rocas provenientes de las formaciones Oxaya predominantemente y El Diablo subordinadamente. En la parte occidental, los depósitos cubren rocas de la Formación el Diablo, mientras en la parte oriental están sobreyacidos, en discordancia por erosión, por los Depósitos fluviales del Plioceno, los cuales presentan intercalada, localmente, la Ignimbrita Lauca. Las relaciones estratigráficas permiten asignarle una edad amplia miocena superior para su emplazamiento.

Depósitos Aluviales de la Cordillera de la Costa MsPla

Depósitos sedimentarios continentales detríticos, que rellenan depresiones aisladas de la Cordillera de la Costa o en su flanco oriental. Corresponden hasta 50 m de arenas, gravas y limos semiconsolidados, mal seleccionados e inmaduros, con cemento principalmente salino. Estratigráficamente, disectan a los Depósitos aluviales del Oligoceno – Mioceno Medio y son disectados por los Depósitos fluviales del Pleistoceno, por lo que se le asigna al Mioceno Superior - Plioceno.

Depósitos Fluviales del Plioceno Plf

Ripios y gravas clastosoportadas, y arenas, semiconsolidados, con intercalaciones de limos tobas y depósitos epiclásticos, y localmente capas de sal. Se distribuyen en la parte occidental de la región de Arica y Parinacota, formando mantos extensos y terrazas colgadas en las desembocaduras de los valles Lluta y Azapa, y entre las quebradas de Escritos y Gallinazos, o como mantos discontinuos cubriendo en discordancia los Depósitos de Avalancha Lluta, entre las quebradas Lluta y Cardones. Intercalaciones con la Ignimbrita Lauca en la zona de la desembocadura del río Lluta y con la Ignimbrita Lluta entre las quebradas Lluta y Cardones sugieren edad de depositación máxima de 4,1 Ma.

Ignimbrita Lauca PII

Depósito de flujo piroclástico de gran extensión areal en la Alta Cordillera, Precordillera y Depresión Central. Se expone de manera discontinua en un área aproximada de 2.000 km². Su espesor en general es de 150 m, siendo moderadamente soldada, vítrea, de cristales, pómez y líticos. Se encuentra intercalada en la parte superior de la Formación Lauca. Edades radiométricas permiten asignarle una edad de 2,6 a 2,8 Ma.

Depósitos de Remoción en Masa del Plioceno – Cuaternario PIQr

Depósitos de deslizamientos y avalanchas gravitacionales, con superficies de hasta 30 km², expuestos en bordes de laderas y escarpes abruptos y en quebradas profundas. Son abundantes en las quebradas mayores de Lluta, Vitor, Azapa y Camarones, en la Depresión Central y Precordillera, donde la incisión fluvial alcanza hasta 1.700 m de desnivel.

Depósitos Aluviales y Fluviales del Pleistoceno Pa, Pf

Los Depósitos Aluviales del Pleistoceno (Pa) corresponden a gravas y brechas matriz soportadas, semiconsolidadas, con intercalaciones de arenas, limos y arcillas. Afloran como mantos, en planicies de la Depresión Central cubriendo la Formación El Diablo y en laderas de volcanes, o en depresiones o quebradas anchas de la Precordillera y Alta Cordillera. Son mal seleccionados, formados por clastos de origen volcánico predominantemente, con matrices limosa o arcillosa. Relaciones estratigráficas permiten asignarla al Plioceno Alto - Pleistoceno.

Los Depósitos Fluviales del Pleistoceno (Pf) corresponden a ripios y gravas clastosoportados, semiconsolidados, con intercalaciones de arenas, limos, y localmente diatomitas. Se distribuye a lo largo de las quebradas Lluta, Azapa, Vitor, Camarones y Lauca, y forman terrazas colgadas, o rellenan depresiones intervolcánicas en la Alta Cordillera. En la desembocadura de la quebrada Azapa forman gran parte del sustrato de la ciudad de Arica, García et al. (2004). En las desembocaduras de los ríos Lluta y Azapa, los depósitos del Pleistoceno disectan a Depósitos fluviales del Plioceno, y son disectados por Depósitos fluviales del Holoceno.

Depósitos Salinos de la Depresión Central Qsdc

Mantos subhorizontales de sales, limos salinos y costras salinas, de espesor centimétrico a métrico, los cuales se distribuyen en la parte occidental de la Depresión Central.). Corresponden predominantemente a depósitos de sulfatos (yeso y anhidrita) y cloruros (halita) y subordinadamente a depósitos de nitratos. Sobreyacen en discordancia de erosión a la Formación El Diablo y a la Ignimbrita Lauca. Sobreyacen y subyacen, localmente, a los Depósitos eólicos. Las relaciones estratigráficas de los Depósitos salinos (Qsdc) permiten asignarlos ampliamente al Cuaternario.

Depósitos Eólicos Qe

Arenas finas a gruesas, bien seleccionadas, no consolidadas, de colores gris y pardo, que se distribuyen extensamente en la parte occidental de la Depresión Central. Cubren las gravas superiores de la Formación El Diablo y localmente la Ignimbrita Lauca. Sobreyacen y subyacen, localmente, a los Depósitos salinos de la Depresión Central (Qsdc).

Depósitos Coluviales Qc

Depósitos caóticos, no consolidados, de origen gravitacional, y constituidos por bloques, bolones, rodados, arenas y limos. Se encuentran mal seleccionados, localmente bien estratificados, y con espesores altamente variables, de hasta 50 m. Forman conos o abanicos, en parte aluviales, en quebradas cortas de gran pendiente (conos de deyección), o mantos alargados en taludes abruptos (escombros de falda). En la Cordillera de la Costa, se encuentran localmente muy cementados por sales.

Depósitos Litorales Ql

Depósitos de playa actuales y, de manera subordinada, los depósitos de playas antiguas alzadas (o emergidas) y aterrizadas. Se distribuyen a lo largo de la costa, mayormente al norte de Arica, donde forman una franja continua de hasta 1 km de ancho, desde la línea de costa hasta la cota de 20 m. Se encuentran limitados, en su parte oriental, por escarpes de abrasión marina formados en los depósitos fluviales del Plioceno y Pleistoceno. Los Depósitos litorales Ql corresponden esencialmente a arenas, en parte semiconsolidadas, de grano fino a grueso, las cuales incluyen, a veces, fragmentos centimétricos de líticos y de conchas.

Depósitos Aluviales y Fluviales del Holoceno Ha, Hf

Los Depósitos aluviales del Holoceno (Ha) corresponden a gravas y brechas matriz soportadas, con intercalaciones de arenas, limos y arcillas. Afloran principalmente como mantos en laderas de volcanes (Sucuna, Guallatiri) o en depresiones o quebradas anchas de la Precordillera y Alta Cordillera. Se interpretan como producto de flujos de barro y detritos, proximales a distales, gatillados muy probablemente por precipitaciones torrenciales. Esta unidad Ha incluye, de forma subordinada, depósitos fluviales proximales y depósitos coluviales distales. Se asignan al Holoceno ya que están originados por procesos aún activos.

Los Depósitos fluviales del Pleistoceno (Hf) corresponden a ripios y gravas, arenas y limos, semiconsolidados. Se distribuyen a lo largo de los cauces activos de las quebradas mayores de Lluta, Azapa, Vitor, Camarones y Lauca. Son depósitos bien estratificados, pobre a moderadamente seleccionados, formados por clastos redondeados a subangulosos y esfericidad moderada. Los clastos se presentan, en general, imbricados y son de origen volcánico (de andesitas a riolitas). La matriz es arenosa o limosa. Se observan, a menudo, paleocanales, de ancho métrico. Incluye, localmente en la Alta Cordillera, depósitos aluviales intermedios a distales. Se asignan al Holoceno, ya que están originados por procesos aún activos.

2.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Las estructuras regionales que afectan a unidades del Mesozoico y Cenozoico del área, presentan una dirección principal norte-sur a noroeste-sureste (Salas et al., 1966; Muñoz y Charrier, 1996; García et al., 2002). Algunas de estas estructuras limitan los rasgos fisiográficos mayores de la región (Alta Cordillera, Precordillera, Depresión Central y Cordillera de la Costa) y controlan los cambios de pendiente. La actividad tectónica principal de cada período, desde el Jurásico hasta el Neógeno, ha migrado hacia el este, desde la Cordillera de la Costa hasta la Alta Cordillera.

En el norte de Chile, las estructuras tectónicas mayores han sido relacionadas genéticamente con la implantación de arcos magmáticos sucesivos, migrantes hacia el este (Rutland, 1971; Mpodozis y Ramos, 1989; Scheuber et al., 1994). Los datos geoquímicos disponibles para rocas ígneas del área de Arica indican que la corteza continental ha sufrido un engrosamiento volumétrico progresivo. Este proceso estaría ligado a un régimen tectónico predominantemente contraccional en los Andes y a la convergencia entre las placas Sudamericana y de Nazca desde, al menos, el Cretácico medio (Pilger, 1984; Pardo-Casas y Molnar, 1987).

Una discordancia angular regional, expuesta ampliamente en la parte centrooccidental de la región, separa la cobertura oligoceno-holocena, subhorizontal, de las unidades mesozoico-paleocenas, más deformadas. Dos discordancias angulares regionales del Jurásico Superior-Cretácico Inferior, se observan en la Cordillera de la Costa. Las discordancias angulares regionales, así como el estudio de las principales estructuras (en particular, fallas de rumbo del Eoceno-Oligoceno Inferior, en la Precordillera), permiten dividir en tres períodos mayores la evolución tectónica del área: Jurásico Superior-Cretácico Inferior, Cretácico Superior-Eoceno y Oligoceno-Holoceno. El período tectónico Jurásico Superior-Cretácico Inferior está representado, principalmente, en la Cordillera de la Costa y el Cretácico Superior-Eoceno, en la Precordillera. La deformación del Oligoceno-Holoceno es, predominantemente, contraccional y se encuentra bien representada en la parte oriental de la región.

2.4. CLIMA

La parte centro-occidental la región de Arica y Parinacota, ubicada en la parte norte del desierto de Atacama, se caracteriza por un clima subtropical desértico o árido (a hiperárido), normal o marginal de altitud (clasificación de Koppen en Fuenzalida, 1965). Durante el año, la temperatura media varía de 15 a 20°C y las precipitaciones son menores a 3 mm (MOP-DGA, 1987); localmente, existen importantes variaciones de temperatura entre el día y la noche.

La región de la costa y del fondo de valles, en la parte occidental de la Depresión Central, son dominados por abundante nubosidad y alta humedad relativa del aire, derivadas del océano Pacífico. Hacia el este, en la Precordillera, las precipitaciones alcanzan excepcionalmente 60 mm al año. El clima árido a hiper-árido en el desierto de Atacama habría sido establecido en el Mioceno Medio (Miller et al., 1987; Alpers y Brimhall, 1988; Sillitoe y McKee, 1996).

En la Alta Cordillera, el clima es húmedo, de estepa de altitud. La temperatura media anual varía de 0 a 9°C y las precipitaciones de 100 a 440 mm/a (MOP-DGA, 1987). Esta región presenta, esencialmente, precipitaciones nivales en invierno y abundantes precipitaciones pluviales en verano, conocidas como Invierno Altiplánico, provenientes de la cuenca Amazónica austral y más al este del océano Atlántico.

2.5. HIDROGEOLOGÍA

En la región de Arica y Parinacota se distinguen dos sistemas mayores de drenaje: oriental y occidental, (e.g., Salas et al., 1966), separados por las cimas del Cordón Belén y, hacia el norte y sur de este, por edificios volcánicos neógenos. El sistema de drenaje oriental es endorreico intracordillerano y el sistema occidental es exorreico; este último drena el borde oeste de la Alta Cordillera y desagua al Océano Pacífico (e.g., Mortimer, 1980). El primero comprende la cuenca cerrada centrípeta del salar de Surire y las cuencas dendríticas de los ríos Lauca y Caquena-Cosapilla, que desaguan hacia el Altiplano (Salar de Coipasa). La superficie de la cuenca hidrográfica Surire es de aproximadamente 566 km² y la del río Lauca es de 2.377 km².

El sistema de drenaje occidental comprende las cuencas de los ríos mayores Lluta, Azapa, Vitor y Camarones, y de las quebradas menores Escritos y Gallinazos. La superficie de las cuatro cuencas hidrográficas mayores es aproximadamente de 3.438 km², 3.231 km², 2.269 km² y 2.344 km² respectivamente. Las cuencas de Escritos (parte chilena) y Gallinazos alcanzan un área total aproximada de 694 km².

El caudal medio de los ríos aumenta considerablemente durante el período de Invierno Altiplánico. El caudal medio anual de los ríos Lluta y Azapa, en estaciones fluviométricas de la Depresión Central, es de 2,35 (a 1,44) m³/s y de 1,28 m³/s, respectivamente; para el río Lauca, en la estación Japu, el caudal medio anual es de 2,46 m³/s (MOP-DGA, 1987).

El patrón de drenaje de las cuencas de Lluta y Azapa presenta cabeceras muy dendríticas, en el margen occidental de la Alta Cordillera, y colectores subparalelos, de dirección aproximada este-oeste, fuertemente disectados, hacia el oeste. La incisión varía aproximadamente de 1.700 m en la Precordillera a 1.000 m en la Depresión Central-Cordillera de la Costa. Los afluentes intermitentes principales del río Azapa (quebradas El Diablo, Llosyas, La Higuera), en la Depresión Central, descienden hacia el noroeste.

3. DEPÓSITOS SALINOS EN EL NORTE DE CHILE

En los depósitos salinos del norte de Chile es posible encontrar aniones de cloruros, sulfatos, carbonatos y nitratos, y cationes de Sodio, Calcio y Magnesio. Los minerales más frecuentemente reconocidos en la química de suelos salinos son:

- Halita
- Yeso
- Anhidrita
- Calcita
- Nitratina

Estas sales se consideran solubles cuando en contacto con un solvente forman una solución acuosa. La solubilidad de cada uno depende de varios factores. La temperatura del solvente, el grado de cristalinidad de las sales y la composición química, entre otros (Olguín, 2006). La Tabla 1 muestra la solubilidad de los minerales más comunes:

Tabla 1. Tasa de solubilidad de minerales presentes en suelos en Chile, modificado de Olguín 2006.

Mineral	Fórmula Química	Solubilidad [g de sal / 100 g de agua]
Calcita	CaCO ₃	1.3 x 10 ⁻³
Yeso	CaSO ₄	2.2 x 10 ⁻¹
Halita	NaCl	3.6 x 10 ¹
Nitratina	NaNO ₃	8.2 x 10 ¹

El origen de las sales presentes en los depósitos salinos del norte de Chile puede entenderse a partir de cuatro procesos (Olguín, 2006):

a. Procesos evaporíticos antiguos:

A comienzos del Jurásico, se habría desarrollado una enorme cuenca en la zona que actualmente se conoce como la Depresión Intermedia y que va desde el Norte grande hasta el paralelo 39° S. Es en esta era en donde el Paleo-Océano Pacífico ingresa al interior del continente inundando la mayor parte del actual territorio nacional (Figura 5). Se estima que la presencia marina habría tenido una duración de 50 millones de años, lo que explica el origen de numerosas rocas sedimentarias marinas y la existencia de los actuales fósiles que es posible encontrar en varias zonas de la Cordillera de Los Andes. Junto a esta invasión marina, también se desarrolla en esa era una importante actividad volcánica en el oeste del continente.

A finales de la era Jurásica (140 millones de años), el océano comienza a retirarse del continente provocando la formación de importantes depósitos evaporíticos en la zona norte y central andina, tales como los depósitos de anhidrita y yeso.

Posterior a este retiro marino y a la formación de depósitos evaporíticos, habría tenido lugar una segunda trasgresión marina, esta vez con una duración de 6 millones de años. Pasado este periodo de tiempo, el continente habría emergido definitivamente, dando paso a las acciones tectónicas, magmáticas y sísmicas que comenzaron a conformar los actuales relieves geomorfológicos.

En el Norte de Chile, estos plegamientos también habrían dado origen a la formación de la actual Cordillera de Domeyko por el este y al imponente solevantamiento de la Cordillera de la Costa por el oeste, provocando numerosas cuencas que serían posteriormente rellenadas con materiales lacustres salinos, originando así las condiciones para la posterior formación de los salares pre-andinos y los depósitos de la Pampa. La fuerte erosión presente habría a su vez contribuido a la acumulación de sedimentos en las cuencas y al enriquecimiento de los paleo-cauces con abundantes sales disueltas en sus aguas.

La Figura 5 muestra un esquema de la evolución del margen del norte de Chile descrito anteriormente.

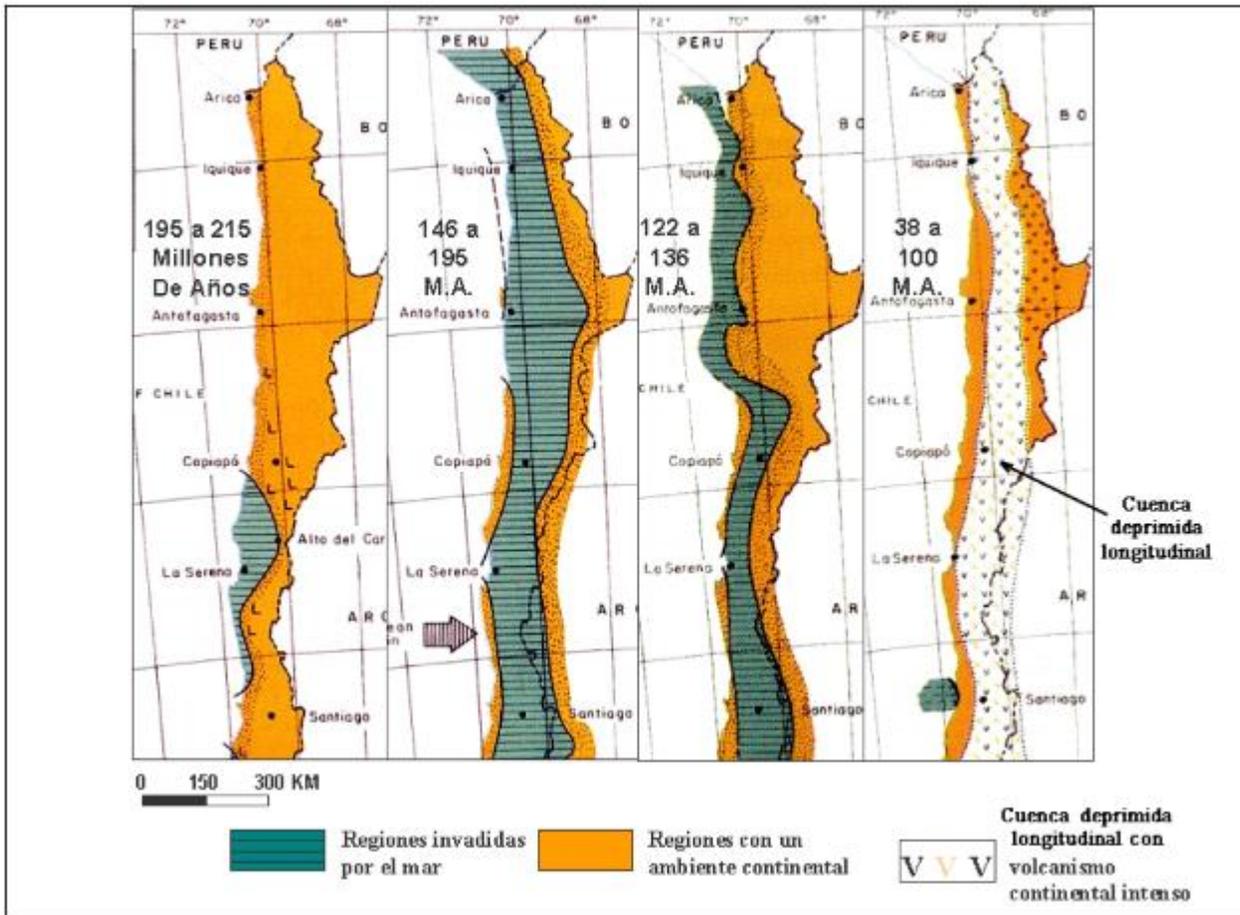


Figura 5. Avances y Regresiones del Mar, (Corvalán y Hervé), tomado de Olgún (2006).

b. Movilidad salina superficial y subterránea:

Este fenómeno se asocia a épocas recientes y consiste en el transporte de sales disueltas en las aguas de cauces superficiales y subterráneos, luego depositadas en cuencas endorreicas de alta tasa de evaporación.

Estas aguas, al escurrir preferentemente de este a oeste van salinizándose debido a la lixiviación y disolución de las sales presentes en rocas fracturadas de origen volcánico, rocas carbonatadas y otras formaciones sedimentarias evaporíticas existentes a lo largo de su cauce.

En la Figura 6 se muestra lo expresado anteriormente, en donde se puede observar el aumento en la concentración de cloruros para el cauce del Río Lluta a medida que este fluye hacia el Oeste.

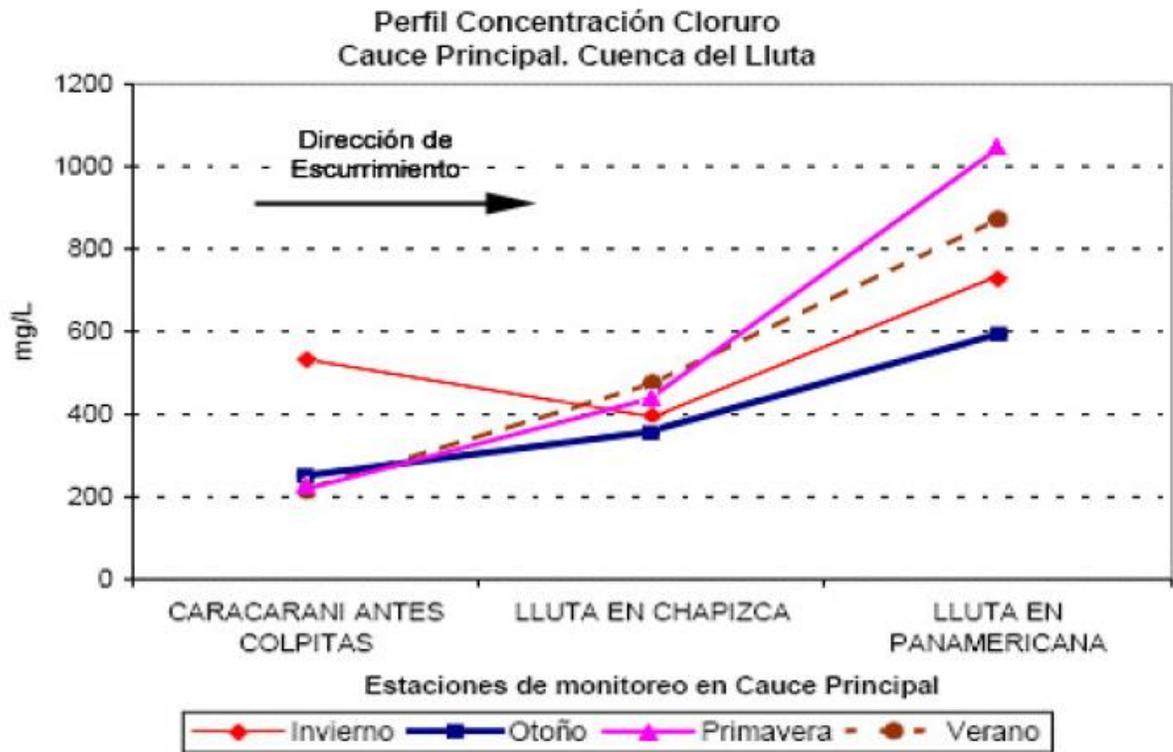


Figura 6. Perfil de concentración de cloruros en cauce del Rio Lluta. Tomado de Olguín (2006).

c. Depositaciones marinas recientes:

Otro aporte importante de sales solubles al continente corresponde a los aportes directos del Océano Pacífico, siendo la Planicie Costera la más afectada. Los aportes se dividen en dos mecanismos principales de traslado y depositación de sales en los suelos continentales: a través de la neblina (llamada “camanchaca” localmente), y/o mediante la salinización de la napa freática por intrusión de aguas oceánicas.

Adicional a la constante brisa marina, durante las noches se genera la llamada “camanchaca”, que consiste en el transporte vía aérea de partículas de sales (principalmente cloruro de sodio) disueltas en gotas de neblina, originadas por la evaporación marina. Esta espesa capa húmeda se levanta sobrepasando incluso la Cordillera de la Costa alcanzando el valle central en ocasiones. Durante la mañana la “camanchaca se desvanece dando paso al sol. Este ciclo se repite a diario, humedeciendo la superficie del terreno por las noches y secándola durante el día.

El agua condensada durante este proceso se infiltra a través de los suelos existentes. Luego la acción del sol evapora estos pequeños volúmenes de agua, dando paso a la cristalización de sales en los espacios disponibles: espacios de poros en sedimentos gruesos o finos, o bien en fracturas en cuerpos de roca.

Por otra parte, la sal, proveniente del mar, disuelta en las napas freáticas, al subir por capilaridad hacia la superficie y evaporarse al alcanzar mayores temperaturas, también cristaliza en torno al material insoluble existente (coluvios, arenas, rocas fracturadas, etc.).

En Chile la clasificación geotécnica de suelos se encuentra reglamentada, a partir de 2008, por la Norma NCh1508 Geotecnia – Estudio de mecánica de suelos. Con marco normativo en NCh (Norma Chilena), ASTM (American Society for Testing and Materials), y AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), en ella se establece el tipo de exploración a realizar, el número de calicatas y/o zanjas, tipo de descripción requerida, muestreo, ensayos a realizar y la normativa vigente para cada uno.

Con respecto a los estudios específicos de geotecnia en suelos salinos en Chile se encuentran únicamente cuatro trabajos:

1. Los trabajos de Acevedo, Olgún y Foncea, Suelos Salinos del Norte de Chile Partes I, II y III (2004).
2. Geotecnia de los Suelos Salinos del Norte Grande, Tesis de Magister de Roberto Olgún (2006).
3. Informe geotécnico: mecánica de suelos aplicada a suelos salinos, encargado por la Cámara Chilena de la Construcción (2013).
4. Norma NCh3394 Suelo Salino – Requisitos geotécnicos y de instalaciones sanitarias para diseño y ejecución de obras. Esta última rige el marco normativo a partir del año 2017.

En la Tesis de Magister de Roberto Olgún (2006) se presentan metodologías alternativas para el estudio de suelos salinos. Dichas metodologías fueron aplicadas a tres (3) muestras de suelos salinos de Arica. El autor propone una metodología específica para la determinación de curvas granulométricas, que consiste en la comparación de una curva disgregada y otra lavada. El efecto que muestra el autor es que la granulometría no lavada produce una subestimación de la cantidad de finos, en comparación con la granulometría lavada, pues gracias a las sales, las partículas finas formarían cúmulos de mayor tamaño, los cuales quedarían atrapados en mallas superiores.

La norma NCh3394 define una serie de términos, de los cuales se destacan:

Sal: compuesto tónico formado por cationes y aniones. En el norte de Chile es posible encontrar aniones típicos como los cloruros, sulfatos, y nitratos, y cationes como sodio, calcio y magnesio.

Sales solubles: sal que se disuelve en contacto con agua o soluciones acuosas.

Salinidad: porcentaje en peso de las sales solubles en agua con respecto al peso de los sólidos insolubles.

Suelo salino: suelo cuyo contenido de sales solubles es mayor o igual a 3%.

Asentamiento por disolución de sales: descenso que experimenta el suelo debido a la disolución de sales por presencia de agua, u otro solvente.

La norma NCh3394 además señala que el valor crítico de 3% para ser considerado suelo salino, establecido empíricamente, es considerado como potencial a desarrollar asentamientos por la disolución por una eventual incorporación de agua que disuelva dichas sales.

La norma establece una exploración mínima, basada en la ejecución de calicatas y/o zanjas, toma de muestras representativas, y ensayos de salinidad. La profundidad mínima de la exploración es de 4 m., y el número de puntos de exploración depende de la superficie a explorar.

Con respecto al muestreo, esta establece:

En cada exploración se debe obtener muestras representativas de los materiales expuestos en sus paredes, considerando al menos una muestra cada 100 cm de excavación, entendiendo como muestra representativa aquella que se estime tenga el mayor contenido de sales dentro del intervalo de muestreo.

Además, se describen recomendaciones que se deben contemplar para la ejecución de ensayos geotécnicos para la determinación de propiedades índice, CBR (California Bearing Ratio: ensayo de relación de soporte), permeabilidad y resistencia. Las propiedades índices para determinar las características de los suelos son:

- Peso unitario natural
- Peso unitario seco
- Peso específico
- Gravedad específica
- Humedad (%)
- Índice de vacíos
- Porosidad
- Grado de saturación
- Densidad relativa

Los ensayos que presentan consideraciones particulares son:

- Granulometría
- Peso específico
- Límites de consistencia
- Densidad
- Densidades patrón
- Razón de soporte de suelos compactados
- Permeabilidad
- Ensayos de resistencia

- Ensayo de colapso por inundación in situ
- Ensayo de colapso por inundación en laboratorio

Las consideraciones están dirigidas a la normalización de la masa, utilizada en cada uno de los cálculos, pues existe una pérdida por la disolución de sales solubles debido a lavado.

4. RESULTADOS

De todos los datos facilitados para este trabajo se seleccionaron los informes de exploración geotécnica de diecisiete (17) distintos proyectos que contenían información suficiente para clasificar el suelo. La distribución de los datos disponibles se puede observar en la Figura 7.

Los datos de ensayos provienen de 79 calicatas, y un total de 116 muestras. La Tabla 2 muestra un resumen con los ensayos por informe, agrupados por proyecto. Es importante destacar que no todas las calicatas fueron muestreadas, ni todas las muestras sometidas a todos los ensayos. Por otra parte, solo cuatro proyectos cuentan con la batería completa de ensayos propuestos por la norma NCh3394, y todos localizados en la misma área de la ciudad.

La información disponible fue organizada en tablas (sección 1 y 2 de los Anexos), las que se utilizaron para la confección de curvas granulométricas (sección 3 de los Anexos), y para la clasificación de los suelos según la USCS. Dichos datos fueron agrupados de acuerdo al tipo de suelo, y similitudes de las curvas.

Tabla 2: Resumen ensayos realizados por Proyecto. La "x" indica que se realizó el ensayo correspondiente. Los proyectos marcados con * son posteriores a la norma que establece la serie de ensayos obligatorios.

Proyecto	# calicatas	# muestras	Gran.	IP	Salinidad	DPS	Proctor	Densidad Relativa	CBR	Corte Directo	Humedad	Propiedades indice
Condominio Doña Inés	no	5	x		x			x	x			
Condominio Doña Margarita	no	1	x					x				
Fundación Esperanza	4	4	x	x	x	x		x			x	
Condominio Doña Laura	4	4	x	x				x				
Proyecto Social Lote 12	5	8	x	x		x	x		x			
Lote H-1-2	4	8	x	x	x	x	x		x			
Condominio Doña Bernardita	1	1	x		x							
Escuela de Medicina UTA	no	1	x	x	x	x	x		x		x	
Edificio Chinchorro	7	14	x	x	x	x		x	x	x	x	
Lote H-15	no	1	x	x	x			x				
Condominio Doña Agustina	no	4	x	x	x	x		x	x		x	
Lote 2A-2 Vientos del Norte	7	21	x	x	x	x	x		x	x	x	x
Lote C Cerro La Cruz	8	Manto Rocosó										
Lote 2A - 12	6*	7	x	x	x	x	x		x	x	x	x
Lote 9B	13*	7	x	x	x	x	x		x	x	x	x
Lote 21	9*	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Lote 11	11*	14	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Con el objetivo de caracterizar los suelos de la ciudad de Arica, se agruparon los resultados según varios criterios: proximidad entre muestras, cantidad de sales, clasificación USCS, similitud en sus curvas granulométricas y el peso específico de sus partículas. Sin embargo, fue fundamental para definir las distintas categorías una visión del ambiente geológico. Se definieron las siguientes Unidades:

1. Rocas Volcánicas: Esta unidad está constituida por suelos inmaduros, con poco desarrollo de horizontes de suelo, observándose roca fracturada y meteorizada (Figura 8). Las rocas de esta unidad corresponden a las lavas, basálticas y andesíticas, pertenecientes a la Formación Camaraca (Jmc). Se distribuyen al sur de la ciudad, en el Morro de Arica, Cerro la Cruz y su extensión hacia el este. Dentro de la estructura del manto rocoso explorado en los informes disponibles para este estudio, se documentan fracturas rellenas con capas centimétricas de halita y sulfatos.



Figura 8. Fotografía de calicatas realizadas en roca volcánica, muestra roca fracturada con halita como relleno de fracturas.

2. Arenas y gravas limpias: Esta Unidad de suelo está asociada a los depósitos fluviales del Pleistoceno (Pf). En ella encontramos principalmente arenas pobremente graduadas, y en sectores proximales al río, gravas y arenas (Figura 9). Si bien los niveles difieren bastante entre unos y otros, la proveniencia es similar, y por el tipo de ambiente es esperable que haya heterogeneidades entre capas y también laterales.

La clasificación de suelos USCS para este tipo de suelos son mayoritariamente Arenas pobremente graduadas (SP), pero sus curvas granulométricas son muy variables como se ve en la Figura 10.



Figura 9. Fotografía calicata en arenas y gravas cercanas a la costa, proyecto Novotel.

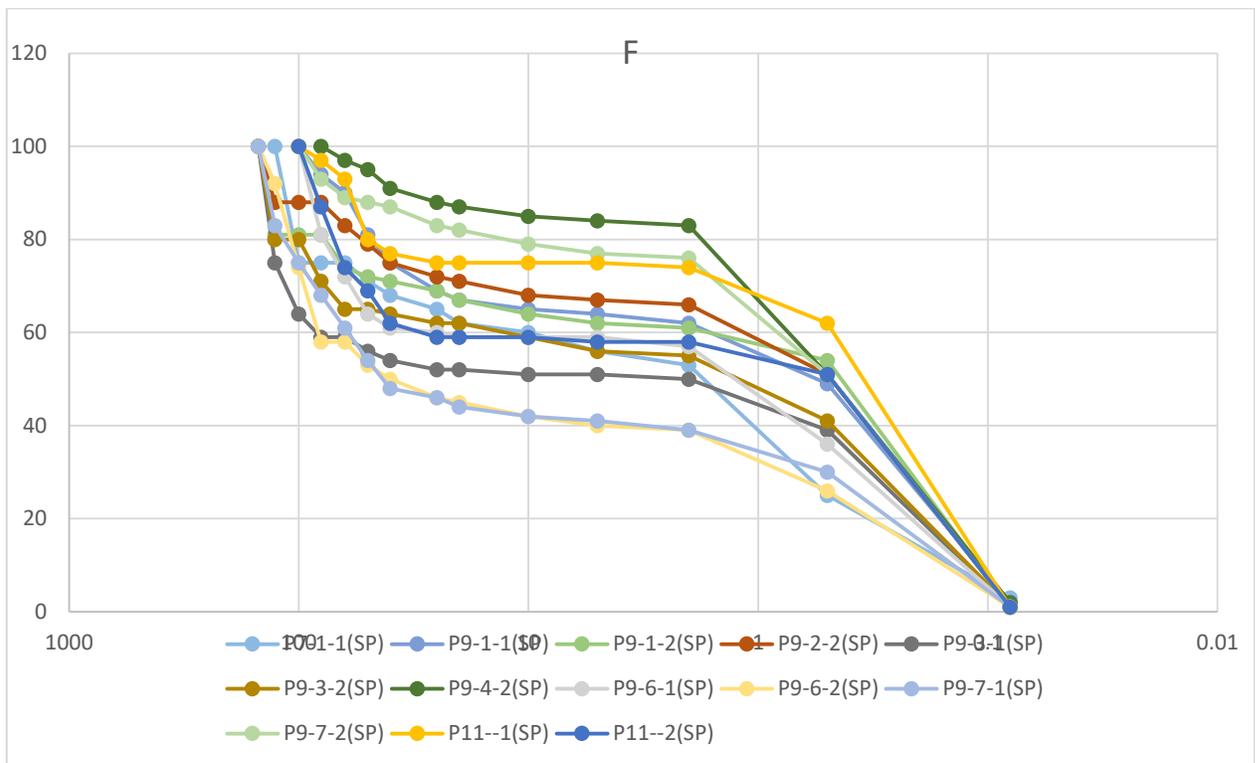


Figura 10. Curvas granulométricas de arenas pobremente graduadas, correspondientes a los depósitos fluviales del Pleistoceno (SP).

3. Arenas Limosas y Gravas Limosas del Alto Sur: Esta Unidad se asocia con los Depósitos aluviales de la Cordillera de la Costa (MsPla). Corresponde a depósitos sedimentarios de color pardo claro a gris, compuesta por niveles de arenas limosas y gravas limosas, muy compactas y altamente cementadas (Figura 11). Los clastos mayores corresponden a fragmentos, de cantos angulares a subangulares, de roca volcánica. Los valores de DPS van desde $2,64 \text{ gr/cm}^3$ a $2,91 \text{ gr/cm}^3$, con un promedio de $2,77 \text{ gr/cm}^3$.

Se encuentran sobreyaciendo, con contactos irregulares a la roca volcánica. Los contenidos de sales varían dependiendo del pozo y la profundidad de la muestra estudiada. Los valores puntuales por muestra van desde 0,62% hasta 139,75%, donde el mínimo por pozo es de 2,06% (los valores mínimos puntuales se alcanzan en el pozo 1 del proyecto 15, que corresponde al pozo de menor salinidad del área). Si se considera el valor máximo de salinidad de cada pozo, el promedio de esta área, y por tanto de esta Unidad de suelo salino, es de 19,05%.



Figura 11. Fotografía calicata en material aluvial. Se observan clastos mayores angulosos en matriz limosa. En blanco se puede observar la halita en ocupando parte de la matriz.

Esta unidad se extiende también al área sur este de la ciudad, pues pese a que no existen trabajos exploratorios con información disponible, es el área donde se ubica la población Tucapel 1, afectada por socavones asociados a niveles salinos, mencionados previamente en el informe.

Los suelos se clasifican como Arenas limosas con o sin gravas, y con niveles de Gravas limosas. En las calicatas estudiadas en este sector, no hay ninguna que presente salinidades máximas menores a 4%. Estos suelos se presentan

fuertemente cementados por sales solubles (principalmente halita y yeso), dando soporte a la estructura que también está asociado al grano fino. Las curvas granulométricas en las Figuras 12 y 13 muestran distintos comportamientos, dependiendo de la cantidad de gravas presente y del tamaño máximo de ellas.

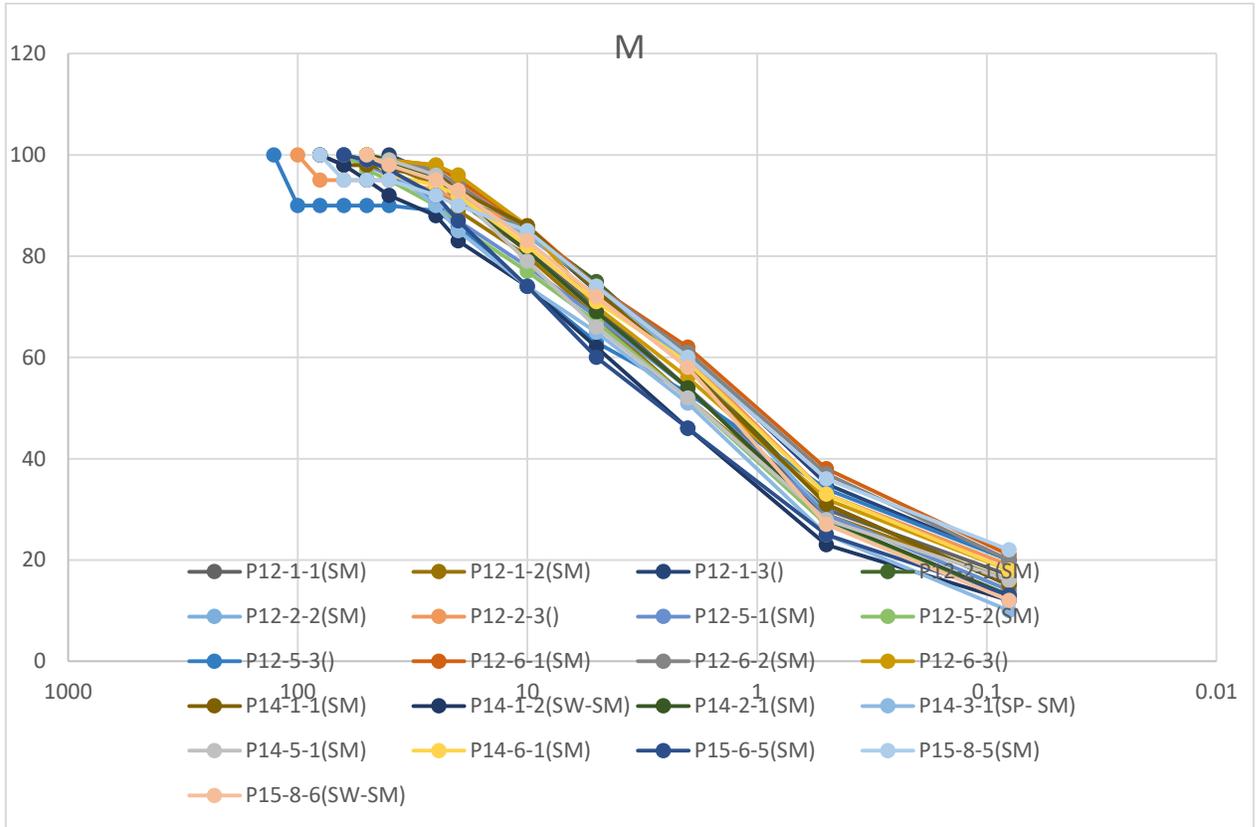


Figura 12. Curvas granulométricas de arenas limosas salinas, encontradas en la zona del alto sur.

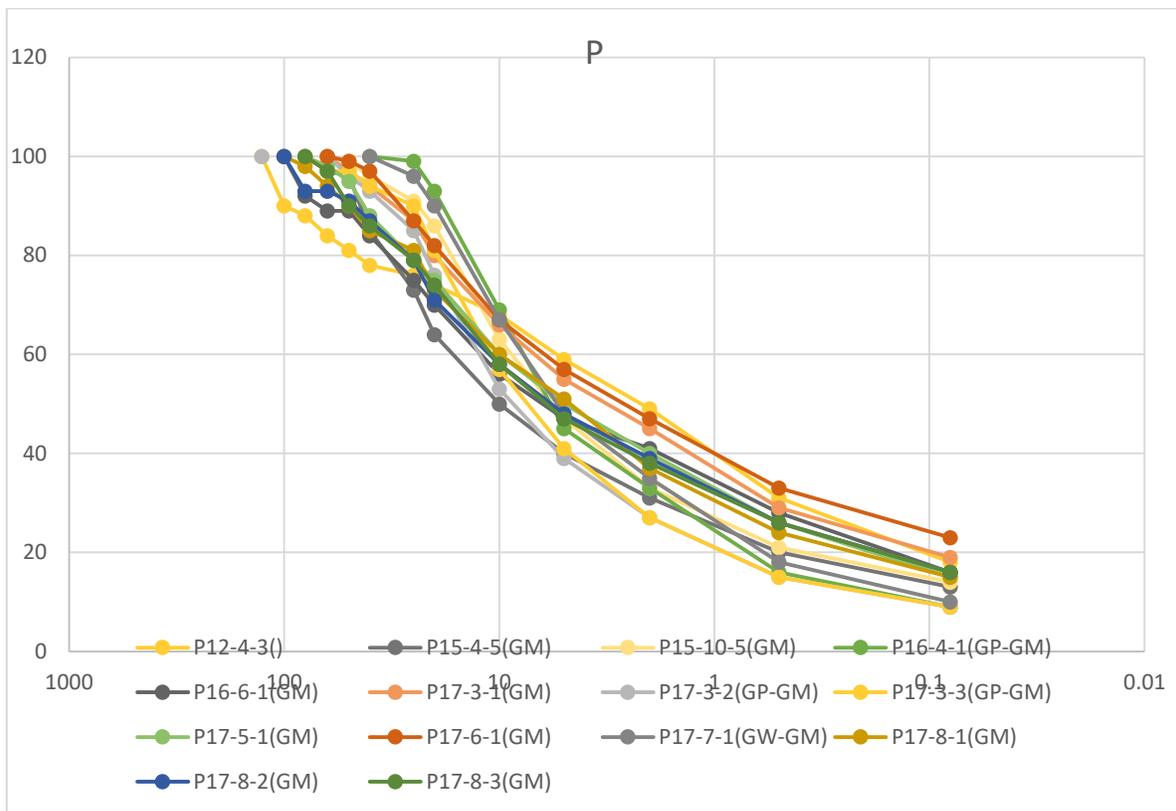


Figura 13. Curvas granulométricas de gravas limosas salinas, encontradas en la zona del alto sur.

4. Arenas limosas y limos no plásticos Noreste: Esta Unidad está asociada a los Depósitos de remoción en masa del Plioceno-Cuaternario (PIQr) o bien a los Depósitos aluviales del Pleistoceno (Pa) pues corresponden a deslizamientos gravitacionales asociados a las laderas y escarpes del límite este de la ciudad. Los depósitos que encontramos en esta Unidad corresponden a arenas limosas, acompañadas de arenas pobremente graduadas. A diferencia de la unidad anterior, los valores de DPS (densidad de partícula sólida) son bastante menores, con un promedio de 2,52 gr/cm³. Existen ensayos que muestran niveles de limos de baja plasticidad con una densidad de partículas de 2,21-2,26 gr/cm³, lo cual se puede explicar por intercalaciones de pumita de la ingnimbrita Luca (PII) existentes en niveles de los depósitos fluviales pliocenos (PIf) que afloran en el área (García et al. 2004), y que subyacen los depósitos PIQr y Pa. La salinidad del área según los pocos datos disponibles está entre 2,11% y 10,07%. En una calicata una muestra entre los 5,3 y 5,8 metros de profundidad, se describe como material arenoso limoso con fragmentos de conchas. El único ensayo disponible es el de sales solubles, que entrega un resultado de 0,06%. La otra información disponible en el área es un sondaje de hasta 30 metros, al cual se le ensayaron muestras cada 5 metros, obteniéndose granulometrías, Límites de Atterberg, DPS, y clasificación USGS. Adicionalmente se realizaron ensayos

de sales solubles cada dos metros entre el metro 2 y el metro 10, con resultados entre 0,06% y 0,43%.

Las curvas granulométricas de las muestras disponibles se clasificaron en dos grupos, la de las arenas limosas (Figura 14) y los limos no plásticos (Figura 15). Estos últimos son los con densidad de partícula en rangos de 2,21-2,26, asociados a niveles con mayor pumita (o directamente de pumita).

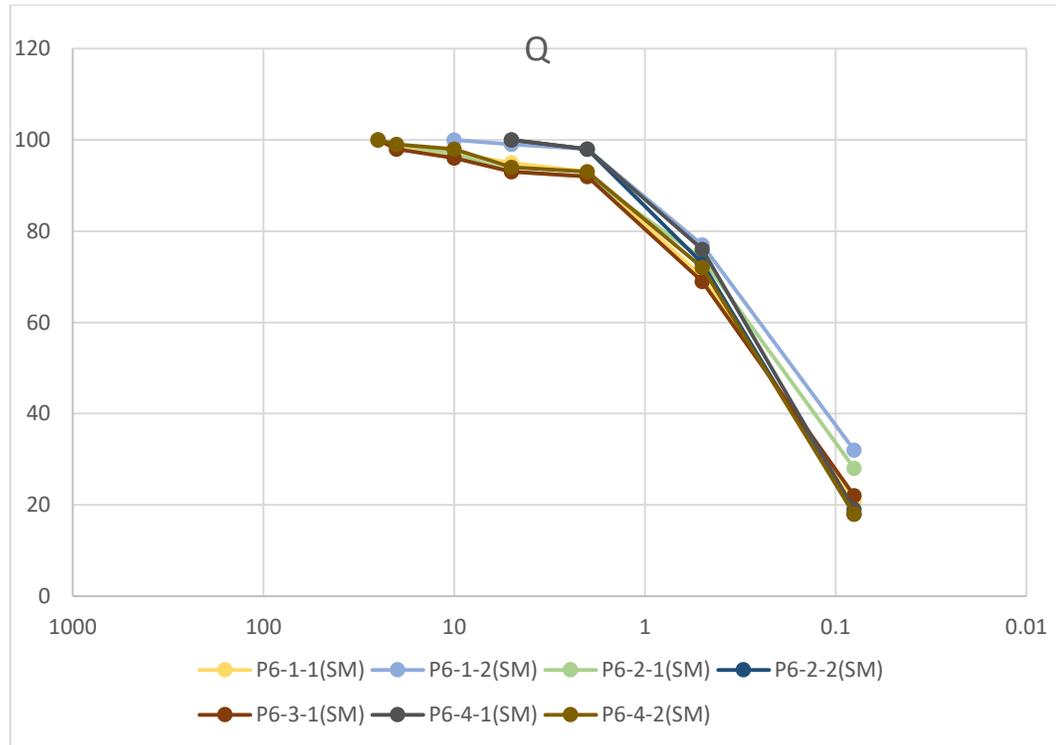


Figura 14. Curvas granulométricas de arenas limosas salinas, encontradas en la zona Noreste.

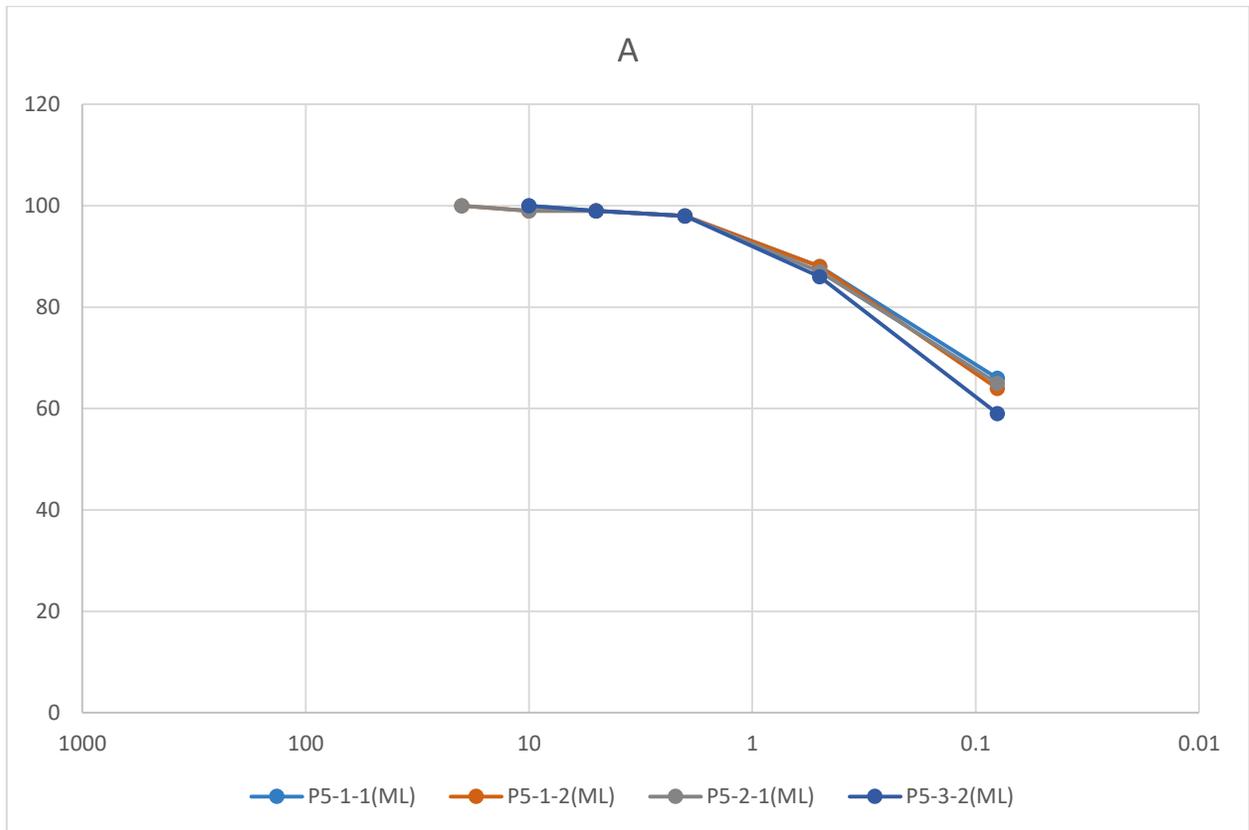


Figura 15. Curvas granulométricas de limos de baja plasticidad, encontradas en la zona Noreste.

Adicionalmente se tiene evidencia geológica de materiales salinos en la zona Noreste. En la avenida Capitán Ávalos a la altura de Av. Azolas, se encuentra un corte de camino con un afloramiento que muestra las unidades asociadas al Plf, como depósitos fluviales acanalados de colores pardos y grises (García et al., 2004).

En la visita al afloramiento se pudo identificar una capa de color gris, sobreyaciendo mediante discordancia por erosión los niveles acanalados característicos del afloramiento (Figura 16). Esta capa corresponde a un depósito sedimentario de arenas medias, finas y limos parcialmente cementados por halita, el cual, dadas sus características, ubicación y disposición se puede asociar a los depósitos PIQr o Pa. Cien metros al norte del afloramiento anterior se tomó una muestra del material (Figura 17), el que fue sometido a análisis químicos para conocer el contenido de sales, el cuál arrojó un resultado de 24,65%.



Figura 16. Afloramiento sector noreste de la ciudad, muestra contacto entre niveles salinos sobreyaciendo unidades no salinas.

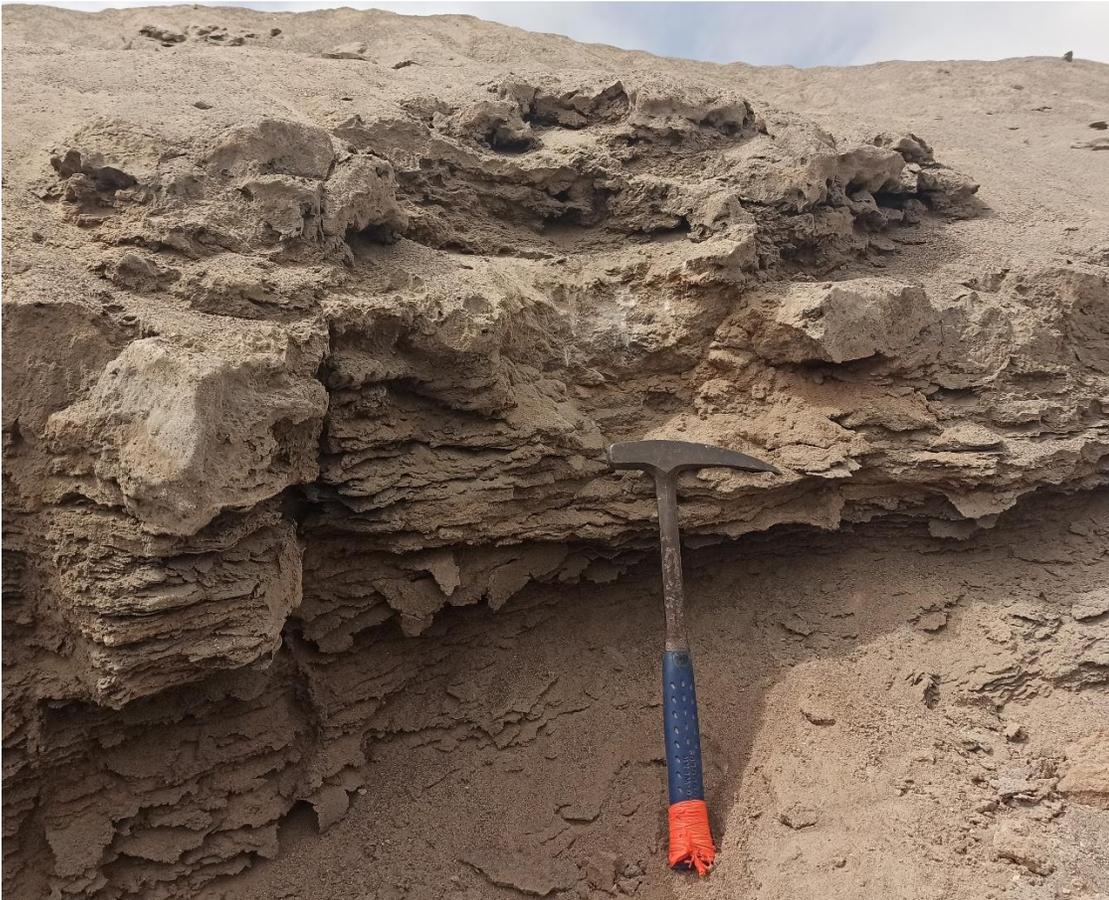


Figura 17. Lugar de donde fue tomada la muestra de material salino. El martillo está apoyado justo en el contacto entre un material fuertemente cementado y otro parcialmente cementado.

La Figura 19 corresponde al mapa confeccionado con las Unidades de suelos definidas y las ubicaciones de las calicatas utilizadas en este estudio. Para la delimitación de los polígonos se realizaron visitas a los afloramientos disponibles, principalmente en los que son cortes de camino y afloramientos rocosos.

Para la delimitación del límite entre las Unidades Arenas Limosas y Limos Salinos y la Unidad de Arenas y Gravas Fluviales, tomó como referencia un mapa confeccionado por Minvu en los primeros estudios de suelos salinos en Arica (Figura 18), lo que se complementó con observaciones de las calles que presentan problemas de “eventos” (agujeros) relacionados a socavones en la zona Noreste de la ciudad.

- A. Polígono General A: Terrenos emplazados al Sur de las calles Panamericana Sur, Luis Valente Rossi y Yungay.



- B. Polígono General B: Terrenos emplazados al Este (Oriente) de las calles Santiago Arata, Los Artesanos y Linderos.



Figura 18. Mapas de la ciudad con los polígonos demarcados como potenciales a contener sales solubles y ser subseptibles a la creación de socavones. En rojo el sector Alto Sur, y en Azul el sector Noreste.

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Es necesario mencionar que durante el desarrollo del mapa, se encontró con varias limitantes: primero la limitada cantidad de datos disponibles desde el punto de vista de su distribución y concentración espacial. Segundo es que en algunos sitios no se tenían mayores ensayos, solo granulometría. Por último, el difícil acceso que existe a los horizontes en los que no se tienen datos debido a la edificación de casas como a la pavimentación de calles. Todos estos factores hacen posible que algunas de las zonas en donde no se tienen ensayos y fue inferido el tipo de suelo es posible que existan errores, diferencias importantes, e incluso presencia de afloramientos de roca, pero es parte de las limitaciones y desafíos que este trabajo presentó.

Pese a lo anterior, uno de los principales resultados del mapa es que la distribución de los suelos salinos quedó delimitado a dos zonas: los sectores topográficamente más altos de la ciudad, y toda la zona noreste de la ciudad, conocido como la 11 de septiembre, principalmente la cercana a las laderas del cerro. Si bien se infirieron polígonos continuos, no se descarta la existencia de discontinuidades en ellos, esto por la manera en que se disponen los horizontes geológicos que dan origen a estos suelos.

Sobre las dos unidades de suelos salinos que se definieron, al analizar solamente los resultados de análisis disponibles, la principal diferencia corresponde al tipo de materiales que forman parte de estos. Esto se corrobora al comparar, por ejemplo, el DPS (que nos entrega el peso específico de los granos que componen el suelo). Los resultados muestran que en la zona sur los valores son hasta $0,2 \text{ gr/cm}^3$ mayores que los de la zona norte, lo que tiene relación con los tipos de materiales que se encuentran en las rocas de esos lugares. Mientras en la zona sur los materiales son principalmente de composición andesítica y basáltica, los de la zona norte presentan una composición más ácida, esto debido a la presencia de la Cordillera de la Costa y las rocas que la forman.

Sin perjuicio de lo anterior, es la historia geológica la que separa estas dos unidades. Por una parte, en el sector sur la Unidad de Arenas Limosas Salinas, se asocia a procesos aluviales antiguos, por lo que la génesis de las sales podría ser la suma de factores, desde aportes antiguos debido a transgresiones marinas hasta aportes marinos recientes.

Por otra parte, la Unidad de Arenas Limosas y Limos no Plásticos del Noreste se encuentran en una situación geomorfológica distinta. La ausencia de la Cordillera de la Costa en este sector hace de sedimentos asociados a las pendientes de cerros (PIQr y Pa) estén expuestos directamente a los aportes marinos, principalmente camanchaca.

La diferencia en la génesis puede ser el motivo por el cual los suelos de la zona sur tienen un mayor contenido de sales en su estructura, y también la razón por la cual estos horizontes salinos se pueden desarrollar a mayor profundidad.

Con respecto a las curvas granulométricas, sería ideal que se pudieran agrupar en subgrupos más específicos, sin embargo, las variaciones laterales son tan grandes de pozo a pozo en un mismo sitio que hacen que esta tarea carezca de sentido geológico, y dado que el número de datos es reducido, tampoco tienen mayor valor desde el punto de vista estadístico.

Pese a lo anterior, las curvas fueron clasificadas en 19 tipos distintos (denominados con las letras A a la R, sin orden específico), los cuales agrupan curvas similares, mismos tipos de suelos (según clasificación USGS), similares DPS, y presencia o no de sales.

Esto evidentemente hace que las definiciones de tipos de suelos definidos en este trabajo agrupen variados tipos de suelos, si se compara en término solamente de curvas granulométricas, pues el suelo está compuesto por capas heterogéneas tanto vertical como lateralmente.

El trabajo de Olgún (2006) incluye tres muestras de suelos salinos en la ciudad de Arica de los cuales se tiene acceso a dos gráficos, Figuras 16 y 17.

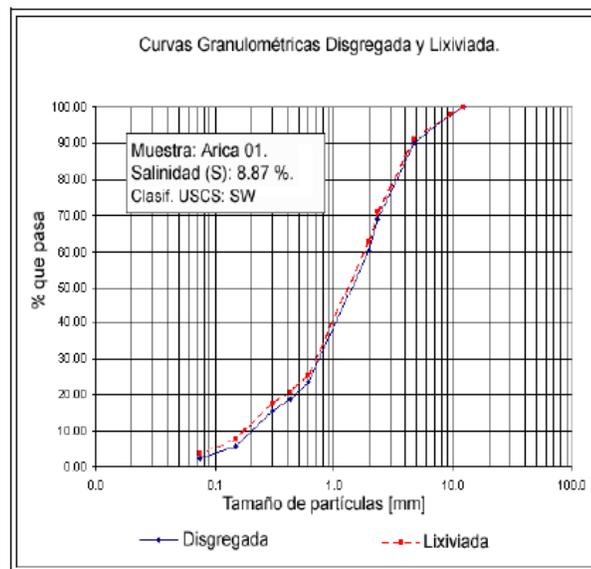


Figura 20. Curvas granulométricas disgregada y lixiviada de muestra de la zona Noreste de Arica. Tomadas de Olgún 2006.

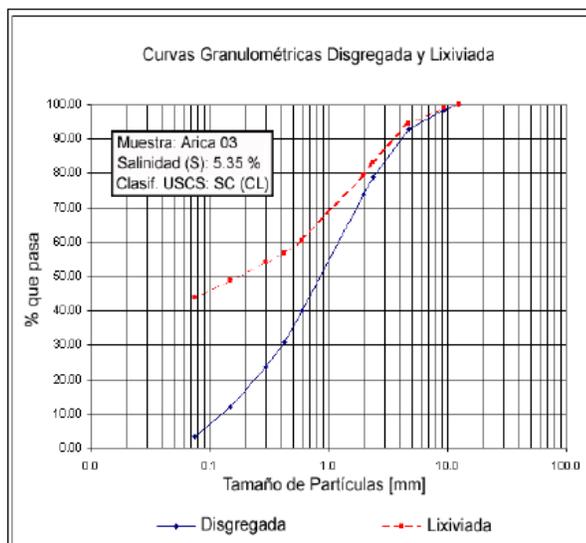


Figura 21. Curvas granulométricas disgregada y lixiviada de muestra de la zona Sur de Arica. Tomadas de Olguín 2006.

Una de las primeras cosas que llama la atención al comparar estas curvas con las obtenidas en los estudios, es la cantidad de finos encontrados. En el primer gráfico se observa un suelo con poca presencia de finos y en donde ambas curvas granulométricas no presentan gran variación. En el segundo gráfico en cambio, en la curva disgregada se ve una aparente ausencia de finos, lo que al ver la curva lixiviada corresponde a una subestimación del material fino. Este hecho se debe a que los granos de menor tamaño forman cúmulos con otros granos pequeños los que, cementados mediante sales, no alcanzan a ser disgregados, por lo que producen una subestimación del material fino.

Las metodologías empleadas para las curvas granulométricas disgregadas y lixiviadas, difieren de las de la Normativa Chilena, por los procesos de disgregación y lavado. Se plantea como posibilidad que las curvas granulométricas obtenidas por el método contenido en la Norma Chilena justamente corresponda a un estado intermedio de estas dos curvas, pero esto no es comprobable y está fuera de los alcances de este estudio.

Respecto a los suelos no salinos, los resultados de análisis son bastante heterogéneos, tanto las curvas granulométricas como sus DPS. Adicionalmente los datos están concentrados en dos puntos asociados a la costa, puesto que el resto del área inferida corresponde a suelos con ocupación más antigua en la ciudad, y por tanto con menos ensayos disponibles. La decisión de asociar grandes áreas del suelo de la ciudad con esta Unidad está en directa relación con la geología local, la cual sin duda tiene una gran influencia del tipo fluvial asociadas a depósitos Pf o Hf.

Si bien en la mayoría de las muestras asociadas se obtuvieron clasificaciones de suelo USCS del tipo Arena pobremente graduada (SP), se incluye la muestra de gravas (GP-GM) del proyecto de la Escuela de Medicina, dado a que observaciones de

excavaciones en años anteriores (zona centro de la ciudad) permiten reconocer este tipo de heterogeneidades, características de depósitos fluviales.

Con respecto a los datos de ensayos disponibles no utilizados o analizados en este trabajo, se consideró que no es posible llegar a correlacionar datos y dado el número de muestras y su poca distribución espacial tampoco aportaba valor.

Un aspecto interesante acerca de este trabajo y los resultados tiene relación con las diferencias conceptuales entre geología e ingeniería. El principal punto que se destaca es la clasificación que se le otorga a los depósitos de interés en este estudio: depósitos sedimentarios fuertemente consolidados por sales solubles.

Desde el punto de vista geológico los materiales sedimentarios que se encuentran cementados corresponden a una roca sedimentaria, pues han pasado por un proceso de diagénesis. Sin embargo, desde el punto de vista de la ingeniería, independiente de la edad del depósito, y lo fuertemente cementado que se encuentre, se denomina suelo, tan solo por el hecho que los cementos son materiales solubles.

Esta diferencia no solo es importante desde el punto de vista del nombre que se le asigne a la unidad en cuestión, si no, también de la manera en que se entienden los procesos de formación y disolución de los suelos. Así como los procesos de formación de este tipo de rocas toman largo tiempo, los procesos de disolución también.

Los principales problemas que surgen con la disolución de las sales son la generación de socavones debido a la acción de flujos de agua. Para que estos se produzcan se necesitan grandes cantidades de agua, durante un tiempo prolongado. De esta manera las aguas no alcanzan a saturarse en sales y pueden seguir lavando de esta manera los suelos.

Por lo mismo, surge la duda si los ensayos de infiltración (Porchet), dirigidos a estudiar la disolución de las sales, que se realizan en estos niveles son realmente representativos de los procesos de disolución reales, principalmente pensando en el tiempo y la cantidad de litros de agua utilizados.

6. CONCLUSIONES

La ciudad de Arica presenta una diversidad de suelos, ya sea que se estudie su granulometría, características de los fragmentos que las componen, estructura, y también su origen geológico. Mediante los datos disponibles se pudo identificar los suelos salinos y no salinos, caracterizarlos y delimitar su ubicación espacial.

Se identificaron dos tipos de suelos salinos con los datos disponibles. Un grupo de arenas y gravas limosas en el sector sur de la ciudad de Arica, ubicado en las zonas topográficas altas. La salinidad de este sector tomada por el máximo de cada pozo tiene promedio sobre el 19%, alcanzando en calicatas un valor máximo de 139,75% en una donde el cemento salino correspondía a más del 50% de la estructura. Las densidades de partícula sólida de este sector tienen un promedio de 2,79 para las partículas menores a 2mm. Los suelos de este sector se clasificaron como SM y GM principalmente. Esta Unidad se asocia a los depósitos Aluviales de la Cordillera de la Costa (MsPla) principalmente por su ubicación geográfica, la estructura de suelo y relaciones de contacto.

El otro grupo de suelos salinos se encuentra en el sector noreste de la ciudad de Arica, asociado a las faldas de los cerros que la limitan. Sus características de emplazamiento y los afloramientos presentes permitieron asociarlas a los depósitos de remoción en masa del Plioceno-Cuaternario (PIQr) o a los depósitos aluviales del Pleistoceno (Pa). La salinidad de este sector es menor que la de la zona sur, teniendo promedios de 5,9%, y máximos de hasta 10,07%. Las densidades de partícula sólida del sector tienen un promedio de 2,51, influenciado por la presencia de niveles de pumita. Los suelos de este sector se clasificaron como SM y ML. La salinidad de estos suelos está asociada al efecto de la camanchaca sobre los sedimentos. Al estar expuestos desde el momento de su disposición final, estos depósitos se han ido cementando a lo largo de su historia por el hecho de estar expuestos diariamente a este fenómeno climático.

Los suelos no salinos de la ciudad son los que presentan mayor extensión, corresponden a los depósitos fluviales asociados a los cursos de los ríos San José y Lluta. La acción de los ríos habría lavado los niveles salinos y depositando en su lugar sedimentos sin presencia de sales. Dada la naturaleza de los depósitos estos presentan gran variabilidad tanto lateral como vertical, y por ello se agruparon como una gran categoría. Los datos adicionalmente se encuentran restringidos a pocos lugares a gran distancia, lo que impide que se hagan buenas correlaciones. Las densidades de partícula sólida varían harto, sin tener un patrón definido. Fueron clasificados como SP y GP en su gran mayoría.

La última categoría de suelos definido corresponde a niveles de roca fracturada, con presencia de vetillas de distintos materiales (halita, yeso, polvo de roca). Estos se ubican asociados a los afloramientos de roca de la ciudad: Morro de Arica, Cerro La Cruz y el sector de la rotonda aledaña al estadio (Av. San Ignacio de Loyola).

Con respecto al futuro de la ciudad, actualmente se encuentra en proceso de aprobación un nuevo mapa regulador comunal. En él se establece que las nuevas áreas destinadas a proyectos habitacionales están asociadas al sector noreste de la ciudad. Si bien a la fecha no hay datos disponibles de esa área, se incluyó como parte de la zona salina por la continuidad de las capas geológicas en las laderas de los cerros y aledañas a las zonas ya estudiadas. Para conocer sus características serán necesarios nuevos estudios a medida que se realicen proyectos habitacionales en esa área.

Por otra parte, sería interesante estudiar si las metodologías que se utilizan para predecir el comportamiento de los niveles de suelos salinos al contacto con agua son realmente representativos de la problemática abordada en este trabajo, y de qué manera la visión geológica de los procesos puede aportar en la generación mejoras o creación de nuevos métodos de estudio.

7. BIBLIOGRAFÍA

Acevedo P., Foncea C., & Olguín, R. (2004). Suelos salinos del norte de Chile – Parte I. Origen distribución y características de los depósitos. Congreso Chileno de Ingeniería Geotécnica, Santiago, Chile, 2004.

Alpers, C.; Brimhall, G. 1988. Middle Miocene climatic change in the Atacama Desert, northern Chile: Evidence from supergene mineralization at La Escondida. Geological Society of America, Bulletin, Vol. 100, p. 1640-1656.

Chong, G.; Pueyo, J.; Demergasso, C. 2000. Los yacimientos de boratos de Chile. Revista Geológica de Chile, Vol. 27, No. 1, p. 99-119.

Corvalán, J.; Herve, F. (1996) Large Dams in Chile. Cap. "Geological Origin of Chile". CHILEAN NATIONAL COMMITTEE ON LARGE DAMS, 1996. pp 33 – 43.

Foncea C., Acevedo P., & Olguín, R. (2004). Suelos salinos del norte de Chile – Parte III. Asentamientos para diferentes estructuras de suelo – Lineamientos de nuevas etapas de desarrollo. Congreso Chileno de Ingeniería Geotécnica, Santiago, Chile, 2004.

Fuenzalida, H. 1965. Clima, In Geografía Económica de Chile. Corporación de Fomento de la Producción-Editorial Universitaria, Texto refundido, p. 98-152. Santiago

Gajardo, A.; Carrasco, R.; López, M.C. 1997. Recursos no metálicos de la Región de Tarapacá. Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Registrado IR-97-12, 347 p. Santiago.

García, M.; Hérail, G.; Charrier, R.; Mascle, G.; Fornari, M.; Pérez de Arce, C. 2002. Oligocene-Neogene tectonic evolution of the Altiplano of the Northern Chili (18°-19°S), Fifth ISAG, Toulouse (France). Andean Geodynamics, IRD, p. 235-238.

García, M.; Gardeweg, M.; Clavero, J.; Hérail, G. 2004. Hoja Arica, Región de Tarapacá. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, No. 84, 150 p., 1 mapa escala 1:250.000. CMGI (CHILE). Informe geotécnico: mecánica de suelos aplicada a suelos salinos. [Santiago, Chile]: CCHC, 2013, noviembre. 49 h.

González, L; Ferrer, M; Ortuño, L; Oteo, C. 2002. Ingeniería Geológica. Pearson Educación, Madrid 2002.

Loewy, S.; Connelly, J.; Dalziel, I. 2004. An orphaned Basement block: The Arequipa-Antofalla basement of the central Andean margin of South Geological Society of America, Bulletin, Vol. 116, p. 171-187.

Madella, A.; Delunel, R.; Audin, L.; Schlunegger, F. 2016. Why there no Coastal Cordillera at the Arica Bend.

Macharé, J.; Sebrier, M.; Huaman, D.; Mercier, L. 1986. Tectónica cenozoica de la margen continental Peruana. Boletín Sociedad Geológica del Perú, Vol. 76, p. 45-77.

Miller, K.; Fairbanks, R.; Mountain, G. 1987. Tertiary Oxygen isotope synthesis, sea level history and continental margin erosion. *Paleoceanography*, Vol. 2, p. 1-19.

Mortimer, C.; Saric, N. 1975. Cenozoic studies in northernmost Chile. *Geologische Rundschau*, Vol. 64, No. 2, p. 395-420.

Mortimer, C. 1980. Drainage evolution in the Atacama Desert of Northern Chile. *Revista Geológica de Chile*, No. 11, p. 3-28.

Mpodozis, C.; Ramos, V. 1989. The Andes of Chile and Argentina. In *Geology of the Andes and its Relation to Hydrocarbon and Mineral Resources* (Ericksen, G.E.; Cañas, M.T.; Reinemund, J.A.; editors). Circum-Pacific Council for Energy and Minerals Resources, Earth Science Series, Vol. 11, p. 59-90.

Muñoz, N. 1988a. Geología y estratigrafía de los sectores de Chapiquiña-Livilcar-Tignámar, Surire-Quiburcanca y Río Putani, Provincias de Arica y Parinacota, I Región. Empresa Nacional del Petróleo, Proyectos de exploración fuera de Magallanes, Informe final (Inédito), 29 p. Santiago.

Muñoz, N.; Charrier, R. 1996. Uplift of the western border of the Altiplano on a west-vergent thrust system, Northern Chile. *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 9, Nos. 3-4, p. 171-181.

Naranjo, J.A.; Paskoff, R. 1985. Evolución Cenozoica del Piedemonte Andino en la Pampa del Tamarugal, norte de Chile (18°- 21°S). In *Congreso Geológico Chileno*, No. 4, Actas, Vol. 4, No. 4, p. 149-165. Antofagasta.

Norma Chilena NCH 3394: Suelo Salino – Requisitos geotécnicos y de instalaciones sanitarias para diseño y ejecución de obras.

Norma NCh1508 Geotecnia – Estudio de mecánica de suelos. Con marco normativo en NCh (Norma Chilena).

Olgúin, R., Acevedo P., & Foncea C. (2004). Suelos salinos del norte de Chile – Parte II. Estructura y propiedades índices – Metodología. *Congreso Chileno de Ingeniería Geotécnica*, Santiago, Chile, 2004.

Pardo-Casas, F.; Molar, P. 1987. Relative motion of the Nazca (Farallón) and South American plates since Late Cretaceous time. *Tectonics*, Vol. 6, No. 3, p. 233-248.

Paskoff, R. 1978-1979. Sobre la evolución geomorfológica del gran acantilado costero del Norte Grande de Chile. Universidad de Chile, Instituto Geográfico, Norte Grande, No. 6, p. 7-22.

Pilger, R. 1984. Cenozoic plate kinematics, subduction and magmatism: South America Andes. *Journal of the Geological Society of London*, Vol. 141, p. 793-802.

Pizarro R. (2006) Geotecnia de los Suelos Salinos del Norte Grande. Tesis para optar al Título de Magister de Ingeniería Geotécnica, Mención Ingeniería Geotécnica. Universidad de Chile, Santiago, Chile, 2006.

Ramos, V. 1988. Late Proterozoic-Early Paleozoic of South America-a Collisional History. Episodes, Vol. 11, p. 168-174. Salas, R.; Kast, R.; Montecinos, F.

Rutland, R.W.R. 1971. Andean Orogeny and Ocean Floor Spreading. Nature, Vol. 233, p. 252-255.

Salas, I. 1966. Geología y recursos minerales del Departamento de Arica, Provincia de Tarapacá. Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín, No. 21, 130 p.

Salas, R. 1975. Estudio Geológico del Salar de Surire, Provincia de Arica, Chile. Instituto de Investigaciones Geológicas Informe inédito, 80 p. Arica. (*)

Scheuber, E.; Bogdanic, T.; Jensen, A.; Reutter, K.-J. 1994. Tectonic development of the North Chilean Andes in relation to plate convergence and magmatism since the Jurassic. In Tectonics of the Southern Central Andes (Reutter, K.-J.; Scheuber, E.; Wigger, P.; editors). Springer-Verlag, p. 121-140.

Sillitoe, R.; McKee, E. 1996. Age of supergene oxidation and enrichment in the Chilean Porphyry Copper Province. Economic Geology, Vol. 91, p. 164-179.

Tosdal, R.M.; Clark, A.H.; Farrar, E. 1984. Cenozoic polyphase landscape and tectonic evolution of the Cordilera Occidental, southernmost Perú. Geological Society of America, Bulletin, Vol. 95, p. 1318-1332.

Tosdal, R.M. 1996. The Amazon-Laurentian connection as viewed from the Middle Proterozoic rocks in the central Andes, western Bolivia and northern Chile. Tectonics, Vol. 15, p. 827-842.

8. ANEXOS

8.1. TABLAS DE DATOS GEOTÉCNICOS

Proyecto		Condominio Doña Inés	Condominio Doña Margarita		Fundación Esperanza	Fundación Esperanza	Fundación Esperanza	Fundación Esperanza				
# Proyecto		P1	P1	P1	P1	P1	P2		P3	P3	P3	P3
Norte		18°26'22.00"S	18°26'22.00"S	18°26'22.00"S	18°26'22.00"S	18°26'22.00"S	18°26'22.00"S		18°24'5.00"S	18°24'5.00"S	18°24'5.00"S	18°24'5.00"S
Este		70°17'48.00"W	70°17'48.00"W	70°17'48.00"W	70°17'48.00"W	70°17'48.00"W	70°17'45.00"W		70°18'36.00"W	70°18'36.00"W	70°18'36.00"W	70°18'36.00"W
#Calicata									1	2	3	4
#Muestra		1	2	3	4	5			1	2	3	4
ID MUESTRA		P1--1	P1--2	P1--3	P1--4	P1--5	P2--		P3-1-1	P3-2-2	P3-3-3	P3-4-4
Profundidad Muestra	desde											
	hasta											
Granulometria												
		P1--1(SP)	P1--2(SP)	P1--3(SP)	P1--4(SP)	P1--5(SP)	P2--(SP)		P3-1-1(GW)	P3-2-2(SW)	P3-3-3(SW)	P3-4-4(SP)
7"	180											
6"	150											
5"	127											
4"	100											
3"	80											
2 1/2"	63			100	100	100	100			100		100
2"	50			99	98	99	97		100	95	100	99
1 1/2"	40	100	100	94	96	97	91		95	95	99	97
1"	25	99	99	90	94	88	88		92	94	98	96
3/4"	20	97	98	88	93	85	84		89	91	97	93
3/8"	10	86	98	82	91	82	75		81	85	93	90
Nº 4	5	66	97	76	90	80	66		64	71	79	83
Nº 10	2	56	97	72	88	78	57		48	53	59	66
Nº 40	0.5	43	86	53	67	67	35		14	14	14	35
Nº 200	0.08	2	2	4	5	8	3		1	1	1	6
	D60	5	0.5	2	0.5	0.5	5		5	5	5	2
	D30	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		2	2	2	0.5
	D10	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5		0.5	0.5	0.5	0.5
	Cu	10	1	4	1	1	10		10	10	10	4
	Cc	0.1	1	0.25	1	1	0.1		1.6	1.6	1.6	0.25
LL									NP	NP	NP	NP
LP									NP	NP	NP	NP
IP									NP	NP	NP	NP
Clasificacion USCS		SP	SP	SP	SP	SP	SP		GW	SW	SW	SP
Humedad									2.8	2.4	3.2	2.4
DPS	Material ≥ASTM N° 4								2.616	2.627	2.612	N.D.
	Material < ASTM N° 4								2.684	2.677	2.67	N.D.
	Densidad ponderada								2.659	2.662	2.658	N.D.

Proyecto		Condominio Doña Laura	Condominio Doña Laura	Condominio Doña Laura	Condominio Doña Laura	Proyecto Social Lote 12 Punta Norte							
# Proyecto		P4	P4	P4	P4	P5							
Norte		18°26'26.00" S	18°26'26.00" S	18°26'26.00" S	18°26'26.00" S	18°25'48.00" S	18°25'48.00" S	18°25'48.00" S	18°25'48.00" S	18°25'48.00" S	18°25'48.00" S	18°25'48.00" S	18°25'48.00" S
Este		70°17'46.00" W	70°17'46.00" W	70°17'46.00" W	70°17'46.00" W	70°17'24.00" W	70°17'24.00" W	70°17'24.00" W	70°17'24.00" W	70°17'24.00" W	70°17'24.00" W	70°17'24.00" W	70°17'24.00" W
#Calicata		1	2	3	4	1	1	2	3	3	4	5	5
#Muestra		1	2	3	4	1	2	1	1	2	1	1	2
ID MUESTRA		P4-1-1	P4-2-2	P4-3-3	P4-4-4	P5-1-1	P5-1-2	P5-2-1	P5-3-1	P5-3-2	P5-4-1	P5-5-1	P5-5-2
Profundidad desde						0.3	1.2	2.1	0.3	1.65	2	0.3	1.1
hasta						0.5	1.4	2.3	0.5	1.85	2.2	0.5	1.3
Granulometria													
		P4-1-1(SP)	P4-2-2(SP)	P4-3-3(SP)	P4-4-4(SP)	P5-1-1(ML)	P5-1-2(ML)	P5-2-1(ML)	P5-3-1(SM)	P5-3-2(ML)	P5-4-1(SP)	P5-5-1(SM)	P5-5-2(SM)
7"	180												
6"	150												
5"	127												
4"	100								100				
3"	80								95				
2 1/2"	63								89				
2"	50								88	100			
1½"	40			100	100				87	95			
1"	25			99	96				85	92			
¾"	20			99	95		100	100	85	89			
3/8"	10			94	90	100	99	99	85	100	86		
Nº 4	5	100	100	91	84	99	99	99	84	99	84	100	100
Nº 10	2	99	99	87	79	98	98	98	83	98	81	98	99
Nº 40	0.5	38	34	32	33	88	88	87	42	86	62	42	51
Nº 200	0.08	1	1	1	2	66	64	65	24	59	3	18	14
	D60	2	2	2	2	0.08	0.08	0.08	2	0.5	0.5	2	2
	D30	0.5	0.5	0.5	0.5	0.08	0.08	0.08	0.5	0.08	0.5	0.5	0.5
	D10	0.5	0.5	0.5	0.5	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.5	0.08	0.08
	Cu	4	4	4	4	1	1	1	25	6.25	1	25	25
	Cc	0.25	0.25	0.25	0.25	1	1	1	1.5625	0.16	1	1.5625	1.5625
LL		NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP
LP		NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP
IP		NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP
Clasificacion USCS		SP	SP	SP	SP	ML	ML	ML	SM	ML	SP	SM	SM
Humedad													
DPS	Material ≥ASTM N° 4					N.A.							
	Material < ASTM N° 4					2.21	2.259	2.22	2.591	2.242	2.649	2.663	2.688
	Densidad ponderada					2.21	2.259	2.22	2.591	2.242	2.649	2.663	2.688

Proyecto		Lote H-1-2	Condominio Doña Bernardita	Escuela de Medicina UTA								
# Proyecto		P6	P7	P8								
Norte		18°26'49.50" S	18°26'49.50" S	18°26'48.30" S	18°26'48.30" S	18°26'51.00" S	18°26'49.50" S	18°26'49.50" S	18°26'49.50" S	18°26'49.50" S	18°26'27.00" S	18°29'31.00" S
Este		70°17'2.50" W	70°17'2.50" W	70°17'3.70" W	70°17'3.70" W	70°17'4.00" W	70°17'4.9" W	70°17'4.9" W	70°17'4.9" W	70°17'4.9" W	70°17'50.00" W	70°17'52.00" W
#Calicata		1	1	2	2	3	4	4	4	4	1	
#Muestra		1	2	1	2	1	1	2	3	3	1	1
ID MUESTRA		P6-1-1	P6-1-2	P6-2-1	P6-2-2	P6-3-1	P6-4-1	P6-4-2	P6-4-3		P7-1-1	P8--1
Profundidad desde		1.2	3.85	0.3	2	2	0.35	1.5	4.35		1	
hasta		1.5	4	0.5	2.3	2.3	0.5	1.8	4.5		1.4	
Granulometria												
		P6-1-1(SM)	P6-1-2(SM)	P6-2-1(SM)	P6-2-2(SM)	P6-3-1(SM)	P6-4-1(SM)	P6-4-2(SM)	P6-4-3(SP)		P7-1-1(SP)	P8--1(GP - GM)
7"	180											
6"	150											
5"	127									100		
4"	100									75	100	
3"	80									75	95	
2 1/2"	63									75	85	
2"	50									71	81	
1 1/2"	40									68	76	
1"	25	100		100		100		100		65	70	
3/4"	20	98		99		98		99		62	65	
3/8"	10	97	100	97		96		98		60	58	
Nº 4	5	95	99	93	100	93	100	94	100	56	53	
Nº 10	2	93	98	92	98	92	98	93	99	53	49	
Nº 40	0.5	70	77	74	73	69	76	72	65	25	34	
Nº 200	0.08	21	32	28	18	22	19	18	3	3	9	
	D60	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	10	20	
	D30	0.5	0.08	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	2	0.5	
	D10	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.5	0.5	0.5	
	Cu	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	1	20	40	
	Cc	6.25	0.16	6.25	6.25	6.25	6.25	6.25	1	0.8	0.025	
LL		NP			NP							
LP		NP			NP							
IP		NP			NP							
Clasificacion USCS		SM	SP		SP	GP - GM						
Humedad												2.4
DPS	Material ≥ASTM N° 4	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.D.	N.A.	N.D.	N.D.			2.6375
	Material < ASTM N° 4	2.571	2.73	2.564	2.566	2.543	2.565	2.594	0			2.735
	Densidad ponderada	2.571	2.73	2.564	2.566	2.543	2.565	2.594	2.65			2.69

Proyecto		Edificio Chinchorro														
# Proyecto		P9														
Norte		18°27'39.57"	18°27'39.57"	18°27'40.85"	18°27'40.85"	18°27'40.83"	18°27'40.83"	18°27'42.20"	18°27'42.20"	18°27'42.44"	18°27'42.44"	18°27'42.90"	18°27'42.90"	18°27'43.84"	18°27'43.84"	
Este		70°18'11.39"	70°18'11.39"	70°18'11.81"	70°18'11.81"	70°18'13.79"	70°18'13.79"	70°18'12.17"	70°18'12.17"	70°18'14.18"	70°18'14.18"	70°18'12.87"	70°18'12.87"	70°18'13.12"	70°18'13.12"	
#Calicata		1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	
#Muestra		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
ID MUESTRA		P9-1-1	P9-1-2	P9-2-1	P9-2-2	P9-3-1	P9-3-2	P9-4-1	P9-4-2	P9-5-1	P9-5-2	P9-6-1	P9-6-2	P9-7-1	P9-7-2	
Profundidad desde		0.5	1.5	1	2	0.5	1.5	1	2							
hasta		1.5	2.5	2	2.6	1	2.5	2	2.5							
Granulometria																
		P9-1-1(SP)	P9-1-2(SP)	P9-2-1(SP)	P9-2-2(SP)	P9-3-1(SP)	P9-3-2(SP)	P9-4-1(SP)	P9-4-2(SP)	P9-5-1(SP)	P9-5-2(SP)	P9-6-1(SP)	P9-6-2(SP)	P9-7-1(SP)	P9-7-2(SP)	
7"	180															
6"	150		100		100	100	100						100	100		
5"	127		81		88	75	80						92	83		
4"	100	100	81		88	64	80					100	74	75	100	
3"	80	94	81	100	88	59	71		100			81	58	68	93	
2 1/2"	63	90	74	96	83	59	65		97			72	58	61	89	
2"	50	81	72	93	79	56	65		95			64	53	54	88	
1 1/2"	40	75	71	92	75	54	64		91	100	100	61	50	48	87	
1"	25	69	69	87	72	52	62		88	99	99	60	46	46	83	
3/4"	20	67	67	87	71	52	62		87	99	98	59	45	44	82	
3/8"	10	65	64	84	68	51	59		85	99	95	59	42	42	79	
Nº 4	5	64	62	82	67	51	56		84	99	94	59	40	41	77	
Nº 10	2	62	61	81	66	50	55	100	83	98	94	57	39	39	76	
Nº 40	0.5	49	54	63	51	39	41	41	51	84	74	36	26	30	51	
Nº 200	0.08	2	1	1	1	1	1	0	2	1	2	1	1	1	1	
D60		2	2	0.5	2	100	20	2	2	0.5	0.5	25	100	63	2	
D30		0.2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	2	0.5	0.5	
D10		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.08	
Cu		4	4	1	4	200	40	4	4	1	1	50	200	126	25	
Cc		0.04	0.25	1	0.25	0.005	0.025	0.25	0.25	1	1	0.02	0.08	0.00793651	1.5625	
LL		NP														
LP		NP														
IP		NP														
Clasificacion USCS		SP														
Humedad		2.1	4.7	1.7	4.2	1.6	7.7	1.9	3.1	2.1	3.9	1.7	5.7	1.6	2.6	
DPS	Material ≥ ASTM N° 4	2.636	2.616	2.634	2.627	2.638	2.62	N.A.	2.627	N.A.	N.A.	2.645	2.661	2.607	2.637	
	Material < ASTM N° 4	2.648	2.678	2.652	2.668	2.665	2.66	2.629	2.694	2.651	2.721	2.669	2.747	2.629	2.683	
	Densidad ponderada	2.64	2.65	2.65	2.65	2.65	2.64	N.A.	2.68	N.A.	N.A.	2.66	2.67	2.62	2.67	

Proyecto		Lote H - 15	Condominio Doña Agustina	Condominio Doña Agustina	Condominio Doña Agustina	Condominio Doña Agustina		Lote 2A - 2 Vientos del Norte						
# Proyecto		P10	P11	P11	P11	P11		P12						
Norte		18°25'42.00"S	18°26'28.00"S	18°26'28.00"S	18°26'28.00"S	18°26'28.00"S		18°30'3.74"S	18°30'3.74"S	18°30'3.74"S	18°30'4.67"S	18°30'4.67"S	18°30'4.67"S	18°30'5.59"S
Este		70°17'17.00"W	70°17'53.00"W	70°17'53.00"W	70°17'53.00"W	70°17'53.00"W		70°18'11.74"W	70°18'11.74"W	70°18'11.74"W	70°18'11.79"W	70°18'11.79"W	70°18'11.79"W	70°18'11.61"W
#Calicata								1	1	1	2	2	2	3
#Muestra		1	1	2	3	4		1	2	3	1	2	3	3
ID MUESTRA		P10--1	P11--1	P11--2	P11--3	P11--4		P12-1-1	P12-1-2	P12-1-3	P12-2-1	P12-2-2	P12-2-3	P12-3-3
Profundidad desde								1	1.2	3	1.2	1.5	3	3
hasta								1.2	1.5	4	1.5	1.7	4	4
Granulometria														
		P10--1(SP-SM)	P11--1(SP)	P11--2(SP)	P11--3(SP)	P11--4(SP)		P12-1-1(SM)	P12-1-2(SM)	P12-1-3()	P12-2-1(SM)	P12-2-2(SM)	P12-2-3()	P12-3-3()
7"	180													
6"	150													100
5"	127													85
4"	100		100	100									100	76
3"	80		97	87									95	76
2 1/2"	63		93	74							100	100	95	72
2"	50		80	69			100	100			99	99	95	72
1 1/2"	40		77	62			98	98	100		98	98	95	70
1"	25		75	59			95	94	96		96	95	93	68
3/4"	20		75	59	100	100	91	89	94		92	92	91	65
3/8"	10		75	59	99	99	81	80	85		85	84	86	56
Nº 4	5	100	75	58	99	99	70	68	73		75	74	74	45
Nº 10	2	98	74	58	98	99	54	52	61		59	59	60	39
Nº 40	0.5	87	62	51	87	98	30	29	35		31	29	33	25
Nº 200	0.08	11	1	1	2	1	17	16	20		15	14	19	16
	D60	0.5	0.5	40	0.5	0.5	5	5	2		5	5	2	20
	D30	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	2	0.5		0.5	2	0.5	2
	D10	0.08	0.5	0.5	0.5	0.5	0.08	0.08	0.08		0.08	0.08	0.08	0.08
	Cu	6.25	1	80	1	1	62.5	62.5	25		62.5	62.5	25	250
	Cc	6.25	1	0.0125	1	1	0.625	10	1.5625		0.625	10	1.5625	2.5
LL		NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP			NP	NP		
LP		NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP			NP	NP		
IP		NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP			NP	NP		
Clasificacion USCS		SP-SM	SP	SP	SP	SP	SM	SM			SM	SM		
Humedad		5.5	0.5	1	1	0.5	7.1	7.6	2.6		6.9	7.7	3.9	3
DPS	Material ≥ASTM N° 4		2.6095	2.63	N.A.	N.A.	N.S.	2.729			N.S.	2.711		
	Material < ASTM N° 4		2.894	2.79	2.802	2.756	N.S.	2.781			N.S.	2.799		
	Densidad ponderada		2.82	2.72	N.A.	N.A.	N.S.	2.764			N.S.	2.776		

Proyecto		Lote 2A - 2 Vientos del Norte	Lote C - Cerro La Cruz												
# Proyecto		P12	P13	P13	P13	P13									
Norte		18°30'6.50"S	18°30'7.06"S	18°30'7.06"S	18°30'7.06"S	18°30'5.31"S	18°30'5.31"S	18°30'5.31"S	18°30'5.31"S	18°30'5.31"S	18°30'3.83"S	18°29'7.216" S	18°29'7.69"S	18°29'8.212"S	18°29'9.29"S
Este		70°18'11.87"W	70°18'13.42"W	70°18'13.42"W	70°18'13.42"W	70°18'13.67"W	70°18'13.67"W	70°18'13.67"W	70°18'13.67"W	70°18'13.67"W	70°18'13.87"W	70°18'40.133'	70°18'39.11"	70°18'39.396'	70°18'38.483'
#Calicata			4	5	5	5	6	6	6	6	7	1	2	3	4
#Muestra			3	1	2	3	1	2	3	3					
ID MUESTRA		P12-4-3	P12-5-1	P12-5-2	P12-5-3	P12-6-1	P12-6-2	P12-6-3	P12-7-3		P13-1-	P13-2-	P13-3-	P13-4-	
Profundidad desde		3	1.4	1.6	3	1	1.2	3	3						
hasta		4	1.6	1.8	4	1.2	1.5	4	4						
Granulometria															
		P12-4-3()	P12-5-1(SM)	P12-5-2(SM)	P12-5-3()	P12-6-1(SM)	P12-6-2(SM)	P12-6-3()	P12-7-3()		P13-1-()	P13-2-()	P13-3-()	P13-4-()	
7"	180														
6"	150														
5"	127	100			100					100					
4"	100	90			90					88					
3"	80	88			90					88					
2 1/2"	63	84	100	100	90					88					
2"	50	81	98	97	90	100	100	100		86					
1½"	40	78	96	95	90	99	99	99		76					
1"	25	76	91	90	89	98	97	98		67					
3/4"	20	74	87	86	86	95	94	96		63					
3/8"	10	68	78	77	74	86	85	86		54					
Nº 4	5	59	68	67	63	74	74	70		40					
Nº 10	2	49	54	52	53	62	61	56		33					
Nº 40	0.5	31	29	27	34	38	37	32		20					
Nº 200	0.08	18	14	13	20	21	20	18		11					
	D60	68	5	5	5	2	2	5		20					
	D30	0.5	2	2	0.5	0.5	0.5	0.5		2					
	D10	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08		0.08					
	Cu	850	62.5	62.5	62.5	25	25	62.5		250					
	Cc	0.04595588	10	10	0.625	1.5625	1.5625	0.625		2.5					
LL			NP	NP		NP	NP								
LP			NP	NP		NP	NP								
IP			NP	NP		NP	NP								
Clasificacion USCS			SM	SM		SM	SM								
Humedad		5.8	5.2	5.7	4.2	4.6	5	4.7		4.3					
DPS	Material ≥ASTM N° 4		N.S.	2.702		N.S.	2.73								
	Material < ASTM N° 4		N.S.	2.784		N.S.	2.778								
	Densidad ponderada		N.S.	2.757		N.S.	2.766								

Proyecto		Lote 9B	Lote 9B	Lote 9B	Lote 9B								
# Proyecto		P15	P15	P15	P15								
Norte		18°29'59.47"S	18°29'57.72"S	18°29'56.52"S	18°29'58.45"S	18°29'56.81"S	18°29'55.45"S	18°29'58.83"S	18°29'57.04"S	18°29'57.04"S	18°29'55.11"S	18°29'54.71"S	
Este		70°17'59.33"C	70°17'59.88"C	70°18'2.12"O	70°17'58.19"C	70°17'59.24"C	70°18'0.80"O	70°18'0.09"O	70°18'2.27"O	70°18'2.27"O	70°18'3.20"O	70°18'1.63"O	
#Calicata		1	2	3	4	5	6	7	8	8	9	10	
#Muestra		6		5	5		5		5	6		5	
ID MUESTRA		P15-1-6	P15-2-	P15-3-5	P15-4-5	P15-5-	P15-6-5	P15-7-	P15-8-5	P15-8-6	P15-9-	P15-10-5	
Profundidad desde		3.5		3.5	3.5		3.5		2.5	4		0.5	
hasta		4		4	4		4		3	4.5		1	
Granulometria													
		P15-1-6(GW)	P15-2-()	P15-3-5(SM)	P15-4-5(GM)	P15-5-()	P15-6-5(SM)	P15-7-()	P15-8-5(SM)	P15-8-6(SW-SM)	P15-9-()	P15-10-5(GM)	
7"	180												
6"	150												
5"	127												
4"	100												
3"	80				100				100				
2 1/2"	63	100			97		100		95			100	
2"	50	93			96		99		95	100		99	
1 1/2"	40	88		100	85		97		95	98		96	
1"	25	76		98	73		92		92	95		91	
3/4"	20	62		96	64		87		90	93		86	
3/8"	10	38		91	50		74		85	83		63	
Nº 4	5	24		82	40		60		74	72		47	
Nº 10	2	14		67	31		46		60	58		33	
Nº 40	0.5	6		44	20		25		36	27		21	
Nº 200	0.08	3		29	13		13		22	12		14	
	D60	20		2	20		5		2	5		10	
	D30	10		0.5	2		2		0.5	2		2	
	D10	2		0.08	0.08		0.08		0.08	0.08		0.08	
	Cu	10		25	250		62.5		25	62.5		125	
	Cc	2.5		1.5625	2.5		10		1.5625	10		5	
LL		NP		NP	NP		NP		NP	NP		NP	
LP		NP		NP	NP		NP		NP	NP		NP	
IP		NP		NP	NP		NP		NP	NP		NP	
Clasificacion USCS		GW		SM	GM		SM		SM	SW-SM		GM	
Humedad		3.2		3.5	4.1		5.1		2.2	3.5		2.9	
DPS	Material ≥ASTM N° 4	2.75		2.69	2.75		2.72		2.7	2.71		2.68	
	Material < ASTM N° 4	2.737		2.749	2.832		2.85		2.746	2.714		2.723	
	Densidad ponderada	2.747		2.738	2.782		2.797		2.734	2.713		2.7	

Proyecto		Lote 21	Lote 21	Lote 21	Lote 21	Lote 21	Lote 21	Lote 11	Lote 11						
# Proyecto		P16	P16	P16	P16	P16	P16	P17	P17						
Norte		18°29'54.35"S	18°29'54.35"S	18°29'54.35"S	18°29'54.80"S	18°29'53.05"S	18°29'53.05"S	18°29'53.10"S	18°29'51.85"S	18°29'51.85"S	18°29'50.32"S			18°29'49.04"S	18°29'49.04"S
Este		70°18'8.17"W	70°18'8.17"W	70°18'8.17"W	70°18'6.22"W	70°18'7.56"W	70°18'7.56"W	70°18'6.02"W	70°18'7.02"W	70°18'7.02"W	70°18'6.79"W			70°18'4.21"W	70°18'4.21"W
#Calicata		1	1	1	2	3	3	4	5	5	6			1	1
#Muestra		1	2	3	1	1	2	1	1	2	1			1	2
ID MUESTRA		P16-1-1	P16-1-2	P16-1-3	P16-2-1	P16-3-1	P16-3-2	P16-4-1	P16-5-1	P16-5-2	P16-6-1			P17-1-1	P17-1-2
Profundidad desde		0.5	1.4	1.5	1.8	0.5	1.5	1.5	1.8	1.8	0.5			0.5	4
hasta		0.7	1.6	1.9	2	0.7	1.9	1.9	2.2	2	7			0.7	4.2
Granulometria															
								P16-4-1(GP-GM)	P16-5-1(GP-GM)	P16-5-2(GP-GM)	P16-6-1(GM)			P17-1-1(GP-GM)	P17-1-2(GM)
7"	180														
6"	150														
5"	127														
4"	100										100		100	100	
3"	80										92		97	92	
2 1/2"	63										89		90	88	
2"	50								100	100	89		75	72	
1 1/2"	40	100	100			100	100	100	95	96	84		62	70	
1"	25	99	99	100	100	96	98	99	80	82	75		40	59	
3/4"	20	98	99	99	97	94	97	93	68	66	70		32	52	
3/8"	10	91	96	96	91	87	93	69	40	42	56		24	41	
Nº 4	5	82	92	91	82	79	87	45	28	30	47		20	33	
Nº 10	2	71	84	82	70	70	80	33	19	19	41		17	26	
Nº 40	0.5	44	51	50	40	48	52	16	10	11	28		12	17	
Nº 200	0.08	20	22	20	15	22	19	9	6	7	16		8	13	
	D60	2	2	2	2	2	0.5	10	20	20	20		40	40	
	D30	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	2	10	5	2		20	5	
	D10	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.5	0.5	0.5	0.08		0.5	0.08	
	Cu	25	25	25	25	25	6.25	20	40	40	250		80	500	
	Cc	1.5625	1.5625	1.5625	1.5625	1.5625	6.25	0.8	10	2.5	2.5		20	7.8125	
LL		NP	NP	NP	NP		NP	NP							
LP		NP	NP	NP	NP		NP	NP							
IP		NP	NP	NP	NP		NP	NP							
Clasificacion USCS		SM	SM	SM	SM	SM	SM	GP-GM	GP-GM	GP-GM	GM		GP-GM	GM	
Humedad		5.4	6.2	6.1	4.5	6.2	4.9	5	4.4	4.7	5.4		4.0	7.0	
DPS	Material ≥ASTM N° 4	2.68	N.A.	N.A.	2.66	2.69	2.66	2.67	2.66	2.67	2.65		2.700	2.710	
	Material < ASTM N° 4	2.716	2.723	2.736	2.721	2.754	2.758	2.722	2.766	2.797	2.734		2.884	2.843	
	Densidad ponderada	2.71	2.723	2.736	2.71	2.74	2.74	2.69	2.69	2.71	2.69		2.740	2.750	

Proyecto		Lote 11	Lote 11	Lote 11	Lote 11	Lote 11	Lote 11	Lote 11	Lote 11	Lote 11	Lote 11	Lote 11	Lote 11	Lote 11
# Proyecto		P17	P17	P17	P17	P17	P17	P17	P17	P17	P17	P17	P17	P17
Norte		18°29'50.35"S	18°29'51.63"S	18°29'51.63"S	18°29'51.63"S	18°29'52.96"S	18°29'53.29"S	18°29'53.29"S	18°29'51.73"S	18°29'50.79"S	18°29'52.45"S	18°29'52.45"S	18°29'52.45"S	18°29'52.45"S
Este		70°18'3.29"W	70°18'2.65"W	70°18'2.65"W	70°18'2.65"W	70°18'1.86"W	70°18'3.99"W	70°18'3.99"W	70°18'4.06"W	70°18'4.97"W	70°18'5.26"W	70°18'5.26"W	70°18'5.26"W	70°18'5.26"W
#Calicata		2	3	3	3	4	5	5	6	7	8	8	8	8
#Muestra		1	1	2	3	1	1	2	1	1	1	2	3	3
ID MUESTRA		P17-2-1	P17-3-1	P17-3-2	P17-3-3	P17-4-1	P17-5-1	P17-5-2	P17-6-1	P17-7-1	P17-8-1	P17-8-2	P17-8-3	
Profundidad desde		1.3	0.5	1.8	4	1.7	0.5	4	1.5	4	1.5	1.6	2.3	
hasta		1.7	0.7	2.2	4.2	1.9	0.7	4.2	1.9	4.2	1.7	1.8	2.7	
Granulometria														
				P17-3-2(GP-GM)	P17-3-3(GP-GM)	P17-4-1(GP-GM)		P17-5-2(GP-GM)		P17-7-1(GW-GM)				
		P17-2-1(GW)	P17-3-1(GM)				P17-5-1(GM)		P17-6-1(GM)		P17-8-1(GM)	P17-8-2(GM)	P17-8-3(GM)	
7"	180													
6"	150	100				100								
5"	127	69		100		81								
4"	100	62				59		100			100	100		
3"	80	58			100	53	100	82			98	93	100	
2 1/2"	63	49	100	100	97	41	98	73	100		94	93	97	
2"	50	32	97	96	97	26	95	62	99		90	91	90	
1 1/2"	40	26	94	93	94	19	88	54	97	100	85	87	86	
1"	25	19	87	85	90	12	79	38	87	96	81	79	79	
3/4"	20	16	80	76	81	11	75	31	82	90	73	71	74	
3/8"	10	10	66	53	57	7	60	21	67	67	60	58	58	
Nº 4	5	7	55	39	41	6	50	18	57	48	51	48	47	
Nº 10	2	4	45	27	27	6	40	12	47	35	37	39	38	
Nº 40	0.5	2	29	15	15	4	26	7	33	18	24	26	26	
Nº 200	0.08	2	19	9	9	3	15	4	23	10	15	16	16	
	D60	100	10	20	20	127	10	50	10	10	10	20	20	
	D30	50	2	5	5	63	2	20	0.5	2	2	2	2	
	D10	10	0.08	0.5	0.5	20	0.08	2	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	
	Cu	10	125	40	40	6.35	125	25	125	125	125	250	250	
	Cc	2.5	5	2.5	2.5	1.56259843	5	4	0.3125	5	5	2.5	2.5	
LL		NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP
LP		NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP
IP		NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP
Clasificacion USCS		GW	GM	GP-GM	GP-GM	GP-GM	GM	GP-GM	GM	GW-GM	GM	GM	GM	GM
Humedad		5.0	2.5	2.1	1.9	3.8	3.5	3.5 y 2.6	3.2	6.2	2.4	3.4	3.1	
DPS	Material ≥ASTM N° 4	2.700	2.700	2.700	2.710	2.710	2.690	2.700	2.689	2.700	2.710	2.690	2.710	
	Material < ASTM N° 4	2.790	2.850	2.858	2.843	2.829	2.917	2.862	2.856	2.779	2.856	2.847	2.846	
	Densidad ponderada	2.710	2.781	2.760	2.760	2.720	2.800	2.730	2.780	2.740	2.780	2.760	2.770	

8.2 TABLAS DE SALINIDAD

Proyecto	Condominio Doña Inés	Condominio Doña Margarita	Fundación Esperanza	Fundación Esperanza	Fundación Esperanza	Fundación Esperanza					
# Proyecto	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P2	P3	P3	P3	P3
Norte	18°26'22.00" S	18°24'5.00" S	18°24'5.00" S	18°24'5.00" S	18°24'5.00" S						
Este	70°17'48.00" W	70°17'48.00" W	70°17'48.00" W	70°17'48.00" W	70°17'48.00" W	70°17'48.00" W	70°17'45.00" W	70°18'36.00" W	70°18'36.00" W	70°18'36.00" W	70°18'36.00" W
#Calicata								1	2	3	4
#Muestra	1	2	3	4	5			1	2	3	4
ID MUESTRA	P1--1	P1--2	P1--3	P1--4	P1--5		P2--	P3-1-1	P3-2-2	P3-3-3	P3-4-4
Cloruros (kg Cl- / kg suelo) x 10-6								38	211	142	214
Sulfatos (kg SO4 2-/ kg suelo) x 10-6								324	87	151	163
%Sales Solubles	0.18	0.41	0.29	0.36	1.48			0.05	0.05	0.05	0.06

Proyecto	Condominio Doña Laura	Condominio Doña Laura	Condominio Doña Laura	Condominio Doña Laura	Proyecto Social Lote 12 Punta Norte								
# Proyecto	P4	P4	P4	P4	P5								
Norte	18°26'26.00" S	18°26'26.00" S	18°26'26.00" S	18°26'26.00" S	18°25'48.00" S								
Este	70°17'46.00" W	70°17'46.00" W	70°17'46.00" W	70°17'46.00" W	70°17'24.00" W								
#Calicata	1	2	3	4	1	1	2	3	3	4	5	5	
#Muestra	1	2	3	4	1	2	1	1	2	1	1	2	
ID MUESTRA	P4-1-1	P4-2-2	P4-3-3	P4-4-4	P5-1-1	P5-1-2	P5-2-1	P5-3-1	P5-3-2	P5-4-1	P5-5-1	P5-5-2	
Cloruros (kg Cl- / kg suelo) x 10-6													
Sulfatos (kg SO4 2-/ kg suelo) x 10-6													
%Sales Solubles													

Proyecto											Condominio Doña Bernardita		Escuela de Medicina UTA
# Proyecto		P6	P6		P7	P8							
Norte		18°26'49.50" S	18°26'49.50" S	18°26'48.30" S	18°26'48.30" S	18°26'51.00" S	18°26'49.50" S	18°26'49.50" S	18°26'49.50" S		18°26'27.00" S		18°29'31.00" S
Este		70°17'2.50" W	70°17'2.50" W	70°17'3.70" W	70°17'3.70" W	70°17'4.00" W		70°17'4.9" W	70°17'4.9" W	70°17'4.9" W		70°17'50.00" W	70°17'52.00" W
#Calicata			1	1	2	2	3	4	4	4		1	
#Muestra			1	2	1	2	1	1	2	3		1	1
ID MUESTRA		P6-1-1	P6-1-2	P6-2-1	P6-2-2	P6-3-1	P6-4-1	P6-4-2	P6-4-3		P7-1-1		P8--1
Cloruros (kg Cl- / kg suelo) x 10-6		33280		48079	19523	6654	9384	17099					
Sulfatos (kg SO4 2- / kg suelo) x 10-6		7920		6786	13466	5123	7705	10002					
%Sales Solubles		7.6		10.07	6.09	2.11	5.74	5.81			0.07		0.38

Proyecto		Edificio Chinchorro													
# Proyecto		P9													
Norte		18°27'39.57" S	18°27'39.57" S	18°27'40.85" S	18°27'40.85" S	18°27'40.83" S	18°27'40.83" S	18°27'42.20" S	18°27'42.20" S	18°27'42.44" S	18°27'42.44" S	18°27'42.90" S	18°27'42.90" S	18°27'43.84" S	18°27'43.84" S
Este		70°18'11.39" W	70°18'11.39" W	70°18'11.81" W	70°18'11.81" W	70°18'13.79" W	70°18'13.79" W	70°18'12.17" W	70°18'12.17" W	70°18'14.18" W	70°18'14.18" W	70°18'12.87" W	70°18'12.87" W	70°18'13.12" W	70°18'13.12" W
#Calicata		1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7
#Muestra		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
ID MUESTRA		P9-1-1	P9-1-2	P9-2-1	P9-2-2	P9-3-1	P9-3-2	P9-4-1	P9-4-2	P9-5-1	P9-5-2	P9-6-1	P9-6-2	P9-7-1	P9-7-2
Cloruros (kg Cl- / kg suelo) x 10-6															
Sulfatos (kg SO4 2- / kg suelo) x 10-6															
%Sales Solubles		0.27	0.04	0.06	0.06	0.12	0.1	0.07	0.25	0.4	0.27	0.28	0.07	0.13	0.04

Proyecto		Lote H - 15	Condominio Doña Agustina	Condominio Doña Agustina	Condominio Doña Agustina	Condominio Doña Agustina		Lote 2A - 2 Vientos del Norte							
# Proyecto		P10	P11	P11	P11	P11		P12							
Norte		18°25'42.00"S	18°26'28.00"S	18°26'28.00"S	18°26'28.00"S	18°26'28.00"S		18°30'3.74"S	18°30'4.67"S	18°30'5.59"S	18°30'6.50"S	18°30'7.06"S	18°30'5.31"S	18°30'3.83"S	
Este		70°17'17.00"W	70°17'53.00"W	70°17'53.00"W	70°17'53.00"W	70°17'53.00"W		70°18'11.74"W	70°18'11.79"W	70°18'11.61"W	70°18'11.87"W	70°18'13.42"W	70°18'13.67"W	70°18'13.87"W	
#Calicata				1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	
#Muestra		1						3	3	3	3	3	3	3	
ID MUESTRA		P10--1	P11--1	P11--2	P11--3	P11--4		P12-1-3	P12-2-3	P12-3-3	P12-4-3	P12-5-3	P12-6-3	P12-7-3	
Cloruros (kg Cl- / kg suelo) x 10-6															
Sulfatos (kg SO4 2- / kg suelo) x 10-6															
%Sales Solubles		4.43	0.15	0.28	0.16	0.14		5.33	12.26	7.76	7.24	4.29	2.89	12.42	

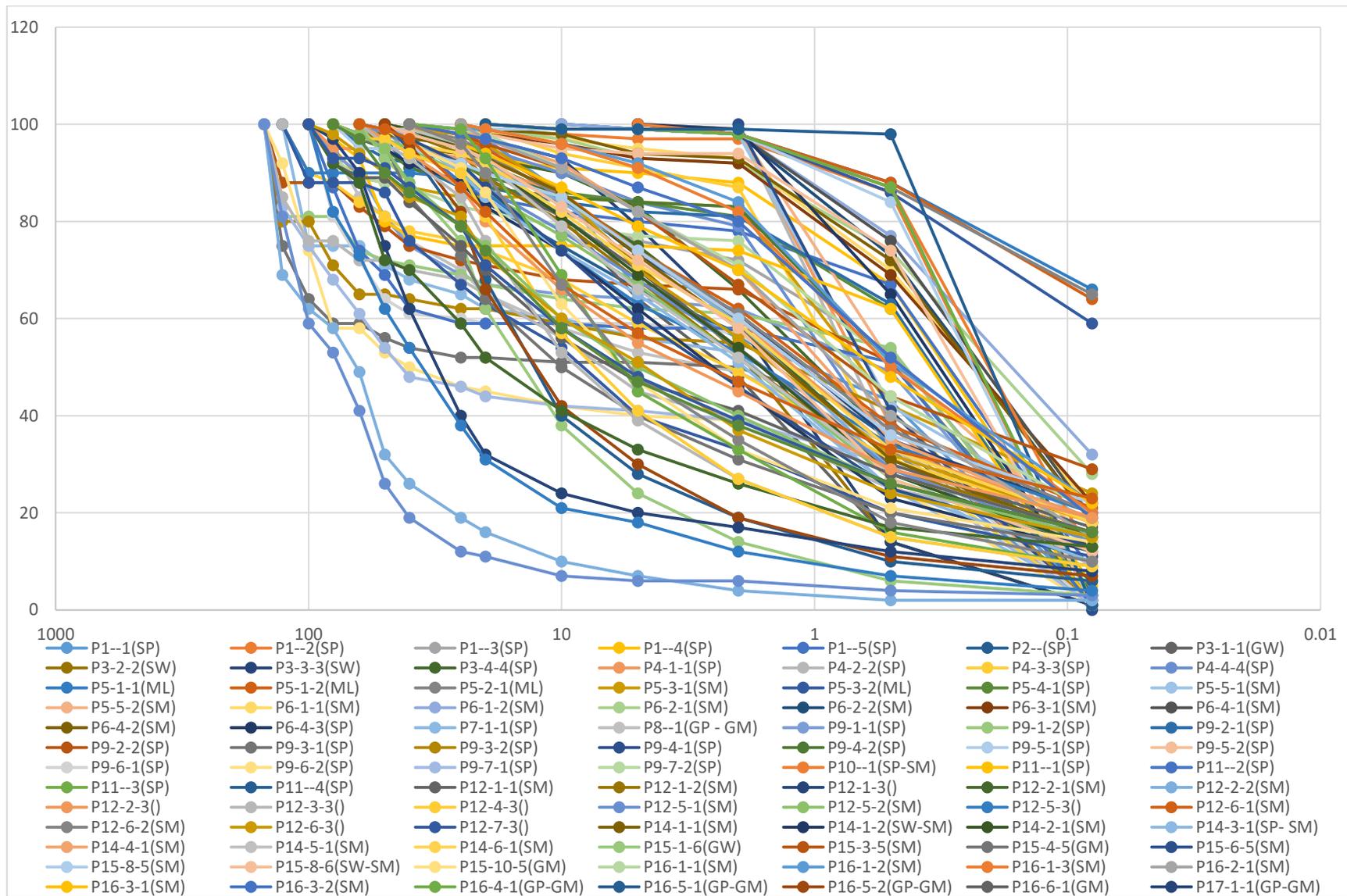
Proyecto	Lote C - Cerro La Cruz		Lote 2 A - 12														
# Proyecto	P13		P14														
Norte	18°29'7.216"S	18°29'7.69"S	18°29'8.212"S	18°29'9.29"S	18°29'8.257"S	18°29'10.352"S	18°29'9.86"S	18°29'9.314"S		18°29'2.08"S	18°29'2.08"S	18°29'2.66"S	18°29'6.53"S	18°26'36.29"S	18°27'46.16"S	18°27'38.48"S	
Este	70°18'40.133"O	70°18'39.11"O	70°18'39.396"O	70°18'38.483"O	70°18'37.437"O	70°18'37.792"O	70°18'37.059"O	70°18'36.245"O		70°18'46.53"O	70°18'46.53"O	70°18'45.22"O	70°18'56.48"O	70°17'12.72"O	70°17'3.86"O	70°17'9.76"O	
#Calicata	1	2	3	4	5	6	7	8		1	1	2	3	4	5	6	
#Muestra										1	2	1	1	1	1	1	
ID MUESTRA	P13-1-	P13-2-	P13-3-	P13-4-	P13-5-	P13-6-	P13-7-	P13-8-		P14-1-1	P14-1-2	P14-2-1	P14-3-1	P14-4-1	P14-5-1	P14-6-1	
Perfil Salino	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8									
	4.21	60	1.32	4.05	1.59	7.01	3.12	2.42		4.33		6.54	3.57	4.22	3.97	3.43	
	1.48	72.09	0.83	2.72	1.44	3.17	1.77	0.55		4.89		4.01	4.1	4.79	4.97	4.94	
	2.44	0.77	2.26	2.37	1.54	4.57	2.29	2.42		3.87		5.34	4.06	2.77	3.84	3.26	
	1.62	0.67	1.64	5.76	2.4	22.61	1.51	1.39		3.95		4.23	3.12	3.31	3.27	2.49	

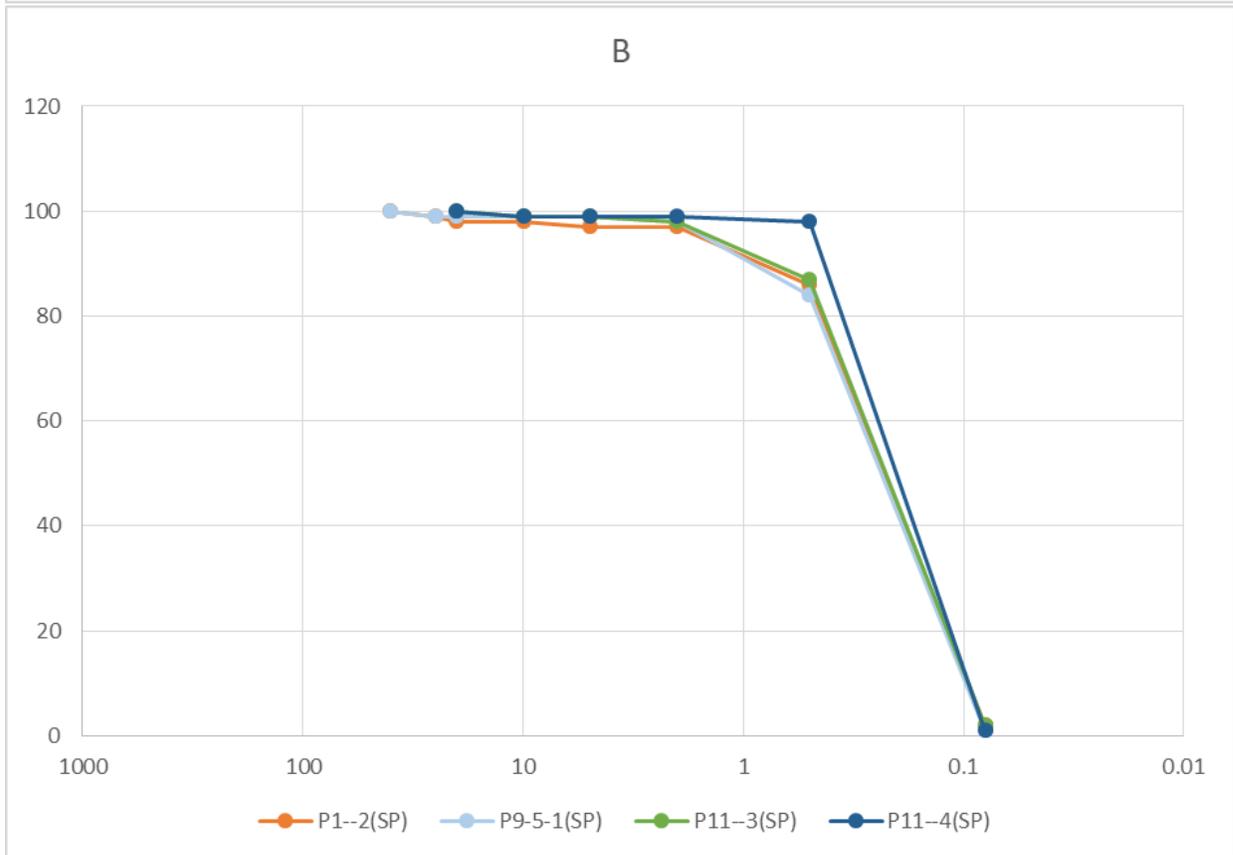
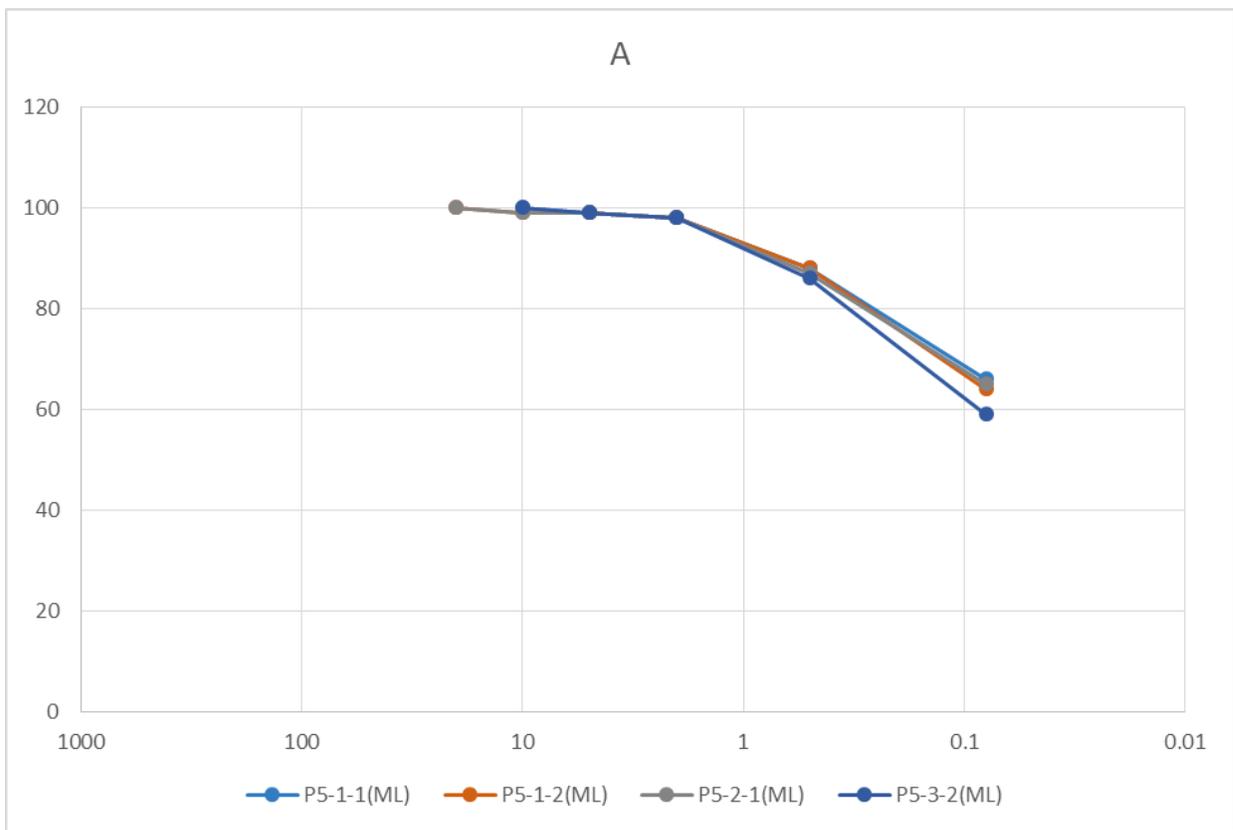
Proyecto	Lote 9B	Lote 9B										
# Proyecto	P15	P15										
Norte	18°29'59.47"S	18°29'57.72"S	18°29'56.52"S	18°29'58.45"S	18°29'56.81"S	18°29'55.45"S	18°29'58.83"S	18°29'57.04"S	18°29'57.04"S	18°29'55.11"S	18°29'54.71"S	
Este	70°17'59.33"O	70°17'59.88"O	70°18'2.12"O	70°17'58.19"O	70°17'59.24"O	70°18'0.80"O	70°18'0.09"O	70°18'2.27"O	70°18'2.27"O	70°18'3.20"O	70°18'1.63"O	
#Calicata		1	2	3	4	5	6	7	8	8	9	10
#Muestra		6		5	5		5		5	6		5
ID MUESTRA	P15-1-6	P15-2-	P15-3-5	P15-4-5	P15-5-	P15-6-5	P15-7-	P15-8-5	P15-8-6	P15-9-	P15-10-5	
Perfil Salino	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.22	8.04
	-		7.14	-	-	4.71	-	-	-	-	6.46	7.19
		2.06	6.88	4.49	53.23	4.73	5.34	9.46		5.17	18.13	4.3
		1.46	8.71	3.76	5.08	5.13	4.6	2.09		5.17	8.25	8.55
		0.77	7.62	8.65	13.51	11.29	3.78	4.78		7.37	-	-
		0.62	32.04	3.88	4.48	5.48	9.58	4.01		100.7	-	-

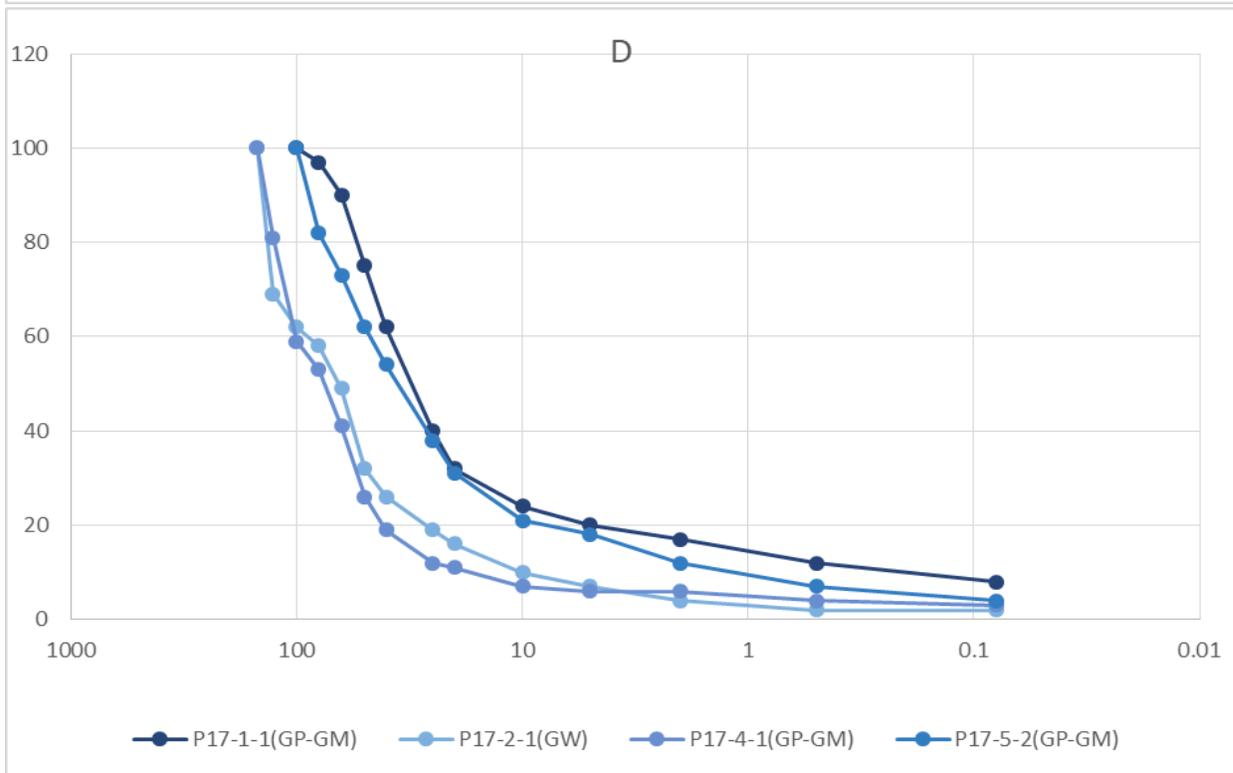
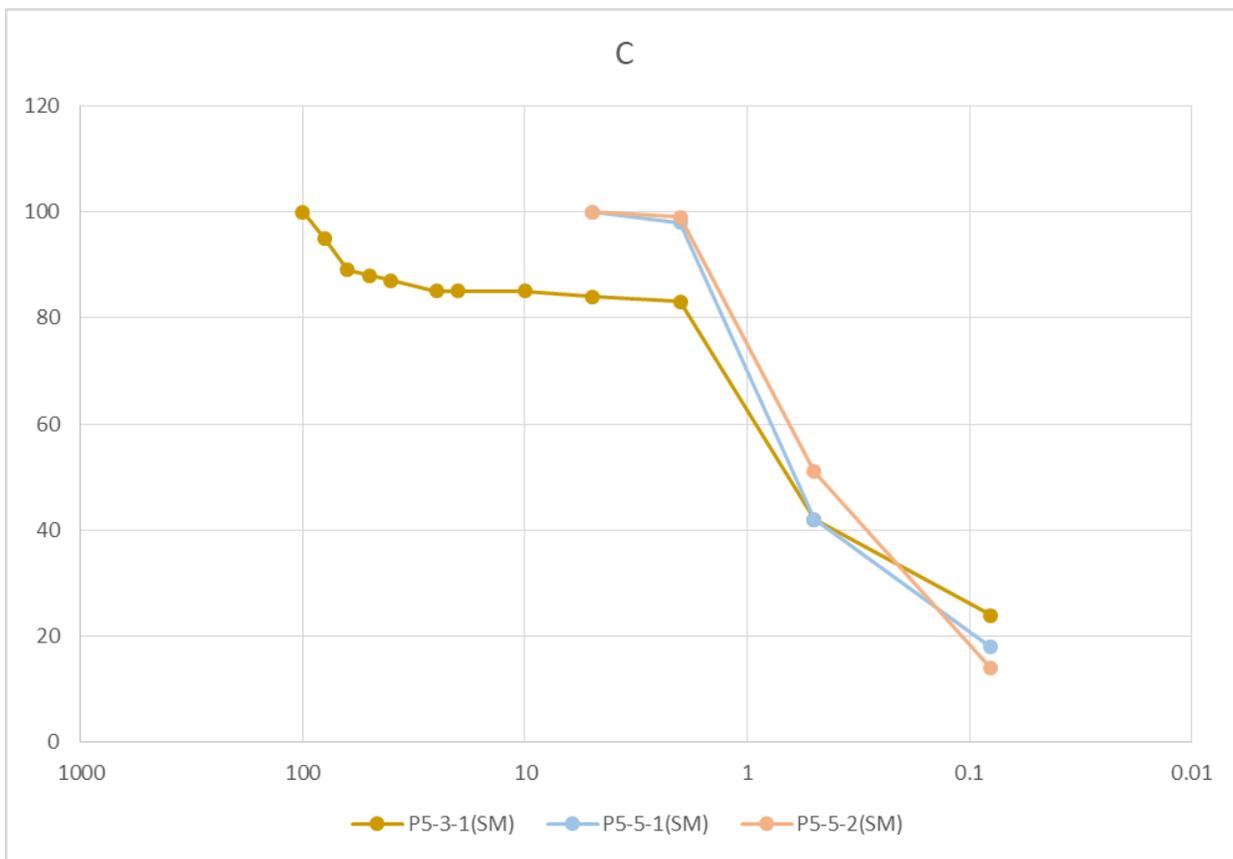
Proyecto	Lote 21	Lote 21	Lote 21	Lote 21										
# Proyecto	P16	P16	P16	P16										
Norte	18°29'54.35"S	18°29'54.35"S	18°29'54.35"S	18°29'54.80"S	18°29'53.05"S	18°29'53.05"S	18°29'53.10"S	18°29'51.85"S	18°29'51.85"S	18°29'51.85"S	18°29'50.32"S			
Este	70°18'8.17"W	70°18'8.17"W	70°18'8.17"W	70°18'6.22"W	70°18'7.56"W	70°18'7.56"W	70°18'6.02"W	70°18'7.02"W	70°18'7.02"W	70°18'7.02"W	70°18'6.79"W			
#Calicata	1	1	1	2	3	3	4	5	5	5	6			
#Muestra	1	2	3	1	1	2	1	1	2	1	1			
ID MUESTRA	P16-1-1	P16-1-2	P16-1-3	P16-2-1	P16-3-1	P16-3-2	P16-4-1	P16-5-1	P16-5-2	P16-5-2	P16-6-1			
Perfil Salino		7.02		5.27		7.28	5.56	3.26			9.33			
		17.47		6.22		6.17	2.86	3.46			9.04			
		7.01		5.53		8.75	3.13	5.77			4			
		7.44		4.89		4.85	4.89	3.86			6.99			

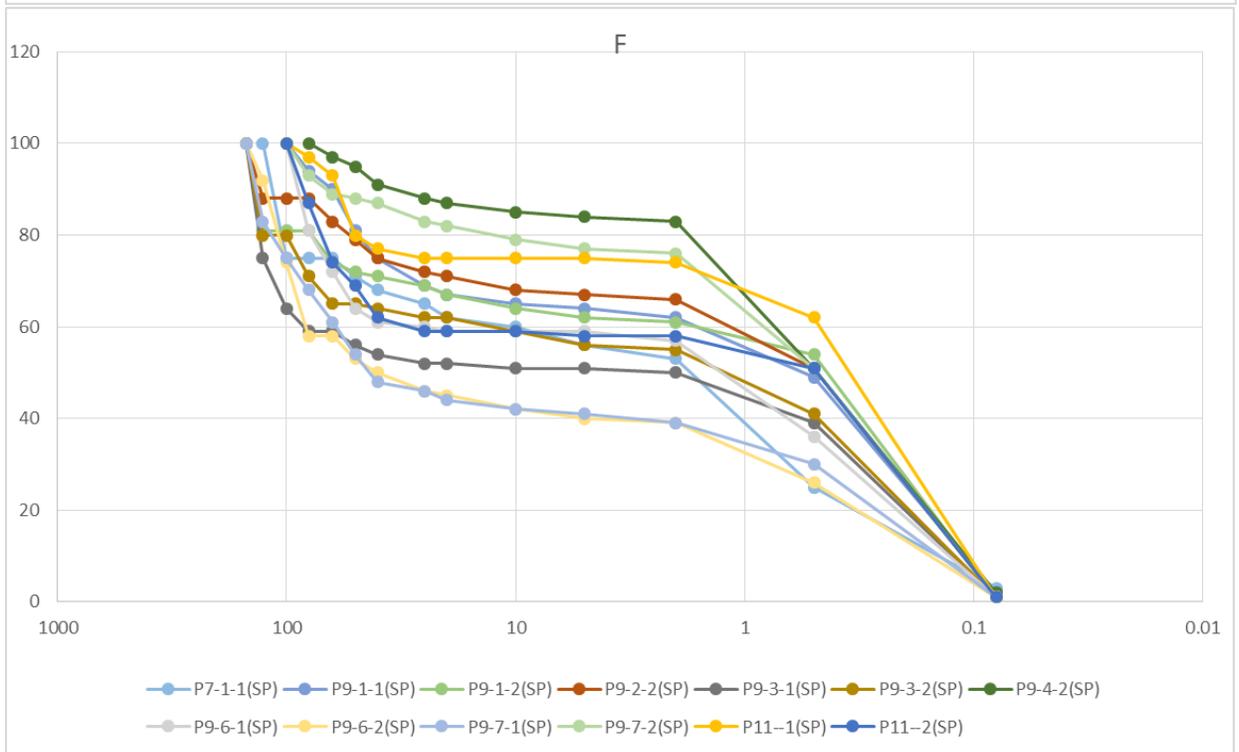
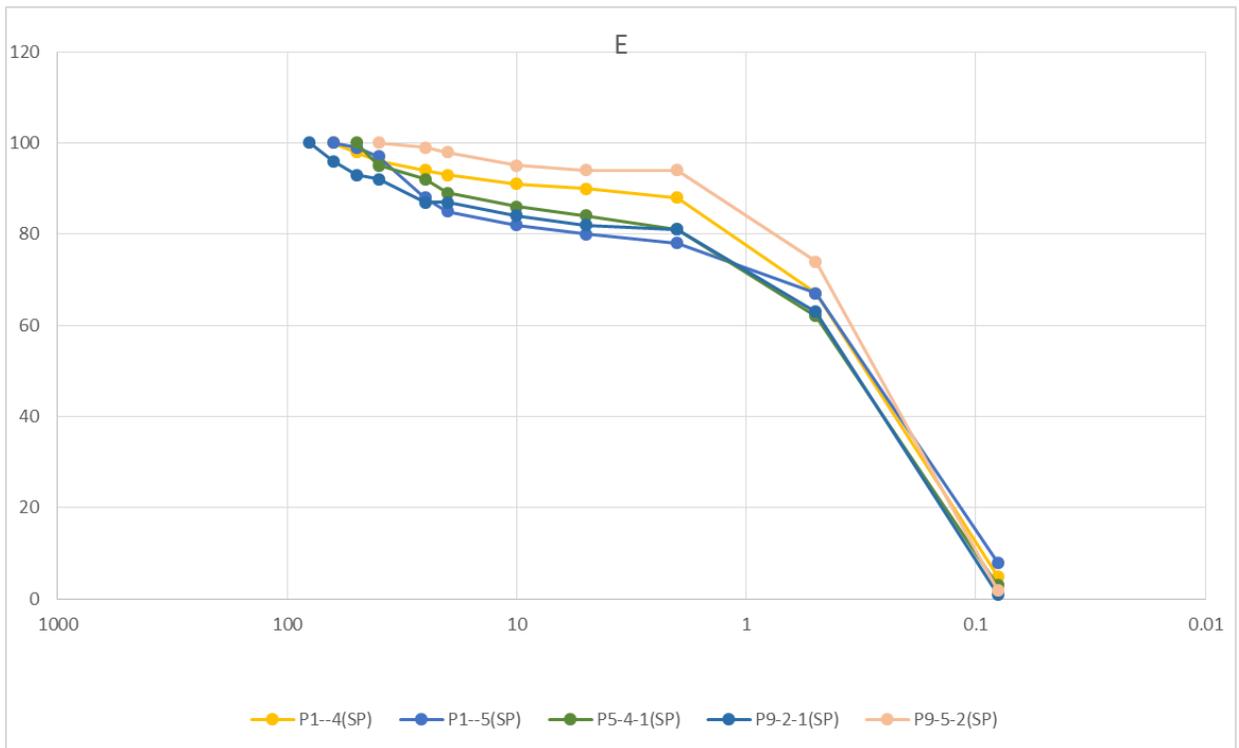
Proyecto	Lote 11	Lote 11													
# Proyecto	P17	P17													
Norte	18°29'49.04"S	18°29'49.04"S	18°29'50.35"S	18°29'51.63"S	18°29'51.63"S	18°29'51.63"S	18°29'52.96"S	18°29'53.29"S	18°29'53.29"S	18°29'51.73"S	18°29'50.79"S	18°29'52.45"S	18°29'52.45"S	18°29'52.45"S	
Este	70°18'4.21"W	70°18'4.21"W	70°18'3.29"W	70°18'2.65"W	70°18'2.65"W	70°18'2.65"W	70°18'1.86"W	70°18'3.99"W	70°18'3.99"W	70°18'4.06"W	70°18'4.97"W	70°18'5.26"W	70°18'5.26"W	70°18'5.26"W	
#Calicata	1	1	2	3	3	3	4	5	5	6	7	8	8	8	
#Muestra	1	2	1	1	2	3	1	1	2	1	1	1	2	3	
ID MUESTRA	P17-1-1	P17-1-2	P17-2-1	P17-3-1	P17-3-2	P17-3-3	P17-4-1	P17-5-1	P17-5-2	P17-6-1	P17-7-1	P17-8-1	P17-8-2	P17-8-3	
Perfil Salino	N.D.		74.09	N.D.		17.86	N.D.	N.D.	N.D.					7.67	
	N.D.		2.6	N.D.		52.54	N.D.	N.D.	N.D.					2.95	
	34.2		139.75	7.47		3.39		1.57	3	2.57				4.46	
	45.48		2.86	21.23		2.19		2.24	10.92	4.28				5.61	
	50.47		N.D.	9.36		N.D.		1.66	18.88	3.76				N.D.	
	69.21		N.D.	2.09		N.D.		2.34	18.68	2.11				N.D.	

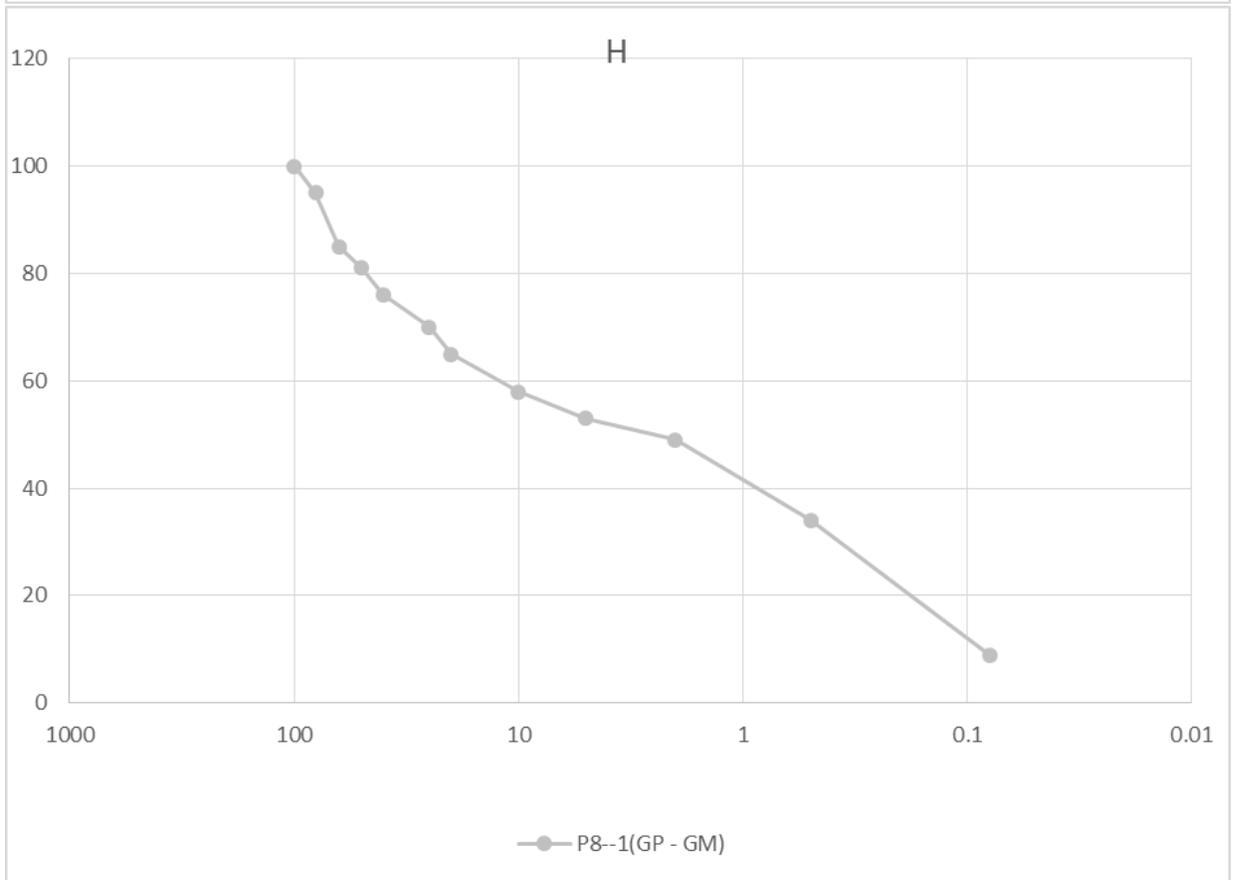
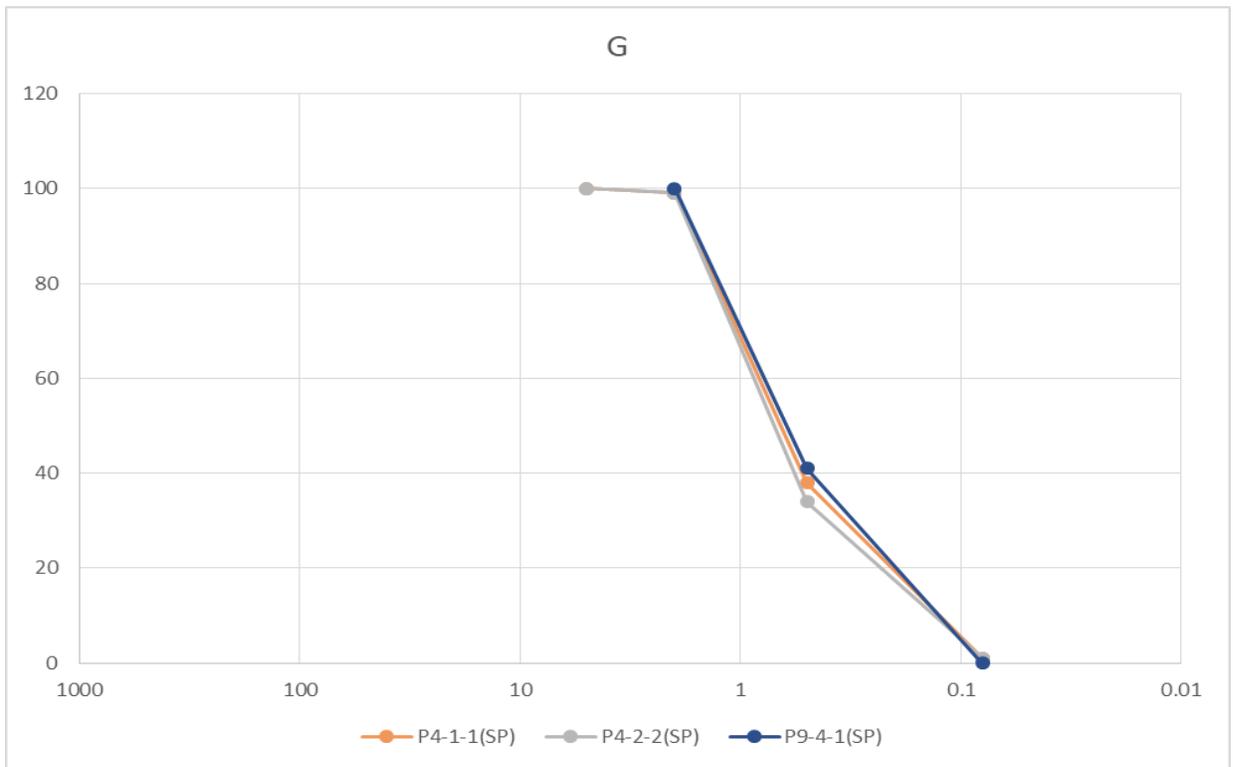
8.3 CURVAS GRANULOMÉTRICAS

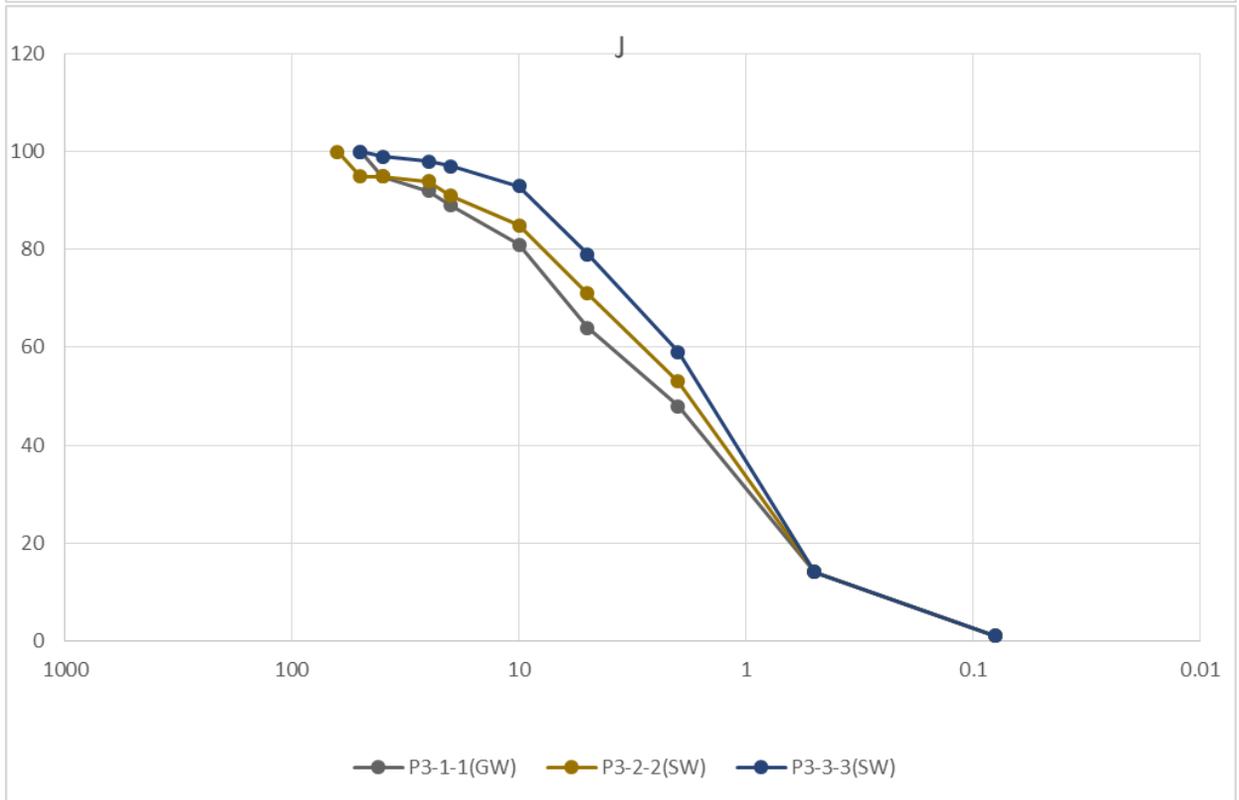
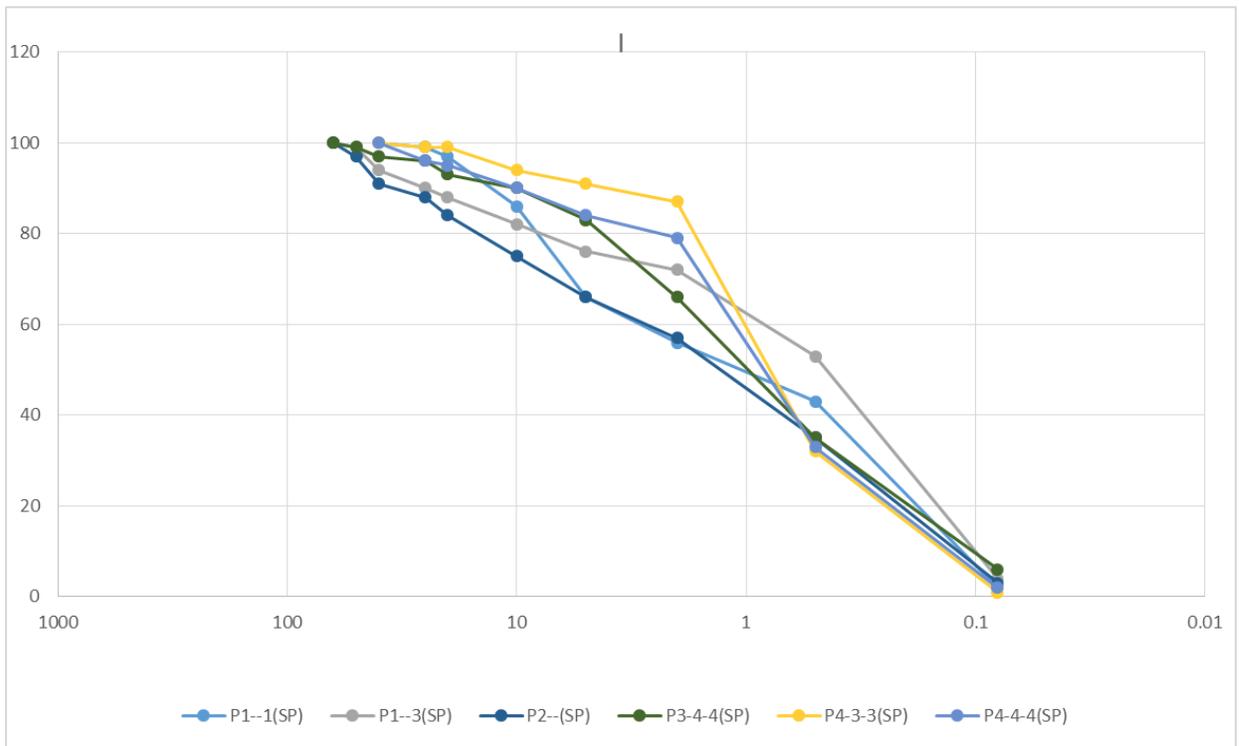


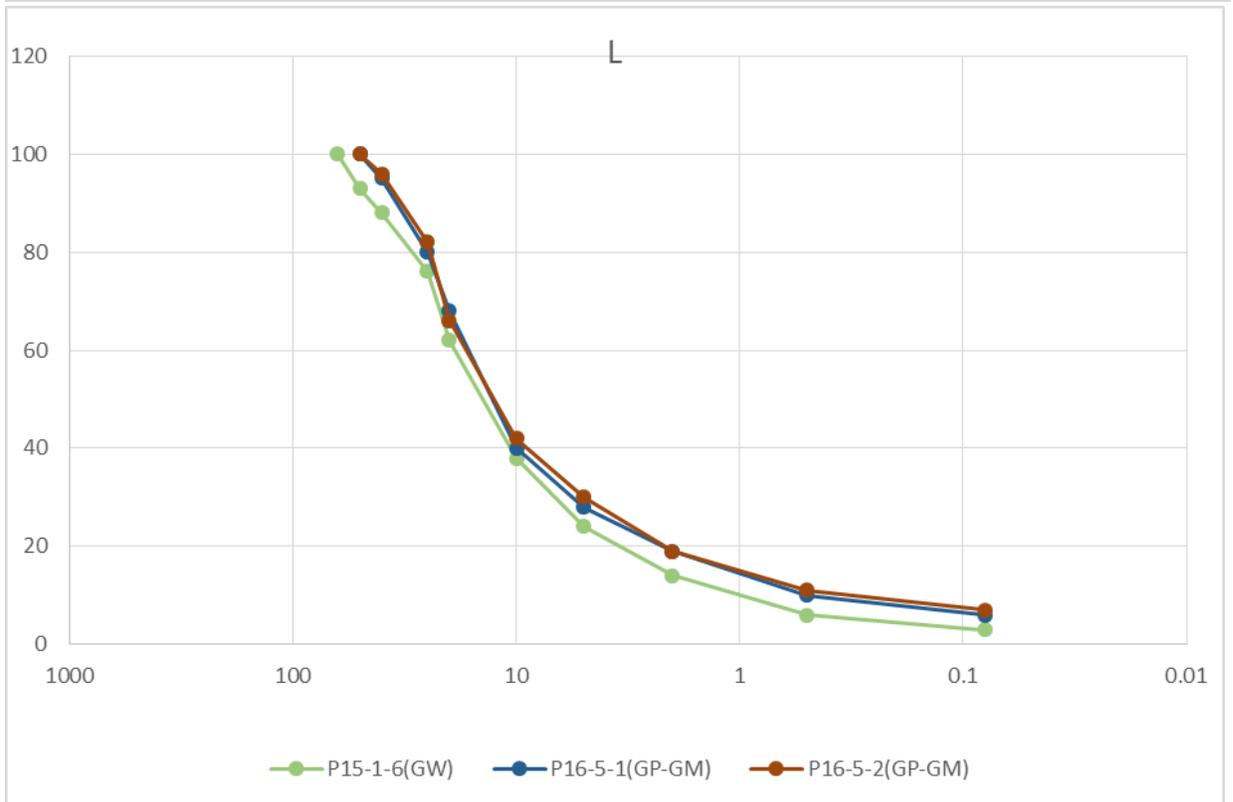
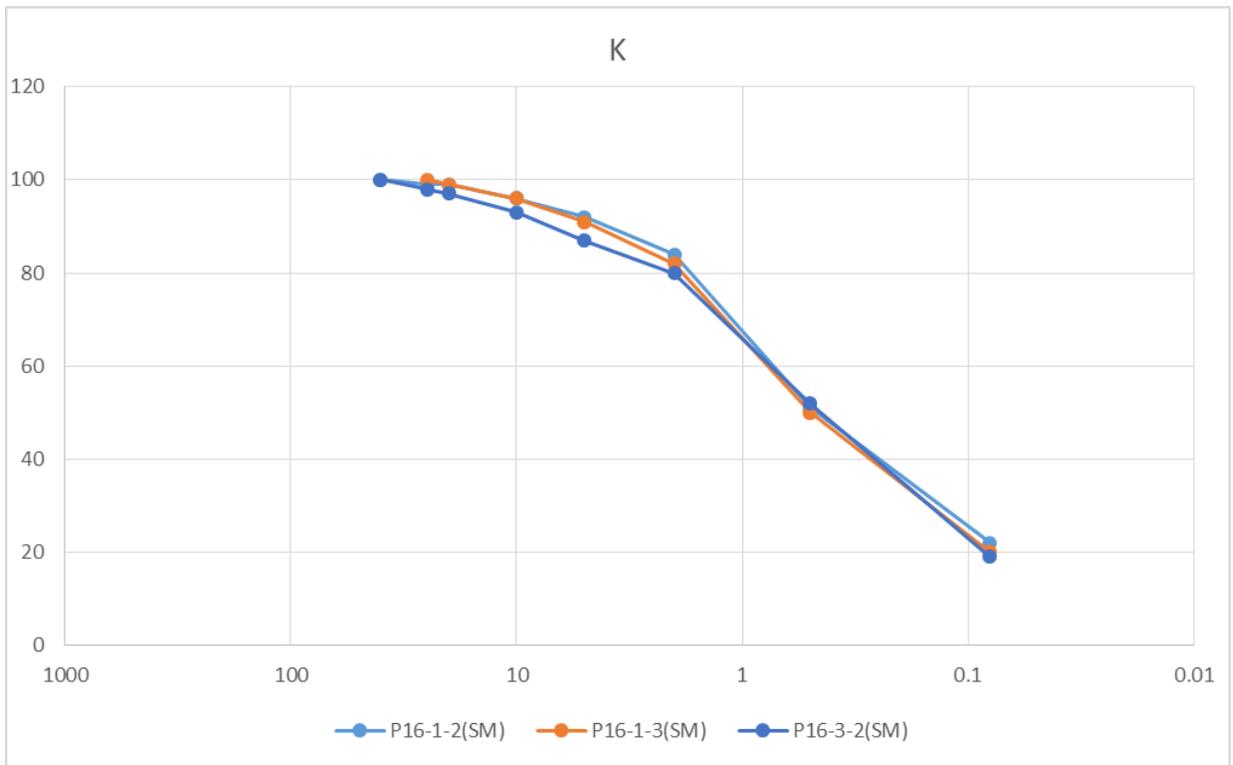


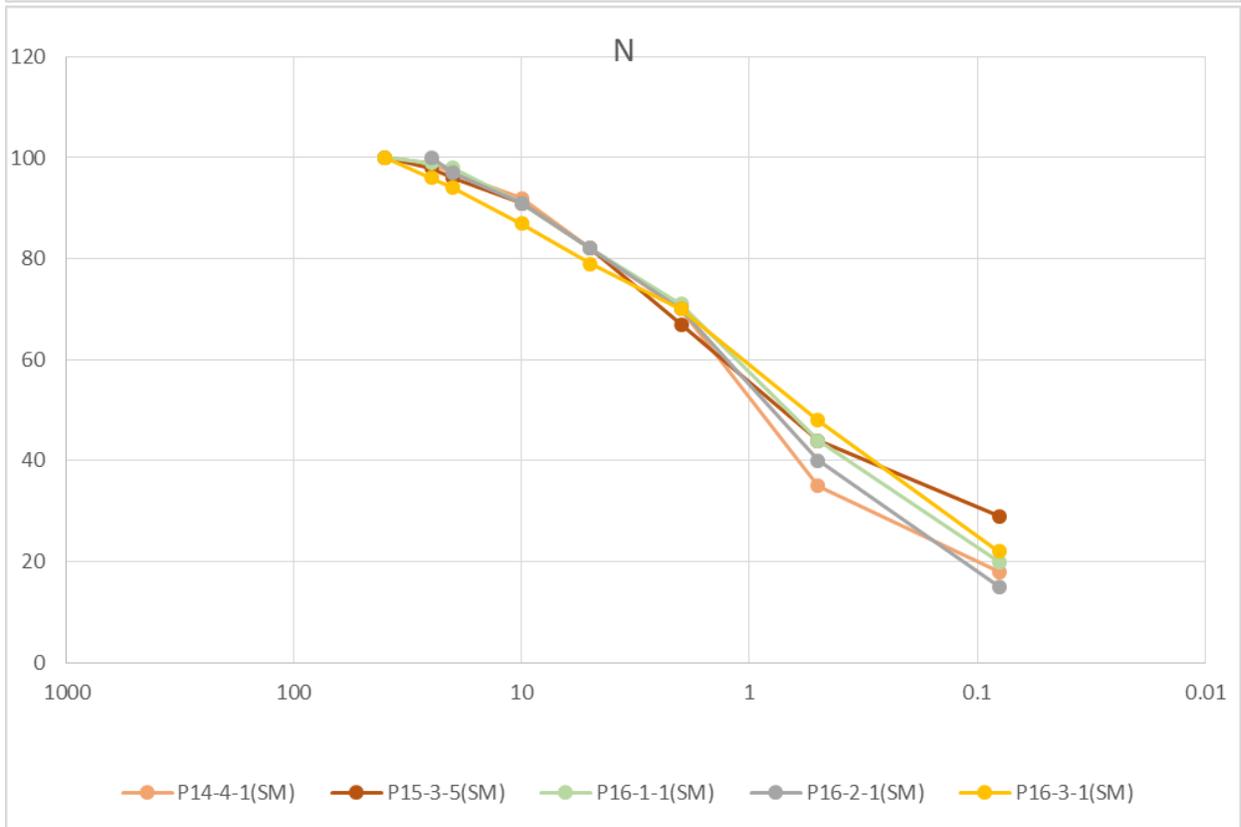
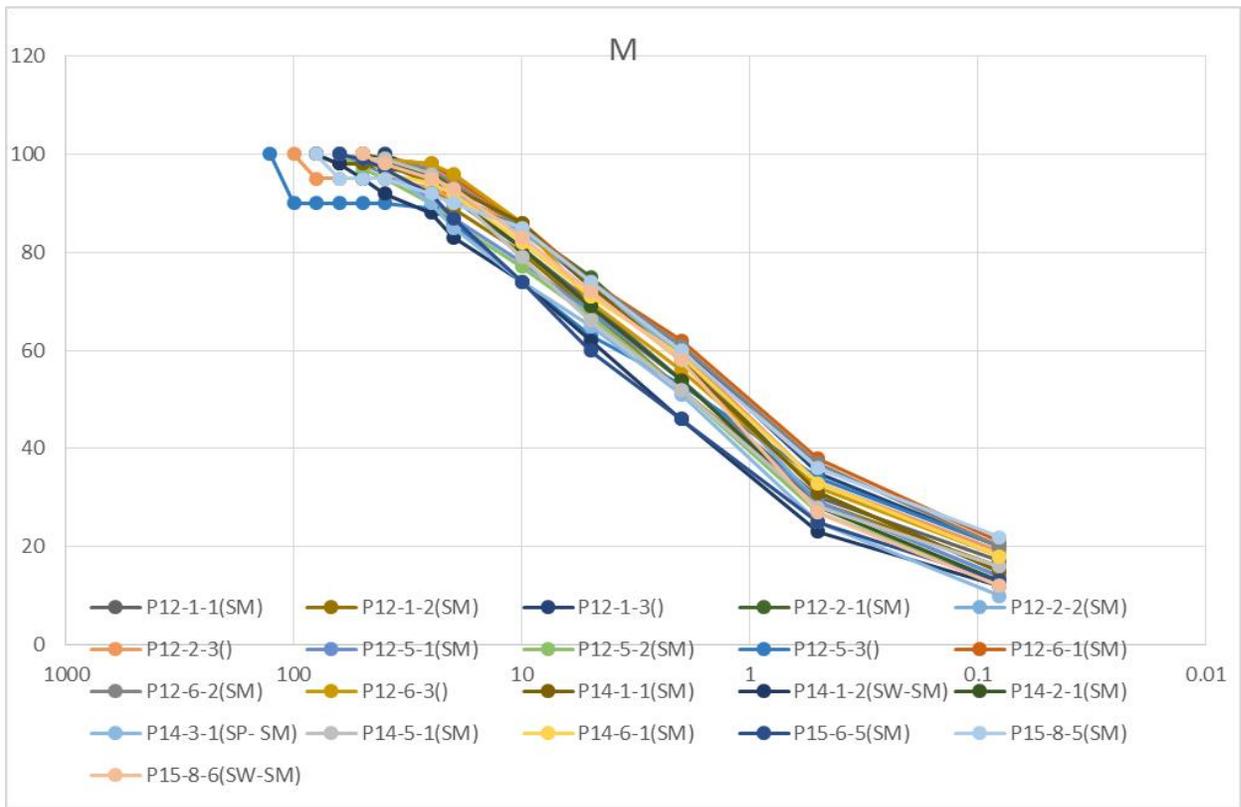


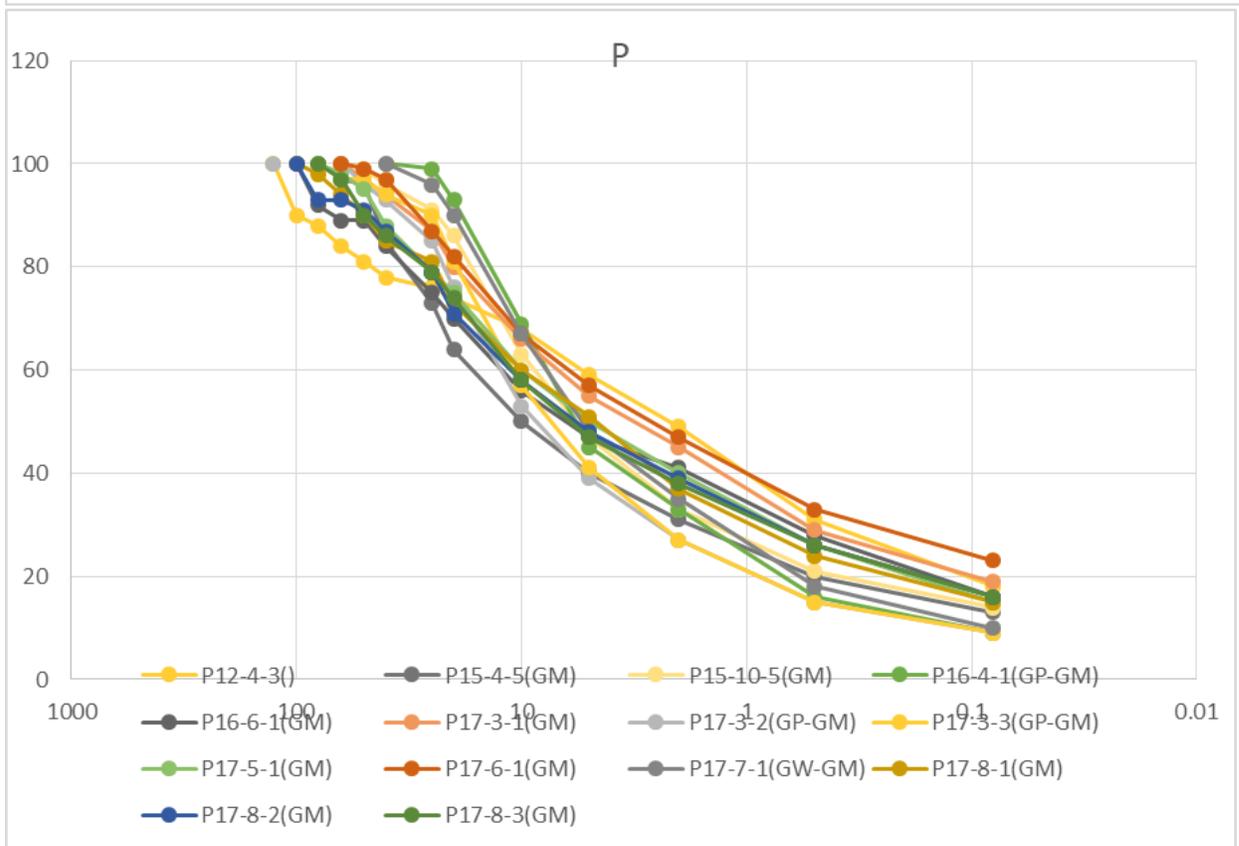
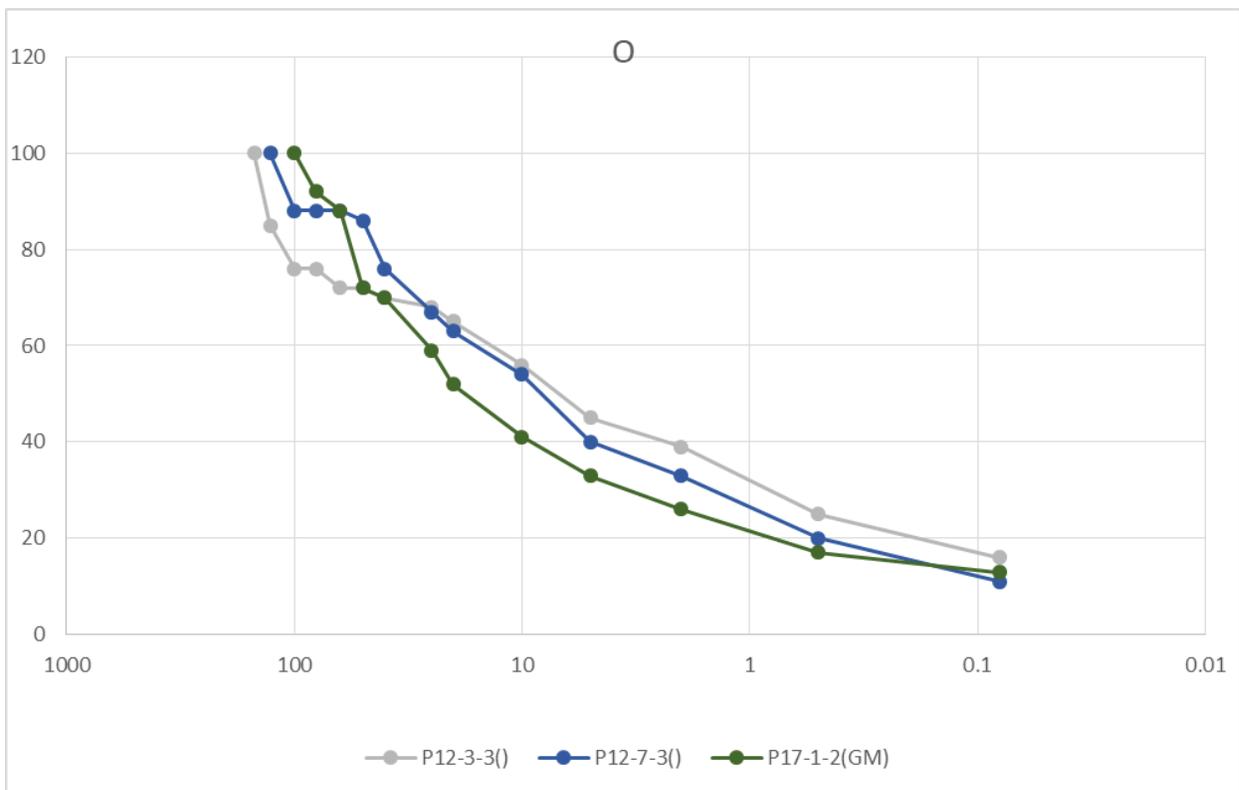


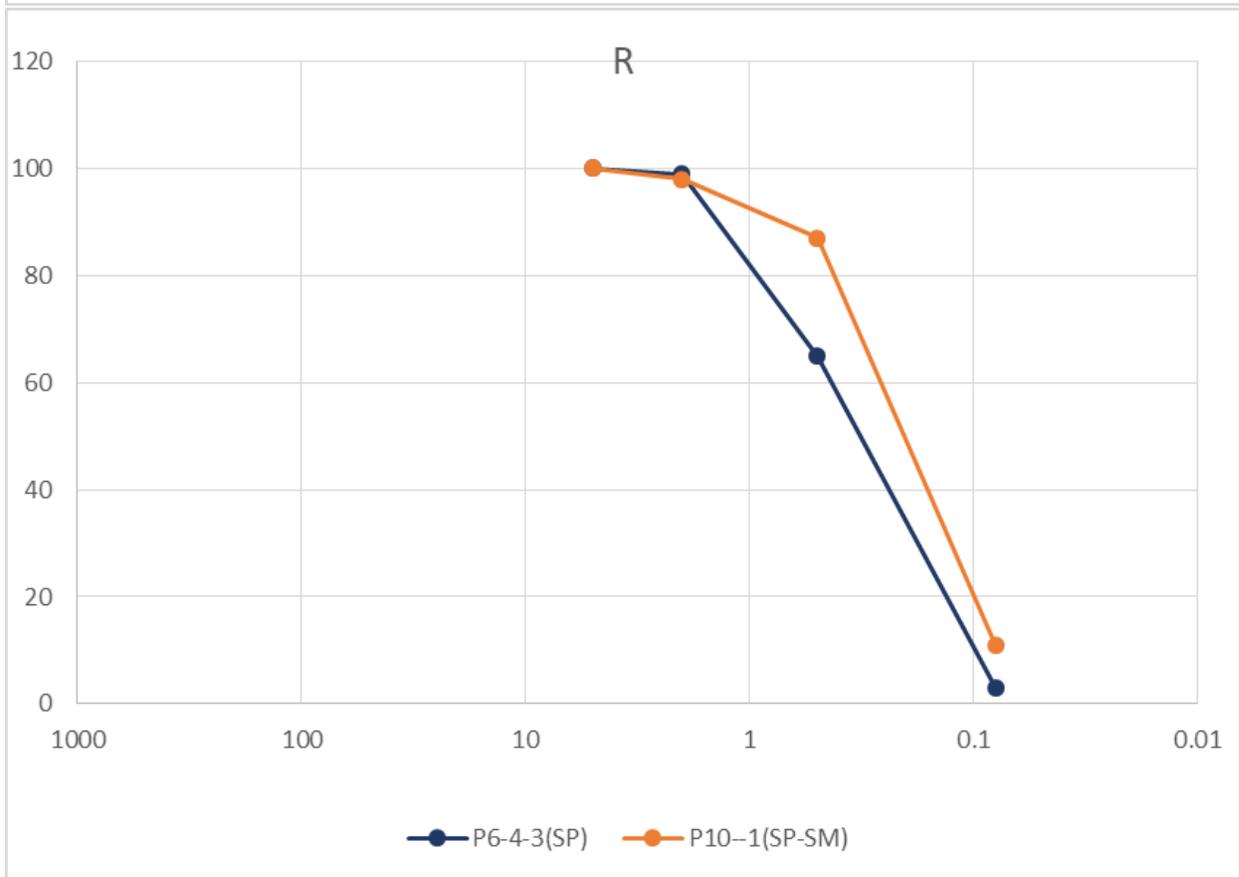
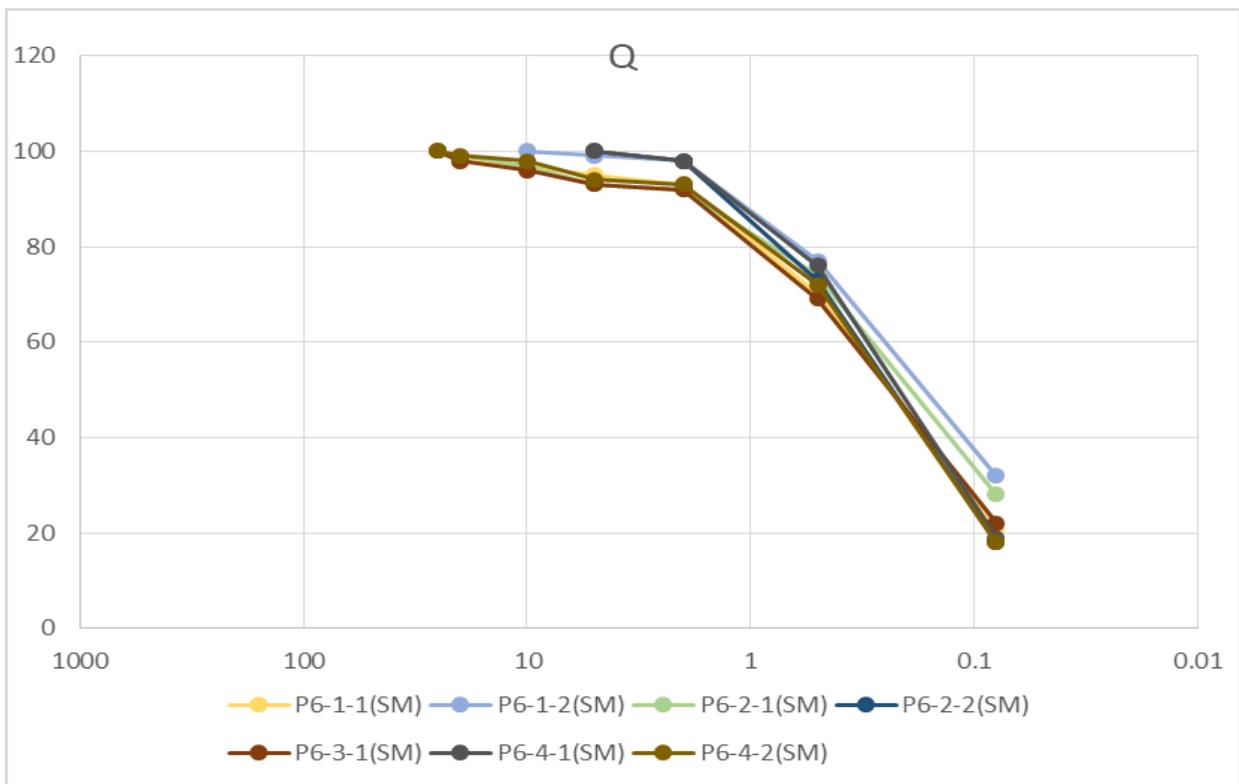












8.4 TABLAS DE DATOS SIG

Muestra		P1--1(SP)	P1--2(SP)	P1--3(SP)	P1--4(SP)	P1--5(SP)		P2--(SP)		P3-1-1(GW)	P3-2-2(SW)	P3-3-3(SW)	P3-4-4(SP)		
Norte		18°26'22.00" S	18°26'22.00" S	18°26'22.00" S	18°26'22.00" S	18°26'22.00" S		18°26'22.00" S		18°24'5.00"S	18°24'5.00"S	18°24'5.00"S	18°24'5.00"S		
Este		70°17'48.00" W	70°17'48.00" W	70°17'48.00" W	70°17'48.00" W	70°17'48.00" W		70°17'45.00" W		70°18'36.00" W	70°18'36.00" W	70°18'36.00" W	70°18'36.00" W		
%Sales Solubles max		0.18	0.41	0.29	0.36	1.48				0.05	0.05	0.05	0.06		
DPS (< ASTM N° 4)										2.684	2.677	2.67	N.D.		
Clasificacion USCS		SP	SP	SP	SP	SP		SP		GW	SW	SW	SP		
Curva Granulométrica		I	B	I	E	E		I		J	J	J	I		
Muestra		P4-1-1(SP)	P4-2-2(SP)	P4-3-3(SP)	P4-4-4(SP)		P5-1-1(ML)	P5-1-2(ML)	P5-2-1(ML)	P5-3-1(SM)	P5-3-2(ML)	P5-4-1(SP)	P5-5-1(SM)	P5-5-2(SM)	
Norte		18°26'26.00" S	18°26'26.00" S	18°26'26.00" S	18°26'26.00" S		18°25'48.00" S								
Este		70°17'46.00" W	70°17'46.00" W	70°17'46.00" W	70°17'46.00" W		70°17'24.00" W								
%Sales Solubles max							2.21	2.259	2.22	2.591	2.242	2.649	2.663	2.688	
DPS (< ASTM N° 4)															
Clasificacion USCS		SP	SP	SP	SP		ML	ML	ML	SM	ML	SP	SM	SM	
Curva Granulométrica		G	G	I	I		A	A	A	C	A	E	C	C	
Muestra		P6-1-1(SM)	P6-1-2(SM)	P6-2-1(SM)	P6-2-2(SM)	P6-3-1(SM)	P6-4-1(SM)	P6-4-2(SM)	P6-4-3(SP)		P7-1-1(SP)		P8--1(GP -		
Norte		18°26'49.50" S	18°26'49.50" S	18°26'48.30" S	18°26'48.30" S	18°26'51.00" S	18°26'49.50" S	18°26'49.50" S	18°26'49.50" S		18°26'27.00" S		18°29'31.00" S		
Este		70°17'2.50" W	70°17'2.50" W	70°17'3.70" W	70°17'3.70" W	70°17'4.00" W	70°17'4.9"W	70°17'4.9"W	70°17'4.9"W		70°17'50.00" W		70°17'52.00" W		
%Sales Solubles max		7.6		10.07	6.09	2.11	5.74	5.81			0.07		0.38		
DPS (< ASTM N° 4)		2.571	2.73	2.564	2.566	2.543	2.565	2.594	2.65				2.735		
Clasificacion USCS		SM	SP		SP		GP - GM								
Curva Granulométrica		Q	R	Q	R	Q	R	Q	R		F		H		
Muestra		P9-1-1(SP)	P9-1-2(SP)	P9-2-1(SP)	P9-2-2(SP)	P9-3-1(SP)	P9-3-2(SP)	P9-4-1(SP)	P9-4-2(SP)	P9-5-1(SP)	P9-5-2(SP)	P9-6-1(SP)	P9-6-2(SP)	P9-7-1(SP)	P9-7-2(SP)
Norte		18°27'39.57" S	18°27'39.57" S	18°27'40.85" S	18°27'40.85" S	18°27'40.83" S	18°27'40.83" S	18°27'42.20" S	18°27'42.20" S	18°27'42.44" S	18°27'42.44" S	18°27'42.90" S	18°27'42.90" S	18°27'43.84" S	18°27'43.84" S
Este		70°18'11.39" W	70°18'11.39" W	70°18'11.81" W	70°18'11.81" W	70°18'13.79" W	70°18'13.79" W	70°18'12.17" W	70°18'12.17" W	70°18'14.18" W	70°18'14.18" W	70°18'12.87" W	70°18'12.87" W	70°18'13.12" W	70°18'13.12" W
%Sales Solubles max		0.27	0.04	0.06	0.06	0.12	0.1	0.07	0.25	0.4	0.27	0.28	0.07	0.13	0.04
DPS (< ASTM N° 4)		2.648	2.678	2.652	2.668	2.665	2.66	2.629	2.694	2.651	2.721	2.669	2.747	2.629	2.683
Clasificacion USCS		SP													
Curva Granulométrica		F	F	E	F	F	F	G	F	B	E	F	F	F	F

Muestra		P10--1(SP-		P11--1(SP)	P11--2(SP)	P11--3(SP)	P11--4(SP)
Norte		18°25'42.00"S		18°26'28.00"S	18°26'28.00"S	18°26'28.00"S	18°26'28.00"S
Este		70°17'17.00"W		70°17'53.00"W	70°17'53.00"W	70°17'53.00"W	70°17'53.00"W
%Sales Solubles max		4.43		0.15	0.28	0.16	0.14
DPS (< ASTM N° 4)				2.894	2.79	2.802	2.756
Clasificacion USCS		SP-SM		SP	SP	SP	SP
Curva Granulométrica		B		F	F	B	B

Muestra		P12-1-1(SM)	P12-1-2(SM)	P12-1-3()	P12-2-1(SM)	P12-2-2(SM)	P12-2-3()	P12-3-3()	P12-4-3()	P12-5-1(SM)	P12-5-2(SM)	P12-5-3()	P12-6-1(SM)	P12-6-2(SM)	P12-6-3()	P12-7-3()
Norte		18°30'3.74"S	18°30'3.74"S	18°30'3.74"S	18°30'4.67"S	18°30'4.67"S	18°30'4.67"S	18°30'5.59"S	18°30'6.50"S	18°30'7.06"S	18°30'7.06"S	18°30'7.06"S	18°30'5.31"S	18°30'5.31"S	18°30'5.31"S	18°30'3.83"S
Este		70°18'11.74"W	70°18'11.74"W	70°18'11.74"W	70°18'11.79"W	70°18'11.79"W	70°18'11.79"W	70°18'11.61"W	70°18'11.87"W	70°18'13.42"W	70°18'13.42"W	70°18'13.42"W	70°18'13.67"W	70°18'13.67"W	70°18'13.67"W	70°18'13.87"W
%Sales Solubles max				5.33			12.26	7.76	7.24			4.29			2.89	12.42
DPS (< ASTM N° 4)		N.S.	2.781		N.S.	2.799				N.S.	2.784		N.S.	2.778		
Clasificacion USCS		SM	SM		SM	SM				SM	SM		SM	SM		
Curva Granulométrica		M	M	M	M	M	M	O	P	M	M	M	M	M	M	O

Muestra		P13-1-()	P13-2-()	P13-3-()	P13-4-()	P13-5-()	P13-6-()	P13-7-()	P13-8-()
Norte		18°29'7.216" S	18°29'7.69"S	18°29'8.212"S	18°29'9.29"S	18°29'8.257"S	18°29'10.352'	18°29'9.86"S	18°29'9.314"S
Este		70°18'40.133'	70°18'39.11"	70°18'39.396'	70°18'38.483'	70°18'37.437'	70°18'37.792'	70°18'37.059'	70°18'36.245"
%Sales Solubles max		4.21	72.09	2.26	5.76	2.4	22.61	3.12	2.42
DPS (< ASTM N° 4)									
Clasificacion USCS									
Curva Granulométrica									

Muestra		P14-1-1(SM)	P14-1-2(SW-SM)	P14-2-1(SM)	P14-3-1(SP- SM)	P14-4-1(SM)	P14-5-1(SM)	P14-6-1(SM)
Norte		18°29'2.08"S	18°29'2.08"S	18°29'2.66"S	18°29'6.53"S	18°26'36.29"S	18°27'46.16"S	18°27'38.48"S
Este		70°18'46.53"C	70°18'46.53"O	70°18'45.22"C	70°18'56.48"O	70°17'12.72"C	70°17'3.86"O	70°17'9.76"O
%Sales Solubles max		4.89		6.54	4.1	4.79	4.97	4.94
DPS (< ASTM N° 4)		2.652	2.642	2.699	2.651	2.643	2.661	2.672
Clasificacion USCS		SM	SW-SM	SM	SP- SM	SM	SM	SM
Curva Granulométrica		M	M	M	M	N	M	M

Muestra		P15-1-6(GW)	P15-2-()	P15-3-5(SM)	P15-4-5(GM)	P15-5-()	P15-6-5(SM)	P15-7-()	P15-8-5(SM)	P15-8-6(SW-	P15-9-()	P15-10-
Norte		18°29'59.47"S	18°29'57.72"S	18°29'56.52"S	18°29'58.45"S	18°29'56.81"S	18°29'55.45"S	18°29'58.83"S	18°29'57.04"S	18°29'57.04"S	18°29'55.11"S	18°29'54.71"S
Este		70°17'59.33"C	70°17'59.88"C	70°18'2.12"O	70°17'58.19"C	70°17'59.24"C	70°18'0.80"O	70°18'0.09"O	70°18'2.27"O	70°18'2.27"O	70°18'3.20"O	70°18'1.63"O
%Sales Solubles max		2.06	32.04	8.65	53.23	11.29	9.58	9.46		100.7	18.13	8.55
DPS (< ASTM N° 4)		2.737		2.749	2.832		2.85		2.746	2.714		2.723
Clasificacion USCS		GW		SM	GM		SM		SM	SW-SM		GM
Curva Granulométrica		L		N	P		M		M	M		P

Muestra		P16-1-1(SM)	P16-1-2(SM)	P16-1-3(SM)	P16-2-1(SM)	P16-3-1(SM)	P16-3-2(SM)	P16-4-1(GP-	P16-5-1(GP-	P16-5-2(GP-	P16-6-1(GM)
Norte		18°29'54.35"S	18°29'54.35"S	18°29'54.35"S	18°29'54.80"S	18°29'53.05"S	18°29'53.05"S	18°29'53.10"S	18°29'51.85"S	18°29'51.85"S	18°29'50.32"S
Este		70°18'8.17"W	70°18'8.17"W	70°18'8.17"W	70°18'6.22"W	70°18'7.56"W	70°18'7.56"W	70°18'6.02"W	70°18'7.02"W	70°18'7.02"W	70°18'6.79"W
%Sales Solubles max			17.47		6.22		8.75	5.56	5.77		9.33
DPS (< ASTM N° 4)		2,716	2,723	2,736	2,721	2,754	2,758	2,722	2,766	2,797	2,734
Clasificacion USCS		SM	SM	SM	SM	SM	SM	GP-GM	GP-GM	GP-GM	GM
Curva Granulométrica		N	K	K	N	N	K	P	L	L	P

Muestra		P17-1-1(GP-	P17-1-2(GM)	P17-2-1(GW)	P17-3-1(GM)	P17-3-2(GP-	P17-3-3(GP-	P17-4-1(GP-	P17-5-1(GM)	P17-5-2(GP-	P17-6-1(GM)	P17-7-1(GW-	P17-8-1(GM)	P17-8-2(GM)	P17-8-3(GM)
Norte		18°29'49.04"S	18°29'49.04"S	18°29'50.35"S	18°29'51.63"S	18°29'51.63"S	18°29'51.63"S	18°29'52.96"S	18°29'53.29"S	18°29'53.29"S	18°29'51.73"S	18°29'50.79"S	18°29'52.45"S	18°29'52.45"S	18°29'52.45"S
Este		70°18'4.21"W	70°18'4.21"W	70°18'3.29"W	70°18'2.65"W	70°18'2.65"W	70°18'2.65"W	70°18'1.86"W	70°18'3.99"W	70°18'3.99"W	70°18'4.06"W	70°18'4.97"W	70°18'5.26"W	70°18'5.26"W	70°18'5.26"W
%Sales Solubles max		69.21		139.75	21.23			52.54		2.34	18.88	4.28			7.67
DPS (< ASTM N° 4)		2.884	2.843	2.790	2.850	2.858	2.843	2.829	2.917	2.862	2.856	2.779	2.856	2.847	2.846
Clasificacion USCS		GP-GM	GM	GW	GM	GP-GM	GP-GM	GP-GM	GM	GP-GM	GM	GW-GM	GM	GM	GM
Curva Granulométrica		D	O	D	P	P	P	D	P	D	P	P	P	P	P