

SUELOS SALINOS DEL NORTE DE CHILE

PARTE I ORIGEN, DISTRIBUCION Y CARACTERISTICAS DE LOS DEPOSITOS

Pedro Acevedo Moyano
Universidad de Chile
pacevedo@ing.uchile.cl

Claudio Foncea Navarro
Universidad de Chile
cfoncea@ing.uchile.cl

Roberto Olgúin Pizarro
Universidad de Chile
rolquin@ing.uchile.cl

RESUMEN

La formación de los depósitos salinos del Norte de Chile está condicionada por características geomorfológicas, hidrogeológicas y climáticas. El conocimiento de la génesis de estos depósitos y su distribución en franjas permite comprender y diferenciar las características de estos suelos y su comportamiento frente a movilidad salina y cambios de humedad que se manifiestan como problemas de asentamientos y corrosión.

1. INTRODUCCION

El territorio chileno, entre los paralelos 17°30 S y 27° S presenta depósitos salinos (principalmente cloruros, sulfatos, carbonatos y nitratos) que se alinean preferentemente en dirección Norte Sur como resultado de las barreras desarrolladas a lo largo de la historia geológica por acción de la Placa de Nazca en un área desértica de activa evaporación con aportes de flujos de agua efímeros y caudales reducidos.

El principal origen de estas sales proviene de la invasión del agua de mar a las depresiones centrales (figura 1), la que al quedar embalsada, después de la retirada del mar y de la acción tectónica, precipitó sus sales por evaporación. Las rocas existentes y las nuevas rocas sedimentarias marinas, al emerger continentalmente, quedaron expuestas a la activa meteorización salina (activada principalmente por el yeso) que al disgregar estas rocas, liberó variados tipos de sales. Fuenzalida (ref.1), plantea la hipótesis de la formación de los nitratos en la atmósfera altiplánica, donde intensas y sistemáticas descargas eléctricas permitieron la formación de estos compuestos que luego fueron depositados al alcanzar las cuencas cerradas del poniente de la Cordillera de la Costa.

El transporte de las sales entre cuencas y microcuencas se produce por cursos de aguas superficiales y subterráneas (paleoquebradas) que transportan las sales más solubles (cloruros) y, en menor grado los sulfatos a zonas depresionarias o paleocuencas, excepto para el río Loa que, venciendo las dificultades a través de un largo recorrido, logra alcanzar el océano.

V Congreso Chileno de Ingeniería Geotécnica

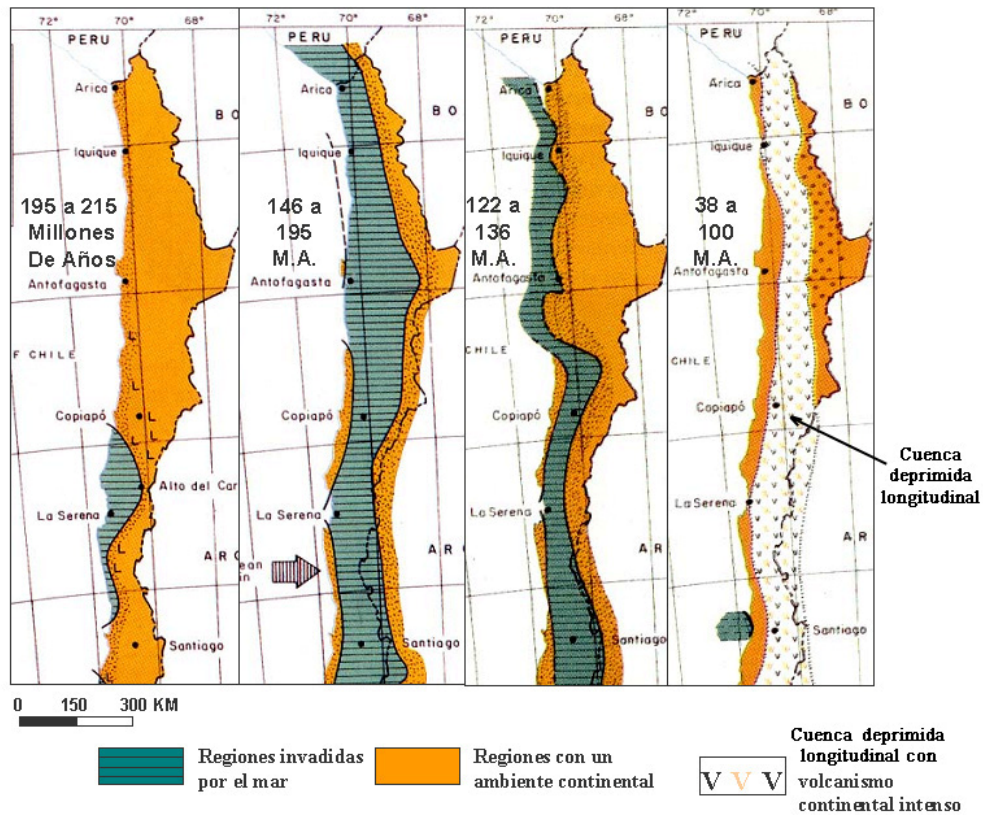


Fig.1 Avances y Regresiones del Mar (según Corvalan & Hervé)

2. GENESIS Y DISTRIBUCION

La geomorfología del norte de Chile es el resultado de una cadena de eventos geológicos que incluyeron intensa actividad tectónica, magmática y sísmica. Estos procesos se iniciaron con la formación de rocas paleozoicas que configuraron la Cordillera de la Costa con intensa actividad volcánica, seguidas por la formación de la Cordillera de Los Andes y las cuencas Preandinas (figura 2). A continuación se produjeron procesos de sedimentación en un mar superficial que invadió la actual depresión central, junto a un solevamiento de la Cordillera de la Costa con la materialización de una franja de depósitos de nitratos como se indica en figura 3. En el Cuaternario ocurrieron ingresos y regresiones marinas con depositación de fósiles y calcáreos y, en el Cuaternario Reciente, reactivación de erosión con depositaciones y desarrollo de la planicie costera con conos de deyección que contienen sales propias y marinas.

Durante el Período Jurásico se inició el cambio de depositación marina a continental con abundancia, en esta última etapa, de sedimentos de anhidrita y yeso. En el Cuaternario, se desarrolló una franja de cuencas cerradas donde grandes lagos de aguas salinas activados por condiciones climáticas que produjeron evaporación intensa, llevaron a la concentración y depositación de los suelos salinos y evaporitas actualmente existentes.

V Congreso Chileno de Ingeniería Geotécnica

Siendo que la mayor parte de los centros urbanos se ubican en el litoral marítimo, estas ciudades se encuentran en mayor o menor grado sobre subsuelos con diferentes contenidos de sales, muchas veces con costras salinas, cuya génesis se asocia tanto a las aguas salobres de las quebradas costeras que descienden de las laderas de la Cordillera de la Costa, como a la depositación de sales por ascenso capilar de napas de elevada salinidad.

Este proceso de generación de costras salinas se produce a poca profundidad por infiltración de las aguas salinas expuestas a intensa evaporación, pudiendo adquirir mayor espesor por ascenso capilar o por nuevos aportes de aguas salinas, que al encontrar un piso relativamente impermeable para escurrimientos débiles y efímeros, no logran disolverlas, terminando en cambio por depositar más sales con el aumento consiguiente de sus espesores.

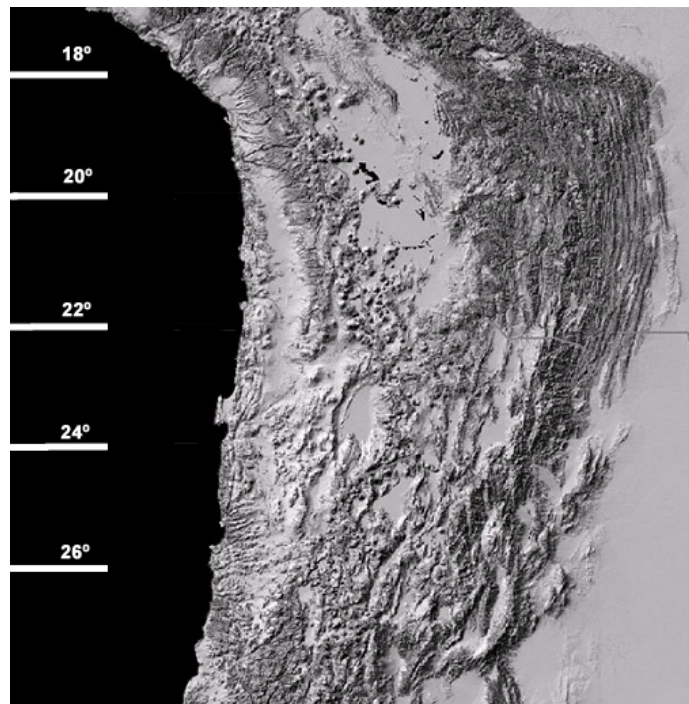


Fig. 2. Geomorfología de Cuencas Cerradas del Norte de Chile

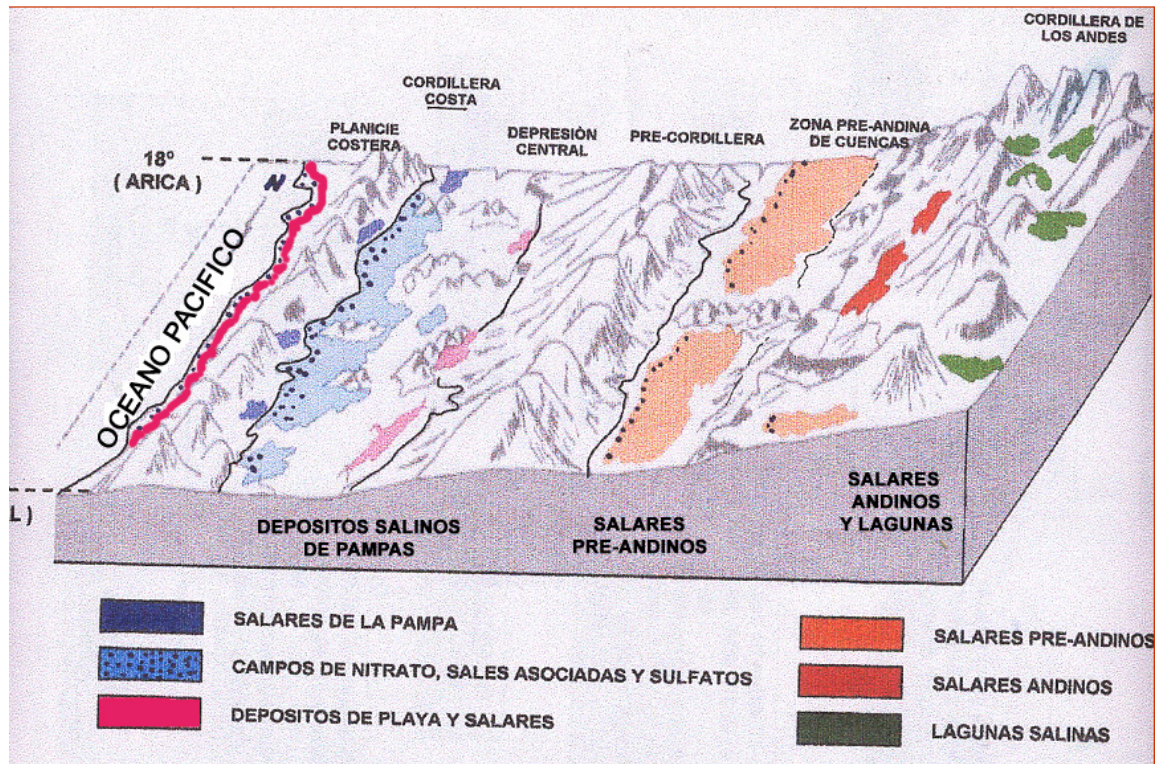


Fig. 3 Distribución de Franjas de Distribución de Suelos Salinos (según Tamblay)

3. SUELOS SALINOS EN INGENIERIA

El equilibrio existente en las áreas del norte de Chile es alterado con la llegada del hombre con su necesidad de manipular agua para diferentes usos. Riego de jardines, pérdidas en redes de agua potable y alcantarillado, procesos industriales y mineros, condensación acentuada de la humedad ambiente son, entre otros, factores desencadenantes de desequilibrios que se manifiestan principalmente como asentamientos por disolución de sales y daños por corrosión en el hormigón y las armaduras (Figura 4).

Los tipos de sales que por sus efectos interesan en orden de importancia en obras civiles son los grupos cloruros, sulfatos y carbonatos.

Las sales del grupo cloruros tienden a acumularse en áreas relativamente planas y de paleocuevas y corresponden a las sales que, frente a flujos de agua, se disuelven más rápidamente y por ello son la principal causa de asentamientos y agrietamientos de estructuras y pavimentos. A diferencia del grupo cloruros, los sulfatos actúan predominantemente por expansión como agentes meteorizantes durante su cristalización.

En el grupo sulfatos predomina el yeso, CaSO_4 . Este compuesto, una vez que reblandece por el aumento de humedad, se comporta como moderadamente

V Congreso Chileno de Ingeniería Geotécnica

soluble, se expande y actúa con elevado poder corrosivo. La acción de hinchamiento del yeso actúa sobre estructuras y en particular sobre los ladrillos (eflorescencia), así como sobre las diaclasas (acelerando el proceso de disgregación de rocas y muros, conocida como disgregación salina). La meteorización salina que afecta a rocas, gravas y arenas en la naturaleza y a hormigones y ladrillos en obras civiles se debe a un proceso de alteración física y química (hidratación, cristalización y expansión).

Se acentúa esta meteorización en zonas continentales cuando participa conjuntamente el hielo. La acción meteorizante del yeso se hace más efectiva en ciclos de temperatura variable y elevados niveles de humedad nocturna y es un factor de importancia en la disgregación de rocas graníticas y volcánicas. Empíricamente se ha comprobado que humedades ambientales por debajo de 15% no suministran suficiente electrolitos para producir corrosión.

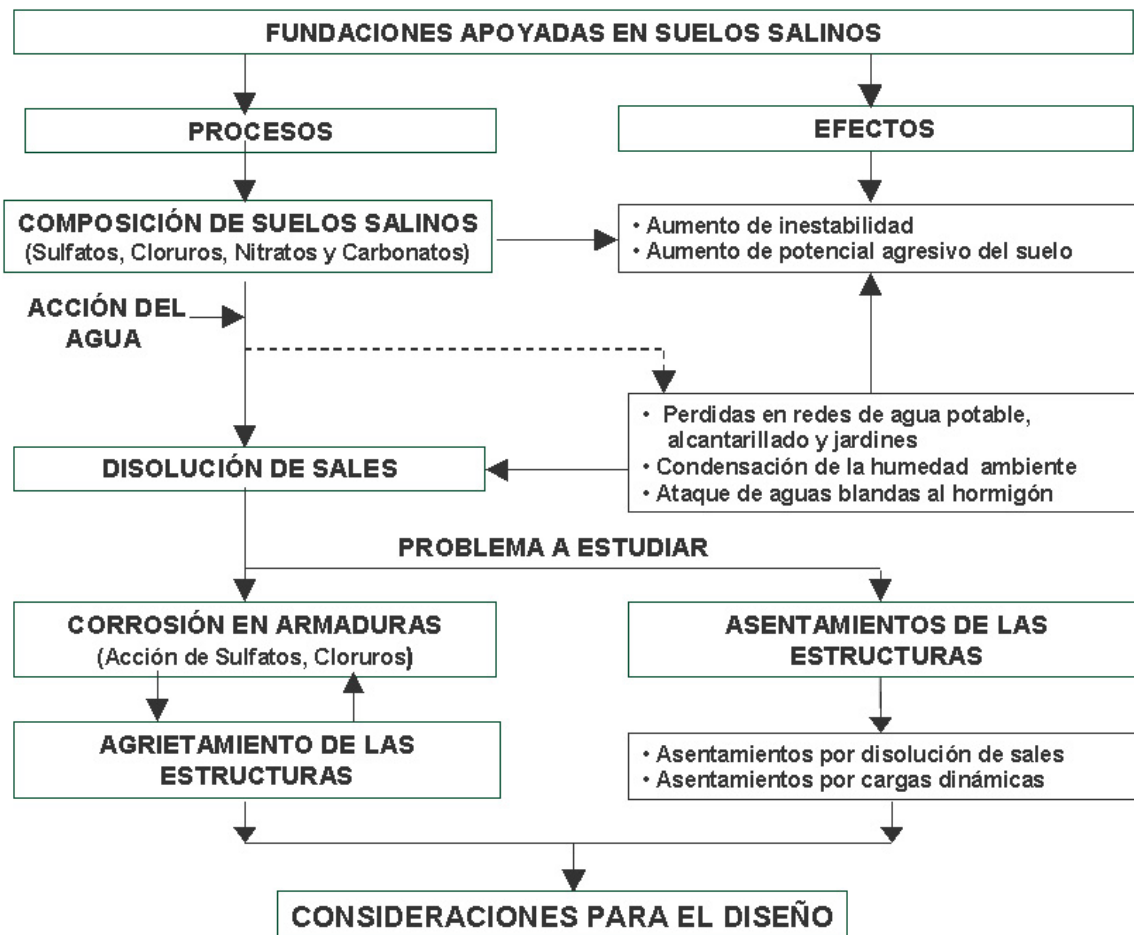


Fig. 4 Problemas de Fundaciones Apoyadas en Suelos Salinos

V Congreso Chileno de Ingeniería Geotécnica

Por otra parte, los carbonatos, desde un punto de vista geotécnico, al presentar dificultades para su disolución, no constituyen por lo general problemas de asentamientos de fundaciones en el corto plazo.

Una discusión y análisis de las propiedades químicas de las distintas sales solubles constituyentes de estos depósitos se expone en la Parte II de este trabajo.

4. CLASIFICACION DE LOS SUELOS SALINOS

Una clasificación asociada a las propiedades de ingeniería es de fundamental importancia para el desarrollo del conocimiento de los suelos salinos. Esta clasificación requiere de parámetros cuantificables a través de ensayos de laboratorio y terreno, que constituyen el centro de atención de las Partes II y III de este trabajo.

En el estudio de suelos salinos, el tipo de depositación confiere a los depósitos características diferentes entre sí y básicamente distantes de los suelos sedimentarios sin sales. Estas diferencias incluyen variaciones de fábrica y estructura, mineralogía y distribución de las sales; además cada uno de estos tipos se asocia a características hidrogeológicas, cuyos efectos diferenciados les confieren propiedades características, asociadas al tipo de depositación.

Los depósitos salinos (figura 3) se pueden clasificar de acuerdo al tipo de depositación en los siguientes grupos:

- (a) lagos de agua salada secos (Gran Salar de Atacama)
- (b) lagos subterráneos (Pampa del Tamarugal) (figura 5)
- (c) depósitos de nitratos
- (d) rellenos coluviales/aluviales (ver curva de salinidad en Parte III)
- (e) lentes arenosos eólicos
- (f) depósitos marinos
- (g) rocas sedimentarias
- (h) depositaciones salinas sobre rocas y en diaclasas.

En el primer grupo, se distinguen los salares o depósitos de evaporitas de los lagos salados, porque en los primeros, más del 50% del volumen total de la cuenca corresponde a sales cristalizadas, mientras que en los lagos, el mayor porcentaje corresponde a líquido con elevado contenido de sales.

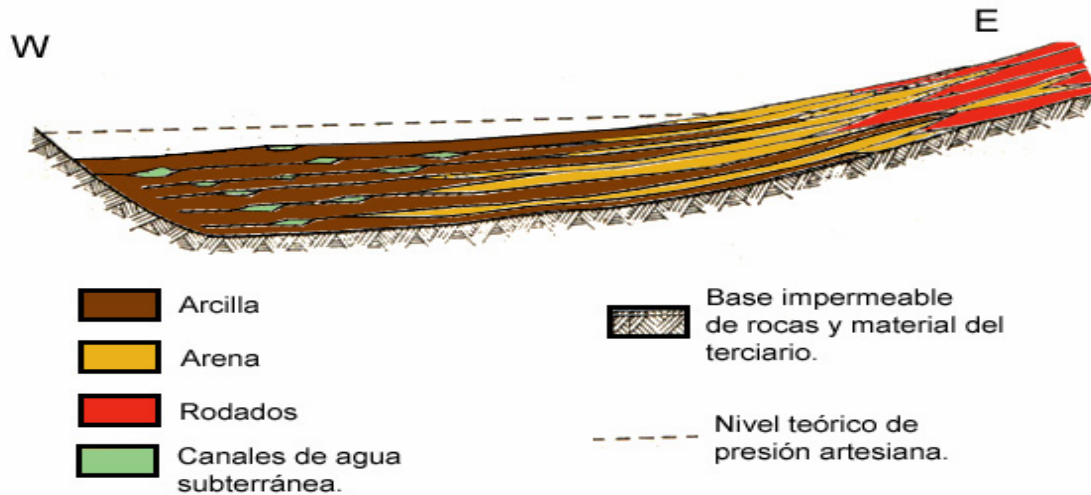


Fig. 5 Depósitos de Lagos Subterráneos. Pampa del Tamarugal (según Brüggén)

Lo que interesa en los problemas de ingeniería es la estabilidad de las propiedades que los suelos tienen en su condición natural actualmente existente. Por tanto, la clasificación debe orientarse a los parámetros índices que controlan las variaciones que el proceso de saturación y las condiciones que los flujos inducen en la degradación del módulo de deformación y eventual colapso de estos suelos. Es necesario destacar que esta degradación y colapso dependen de las condiciones ambientales, que definen la movilidad de las sales a través de la inclinación de las quebradas superficiales y de los contactos con las rocas disconformes, así como de los caudales de los acuíferos.

Se requiere determinar en laboratorio el porcentaje y tipo de sales que el suelo contiene y su variación en profundidad que se denomina curva de salinidad (ver Parte III). Se hace necesario también definir nuevas metodologías para obtener estos parámetros.

5. CONCLUSIONES

5.1 De la Génesis y Distribución

- 1) Los suelos salinos se presentan en las Regiones I, II y III del norte de Chile con características diferenciadas en su ubicación en planta, así como en profundidad donde el perfil o curva de salinidad natural adquiere importancia. Estas diferencias dependen tanto de la solubilidad de cada tipo de sal, sus condiciones de depositación y concentración, como de geomorfología, hidrogeología y condiciones ambientales.
- 2) Es posible diferenciar ocho tipos principales de depósitos de suelos salinos de acuerdo al proceso de depositación. Sin embargo, las informaciones geotécnicas existentes que están asociadas al subsuelo de centros poblaciones y mineros, solo permiten una mejor diferenciación de las características de los depósitos propios de esos lugares. En el litoral se ha reconocido la existencia de sales en profundidad

V Congreso Chileno de Ingeniería Geotécnica

con costras relativamente superficiales, de salinidad superior a 15%, que disminuye hasta anularse a profundidades de 3 a 4 m. En cambio, en los depósitos de micro cuencas cerradas, la depositación conlleva mayores espesores de suelos salinos y mayor concentración de sales sin necesariamente incluir la existencia de costras localizadas.

- 3) La meteorización salina, definida como la disgregación física y química de rocas existentes, es también una fuente de incorporación creciente de sales naturales.
- 4) En la formación geológica de los depósitos salinos, el agua natural del norte de Chile con sus características efímeras y de escaso caudal ha disuelto y transportado sales en su movimiento transversal según el grado de solubilidad de éstas. Es por esto que los cloruros se han desplazado aguas abajo hasta encontrar barreras de flujo, donde se terminan concentrando, en tanto que los carbonatos aparecen prácticamente en su distribución inicial sin concentraciones por disolución. Los sulfatos se ubican a este respecto en una situación intermedia.
- 5) En el litoral, en cambio, la concentración de sales se logra básicamente por movimiento subvertical de las sales solubles (infiltración subvertical y acción capilar) donde la propia costra en formación sirve de piso a infiltraciones de flujos superficiales. Por consiguiente, los cloruros depositados pueden provenir tanto de aguas superficiales, como del ascenso capilar de aguas almacenadas en paleocuenas.
- 6) Todo lo anterior indica que no es válido extrapolar los resultados del estudio de una zona del litoral a una micro cuenca cerrada.

5.2. De sus Efectos en Ingeniería

- (a) El equilibrio natural geológico existente en las zonas desérticas se rompe con la incorporación de aguas asociadas a viviendas y minería produciendo asentamientos y corrosión. La corrosión se activa solo en ambientes de humedades relativas superiores a 15%, las que se presentan naturalmente en el litoral activado por la camanchaca.
- (b) Los mayores asentamientos que pueden sufrir las estructuras se asocian a la disolución rápida del grupo cloruros. La corrosión sobre las estructuras proviene principalmente de los cloruros y sulfatos, siendo el yeso del grupo sulfatos el más perjudicial por su potencial hinchamiento activando la cristalización meteorizante que actúa sobre hormigones y ladrillos (eflorescencia), y además sobre las rocas diaclasadas liberando nuevas sales.
- (c) Los mayores problemas geotécnicos se asocian a rellenos artificiales de suelos salinos donde la salinidad se encuentra dispersa en el suelo y el agua al escurrir vertical y lateralmente con mucha facilidad degrada drásticamente la rigidez del suelo en los distintos niveles de profundidad desencadenando elevados asentamientos e intensa corrosión.
- (d) Hay depósitos naturales como en Chuquicamata y El Salvador, donde el problema central no es necesariamente de asentamientos sino de corrosión e hinchamiento asociados, estos últimos, a depositaciones de yeso. Por ubicarse en la ladera occidental de la Cordillera de Los Andes, el drenaje de los cauces llevó a la disolución y transporte de los cloruros a sectores más distantes limitados por barreras topográficas naturales, depositando en cambio en estas zonas de laderas e inicio de cuencas, estos depósitos de sulfatos con predominancia de yeso.

V Congreso Chileno de Ingeniería Geotécnica

- (e) Hay que hacer notar que las sales que mantienen saturada el agua en los casos de cuencas cerradas y microcuencas, donde no hay posibilidad de movimiento transversal de aguas superficiales y subsuperficiales, no generarán los mismos problemas de asentamientos que tienen depósitos de cuencas o microcuencas abiertas.

REFERENCIAS

1. Fuenzalida, Humberto, (2004). Comunicación personal
2. Skorin, Antonio, (1971). "Efecto de los Suelos Salinos sobre Estructuras" Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile.
3. Tamblay, Guillermo, (1983), "Comportamiento de Fundaciones Apoyadas en Suelos Salinos" Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile.
4. Corvalán, José y Hervé, Francisco, (1982), "Chile – Esencia y Revolución" Instituto de Estudios Regionales. Universidad de Chile
5. Thomas, N. A., (1970), "Carta Geológica de Chile. Cuadrángulo de Iquique y Caleta Molle", IIG N^{os} 21 y 22
6. Brügger, Carlos, (1951), "Geología"
7. Erickssen, George, (1963), "Geology of the Salt Deposits and the Salt Industry of Northern Chile"
8. Petrukhin, V.P., (1993), "Construction of Structures on Saline Soils"