

## **ESTUDIOS BÁSICOS PARA EL DIQUE JUME ESQUINA**

### **INFORME FINAL**

### **GEOMORFOLOGÍA, GEOLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA.**

#### **III.- GEOMORFOLOGÍA, GEOLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA.**

##### **III.1.- Sistema de los Saladillos de Huyamampa**

Los objetivos del presente estudio son la evaluación del comportamiento hidrológico del Sistema de los Saladillos de Huyamampa y de la influencia que tendrían sobre el embalse proyectado de Jume Esquina, el cual se encuentra aguas abajo del escurrimiento natural de los saladillos. Se identifican como principales evacuadores del escurrimiento superficial a los arroyos La Overa y La Verde, los cuales desaguan en el Río La Guardia hacia el río Salado, atravesando la depresión de Jume Esquina.

Para el estudio de las características de los Saladillos de Huyamampa se efectuó un diagnóstico geológico, geomorfológico e hidrológico de los sistemas de escurrimiento de la depresión en la que se encuentran y de su entorno. Los mapas temáticos han sido desarrollados a una escala 1:250.000 con su correspondiente memoria descriptiva, abarcando los siguientes aspectos:

- 1) Geomorfología y Geología.
- 2) Hidrología superficial y clima (escurrimiento, isohietas)
- 3) Hidrología subterránea (isofreática, geoquímica)

### **III.1.1. Geomorfología y Geología**

#### **III.1.1.1 Geología**

Para el estudio geológico del área de la depresión de los saladillos se realizó una interpretación de las imágenes satelitarias y de las fotografías aéreas disponibles. La interpretación consistió en la observación de sectores homogéneos que se vinculan a eventos geológicos de origen similar y que están representados por los materiales característicos de dichos eventos. Como tarea inicial se definieron los sustratos geológicos más antiguos que condicionaron la distribución de las unidades geológicas subsiguientes. También se consideraron los elementos estructurales que dichos sustratos poseen ya que son un factor determinante en la geometría de los escurrimientos superficiales.

Complementariamente se revisaron las perforaciones que contaban con una adecuada descripción y que pudieron ser vinculadas a las diferentes unidades geológicas.

Los trabajos de campo consistieron en un reconocimiento de las unidades identificadas mediante la fotointerpretación a la que se agregó la ejecución de perforaciones exploratorias, sondeos, freaticimetría, prospección geoeléctrica, ensayos de permeabilidad y caracterización fisicoquímica de las aguas y de los sedimentos.

##### **III.1.1.1.1 Antecedentes**

La información disponible sobre la geología del área de estudio es muy variada. Uno de los problemas que presenta la región es que las formaciones geológicas su-

perficiales han sido enmascaradas por los depósitos de loess relacionados con los cambios climáticos ocurridos en el Cuaternario. La neotectónica modificó sensiblemente los sistemas de escurrimiento de la región produciendo fallas paralelas de rumbo Norte - Sur, que sobreelevan la llanura formando flexuras que se reflejan en la presencia de dorsales como las de Pozo Hondo y, más hacia el este, la de Girardet-Sachayoj. La expresión superficial de estas flexuras está representada en la provincia de Santiago del Estero por los braquianticlinales de cerro Remate y cerro Cantero. En estos cerros es posible observar los afloramientos geológicos del Terciario Superior.

Los antecedentes de estudios más antiguos dentro de la región se remontan a fines del siglo pasado, entre los que se destaca el de Doering (1891), quien menciona las características geológicas de la región de Río Hondo y da una hipótesis respecto a la génesis y composición de las aguas termales.

En el estudio efectuado por Hércules Corti (1918) sobre “Las Aguas de Termas de Río Hondo”, se refiere a los afloramientos de areniscas coloradas en las márgenes del río Dulce como una prolongación de la Sierra de Guasayán hacia el Norte.

Ricardo Stappenbeck (1912) en su trabajo “Estudios Geológicos e Hidrogeológicos en la zona subandina de las provincias de Salta y Tucumán” realiza una descripción sobre la orografía e hidrografía, clima, vegetación y geología de la zona del cerro Remate y cerro Cantero como así también de los ríos Urueña y Horcones.

Roberto Beder (1928) en el trabajo “La Sierra de Guasayán y sus alrededores” describe en un perfil geológico los sedimentos aflorantes en las márgenes del río

Dulce en Santiago del Estero, aguas abajo de Termas de Río Hondo, a los que considera pertenecientes al Terciario Subandino.

Augusto Tapia (1935) en su trabajo “Pilco Mayo; Contribución al conocimiento de las llanuras argentinas”, se refiere al Cuaternario de la región.

Atilio Battaglia (1982) en la descripción de la hoja geológica de la región se refiere a los sedimentos del río Dulce, asignándoles el nombre de Formación Las Cañas, a los que describe como “conglomerados limolíticos y limoarcillosos, pardo rojizos que afloran también en la Cortadera y al NO de la Sierra de Guasayán”. La presencia de un banco de toba, coronando la formación Las Cañas, en los afloramientos de las barrancas del río Dulce, abre la posibilidad de correlacionarla con el Araucanense, que corresponde al Plioceno Medio.

Acumulaciones de sedimentos similares se han observado en las barrancas del río Dulce, al sur de la depresión de los saladillos, donde se distinguen debajo de una capa de loess, depósitos de limos pardo rojizos bastantes consolidados, intercalados con bancos de arcillita de color chocolate. En dichos sedimentos se intercalan capas delgadas de arena y areniscas, no faltando niveles de gravilla mezclados con rodados de hasta 5 centímetros de diámetro. Un banco de ceniza volcánica blanca vítrea, bastante endurecida, conteniendo a menudo hojuelas de mica negra, que tiene alrededor de un metro y medio de espesor, corona los depósitos de dichas barrancas.

Según Collantes (1983), la misma secuencia que la descrita por Battaglia (1982) se observa en la margen izquierda del arroyo Las Tinajas, 5 Km al sur de Las Termas de Río Hondo. El espesor es variable y se encuentra afectada por erosión

hídrica. La superficie de los niveles arcillosos presenta grietas de disección. Esta autora también menciona que en las barrancas del Río Dulce (proximidades del Dique Los Quiroga), se pueden observar limos arenosos de color pardo rojizo y arcillas del mismo color, que son cubiertos discordantemente por loes. El contacto basal es posible observarlo sólo en la margen izquierda del Arroyo Las Tinajas, donde suprayacen mediante discordancias a limolitas arenosas de color pardo rojizo de la Formación Las Cañas. Por las evidencias que brinda la posición estratigráfica y sus caracteres litológicos estima que estos depósitos corresponderían a sedimentos de origen lacustre del Pleistoceno Superior (Cf. Tapia, 1935).

#### **III.1.1.1.2 Ambiente geológico**

La región de las Lagunas Saladas pertenece al ambiente geológico de la Llanura Chaqueña, limitada al oeste por las Sierras Subandinas de Salta y Tucumán y al este por la Mesopotamia. La secuencia geológica de la Llanura Chaqueña se encuentra expuesta parcialmente en las Sierras Subandinas. Es por ello que muchas veces se refiere la estratigrafía de la Llanura al ambiente Subandino.

Las Sierras Subandinas consisten en una serie de sierras subparalelas, de rumbo N-S, de altura variable y características geológicas no muy uniformes aflorantes en las provincias de Salta, Jujuy y en pequeños asomos en Tucumán. Ocupan una franja de aproximadamente 1500 Km de largo por 100 Km de ancho, la que tienen una posición intermedia entre la Cordillera Oriental y la Llanura Chaqueña.

El cuadro estratigráfico resumido (según Tineo y otros, 1998) para la Llanura y las Sierras Subandinas es el siguiente:

Convenio: Provincia de Santiago del Estero – Consejo Federal de Inversiones  
 Programa de Trabajo: Estudios Básicos para el Dique Jume Esquina  
 Expediente N° 4600

### Llanura y las Sierras Subandinas: Cuadro Estratigráfico Resumido

		SIERRAS SUBANDINAS			
NEOZOICO	CUARTARIO	Pleistoceno			
CENOZOICO	TERCIARIO	Plioceno	Grupo ORAN	Subgrupo JUJUY	Fm Pic
		Mioceno			Fm Río G
		Oligoceno		Subgrupo METAN	Fm Jesús Fm A
		Eoceno	Grupo SALTA	Sta. Bárbara	Fm Río
		Paleoceno		Balbuena ?	
MESOZOICO	Cretácico			Pirgua	

En las Sierras Subandinas afloran rocas Cámbricas a Holocenas (ver cuadro estratigráfico). La base de la secuencia esta formada por rocas del Paleozoico Inferior (Cámbrico) de la Formación Candelaria, constituidas por ortocuarcitas rosadas fuertemente diaclasadas, plegadas y macizas que afloran en la Sierra Candelaria y el Cerro Remate, en el límite entre las provincias de Salta, Tucumán y Santiago del Estero.

En la zona inmediatamente al noroeste de las lagunas se observan las unidades superiores de la pila sedimentaria de las Sierras Subandinas, correspondiente a la Formación Anta, perteneciente al Grupo Orán (Eoceno Superior al Mioceno). Está caracterizada por pelitas y margas fuertemente laminadas de colores morados, verdes y amarillentos, que ocasionalmente intercalan calizas oolíticas con abundante yeso y tobas claras. Por encima se encuentran los sedimentos continentales de la Formación Chaco (Mioceno). Estas unidades adquieren importancia al considerar la recarga subterránea ya que aportan sales a los sedimentos que forman los acuíferos inferiores a los 200 m en la región de las lagunas.

El Plioceno de la Llanura Chaco Pampeana no aflora en la región de las lagunas saladas pero se encuentra a poca profundidad hacia el norte y el oeste. Por encima se encuentran los sedimentos del Pampeano que tienen un espesor medio de 150 m. La perforación Concepción 1 de la D.N.M.G., ubicada cerca de Pampa Suni (Depto. Pellegrini) atravesó sedimentos pampeanos formados por depósitos loésicos y limo arenosos, rojizos y castaños que en su parte inferior se intercalan con areniscas muy finas friables, calcáreas, que constituyen numerosos acuíferos de po-

co espesor. Se encuentran también concreciones carbona ticas y material yesífero dispuesto en delgadas venillas.

Al sur del departamento Jiménez, entre Pozo Hondo y Abra Grande, se manifiesta un alto estructural, descripto fisiográficamente como “cuerpo ondulado”. Es la consecuencia de una falla de dirección Norte–Sur de carácter regional, la falla de Huyamampa, con una elevación del bloque occidental con respecto al bloque oriental hundido de unos 50 m. Dentro de este alto se observan afloramientos del Plioceno.

Como evidencia de la compleja estructura de bloques que existe en el sustrato de la zona se puede mencionar que la perforación El Uclar de la D.N.M.G., ubicada al norte en el departamento Pellegrini encontró el basamento cristalino a los 500 m de profundidad, luego de atravesar una secuencia de arcillas yesíferas de 300 m de espesor, atribuidas al Mioceno. Estos sedimentos están salinizando la composición del agua subterránea de acuíferos de más de 200 m de profundidad. Sobre los mismos se asienta el Plioceno con un espesor de casi 140 m. Los últimos 60 m se atribuyen al Pampeano.

En la perforación realizada por YPF en El Rincón (Depto. Pellegrini), 50 km al norte de El Uclar, el basamento no fue encontrado hasta la profundidad de 1100 m, lo que demuestra que la cuenca se va profundizando en esa dirección; la secuencia comprende unos 100m de limos y areniscas del Pampeano; 600 m de sedimentos arcillosos rojos y verdes, yesíferos, Plioceno y Mioceno y el resto asignado a sedimentos continentales de la Formación El Rincón (Devónico).



### **III.1.1.1.3 Geología del Cuaternario**

La llanura circundante a la región de los saladillos muestra una suave pendiente hacia el SSE, donde los únicos afloramientos de las unidades anteriores al Holoceno se observan en el corte natural de las barrancas de los ríos y arroyos. En las mismas se reconocen arcillas pardas con dendritas de hierro y manganeso que indicarían un ambiente lacustre o palustre, de probable edad Pleistoceno Superior.

Entre los diversos trabajos que describen el Cuaternario, podemos mencionar como el más destacado al de Frenguelli (1955), realizado sobre las márgenes del río Dulce, donde describe el siguiente perfil a la altura de la boca toma del Canal San Martín, próximo a la ciudad de Santiago del Estero:

- Un complejo estratificado, de 6 m de espesor (su base desaparece debajo del nivel del río), constituido por una serie de capas de arenas finas, muy micáceas, casi sueltas, de color gris, intercalada de capas lenticulares, delgadas, de pequeños rodados y gravas de rocas muy antiguas y de estratos también lenticulares de limos loessoides pardos,
- Pasando por transición en su parte superior, a un banco de limo arenoso pardo, parcialmente consolidado en forma de tosca y rematado por una zona rica en tosquillas calcáreas ramificadas (risiformes). En su interior se hallaron restos de moluscos de agua dulce y mamíferos (Lujanense ?).
- Un banco de loes pulverulento, de color pardo claro de 3 m de espesor, conteniendo restos de moluscos terrestres (Platense ?).

- Un segundo banco de loes pulverulento, de color pardo claro con matiz grisáceo, de 4 m de espesor, pero llevando en su base capas de limo cinerítico, tenue, de color gris verdusco, con un espesor máximo de 1 m, que contiene restos de moluscos terrestres y acuáticos (Cordobense ?).
- Una serie de capitas de limos psilogénicos, pardo oscuro, de unos 50 cm. de espesor sobre los que se asienta el suelo actual (Aimareense).

En el perfil de la baja terraza, en las inmediaciones del perfil anterior, vemos en cambio los sedimentos de relleno aluvional de un cauce más reciente, excavado en el Lujanense, constituidos por dos niveles: uno inferior (a) del espesor de dos a dos metros y medio, de arena muy fina, arcillosa y algo calcárea, llevando intercalados, en parte gravas y rodados, y otro superior (b) de 50 cm. de un metro de limo, arena y rodados.

Los dos niveles, ambos posteriores al Lujanense, pueden considerarse contemporáneos a las fases de máximos pluviales y fluviales que intercalaron camadas de limos en la base del Cordobense y en el Aimareense del perfil de la terraza anterior.

En la zona de los Saladillos de Huyamampa el Holoceno presenta poca potencia y correspondería a depósitos de carácter loésico (limo eólico) con excepción de las lagunas saladas, donde se encuentran materiales de origen fluvicoloidales y evaporitas.

De acuerdo a estudios realizados sobre la margen izquierda del Río Salado (Tenchini y otros, 1999) para el proyecto Bermejo, los depósitos de limos y de arc-

llas finas son de escaso desarrollo (entre 20 y 50 cm.) y su génesis estaría relacionada con vientos provenientes de la región Amazónica. Corresponden a un clima subtropical seco con intensa actividad eólica y que se asignan al Holoceno Superior. Beder (1928) se refiere a estos depósitos loéssicos asignándoles una edad Cuaternaria indiferenciada.

Battaglia (1982) definió para el Holoceno a la Formación Capellanía, integrada por sedimentos fanglomerádicos de abanicos aluviales y loes que afloran en diferentes lugares de la región, adquiriendo su máximo desarrollo en las adyacencias del río Capellanía, Salta. Con respecto a los sedimentos loéssicos, Battaglia se refiere a ellos de la siguiente forma: “Cubren normalmente a los fanglomerados y limos y a los sedimentos del Plioceno Medio, observados en las adyacencias del Dique Los Quiroga y en las barracas del Río Dulce, hacia el Oeste de Las Termas”.

El loes que aflora en los alrededores del Dique Los Quiroga y en las cercanías de Huaico Hondo (ciudad de Santiago del Estero) constituye la mejor exposición para ser estudiada en detalle. En ambos lugares forma terrazas y se encuentra cortada por la erosión.

En las barrancas coloradas, el perfil natural, desde la base hacia arriba, muestra la siguiente litología:

- 0,4 m de una acumulación inconsolidada de rodados calcáreos en una matriz limoarenosa;
- 2 m de limo ligeramente arcilloso y

- 1,5 m de loes pulverulento, color pardo claro.

Los mismos materiales loéssicos y limo arcillosos se encuentran también en el subsuelo inmediato, por debajo del horizonte edáfico en la gran llanura oriental que se extiende desde el oeste en las sierras de El Alto y Guasayán, pasando hacia el este por Los Cerrillos, hasta mucho más al este del Río Dulce. La secuencia ha sido observada en perforaciones realizadas en Lavalle, San Pedro y Mediomundo.

Genéticamente el loes se considera originado por los vientos provenientes de la llanura chaqueña oriental aunque parte de los sedimentos reconocen en su mineralogía un origen pericordillerano. De acuerdo con los materiales depositados es posible diferenciar dos épocas climáticas al momento de su deposición: una húmeda con grandes precipitaciones, relacionada con las acumulaciones de flangomerados y limos (Ensenadense) y otra seca con frecuentes vientos (Bonaerense), a la que se vinculan los depósitos de loes limoso.

Según Collantes (1983) en ambas márgenes del arroyo Las Tinajas, se encuentran limos tripoláceos, depositados en ambientes palustres y lacustres, conteniendo células de gramíneas y frústulos de diatomeas y también vidrios volcánicos. El limo tripoláceo, se contacta hacia el techo, en forma abrupta y ondulada, con arenas tobáceas fluviales o con cineritas, con un espesor de hasta 0,8 m. No forma un depósito continuo, probablemente como consecuencia de una intensa erosión posterior a su deposición.

Los limos fluviales poseen una microfauna cuya asociación fue definida por Frenguelli (1945) y más recientemente por Gasee (1978), como típica de ambiente

continental palustre o lacustre. Frenguelli la considera como el núcleo fundamental de la flórmula del Platense (Holoceno Medio), con amplia distribución geográfica y que en la región pampeana, está representada por materiales loésicos que, según este autor, se habrían depositado durante condiciones propicias para el desarrollo de las diatomeas.

En síntesis se puede señalar que en la región de las lagunas saladas afloran únicamente los pisos superiores de la secuencia Cuaternaria formada por limos fluviales del postPlatense (Pleistoceno Superior), a los que se superponen limos loessoides del Aimarense (Holoceno).

### **III.1.1.2.- Geomorfología**

El objeto del mapeo Geomorfológico ha sido obtener información sobre las características de las geoformas y de la dinámica de los agentes morfogenéticos y su vinculación con la hidrología superficial y subterránea.

Para la identificación de las Unidades Geomorfológicas se utilizaron fotografías aéreas e imágenes satelitales. Las unidades fueron cartografiadas a escala 1:250.000 utilizando la simbología de normas internacionales que permitirán discriminar los procesos generadores, su secuencia natural y las litologías que los acompañan.

Las unidades geomórficas consideradas se han desarrollado en el período Cuaternario y han sufrido intensas modificaciones en el último siglo a raíz del desarrollo de sistemas de captación hídrica que se utilizaron para la explotación agrícola intensiva. Por tal motivo, resulta en muchos casos difícil delimitar las geoformas na-

turales de aquellas generadas por la acción antrópica. Estas modificaciones han comprendido no solo a los sistemas hídricos y edafológicos sino que han actuado en la flora y fauna de la región, produciendo una gran alteración de los ecosistemas.

La **depresión de las lagunas saladas** se encuentra enmarcada por tres grandes unidades geomórficas; la **bajada de las sierras Subandinas y Pampeanas**, el **sistema fluvial del río Salado** y el **sistema fluvial del río Dulce**.

Se puede decir que la depresión se ha formado íntegramente en el ambiente de la bajada distal de las sierras de Tucumán con dos vertientes de escurrimiento, una hacia el río Salado y otra hacia el río Dulce. Estas dos vertientes son consideradas para subdividir la unidad geomórfica que compone la **depresión de las lagunas saladas**.

La depresión posee una forma rectangular debido a su relación con lineamientos tectónicos, con una extensión de norte a sur de 60 Km y de este a oeste de 40 Km. Abarca en total unos 2.400 km<sup>2</sup> de los cuales la mitad se encuentran ocupados por lagunas o bajos salinos y sus playas adyacentes. Las lagunas y los bajos se encuentran interconectados por un sistema hídrico antecedente que se reactiva fundamentalmente durante los máximos de inundación de las zonas deprimidas.

Al este de la depresión, pero desconectado de la misma, se encuentra la llanura aluvial del río Salado que fluye de norte a sur. Esta dirección es la consecuencia de un proceso de migración de la llanura aluvial a partir de una posición inicial con escurrimiento de rumbo este-sureste, en un desplazamiento paulatino hacia su margen derecha.

La conexión con el río Salado se efectúa en el ángulo sureste de la depresión, al sur de Jume Esquina.

Una parte del escurrimiento superficial de los saladillos de Huyamampa vierte hacia la cuenca del río Dulce, el cual se encuentra en el borde sur de la depresión. El río Dulce muestra un marcado control geológico estructural en su tramo medio emergiendo del bloque elevado de Huyamampa con una dirección de flujo al sureste.

El marco occidental de la depresión esta formado por las acumulaciones originadas en la bajada de las Sierras Pampeanas de Tucumán. La bajada de la sierras Pampeanas y Subandinas se origina en las sierras de Salta y Tucumán. Su origen esta vinculado a la orogenia Andina cuya principal fase se desarrolló durante el Plioceno y que dio lugar a la formación de cordones montañosos que alcanzan alturas superiores a los 5.000 m. De la vertiente oriental de esta serranía se desprende la bajada que contiene a la depresión de las lagunas saladas.

La depresión de los saladillos reconoce un origen tectónico reciente. Se ha formado por una fracturación del sustrato de la bajada de la Sierras Pampeanas que afecta a sedimentos pliocenos y cuaternarios. La falla principal es la de Huyamampa con orientación norte-sur. El desnivel entre la parte elevada de la bajada y la depresión de las lagunas posee un valor medio de 50 metros. La topografía de la depresión varía de 180 m snm al norte, a unos 140 m s.n.m. en su área de descarga en el río Salado. La pendiente general posee orientación sureste.

A fin de presentar sistemáticamente la geomorfología del área se describirán en primer lugar las unidades que conforman el entorno de la **depresión de las lagunas saladas** para luego hacer una descripción mas detallada de la unidad objeto del presente estudio.

Las siguientes unidades geomorfológicas han sido descriptas para la región noroccidental de la provincia de Santiago del Estero que comprende a la depresión de las lagunas saladas y su entorno, en un área aproximada de 10.000 km<sup>2</sup>.

A los fines de la nomenclatura cartográfica se ha utilizado un sistema alfanumérico.

Las unidades descriptas son,

**Tc) Basamento pre-Pleistoceno**

**Pa) Paleoplanicie aluvial del Río Salado.**

Pa1- Paleoabanico aluvial del río Salado

**As) Llanura aluvial del Río Salado.**

As1) Llanura aluvial del río Salado

As2) Llanura aluvial del río La Guardia

**Bsp) Paleobajada de las Sierras Pampeanas**

**Tf) Interfluvios de los ríos Dulce y Salado**



### **PaHU) Planicie aluvial de los ríos Horcones y Urueña**

PaHU1) Llanura aluvial activa

PaHU2) - Planicie de derrames y bañados

### **Es) Depresiones salinas. (Es)**

Es1) Saladillos de Huayamampa

Es2) Bajos salinos inundables

### **III.1.1.2.1- Descripción de las unidades geomorfológicas**

- **Tc) Basamento pre-Pleistoceno**

Al oeste del área de llanuras aluviales se encuentran serranías aisladas que adquieren mayor expresión y continuidad hacia el pie de sierra, formadas por depósitos sedimentarios atribuidos al Terciario y Cretácico. Las mismas han sido agrupadas en forma general como serranías de composición pre-Pleistocena. En particular se distinguen los cerros Cantero, Remate y Loma Blanca que modelan la red fluvial en su parte inicial. Las serranías desaparecen rápidamente hacia el este como consecuencia de una fractura de rumbo norte-sur partir de la cual se encuentran las geoformas más recientes.

- **Pa) Paleoplanicie aluvial del río Salado**

Esta formada por una planicie en el sector este del mapa, predominantemente sobre la margen izquierda del río Salado, que posee una morfología le-

vemente ondulada con pendiente general hacia el sudeste. Un pequeño remanente se mapeado en las márgenes del río La Guardia.

Las cotas extremas de la unidad oscilan entre 175 m. en el norte (La Represa) a 160 m. en el sur (El Rincón). La pendiente no supera un valor de 0,5 %. Su origen corresponde con antiguos derrames de flujo laminar del sistema de escurrimiento de la paleoplanicie aluvial del antiguo río Salado.

Se describe esta unidad en forma sucinta ya que es probable que la depresión de las lagunas saladas esté asentada sobre un remanente de esta antigua planicie aluvial que correspondió al antiguo sistema del Río Salado.

A partir de las Sierras Subandinas de Salta y de Jujuy se han generado importantes sistemas hídricos que tenían su nivel de base en el río Paraná. Estos sistemas alcanzaron su mayor desarrollo hacia fines del Pleistoceno (aproximadamente hace 100.000 años) en coincidencia con la aparición de períodos pluviales extraordinarios. En la llanura chaco-santiagueña se formó un sistema de escurrimiento con la forma de un gran conoide aluvial que coalescía hacia el pie de las sierras subandinas de la provincia de Salta y Jujuy. Estaba formado por múltiples canales con dirección general hacia el este. Durante las grandes crecientes estos canales desbordaban generando un manto de crecienta.

Es probable que hayan existido algunos cauces principales similares al del antiguo río Salado, hoy sepultados por la sedimentación posterior.

Los cauces secos se encuentran actualmente colmados por sedimentos limo-arcillosos y ocupados por una vegetación de pastizales. Las áreas intermedias se encuentran cubiertas por sedimentos arenosos finos de color pardo rojizo. Gran parte de esta antigua paleollanura aluvial ha sido cubierta por depósitos eólicos provenientes de la deflación de la paleoplanicie o por sedimentos loésicos alóctonos.

En los últimos 100 años la acción antrópica propició los procesos de degradación de los suelos por medio de dos actividades de explotación irracional; 1) la tala casi completa del estrato arbóreo principal, acompañada de la quema indiscriminada de pastizales y arbustales y 2) la explotación agrícola con sobrecarga.

Los sedimentos de la planicie son limos arcillosos rojo parduscos claros que suelen estar acompañados por sulfatos dispersos y pueden concentrarse en los niveles de ascenso capilar de las aguas freáticas.

En muchos casos los paleocauces se encuentran colmados por sedimentos limo-arenosos. Sin embargo, debido posiblemente al mejor drenaje del sustrato del horizonte edáfico, permanecen los rasgos de sus cursos lo que permite su rápida identificación en las fotografías aéreas y aún en el terreno.

Estos rasgos están acentuados por el predominio de una vegetación de pastizales que resaltan del entorno de la planicie, cubierta por bosques y arbustales. Por erosión lateral pasa transicionalmente a la unidad siguiente.

- **As) Llanura aluvial de los ríos Salado y La Guardia**

Incluye a la Llanura Aluvial del Río La Guardia. Se reconocen dos subunidades;

- **As1) Llanura de Inundación Antigua del Río Salado**

Esta unidad forma parte de la antigua llanura de inundación temporaria, de gran desarrollo tanto longitudinal como transversal (mas de 15 Km) y se ha originado por los desbordes o rebalses del río Salado en sus períodos de crecida. En el área mapeada se extiende desde las proximidades de la localidad de Santos Lugares hasta Villa Figueroa. El bañado se forma al cambiar la pendiente y dividirse el río Salado en tres brazos; hacia margen derecha se encuentra el río La Guardia, hacia margen izquierda el río Cuchi Pozo y por el medio el cauce natural principal del Salado. Ambos brazos se unían aguas arriba de la localidad de Villa Figueroa, para continuar con un solo cauce definido como río Salado.

La unidad constituye el remanente geomorfológico del máximo pluvial ocurrido con anterioridad al Holoceno. Esta ocupado por numerosos bañados cuya importancia reside en que funcionan como verdaderos embalses atenuadores de crecidas y disipadores de energía de la lámina de agua por el efecto de la vegetación. Durante las fluctuaciones entre crecidas y estiajes, se habilitaba una red de drenaje de tipo dendrítico constituida por cárcavas de funcionamiento más o menos estables, que conformaba la transición natural entre la zona de bañado propiamente dicha y los cauces.

La vegetación de estas áreas de bañados, estaba formada básicamente por una comunidad de vinales con freatófitas en las zonas sujetas a inundaciones estacionales, y una vegetación de pastizales y gramíneas en las áreas ligeramente deprimidas, donde se producía el lavado por lixiviación de los horizontes superiores del suelo. Este proceso permitió el desarrollo de una vegetación de alto valor nutritivo para la hacienda.

Estas condiciones en la actualidad han variado, como consecuencia de la influencia del hombre al circunscribir los límites del bañado natural con obras de defensas, encauzamientos, canales, caminos y fundamentalmente con la construcción de grandes obras hidráulicas (diques) que han alterado el régimen hidrológico del pótamo.

Por este motivo se inició dentro de la unidad un intenso proceso erosivo retrocedente en cárcavas a partir de la terraza moderna actual, que excavó hasta 6–7 m por debajo del piso del bañado. Como consecuencia del proceso se ha afectado el sistema de riego del dique Figueroa y al mismo tiempo se han originado problemas de sedimentación aguas abajo de la cuenca, en el Bañado de Añatuya.

Otro problema originado en la formación de los bañados es la generación de procesos de salinización de los suelos. El agua del río Salado que se utiliza para riego es altamente salina, y es probable que en períodos de estiaje la descarga de las aguas subterráneas y de los escurrimientos provenientes de los bajo salinos situados al NNO de Figueroa contaminen las aguas del río.

○ **As2) Llanura Aluvial del Río La Guardia**

Este río nace en la zona hoy ocupada por el lago del embalse de Figueroa, hacia margen derecha, y toma un rumbo aproximadamente N – S, pasando por las localidades de La Guardia, San Ramón, Santa Rosa, San Pablo. Es probable que constituya un brazo antiguo del río Salado, reactivado por los derrames del embalse. A unos 4 Km al sur de La Ramada, recibe además en forma esporádica los aportes salinos del sistema de los Saladillos de Huyamampa a través de los arroyos La Overa y luego La Verde. A partir de este punto cambia abruptamente su dirección hacia el SSE, siguiendo un marcado control estructural originado por la neotectónica Cuaternaria.

En la actualidad se lo utiliza para derivar agua con fines de riego desde el río Dulce a través del canal Jume Esquina para abastecer el sistema de riego de Colonia Dora – Añatuya, al sur de la cuenca del río Salado.

En este tramo de la cuenca presenta un diseño sinuoso y albardones con bosques higrófilos, en galería, de buen desarrollo en algunos tramos. El canal es de baja pendiente, con un fondo de limo loesoide, excavado en depósitos sedimentarios Pleisto – Holocénicos, con profundidades que oscilan entre 4 y 5 metros.

Su llanura de inundación presenta, hacia margen izquierda, en algunos sectores un ancho entre 3 a 4 Km.

Es común encontrar depósitos de capas con distintos grados de inclinación que se acuñan en cortos tramos. Los estratos se caracterizan por mostrar distintas facies granulométricas, predominando materiales finos a muy finos en algunos casos con abundante biomasa. Esto es coincidente con cambios en la potencia de las corrientes fluviales, como consecuencia de variaciones en el régimen hidrológico debido a cambios bioclimáticos.

- **Bsp) Paleobajada de las Sierras Pampeanas**

Se extiende desde el pie de las serranías de la Ramada, Medina, del Campo y La Candelaria con una suave pendiente hacia el SSE, hasta alcanzar al este la llanura aluvial del río Salado. En el área de mapeo limita hacia el norte con la llanura aluvial del río Urueña, y hacia el sur con las lomadas terciarias y el sistema de los Saladillos de Huyamampa.

No se observa en la unidad una red de escurrimiento, lo que sumado a la baja pendiente hace que los factores formadores del relieve, se manifiesten débilmente. A pesar de ello se detecta una antigua red de rumbo NNW – SSE cuyos cauces disecan a la planicie. Estos antiguos cauces están rellenos por sedimentos finos (arenas finas a muy finas de color pardo rojizo), depositados durante el Holoceno.

Hacia el nordeste la unidad limita con la antigua Planicie de derrame de los ríos Horcones y Urueña. Los procesos de salinización, debidos a los aportes del Horcones que corta la formación Anta, de origen marino, en la provincia de Salta, han degradado esta planicie por los aportes provenientes del lavado

de los sedimentos salinos. Actualmente esta disecada con rumbo N–S por los arroyos La Overa y La Verde. Este escurrimiento funciona esporádicamente y colecta en crecidas excepcionales, los desbordes de los ríos Horcones y Urueña; más al sur colecta las aguas del sistema de los Saladillos de Huyamampa y se une al río La Guardia ingresando al Salado al sur de Jume Esquina.

Los declives que presentan los cauces e interfluvios son poco perceptibles, y se los distinguen por presentar un bosque higrófilo cerrado desarrollado sobre el alvéolo, donde se encuentran especies como el guayacán, quebracho colorado – blanco, y especies freatófitas.

- **Tf) Interfluvios de los ríos Dulce y Salado**

Se encuentra ubicada al oeste del río La Guardia y sirve de límite sur al escurrimiento de la depresión de las lagunas saladas. Al pasar transicionalmente hacia el oeste a la unidad reconocida como paleobajada de las sierras Pampeanas su límite se encuentra algo indefinido dentro del área mapeada. Corresponde a un alto morfológico que separa las llanuras aluviales de los ríos Salado y Dulce, aunque contiene varios remanentes de un antiguo escurrimiento de este último hacia el oeste. Es probable que originariamente haya sido parte de la bajada distal de las sierras (unidad Bsp).

Se trata de una llanura de muy suave pendiente que presenta un bosque climácico de quebrachales. En las condiciones actuales no se observa una red de escurrimiento debido por una parte a la aridez del clima y cobertura vegetal,



y por otra a la buena permeabilidad de los suelos que están formados en general por unos limos loésicos con carbonato de calcio pulverulento.

La génesis de esta unidad se encuentra relacionada con la ocurrencia de un período muy frío y seco durante el Pleistoceno Superior (18.000 años antes del presente) que duró aproximadamente hasta 8.000 años atrás. En estas condiciones, se depositaron capas de limos eólicos (loes) en esta llanura, con espesores que varían entre 2 y 4 metros de potencia. Los vientos dominantes provenían del sector SSW.

Posteriormente el paso a condiciones húmedas subtropicales, dio lugar a intensos procesos de modelado fluvial y a la redeposición del loes.

- **PaHU) Planicie de Derrames y Aluvial de los ríos Horcones y Urueña**

Esta unidad intersecta a la bajada de las Sierras Pampeanas (unidad Bsp). Posee bajas pendientes y muestra procesos de degradación (alcalinización – salinización) originados como consecuencia de los aportes salinos, que recibe a través de los derrames de los ríos Horcones y Urueña. Constituye además el área de descarga del agua subterránea provenientes de las serranías Subandinas. La unidad fue subdividida en dos, considerando su diferente desarrollo.

○ **PaHU1) Llanura de Inundación Actual de los ríos Horcones y Urueña**

La llanura de inundación actual del río Horcones desemboca en el río Salado por medio de la conexión con una cárcava profunda originada por erosión retrocedente a partir del río Salado. Esta cárcava atraviesa el área de antiguos bañados de los ríos Horcones y Urueña, con una dirección NNO – SSE. El proceso de excavación vertical ha provocado la disminución lateral de la llanura aluvial activa. Como consecuencia adicional se han restado caudales importantes al aporte superficial y subterráneo a la depresión de los saladillos. Por tratarse de un proceso activo debería ser objeto de una evaluación adecuada para conocer su desarrollo y prever la participación que puede tener en la implementación de cualquier sistema de regulación hídrica. Por otra parte debe considerarse que ambos ríos atraviesan sedimentos muy salinos, yesíferos, en su cuenca superior.

Sin embargo los cauces primitivos de ambos ríos derivaban sus aguas hacia la depresión de las lagunas saladas, como lo hace actualmente el río Urueña. El avance de la erosión retrocedente de la depresión salina ha originado a su vez un retroceso hacia la cuenca de aporte de las llanuras aluviales de los ríos Horcones y Urueña. De tal modo el límite establecido en el mapeo debe considerarse como transicional y variable.

○ **PaHU2) Llanura de derrames de los ríos Horcones y Urueña (bañados)**

Esta formada por las áreas de derrame que se producen en períodos de crecidas extraordinarias sobre las márgenes de los ríos Horcones y Urueña. Limita hacia el este con la Llanura Aluvial inundable temporariamente del río Salado y hacia el sur con el Sistema de los Saladillos de Huyamampa.

La llanura de inundación del río Horcones desemboca actualmente en el río Salado, con una dirección NNO – SSE, y en coincidencia con un lineamiento tectónico del mismo rumbo, por lo que no se observan derrames de este cauce, hacia el Norte de esta fractura. La activación de esta fractura se ubicaría en el Pleistoceno Superior – Holoceno.

El origen de estas llanuras se encuentra en procesos de aluvionamiento, relacionados con cambios el régimen hidrológico de los ríos (a consecuencia del clima), los que dan lugar a la pérdida de la capacidad de conducción de los mismos y que en los periodos de crecida producen derrames que debido a la baja pendiente originan que las aguas permanezcan formando bañados.

Es común encontrar materiales aluviales de constitución litológica y granulometría variada, dando origen a una sedimentación en capas.

La permanencia del espejo de agua (bañados), origina condiciones anaeróbicas, lo que causa la disminución de la actividad microbiológica y la falta de unión entre arcilla – humus. Además se produce el lavado de los suelos con arrastre de los materiales finos coloidales, hierro y arcilla, dando lugar a

horizontes de colores grises en superficie (horizontes eluviales E). De este modo se forman horizontes B por acumulación de arcilla, haciendo cada vez más impenetrable el piso del bañado. Se observan también manchas de herrumbre y/o concreciones por las precipitaciones del hierro liberado en la biodegradación de los elementos orgánicos complejantes. Los elementos superficiales de carácter aluvial, poseen un elevado tenor salino, predominando sulfatos y cloruros de sodio. En estas condiciones locales, la vegetación climática es sustituida por asociaciones especializadas de comunidades específicas y coetáneas con vinalares y jumiales que engendran un tipo distinto de humus. Los vinalares evidencian condiciones de halohidromorfismo en el perfil del suelo, y aunque no se conoce exactamente el hábitat y los suelos que ocupan, se los localizan generalmente en áreas con problemas de anegabilidad, sujeta a inundaciones periódicas o a la freática cercana a la superficie.

- **Es) Sistema de los Saladillos de Huyamampa**

Al oeste del sistema del río Salado se encuentra una amplia depresión que esta ocupada por un sistema de lagunas saladas, conectadas por cauces temporarios. La depresión, conocida como depresión de Huyamampa, tiene su conexión hídrica con el sistema del río Salado en época de crecientes extraordinarias a través del río del Saladillo, al oeste de San Pablo. La génesis de esta unidad esta relacionada con un período bioclimático más húmedo que las condiciones actuales ocurrido probablemente en el Holoceno Inferior, lo cual dio lugar a un escurrimiento de gran competencia y dinamismo, en condiciones sensiblemente diferentes a las actuales. El manto salino que tapiza el fondo de

los arroyos La Overa y La Verde junto con otros cauces antiguos, indica una evolución del sistema de escurrimiento de tipo encauzado que pasó a lagunar, luego a subescurrimiento y finalmente a típica evaporita.

La cuenca de alimentación del sistema de Huyamampa esta formada por diversos cursos de agua semipermanentes que escurren de la paleobajada de las sierras pampeanas, al este de las sierras de Tucumán. Los ríos principales son de norte a sur, Horcones, Urueña, La Overa, La Puerta y la Verde. Las lagunas de mayor extensión son las de Perro Loco, la Colorada, de Juan Cruz y La Cruzanita.

La depresión posee una cota media inferior (aprox. 150 m snm) a la de la antigua llanura de inundación del río Salado (Unidad As 1). Por tal motivo puede suponerse que parte de la descarga del río estuvo conectada con la misma.

Se han reconocido las siguientes subunidades;

- **Es 1) Saladillos de Huyamampa**

Esta unidad esta formada por un sistema de lagunas saladas, que deben su génesis a intensos procesos de deflación ocurrido durante los períodos secos y fríos del Cuaternario. En general presentan un modelado poligénico ya que algunas se encuentran siguiendo lineamientos de rumbo NO–SE, lo que indicaría que se han desarrollado sobre antiguos cauces de una planicie aluvial.

Recibe los aportes superficiales de las aguas de lluvia y a su vez constituyen la zona de descarga del agua subterránea proveniente de la bajada de las sierras Subandinas y Pampeanas de Tucumán. Las lagunas se conectan entre sí en los períodos de máxima precipitación por medio de cañadones y descargan sus aguas en el río Salado a la altura de la localidad de Jume Esquina.

Los suelos evolucionan en un ambiente totalmente salinizado depositándose gran cantidad de sales y álcalis en el perfil y en superficie.

Asociado con estas áreas salinizadas, se encuentran depósitos eólicos perilagunares relacionados con la génesis de estas lagunas, ocupados por una vegetación de arbustal – bosque bajo, donde la diferencia de nivel de hasta 10 metros de las lomadas con respecto a los otros sectores, ha originado el lavado de los horizontes superficiales y a la formación de epipedones mólicos en superficie.

Tal como se mencionara se conocen varios cuerpos lacustres de alto contenido salino. En el sector en estudio solo se han reconocido dos pequeños cuerpos de agua al oeste de la localidad de La Ramada y que derivan directamente de la laguna Cruzanita.

Es probable que parte de la alimentación de estas lagunas provenga de aguas surgentes de acuíferos muy salados que son alumbrados por la fractura de Huyamampa. La fractura constituye el límite oeste de la depresión.

En torno a las lagunas mencionadas se han formado playas de costras salinas de espesores no mayores a 1,5 m. Las costras salinas, compuestas principalmente por cloruros sódicos, poseen una componente clástica de hasta un 25 %.

El sistema de lagunas saladas se encuentra en una depresión de escurrimiento impedido que solo se conecta con el sistema del río Salado en épocas de crecientes extraordinarias. Por tal motivo su régimen hídrico estacional está condicionado al escurrimiento de los ríos provenientes de la vertiente tucumana y a la evaporación.

Los sedimentos de la depresión son limo arenoso finos con laminación muy fina, intercalándose capas salinas con arcilla.

Las comunidades vegetales asociadas a las lagunas pertenecen al grupo de las halófitas, predominando diversas variedades de jume, palo azul y algunas cactáceas.

El uso agrícola – ganadero de estas tierras está restringido a los depósitos eólicos que ocupan las partes altas, donde la salinidad es menor y el nivel freático está saturado a mayor profundidad. Es obvio que fundamentalmente, la principal actividad es la ganadería, dada las severas condiciones reinantes del medio ambiente.

Las lagunas saladas son extensas cubetas de contorno irregular, que funcionan como evaporadores en los períodos secos, precipitando salmueras de las sales en disolución, originando la formación de depósitos ex-

plotados en forma económica, de hasta 15 cm. de espesor de, constituidos por: Halita ( $\text{NaCl}$ ); Carnalita ( $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ); Thenardita ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ); Mirabilita ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ); Yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).

En general, estas lagunas están caracterizadas por poseer un piso formado por un lodo de color azulado del tipo bituminoso, con presencia de sulfuros que se debería a la acción de ciertos procesos biológicos que producen la reducción del sulfato de sodio, y conduce a la formación de carbonato de sodio con el sulfuro como etapa intermedia. Granulométricamente está formado por sedimentos areno limosos con bajo contenido de arcilla y gran cantidad de cristallitos de yeso y en menor proporción de halita.

La interpretación del proceso de formación de la depresión de las lagunas se puede desarrollar en las siguientes etapas;

- 1) Establecimiento de un régimen hídrico en condiciones semiáridas que drenaba la vertiente oriental de las sierras Subandinas y Pampeanas de Salta y Tucumán, cuyos colectores principales eran los paleoríos del Salado y Dulce. Como colectores secundarios se desarrollaron los ríos Horcones y Urueña.
- 2) Desarrollo de una depresión por causas tectónicas que modificó la pendiente regional original hacia el sureste de los ríos principales y secundarios. Como consecuencia de este cambio geomorfológico se



originó una red de avenamiento con marcada tendencia regional hacia el sur.

- 3) Modificación del régimen pluvial hacia condiciones de mayor aridez, originando una disminución de la capacidad de transporte de los ríos.
- 4) Formación de cubetas de deflación amplias en las llanuras de inundación de los antiguos cursos de agua. Estas cubetas derivaron en un rosario de cuerpos lacunares que aún mantienen la continuidad hidráulica del antiguo sistema.

El desplazamiento del río Salado hacia su posición actual fue acercando la conexión entre el desagüe natural del sistema lagunar y este río. El punto de descarga de la subcuenca oriental de los saladillos se encuentra ahora en las cercanías de Jume Esquina. El sistema occidental del sistema lacunar descarga en el río Dulce por medio de un curso semipermanente que fluye de norte a sur y se encuentra al este de La Aurora.

○ **Es 2) Bajos Salinos Inundables Periódicamente**

Se encuentran localizados en la zona marginal de la depresión de las lagunas saladas, principalmente al este de la misma. Constituyen áreas extensas, ligeramente deprimidas, con pendientes muy suaves y que durante los períodos de máxima o en ciclos hidrológicos hiperhúmedos, descargan sus aguas salinas en el río Salado.

Los suelos predominantes son Salortides típicos y/o acuólicos denominados en la antigua clasificación Solonchaks o suelos con álcalis blanco, presentando eflorescencias salinas en superficie. La vegetación característica es halófita (jume, palo azul, cardones, etc.).

El escurrimiento es tipo mantiforme difuso, encauzándose en determinados tramos y cribándose en parte por las matas de la vegetación. Los procesos erosivos son muy severos, y en la mayoría de los casos se ha producido la decapitación de los horizontes superficiales, quedando pedestales como áreas relictuales dentro del relieve.

La influencia antrópica ha contribuido a la degradación de esta unidad, como consecuencia de la tala irracional del bosque. Al desaparecer la cubierta protectora del suelo, comenzó un proceso de erosión muy intenso, al disminuir la infiltración y aumentar la escorrentía. Este proceso aumentó considerablemente la cantidad de biomasa arrastrada provocando la colmatación de todos los receptáculos naturales como ser lagunas, cubetas y saladillos. Con el tiempo, el balance morfogénesis – pedogénesis, se inclina hacia la primera contribuyendo al proceso de degradación de los suelos. Sumado a esto, en los últimos años la permanencia de un ciclo muy húmedo originó el ascenso regional del nivel freático con la consiguiente salinización por capilaridad de los suelos.

En síntesis se puede concluir que los Saladillos de Huyamampa presentan procesos activos de morfogénesis tanto en el área principal de la depresión como en su entorno. Por este motivo cuando se planifiquen modificaciones de rasgos naturales

que produzcan cambios en los aportes hídricos o en la red de escurrimiento, deberán basarse en una información muy precisa de la topografía y que, en la medida de lo posible, mantengan las vías de aporte y evacuación hídrica existentes.

### **III.2.- HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA**

En el área de estudio, las formaciones geológicas con la profundidad están mayoritariamente compuestas por limos calcáreos con pequeñas intercalaciones limo arcillosas, que desde el punto de vista hidrogeológico se pueden clasificar como acuíferos poco permeables o semilibre (Boulton 1963). Acorde con estas características sedimentológicas y para la caracterización geológica, hidráulica y geoquímica del paquete sedimentario en el área, se realizaron perforaciones de estudio profundas y ensayos someros de permeabilidad por el método de Lefranc complementándose los resultados obtenidos con la realización de estudios de prospección geoelectrica, a fin de conocer las variaciones eléctricas verticales del subsuelo y asociarlas a parámetros de porosidad y permeabilidad hidráulica.

Con la finalidad de conocer la relativa importancia del escurrimiento subterráneo de la región de las lagunas saladas de Huyamampa se efectuó un estudio de la hidrología subterránea. En el mismo se incluye además una breve descripción de los parámetros hidráulicos e hidroquímicos.

Como base para el estudio se utilizaron los relevamientos geomorfológicos y geológicos efectuados a igual escala (1:250.000) los que permitieron delimitar la geometría de los acuíferos y acuitardos, la pendiente regional del escurrimiento, las áreas de recarga y descarga y las permeabilidades de los diferentes terrenos de la región de las lagunas saladas de Huyamampa. Finalmente, con el complemento de la información hidrológica se procedió a la confección del diagnóstico hidrogeomorfológico.

Para el estudio de la escorrentía subterránea se utilizaron datos de puntos de observación recopilados u obtenidos del muestreo de campo. Con esta información y los valores de conductividad eléctrica se intentará mostrar la evolución regional de la salinidad del acuífero freático.

Para el estudio se utilizaron además de los mapas a igual escala geológico y geomorfológico, las fotografías aéreas de la zona e imágenes satelitarias en diferentes combinaciones de banda. La cartografía de base utilizada se obtuvo de un mosaico no controlado a escala 1:250.000, obtenido a partir de las imágenes satelitarias.

### **III.2.1.- ANTECEDENTES**

Diversos estudios se han efectuado para describir los rasgos hidrogeológicos de la provincia de Santiago del Estero y en particular de la región occidental, al oeste del río Salado. El organismo que más tareas ha desarrollado en este tema es la Dirección Nacional de Geología y Minería, la cual en el periodo desde 1905 a 1980 efectuó unos 60.000 m de perforaciones de exploración. Entre 1972 y 1978 el mencionado organismo instaló un Centro de Estudios Hidrogeológicos (COEHSE) en la provincia efectuando 6.000 metros de perforaciones de exploración, las que permitieron definir los ambientes hidrogeológicos provinciales. Lamentablemente la mayor parte de la información producida se encuentra inédita y es de difícil localización. Una tarea similar efectuó la Dirección Provincial de Recursos Hídricos bajo sus distintas denominaciones a partir de 1970 hasta el presente. Algunas perforaciones de exploración fueron ejecutadas por la Corporación del Río Dulce, en el periodo 1965/70.

El Consejo Federal de Inversiones a través del Convenio para el Estudio de los Bajos Submeridionales a su vez efectuó censos de pozos y mediciones de infiltración en la zona adyacente al embalse Figueroa. La mayor parte de los informes completados por el Convenio de los Bajos en el período 1976-1990 se encuentran inéditos y solo pueden consultarse en algunas de las bibliotecas de las instituciones provinciales vinculadas al tema (Dirección de Recursos Hídricos). Relevamientos a escala regional (1.250.000) por medio de la interpretación de imágenes satelitarias fueron realizados por la empresa Aeroterra SA. en el período 1978/80 para la Secretaría de Planeamiento de la provincia de Santiago del Estero. Los mismos están igualmente inéditos. Finalmente cabe mencionar diversos trabajos de investigación efectuados por el Departamento de Recursos Naturales de la UNSE (Área de Hidrología Subterránea) que incluyen en forma parcial al área de Figueroa. Una tesis doctoral reciente (1999) de A. Martín describe las características hidrogeológicas de la provincia de Santiago del Estero. Finalmente se ha consultado el trabajo de Tineo y otros (1999) acerca de la descripción hidrogeológica de los departamentos Pellegrini y Jiménez, efectuado en el marco de un convenio entre el CONICET y la UNSE.

### **III.2.2.- UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS**

El estudio geológico además de mostrar la extensión y edad relativa de las distintas unidades permitió conocer la distribución de las facies litológicas que las componen. Esta información resulta esencial para la interpretación de la hidrología subterránea.

Tal como se mencionara las unidades geológicas aflorantes en el sector en estudio se desarrollaron en el período Cuaternario y abarcan desde el Pleistoceno

Superior hasta el Holoceno. En gran parte conservan sus rasgos geomórficos originales por lo que su identificación ha estado orientada por los mismos.

Los acuíferos mas importantes se encuentran alojados en las unidades sedimentarias terciarias del Mioceno y el Plioceno. Los caudales específicos obtenidos en ensayos de pozos son en general superiores a los 10 m<sup>3</sup>/hora por metro de depresión. En varios pozos que alumbraron acuíferos presumiblemente pliocenos se observaron niveles piezométricos positivos.

Los acuíferos confinados alojados en los sedimentos cuaternarios muestran una fuerte irregularidad lateral. Estas variaciones están vinculadas tanto a las características sedimentológicas como a la presencia de fallas.

Las aguas freáticas se encuentran a profundidades variables que dependen de la unidad geomorfológica que las contienen. En las llanuras aluviales como las de los ríos Horcones y Urueña la profundidad muestra una relación directa con el álveo del río. En las paleollanuras, al oeste y norte de las lagunas saladas, la profundidad es mayor, oscilando entre los 15 y los 30 metros. Los paleocauces de esta unidad contienen acuíferos de buena calidad pero escaso rendimiento. En el entorno de las lagunas saladas el agua freática se encuentra por encima de los 12 metros y los valores de salinidad se encuentran generalmente por encima de los 2 gr/l.

### **III.2.3.- HIDROQUÍMICA.**

La salinidad del agua subterránea se va incrementando a lo largo del flujo subterráneo, diluyéndose en donde existe recarga local. Los valores máximos se encuentran en las zonas de descarga.. El agua de lluvia de la región en estudio posee

un contenido total de sales inferior a 20 mg/l con un pH ligeramente ácido. Su patrón hidroquímico es del tipo magnesio – calcio – sodio – sulfato, característico de la región central de la Argentina.

El agua de lluvia que queda como remanente después de la pérdida por evaporación se divide entre infiltración y escurrimiento. La mayor parte del agua que se infiltra en el lugar lo hace por medio de múltiples corrientes efímeras superficiales. El agua de lluvia se carga de dióxido de carbono a medida que cae sobre la superficie de la tierra y aumenta su acidez, aumentando su capacidad de disolución mineral. De esta manera el agua subterránea va adquiriendo una "firma" hidroquímica propia de los sedimentos que encuentra en su recorrido.

A medida que el agua se precipita y durante la breve circulación en el suelo el bicarbonato se transforma en el anión dominante. En el área en estudio esta etapa es breve debido a la pronta infiltración del agua. En la etapa siguiente aumenta el sulfato, mientras que el sodio se transforma en el catión dominante sobre el calcio. Los sedimentos de la región aportan una cantidad significativa de sulfato al agua subterránea debido a su contenido de yeso. El flujo lento debido a la baja permeabilidad de los sedimentos origina en la etapa siguiente un aumento en la concentración de sodio y cloruro, pasando el sulfato y el calcio a ser iones secundarios.

En las zonas de descarga se depositan los residuos de las aguas ricas en sales, consistentes en yeso y sal. Esta evolución hidroquímica se conoce como ciclo de Chebotarev y puede desarrollarse en su totalidad o modificarse parcialmente ya sea por acción natural (cambios geológicos) o por acción antrópica (diques y riego).



Las lagunas saladas constituyen un ejemplo del ciclo completo. Las lagunas reciben la descarga de las aguas freáticas circundantes con un contenido salino mediano, el cual se incrementa notablemente por la evaporación del agua retenida.

En conjunto las aguas freáticas muestran una tendencia a ser sulfatadas sódicas en la región que recibe aportes de los ríos Horcones y Urueña o sea el sector septentrional de la depresión en tanto que se observa un predominio de las aguas bicarbonatadas en la región occidental de las lagunas. En el entorno inmediato de las lagunas y cuando estas aportan a la capa libre se observa un predominio de las aguas cloruradas sódicas. Sin embargo resulta difícil seguir la evolución hidroquímica de los acuíferos libres o semiconfinados debido a la característica lenticular de los mismos. Otro factor que dificulta la interpretación del flujo subterráneo es que suele observarse una estratificación de la concentración salina. El plano N° 11 muestra una interpretación aproximada de la evolución hidroquímica regional para la capa libre y semiconfinada.

En general las aguas freáticas no reúnen condiciones de potabilidad salvo en aquellos casos donde se ha provocado la recarga artificial al contener el escurrimiento superficial por medio de represas.

Los acuíferos pliocenos, que se encontrarían en el área por debajo de los 80 metros de profundidad, poseen valores de contenido salino cercano o superior a los 2 gr/litro. Las aguas subterráneas en el plioceno son sulfatadas sódicas. Son aptas para consumo humano en pocas ocasiones. Los contenidos sódicos marcan una limitación en su uso con fines de riego. Dentro del área de estudio los sedimentos miocenos, muy salinos, muestran valores hidroquímicos superiores a los 30 gr/litro.

Las aguas subterráneas que contienen se encuentran a profundidades mayores a 220 metros y son cloruradas y sulfatadas sódicas.

### **III.2.4- TRABAJOS REALIZADOS**

Para la caracterización de los parámetros geológicos, hidrodinámicos e hidroquímicos del paquete sedimentario en el área de estudio, se seleccionaron cuatro puntos representativos del entorno hidrogeológico donde se realizaron: cuatro perforaciones profundas y ensayos de permeabilidad por el método de Lefranc.

Con el fin de determinar la permeabilidad en forma simple y rápida de los sedimentos hasta los 6 metros de profundidad en algunos puntos de interés hidrológico, se realizaron ensayos de permeabilidad por el método Lefranc con el agregado de Caudales de agua a los distintos estratos atravesados y en especial en la zona saturada.

En los lugares de difícil acceso y a los efectos de completar la información obtenida de las perforaciones exploratorias con respecto a la profundidad de los estratos sedimentarios, se realizaron una serie de 12 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV). El método de prospección geoeléctrica empleado fue el dispositivo interelectrónico Schlumberger.

### **III.2.4.1- PROSPECCIÓN GEOFÍSICA**

El estudio de reconocimiento geoelectrico, fue realizado en los alrededores de la Población de Jume Esquina, en la zona de influencia del Río La Guardia, en el Departamento Figueroa de la Provincia de Santiago del Estero.

El trabajo de exploración indirecta, estuvo orientado a determinar variaciones en la profundidad, de los valores de resistividad del subsuelo, y las posibles anomalías en el sentido horizontal, con lo cual se podrá verificar el comportamiento eléctrico del subsuelo y asociarlo a las condiciones sedimentológicas, de cambio de facies e inferir las propiedades geotécnicas del subsuelo.

Por otra parte, el reconocimiento geoelectrico permitirá una evaluación de las condiciones de porosidad y permeabilidad de los sedimentos que conforman los depósitos de esta cuenca.

#### **III.2.4.1.1- METODOLOGÍA DE ESTUDIO**

En la ejecución de los trabajos de campo, se realizaron Sondeos Eléctricos Verticales SEV, que consisten en el envío de corriente al terreno, midiéndose las diferencias de Potenciales generados. Se utilizó la disposición electrodica ideada por Schlumberger, con una extensión de la línea de corriente AB de unos 300 m de ala, a fin de alcanzar profundidades teóricas de investigación de 80 m. El equipo con el cual se desarrollaron los trabajos, fue un Resistivímetro digital, compuesto por un Milivoltímetro, con un compensador de Potenciales Espontáneos con una resolución de 0,01 mv y un amperímetro con resolución de 0,01 ma. El instrumental funciona

con un convertidor de corriente continua de 250 a 500 volts y con 250 Wats de potencia regulada digitalmente en intensidad y corriente.

Se ejecutaron 12 SEV, repartidos en ambos márgenes del Río La Guardia y tres de ellos sobre el camino en unos 6 Km. de extensión que cruza el actual curso del mencionado río. Se aprovecharon los caminos, huellas y picadas existentes, para la extensión de las líneas de emisión de corriente AB.

#### **III.2.4.1.2- INTERPRETACIÓN GEOFÍSICA**

Un 80 % de las curvas de campo confeccionadas, presentan similar configuración, en el tramo donde se ubican las capas conductivas y las formaciones no-saturadas, mientras que las más fuertes diferencias de las gráficas en los valores calculados, se manifiestan en las capas más resistivas, relacionadas a depósitos fluviales modernos de mayor energía que presentan parámetros de porosidad y permeabilidad más altos.

El estudio geoeléctrico permitió elaborar un modelo simplificado de las variaciones y del comportamiento de las resistividades del subsuelo en la región oriental de la cuenca de las lagunas saladas y en el tramo medio del Río La Guardia, en el departamento Figueroa.

Los valores obtenidos hasta la profundidad investigada permitieron delimitar cuatro capas eléctricas bien contrastadas por los valores resistivos;

Una capa superior: presenta valores medios a bajos de resistividad y esta asociada a formaciones geológicas modernas, ubicada en la zona superior no-saturada

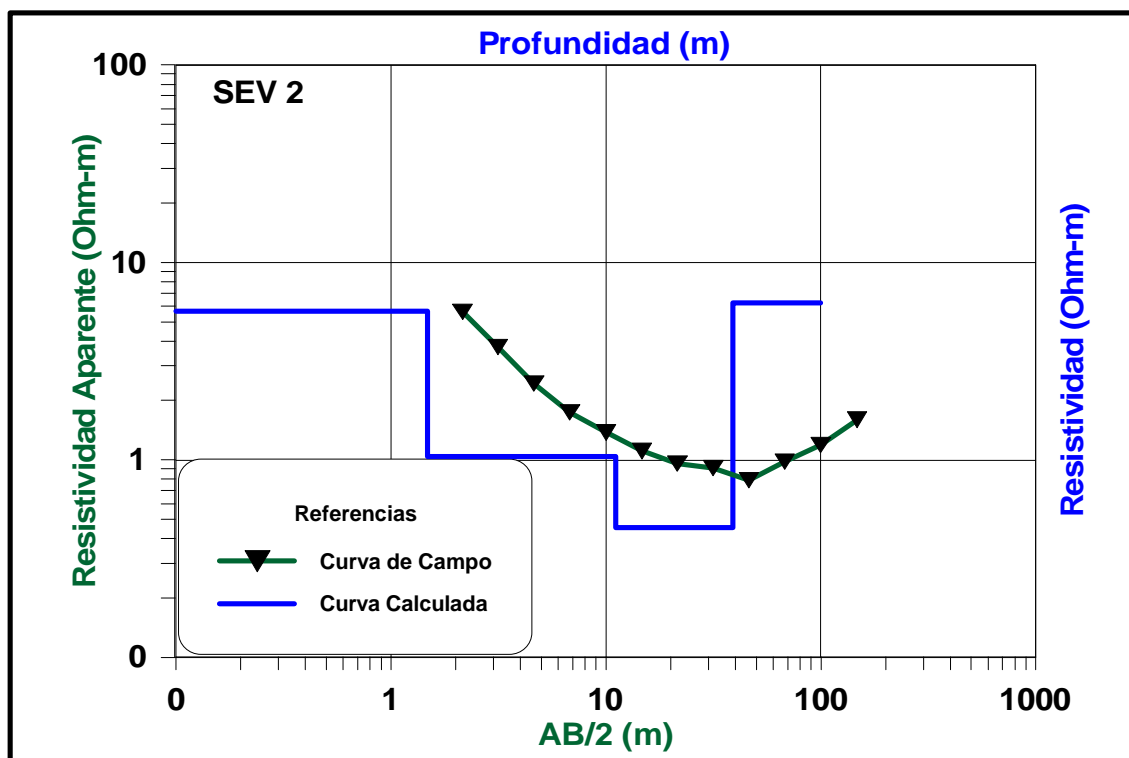
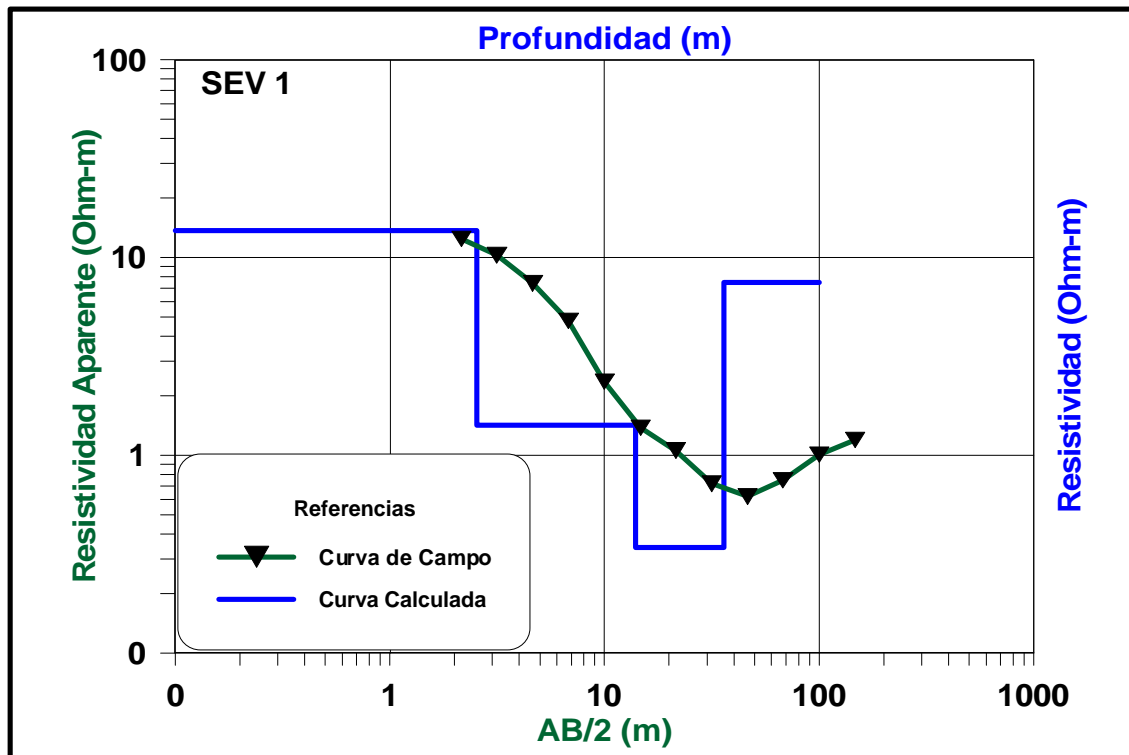
con valores que en algunos casos alcanzan los 25  $\Omega$ /m. La profundidad de esta capa alcanza los 30 m.

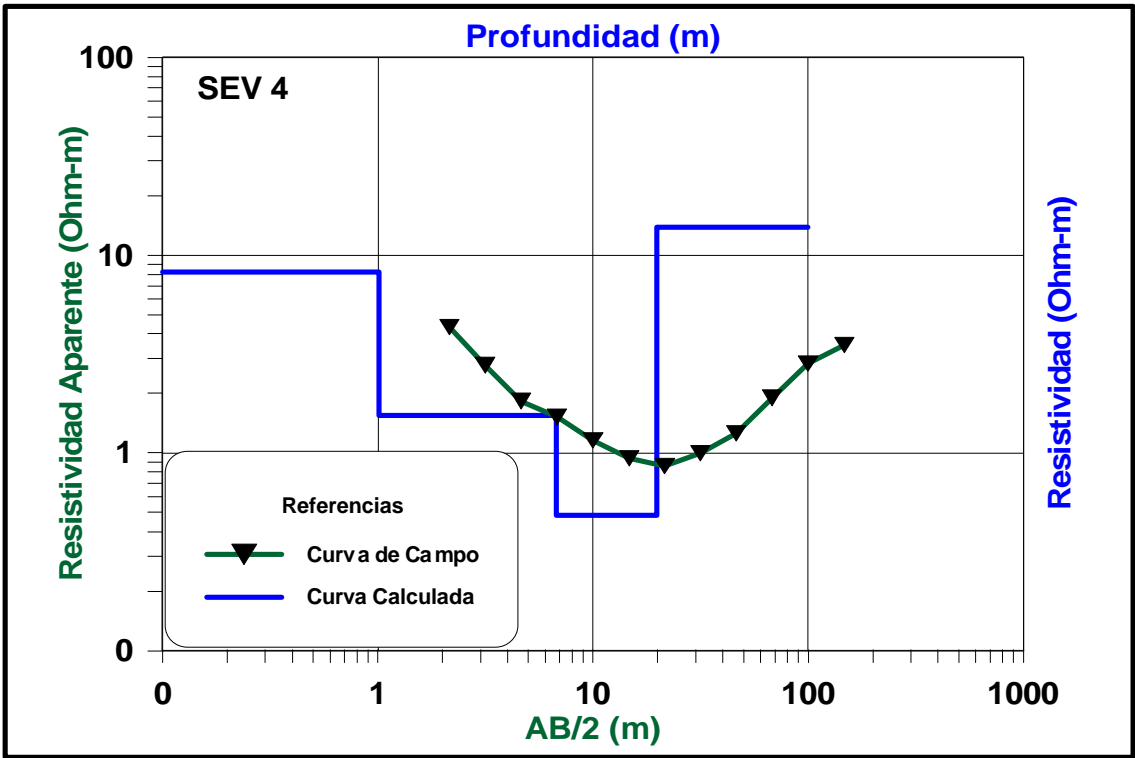
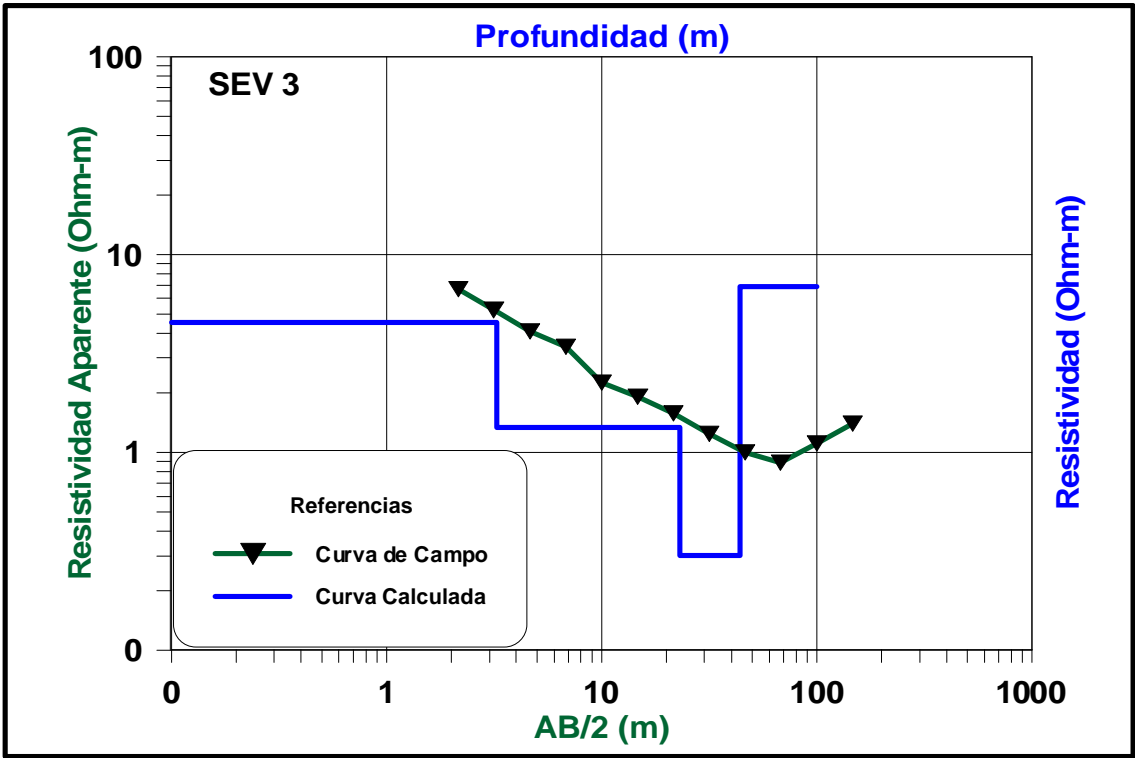
La formación infrayacente (intermedia) está caracterizada por sedimentos finos (pelíticos) a muy finos como arcillas y limos margosos, con yeso y sales de sodio y magnesio, con acuíferos de escaso espesor y desarrollo areal y fluidos que en algunos casos pueden llegar a 20 grs/l de residuo seco, valores eléctricos que disminuyen con la profundidad como consecuencia de una mayor salinización vertical.

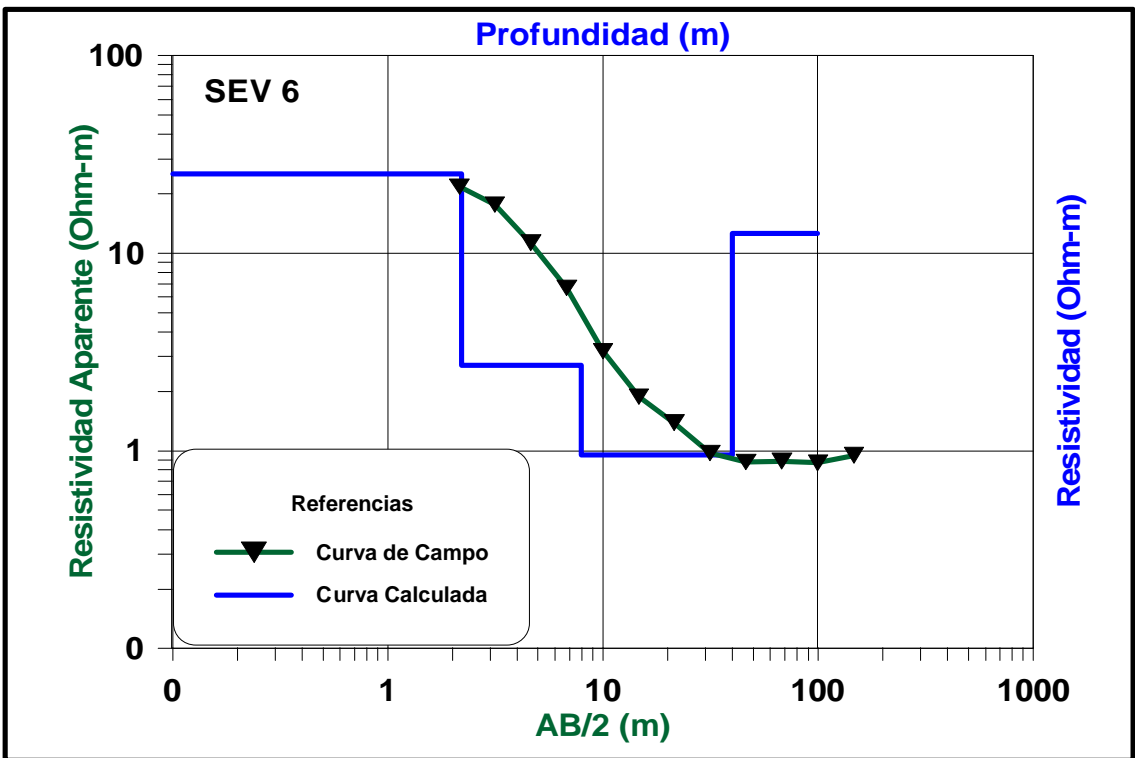
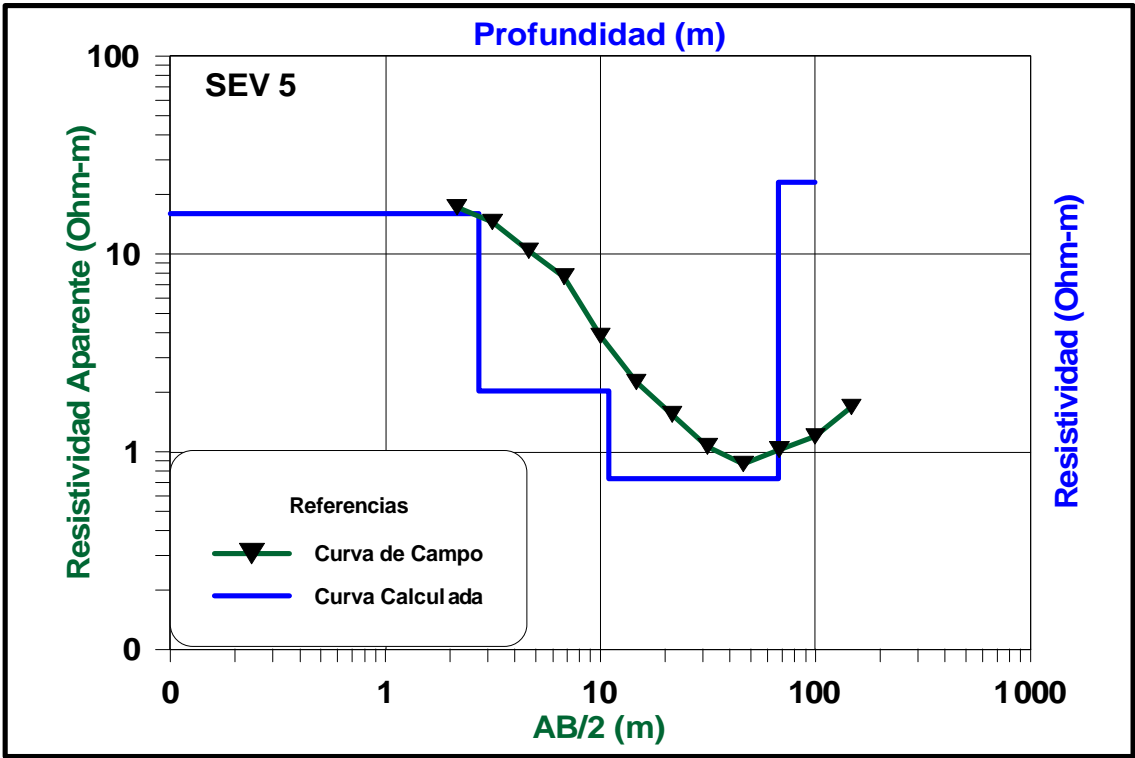
La capa inferior es la formación geológica más antigua, de posible edad Terciaria, caracterizada por sedimentos finos, con cementación carbonática y una menor porosidad primaria, y con valores eléctricos ligeramente más altos que la capa suprayacente.

La base de la secuencia, o basamento conductivo, esta representada por valores resistivos bajos inferiores a los 10  $\Omega$ /m, a partir de los 135–140 m de profundidad atribuibles a sedimentos arcillosos salinos del Terciario (Mioceno o Plioceno), lo cual es corroborado por las perforaciones exploratorias.

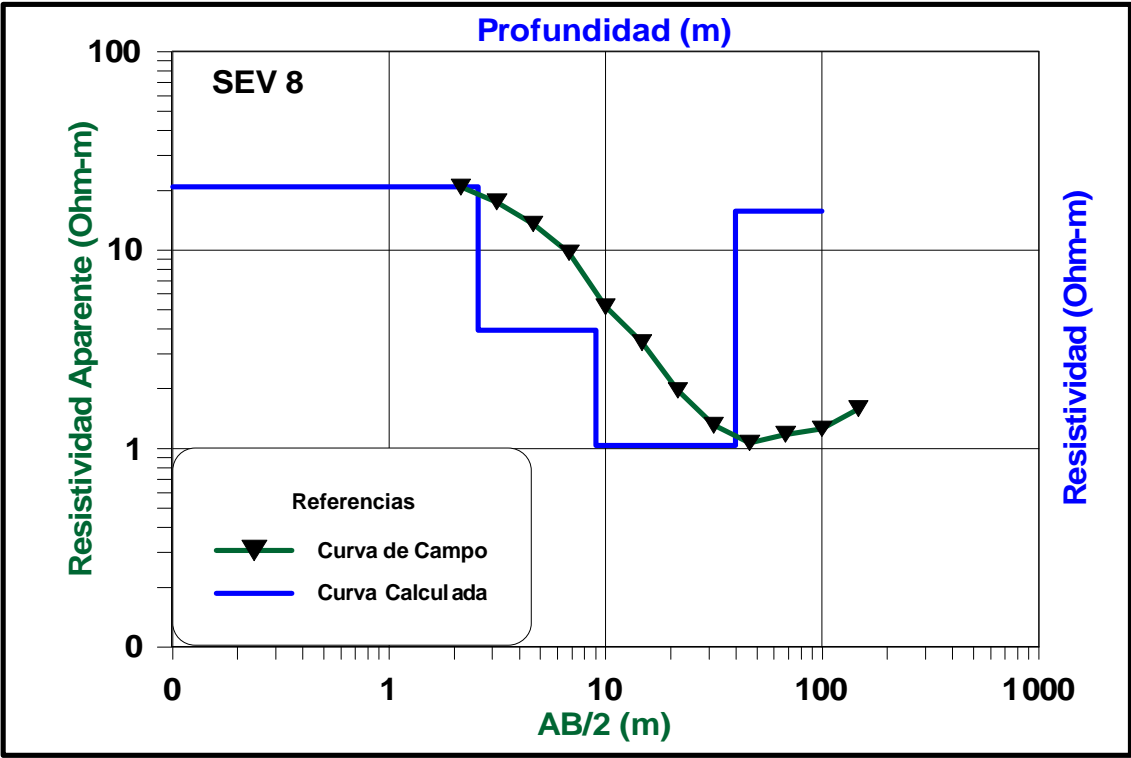
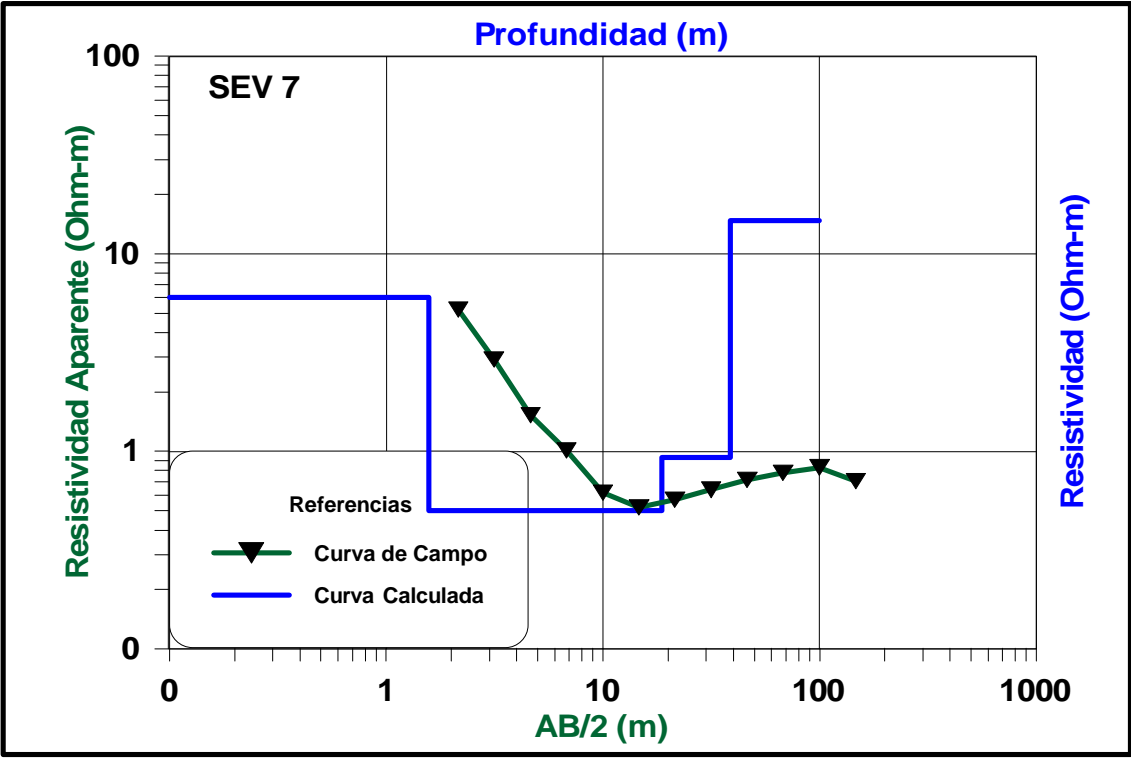
## REPRESENTACIONES GRAFICAS SONDEOS ELECTRICOS VERTICALES

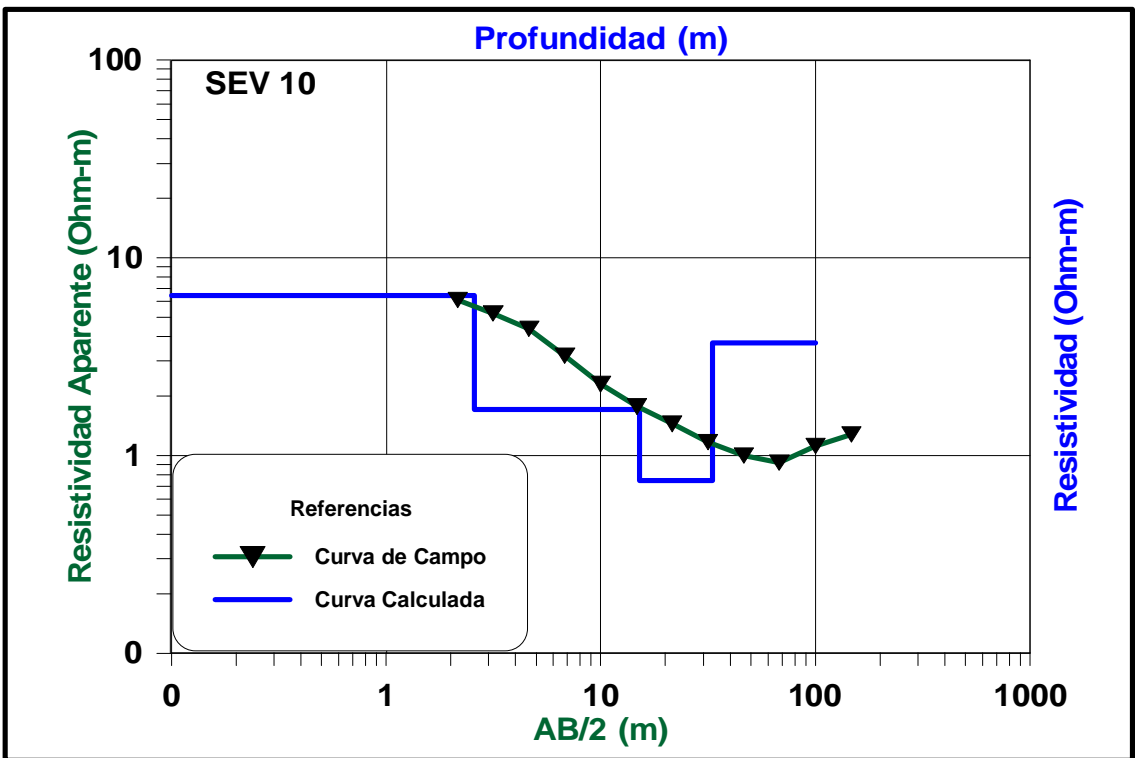
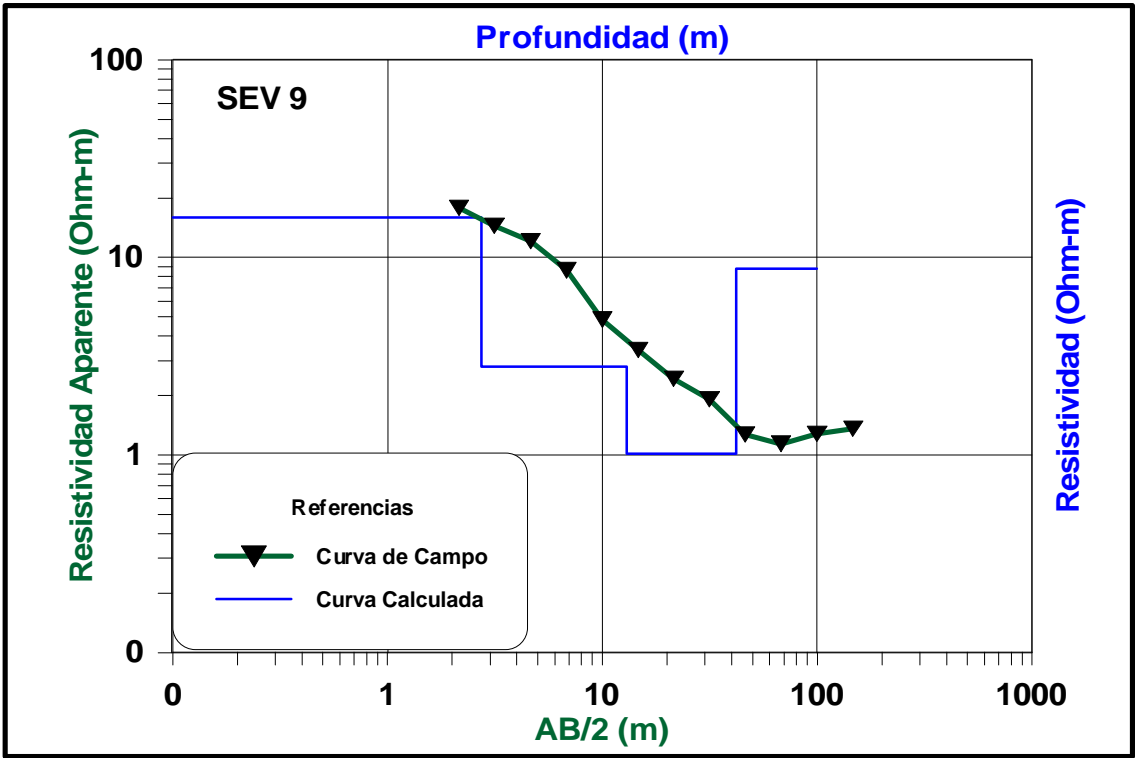


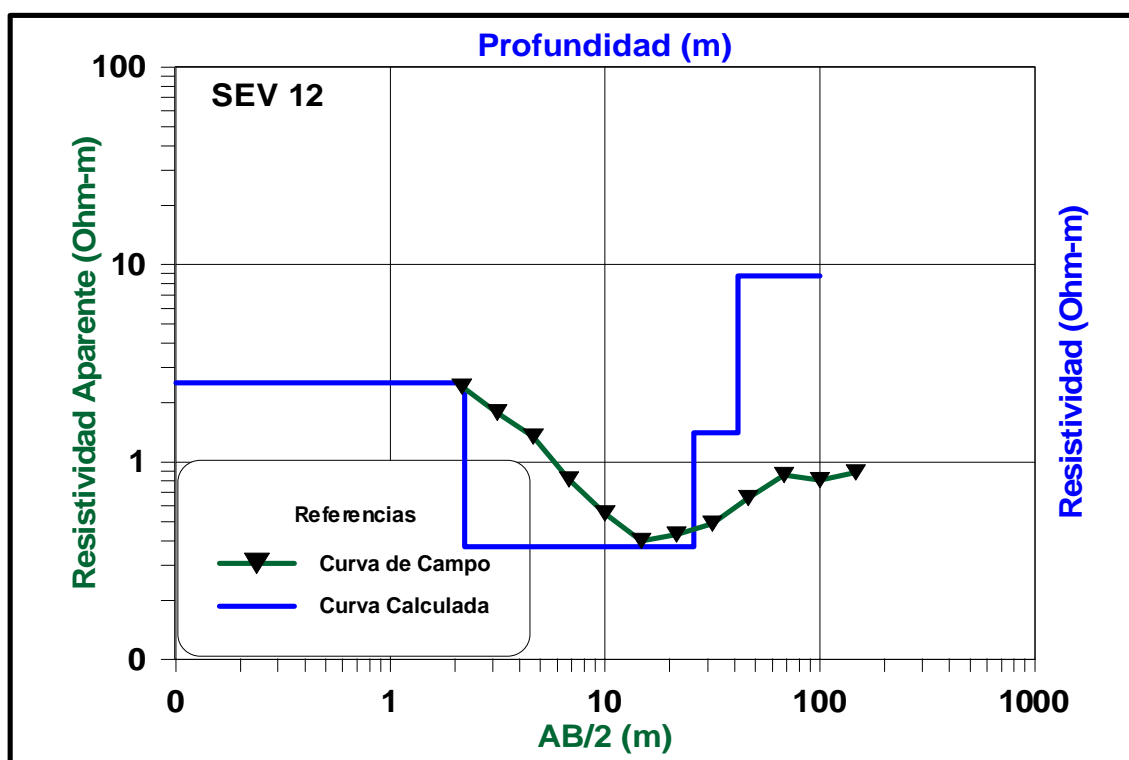
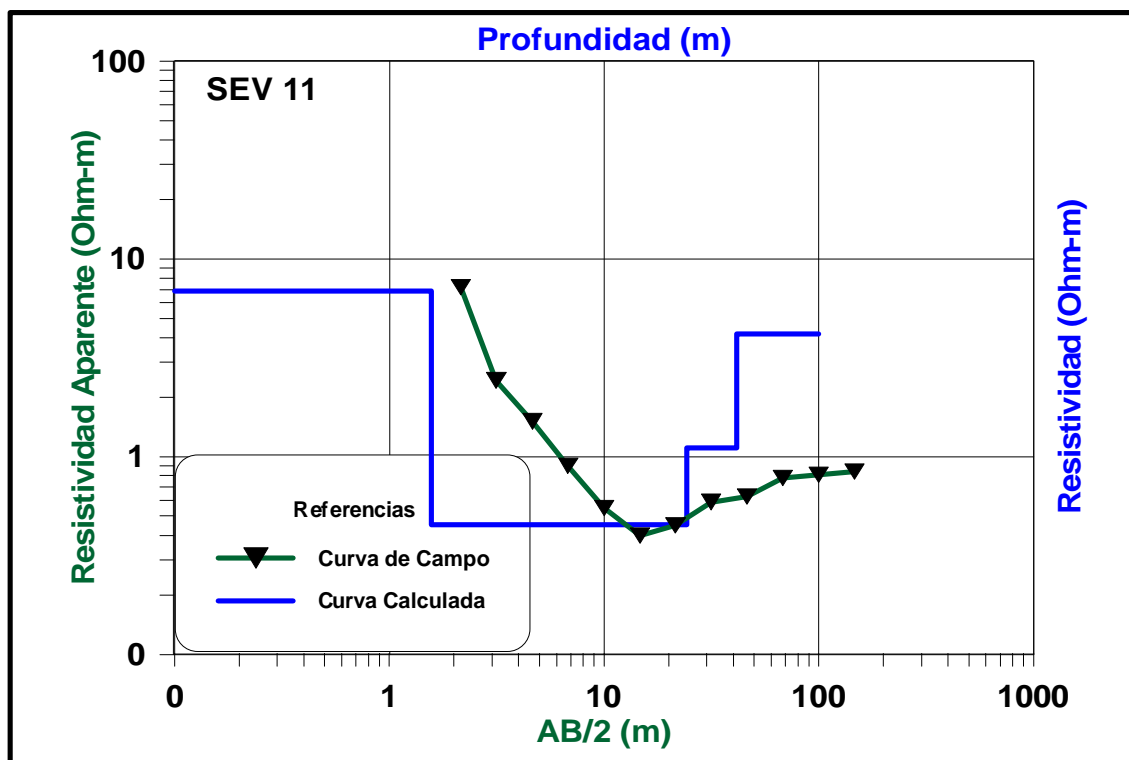












### **III.2.4.2- Áreas de Aporte y Esgurrimiento Subterráneo**

El agua superficial local proveniente de las precipitaciones que se registran en el área de las lagunas es una importante fuente de recarga al sistema no confinado del agua subterránea. La interacción entre agua superficial y agua subterránea es evidente a través de la comparación de las características químicas de ambos sistemas hidrológicos y de la variación de los niveles piezométricos. En el caso de la capa libre las variaciones muestran una relación muy estrecha con el tipo de sedimentos que la contiene.

Desde el punto de vista hidrogeológico se considera que la zona de recarga de los acuíferos alojados en las unidades del Pampeano y el Plioceno, en el subsuelo de la depresión de las lagunas saladas, se encuentra en el curso medio de los ríos Horcones y Urueña. Una parte de la recarga se produce desde el río Salado. El aporte del río Salado corresponde al antiguo abanico aluvial que contiene cenizas volcánicas y que es fuente del arsénico en el agua subterránea.

Desde el punto de vista hidrogeológico se considera que la zona de recarga de los acuíferos alojados en las unidades del Pampeano y el Plioceno, en el subsuelo de la depresión de las lagunas saladas, se encuentra en el curso medio de los ríos Horcones y Urueña. Una parte de la recarga se produce desde el río Salado. El aporte del río Salado corresponde al antiguo abanico aluvial que contiene cenizas volcánicas y que es fuente del arsénico en el agua subterránea.

La recarga subterránea a la zona subsaturada (capa libre) es aportada principalmente por las precipitaciones y es complementada en la estación húmeda por el

aporte de los ríos Horcones y Urueña, en el norte y el Saladillo de Pozo Hondo, al oeste. En épocas de crecientes se produce la colmatación del sistema de lagunar que conduce a una inversión del flujo subterráneo, con descarga hacia la capa libre.

La recarga dentro de la zona de estudio puede definirse como de tipo difuso, condicionada al tipo de sedimentos superficiales. La recarga ocurre principalmente en el verano teniendo particular importancia los numerosos cursos menores que forman una trama de tipo dendrítico que confluye hacia las lagunas. Es notable la concentración de la recarga en donde la cubierta vegetal ha sido removida ya sea por incendios o desmonte.

Mientras que la mayor parte del agua subterránea en la región de las lagunas saladas es de recarga local para los niveles saturados y subsaturados en el caso de los acuíferos confinados, situados a profundidades mayores de 30 metros, muestran una curva de flujo que indica una recarga distante situada en el pie de sierra tucumano. Los orígenes diferentes de la recarga se correlacionan con un contenido salino muy diferente para ambos tipos de acuíferos.

La recarga de los acuíferos profundos (más de 30 metros) proviene como se ha dicho de un área ajena al sector en estudio y por lo tanto no pudo ser considerada. Sin embargo se ha podido determinar por medio de los valores de salinidad del agua que en conjunto los acuíferos poseen un escurrimiento con una pendiente regional hacia el sureste. Esta pendiente es coincidente con la de la bajada distal del pie de sierra tucumano.

### **III.2.4.2.1- Caracterización Hidrológica**

#### **Estratigrafía**

De acuerdo con la dirección del flujo subterráneo NO-SE y a fin de poder observar el comportamiento hidráulico e hidroquímico del acuífero libre ante la influencia o no de la recarga por infiltración, se realizaron cuatro (4) perforaciones.

#### **Perforaciones de estudio (PE)**

Las perforaciones se localizaron dentro del área propuesta para el futuro cierre a lo largo del mismo, ubicadas de la siguiente manera:

- Perforación N° 1 (PEN°1), realizada en el sector norte correspondiente a la cola de embalse, cercana al cauce en su margen izquierda del río La Guardia, sobre el camino que une las poblaciones Maderas y La Esperanza.
- Perforación N° 2 (PEN°2), ejecutada en la parte central cercana a la población Tres Chañares.
- Perforación N° 3 (PEN°3), en el extremo sur concordante con el sector elegido para el cierre, cercana a la población La Libranza, próxima a la margen derecha del cauce actual del río La Guardia.
- Perforación N° 4 (PEN°4), en el extremo sur margen izquierda del río La Guardia cercana a la población La Libranza Vieja.

Fueron realizadas mediante el método de rotación con circulación directa con inyección de fluido (agua) o lodo bentonítico. Para obtener un buen cutting, el diámetro utilizado fue de 4 pulgadas (0.10 m) en las cuatro perforaciones.

Los 120 m de perforación, fueron distribuidos de tal manera que la información del subsuelo resultara representativa del sector estudiado, las características de cada una de las perforaciones se resumen en la tabla siguiente:

**“TABLA RESUMEN DE PERFORACIONES”:**

Perforación	Ubicación	Diámetro (m)	Profundidad (m)
PN° 1	1500 m O. Maderas	0.10	25
PN° 2	Tres Chañares	0.10	25
PN° 3	La Libranza (margen derecha Río La Guardia)	0.10	55
PN° 4	Sobre perfil A1, a 1000 m de La Libranza (vieja, margen izquierda Río La Guardia)	0.10	20

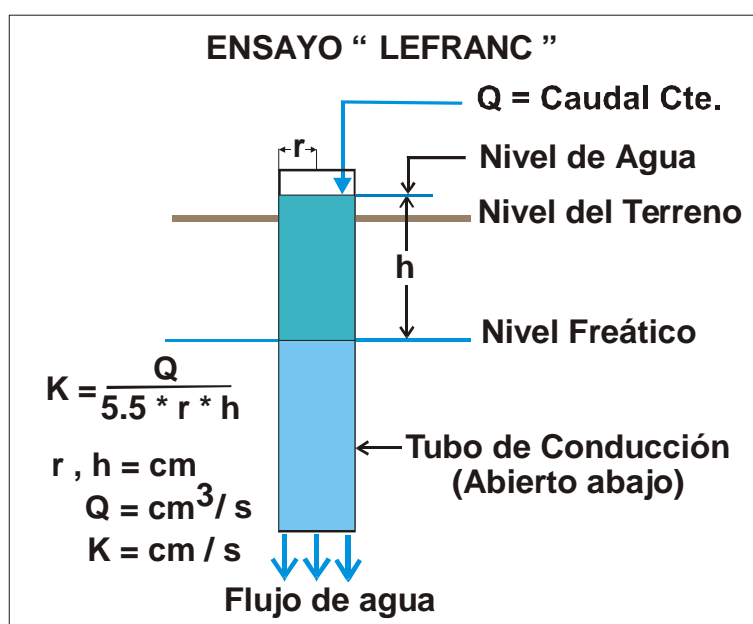
Con la finalidad de conocer la variación vertical del paquete sedimentario se realizó un muestreo sistemático de los sedimentos por decantación de la inyección en zarandas, intercaladas en el recorrido que la misma realiza por la superficie del terreno antes de llegar a las bateas de lodo. La toma de muestras se realizó metro a metro a medida que se avanzaba con la profundidad. El objetivo fue obtener muestras de terreno representativas, que reflejen en la mayor medida posible, las características de: porosidad y estratificación; al mismo tiempo las características químicas.

### III.2.4.3-Ensayos de Permeabilidad Orientativos

Con el objeto de conocer la permeabilidad de los suelos y sedimentos del área y al mismo tiempo obtener valores semicuantitativos , en particular en las áreas donde se prevén obras hidráulicas, se realizaron perforaciones de estudio someras en las que se determinó la permeabilidad por el método de Lefranc.

Acorde con las características sedimentológicas y la caracterización geológica, y geomorfológicas de las unidades sedimentarias en el área de estudio, se seleccionaron cuatro puntos representativos del entorno hidrogeológico donde se realizaron otras tantas perforaciones profundas y en las que se repitieron los ensayos de permeabilidad por el método de Lefranc.

El método utilizado para medir la permeabilidad dentro del área de trabajo es del tipo de inyección de agua por gravedad por ser el más práctico en cuanto a su operatividad (Lefranc – open end).





El ensayo consiste en agregar un caudal Q constante de agua por el extremo superior del caño de conducción mediante un sistema aforador que permite mantener un nivel piezométrico estable durante un tiempo establecido en gabinete y ajustado en campaña.

Como primera medida, se realizaron sondeos de observación a fin de determinar los posibles cambios litológicos y la profundidad del nivel freático. Posteriormente los sondeos para la medición de la permeabilidad (K) fueron efectuados con pala barreno de 0,10 m de diámetro hasta 6 m de profundidad.

La ubicación de los mismos se realizó teniendo en cuenta las características geomorfológicas, accesibilidad y coincidentes con las perforaciones de estudio profundas.

**TABLA RESUMEN UBICACIÓN ENSAYOS DE PERMEABILIDAD**

<b>Ensayo</b>	<b>Coordenadas Gauss Kruger</b>		<b>DIMENSIONES (m)</b>		
	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>diámetro</b>	<b>profundidad</b>	<b>nivel freático</b>
<b>E1</b>	6.949.000	4.438.450	0,10	6,00	1,16
<b>E2</b>	6.942.300	4.420.000	0,10	6,00	1,48
<b>E3</b>	6.942.800	4.443.000	0,10	6,00	3,20
<b>E4</b>	6.945.200	4.439.400	0,10	6,00	2,30
<b>E5</b>	6.946.850	4.437.300	0,10	6,00	1,60
<b>E6</b>	6.948.800	4.437.200	0,10	6,00	1,70

Con los datos de campaña a saber; caudal, altura de carga y radio del caño de conducción, se procedió al calculo de la permeabilidad de los distintos ensayos mediante la relación determinada por la ecuación:

$$K = Q / ( 5.5 r h ),$$

donde: K = Permeabilidad (cm / seg)

Q = Caudal que penetra en el sondeo (cm<sup>3</sup> / seg)

r = Radio del caño de conducción (cm)

h = Carga hidráulica diferencial (cm)

Utilizando la ecuación citada anteriormente y los datos geométricos e hidráulicos de cada sondeo, se confeccionó la tabla “**Tabla de Valores de Permeabilidad por Sondeo**” donde se observan los valores de **K** de cada ensayo:

De acuerdo a los valores de Permeabilidad obtenidos en cada uno de los ensayos realizados en campaña, se establece que los mismos se encuentran comprendidos en un rango que va desde **1 x 10<sup>-5</sup> a 1 x 10<sup>-3</sup> cm/s.**

**TABLA DE PERMEABILIDAD Y CONDICIONES DE DRENAJE DE LOS SUELOS(\*)**

m / día	10 <sup>4</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>2</sup>	10 <sup>1</sup>	1	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>
Sedimento	Grava limpia		Arena limpia, mezcla de grava y arena		Arena fina, Arena arcillosa, mezcla de arena-limo-arcilla, Arcillas estratificadas			Arcillas no meteorizadas			
Clasificación	Buenos Acuíferos				Acuíferos Pobres			Impermeables			
* Arthur Casagrande y R.E. Fadun 1948											

Según la Tabla de permeabilidad y Condiciones de Drenaje de los Suelos (A. Casagrande y R. E. Fadun – 1948), el tipo de sedimento estudiado corresponde a arenas finas, limo y arcilla estratificada y poseen permeabilidad o drenaje pobre.

#### **III.2.4.4-Freatimetría**

Utilizando datos compilados de relevamientos efectuados por el Centro de Estudios Hidrogeológicos (COEHSE) se han podido trazar las curvas freáticas que permiten realizar una interpretación regional del escurrimiento de la capa libre. En general se observa claramente que la capa libre descarga en las lagunas saladas cuando las mismas se encuentran en su régimen normal. Este régimen es alcanzado con posterioridad a la estación húmeda, a partir del mes de Abril y extendiéndose hasta fines del mes de Octubre. Durante este período la infiltración lenta del agua en el entorno de la cuenca de las lagunas saladas de Huyamampa se conduce hacia un nivel de descarga cuya cota coincide con la de las lagunas. En realidad el sistema está particionado en varias subcuencas ya que las lagunas no poseen una cota uniforme. De esta manera puede observarse como cada grupo principal de lagunas tiene una concentración de curvas isofreáticas en su entorno.

La heterogeneidad de los sedimentos en el ambiente geomórfico de las lagunas contribuye a que la descarga sea también irregular.

Durante la estación húmeda, entre Noviembre y Marzo, el excedente de precipitaciones origina una elevación de los niveles de agua en las lagunas y por consiguiente se produce una descarga hacia la capa libre. Este efecto no

alcanza a un radio de mas de 1 km en el entorno de cada laguna. La alimentación a la capa libre se invierte rápidamente hacia la finalización de la estación húmeda, restableciéndose la descarga natural de la capa hacia los cuerpos de agua. En épocas de máximos de precipitaciones, que pueden coincidir con máximos en las descargas de los ríos Horcones y Urueña, el ambiente lagunar mantiene un equilibrio con la capa libre que puede extenderse a la mayor parte del año.

Existen pequeños altos morfológicos, las *abras*, alrededor de las lagunas. En los mismos se nota una profundización de la capa freática a expensas de la elevación de la topografía.

Considerando que el fondo de cada laguna ha sido excavado por procesos de deflación y que este proceso aún continua, pueden esperarse modificaciones a los sistemas de circulación del agua subterránea de la capa libre con posterioridad a periodos de sequía.

En cuanto a los valores absolutos se puede decir que las profundidades máximas observadas dentro del sistema lagunar no poseen valores superiores a los 5 metros. Hacia el pie de sierra occidental las profundidades tienden a incrementarse en función de la mayor permeabilidad de los sedimentos y de la variación en la topografía, pero sin superar los 10 metros.

#### **III.2.4.5-Circulación del agua subterránea profunda**

Tal como se explicara el agua subterránea localizada por debajo de la capa libre posee una alimentación que se encuentra fuera de la cuenca de las la-

gunas. En la descripción de la circulación subterránea mencionada en el trabajo de Tineo y otros (1999) se puede observar como el agua profunda posee una recarga proveniente del pie de sierra tucumano, con una pendiente regional dirigida hacia el este-sureste.

El sistema de acuíferos profundos no parece tener influencia en el sistema lagunar. Sin embargo en el borde la fractura de Huyamampa, orientada de norte a sur, se observan vertientes que por su salinidad podrían corresponder a una descarga de los acuíferos profundos (a mas de 100 metros por debajo de la cota del terreno). El caudal de esta descarga se estima que es bajo en relación a la zona lagunar adyacente.

#### **III.2.4.6-Salinidad del agua subterránea**

Los datos de salinidad de los pozos que se encuentran en la cuenca de las lagunas saladas confirman el sentido del escurrimiento subterráneo. La salinidad de la capa libre esta afectada por el aporte de los sedimentos en los que circula y solo incrementa su contenido salino en forma abrupta en la inmediata proximidad a las lagunas. Esta situación puede modificarse durante el periodo estival en el que las lagunas descargan hacia la capa libre. Los valores de conductividad eléctrica, expresados en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , son superiores a 1.600 en todo el entorno de las lagunas.

Los acuíferos profundos, ubicados en sedimentos cuaternarios y terciarios, poseen valores de salinidad que varían gradualmente desde el sector occidental de las lagunas hacia el este de las mismas, en dirección al rio Salado,

de 1.500 a 3.500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . En este caso la predominancia del ion sulfato disminuye la posibilidad de utilización del agua subterránea.

### **III.2.5- CONCLUSIONES**

Se puede concluir que la hidrología subterránea en la cuenca de las lagunas saladas posee una estrecha relación con la circulación superficial. La escasa profundidad de la capa libre hace que el sistema de las lagunas en su conjunto actúe como un receptor de la descarga subterránea cuando el régimen lagunar se encuentra por debajo de su cota media. Por el contrario la elevación de los niveles de agua retenidos en las lagunas provoca una descarga hacia los sedimentos de sus márgenes. El sistema subterráneo profundo tiene poco o nula influencia en el comportamiento del régimen hídrico de las lagunas. Por consiguiente se puede advertir que el manejo de los escurrimientos superficiales deberá considerar la dinámica descrita para la capa libre. El embalse artificial de las aguas de la cuenca de las lagunas tendería a elevar el nivel freático rápidamente con la consiguiente salinización de los suelos. Se podría alcanzar en pocos años una situación de pérdida de la cubierta vegetal, por salinización del suelo, que conduciría a una rápida degradación de los suelos por deflación.

Es aconsejable que el manejo de la cuenca prevea como alternativa mas favorable la derivación normal de los caudales que ingresan y egresan del sistema de las lagunas de Huyamampa a fin de mantener controlados los niveles acuíferos subsuperficiales. Al mismo tiempo se puede pensar que la incorporación de la descarga

de las lagunas a un sistema hídrico de mayor caudal, como podría ser el del río Salado, aportaría excedentes útiles que podrían ser aprovechados aguas abajo del sistema de Figueroa.

### **III.3.- HIDROLOGÍA SUPERFICIAL**

#### **III.3.1 Esgurrimiento**

Las lagunas saladas de Huyamampa poseen un régimen hídrico estacional vinculado a las precipitaciones de la región. Durante la estación seca, entre los meses de junio a septiembre, las lagunas poseen su menor desarrollo, exhibiendo amplias playas salinas en sus márgenes. Durante la estación húmeda, entre los meses de noviembre a marzo, se produce el mayor embalse de agua (ver Plano N° 9: “Mapa Hidrogeomorfológico – Sistema de Los Saladillos”).

En conjunto la depresión de las lagunas saladas muestra dos subcuencas con diferentes aportes y diferentes descarga. Sin embargo es notable que el desarrollo del área lagunar se produce en forma uniforme dentro de cada una de las dos subcuencas que comprenden a la depresión.

La subunidad oriental recibe sus aportes de los derrames de la margen derecha del río Horcones. Esto significa que la derivación de caudales hacia la subcuenca oriental de las lagunas se produce en épocas de crecientes o cuando el río conduce un caudal elevado dentro de su llanura aluvial; actualmente la principal descarga del río Horcones se produce por medio de una cárcava que desemboca en el río Salado. El sistema lagunar mantiene un viejo diseño de drenaje que confluía al río Salado, en dirección sudeste. Este sistema se activa en épocas de crecientes habilitando la descarga a través de una cárcava profunda que desemboca en el río Salado junto con el arroyo La Guardia, inmediatamente al norte de Jume Esquina.



La subunidad occidental esta formada por las lagunas de Huyamampa y Colorada, además de numerosas lagunas menores. El cauce principal de aporte hídrico proviene de la descarga del río Urueña, cuyas nacientes se encuentran en la provincia de Tucumán. El río ingresa a la provincia de Santiago del Estero por su sector noroeste y luego de atravesar un área de bañados se derrama en el arroyo La Overa de curso norte-sur. Este arroyo, junto con el arroyo La Verde, enlazan diferentes cuerpos lagunares hasta alcanzar las depresiones mayores que forman las lagunas de Huyamampa y Colorada. De esta última surge un arroyo menor que finalmente alcanza al sistema del río Dulce al este de La Aurora. Un segundo aporte a este subsistema proviene de la depresión del Saladillo de Pozo Hondo. La depresión esta formada íntegramente en el bloque occidental elevado de la bajada de las sierras. Su escurrimiento hacia las lagunas saladas se produce por el arroyo de Huyamampa que converge hacia la laguna homónima. Al igual que en la subcuenca oriental el sistema de las lagunas saladas de Huyamampa se encuentra interconectado. Su pendiente general indicaría que se trata de un sistema relictual de un cauce de régimen permanente desarrollado en un período de mayor pluvialidad.

### **III.3.2 Régimen Climático**

#### **III.3.2.1 Precipitaciones**

Para la evaluación de las características climáticas se utilizaron datos estadísticos publicados en el trabajo de Tineo y otros (1999) “Estudio Hidrogeológico del Pie de Monte Oriental de las Sierras Subandinas de Santiago del Estero (deptos. Jiménez y Pellegrini)”.

El régimen de lluvias determinado por la región es del tipo MONZÓNICO SUB-TROPICAL CONTINENTAL, ya que las mismas poseen una marcada concentración y periodicidad durante el período estival. Dado que aproximadamente el 90 % de las lluvias se concentran entre los meses de Octubre a Marzo, determina la existencia de dos períodos perfectamente diferenciados en cuanto a aporte pluviométrico: un período húmedo con mayores lluvias durante la estación cálida y otro seco, coincidente con la estación fría, con escasos aportes de lluvias, existiendo asimismo una manifiesta irregularidad en los totales anuales precipitados, con alternancia de ciclos secos y húmedos. En este aspecto la distribución de las lluvias mensuales es independiente del total anual, es decir mayores valores de lluvia anual no aseguran una mejor distribución de la precipitación durante todos los meses del año.

El promedio general de las precipitaciones mensuales para la región de estudio, tomando como referencia el año hidrológico seleccionado, es el siguiente (datos expresados en mm):

S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	Anual
13	28	60	107	128	131	120	42	11	7	2	3	652

El siguiente cuadro muestra los registros pluviométricos de nueve localidades incluidas o cercanas a la cuenca de las lagunas saladas.

Localidad	Precipitación anual en mm.			Período de registro	Altitud (msnm)
	Media	Mínima	Máxima		
Huyamampa	518	171	862	1935-77	198
La Aurora	543	204	890	1941-90	174
Suncho Corral	542	288	846	1934-1978	133
El Arenal	688	359	953	1971-84	185
Pozo Hondo	559	312	946	1935-90	266
Urutaú	593	233	1.040	1971-84	205
Nueva Esperanza	756	335	1.421	1970-01	322
La Fragua	621				380
Las Delicias	688				214

El mapa de Isohietas medias anuales construidas a partir del citado Cuadro muestra que los valores de las precipitaciones medias anuales crecen desde el centro hacia el Oeste del Dpto. Pellegrini (zona de Nueva Esperanza). Se han graficado las Precipitaciones medias mensuales y anuales cronológicas para distintas estaciones de los Deptos. Pellegrini y Jiménez.

La evapotranspiración estimada (según Thornthwaite) para las mismas localidades supera en un promedio de 20 % el valor de la precipitación media. El déficit hídrico es cubierto por el aporte de la escorrentía superficial proveniente de los ríos Horcones y Urueña que alimenta el sistema de las lagunas.

### **III.3.2.2 Temperatura**

Para el análisis del régimen termométrico se ha procedido a seleccionar siete localidades con registros de temperaturas, para las cuales se han calculado las medias mensuales, estacionales y anuales, determinándose también las frecuencias de temperaturas para cada rango del sistema de clasificación usado, y a partir de los mismos se han elaborado los gráficos respectivos.

El régimen termométrico para las localidades ubicadas en los Departamentos Pellegrini y Jiménez corresponde al **cálido moderado**, con valores de medias anuales comprendidos entre los 20,1 y los 21,0 °C.

Se pone de manifiesto que las temperaturas decrecen hacia el sector limítrofe con las Provincias de Tucumán y Salta. El análisis efectuado para localidades de ese sector (Garmendia y La Cocha) indica que poseen un régimen correspondiente al **templado**, con una media anual de 20°C. Además puede considerarse que toda el

área de estudio posee un régimen del tipo **continental cálido en verano y frío en invierno**.

Los valores de temperaturas medias mensuales de la localidad de Nueva Esperanza, en el Dpto. Pellegrini, son los siguientes:

S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	Anual
20	23	26	27	27	26	24	21	17	17	14	17	21,5

### III.3.2.3- Caracterización Climática

Para la determinación del régimen climático de la región se ha utilizado la división climática de Koeppen, que es el sistema universal más utilizado.

Para ello se tienen en cuenta los valores de lluvia y temperatura y en base a los mismos se definen cinco zonas fundamentales que reciben el nombre de 1) Tropical lluvioso, 2) Seco, 3) Templado moderado lluvioso, 4) Boreal o nevado del bosque y 5) Nevado.

Practicado el análisis climático a un número determinado de localidades, la mayoría arroja resultados que permite clasificar al clima como del tipo:

***Cwhva*, esto es: **TEMPLADO LLUVIOSO, VARIEDAD CALIENTE, CON SIETE MESES CON TEMPERATURAS MEDIAS MENSUALES SUPERIORES A 10 °C, INVIERNO SECO NO RIGUROSO Y LLUVIAS PERIÓDICAS ESTIVALES DEL TIPO MONZÓNICO SUBTROPICAL CONTINENTAL.****

Otra clasificación climática utilizada fue la de BLAIR, que considera la cantidad de precipitación anual, según el siguiente detalle:

Altura de lluvia en milímetros	Tipo de clima
0 - 250	Árido
250 - 500	Semiárido
500 - 1000	Subhúmedo
1000 - 2000	Húmedo
Superior a 2000	Muy húmedo

De acuerdo a los valores de precipitación media anual, las cuales oscilan entre los valores de 487 mm. y 812 mm, el tipo de clima resultante está comprendido en la clasificación de SEMIÁRIDO Y Subhúmedo.

#### III.3.2.4. Balance Hídrico

Los valores obtenidos de índices hídricos mediante el método de Thornthwaite–Matter, los cuales oscilan entre -16 y -26, indican que la región en estudio está comprendida dentro de un régimen Subhúmedo SECO A SEMIÁRIDO, y por lo tanto posee un marcado déficit hídrico durante la mayor parte del año hidrológico seleccionado.

Se calcularon los valores de Evapotranspiración potencial mensual para la localidad de La Fragua, los cuales son los siguientes:

S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	Anual
69	91	117	138	163	130	104	66	48	26	28	41	1021

Del análisis surge que el valor máximo de ETP medio mensual corresponde al mes de Enero con 163 mm. y el mínimo al mes de Junio con 26 mm.

También se observa en el gráfico correspondiente que la precipitación supera a la ETP, durante Febrero y Marzo, asegurando de esa manera la reposición de agua en el suelo, siendo el déficit muy marcado durante el resto del año hidrológico, en

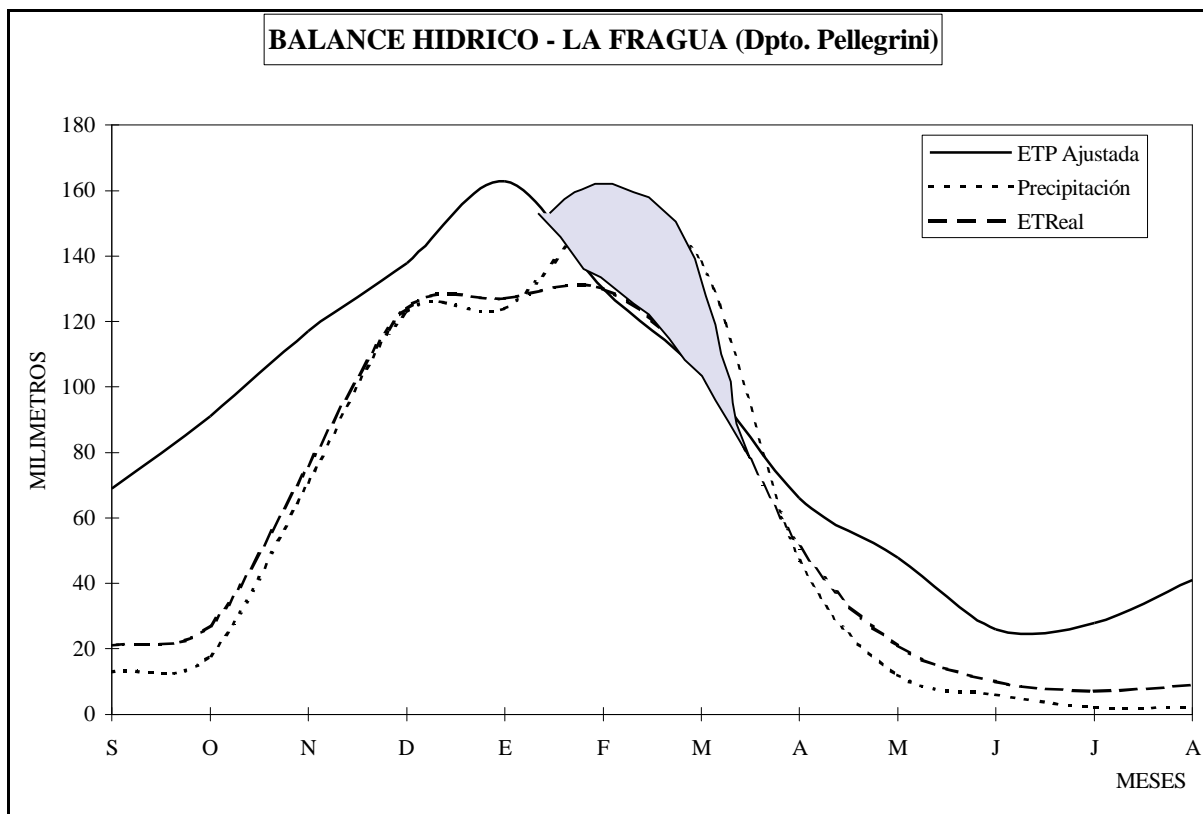
donde la lluvia es utilizada como Evapotranspiración Real, con un valor de déficit anual de 314 mm.

### CALCULO DE BALANCE HÍDRICO Método De Thornthwaite - Matter

Localidad: LA FRAGUA  
Departamento: PELLEGRINI

Latitud: 26° 03' S  
Longitud: 62° 20' W

PARÁMETROS	MESES												Anual
	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	
Temperatura	20	22	24	24	27	26	23	20	17	14	14	16	20,6
Índice Calórico	8,16	9,42	10,75	11,44	12,85	12,13	10,08	8,16	6,38	4,75	4,75	5,82	104,69
ETP sin ajustar	69	90	105	117	139	129	99	69	51	30	30	42	970
ETP Ajustada	69	91	117	138	163	130	104	66	48	26	28	41	1021
Precipitación	13	18	71	123	124	151	138	47	12	6	2	2	707
P – ETP	-56	-73	-46	-15	-39	21	34	-19	-36	-20	-26	-39	-314
Sum -(P-ETP)	-768		-399	-418	-454	-474	-500	-539	-595	-668	-714	-729	
Almacenaje agua	41	32	27	26	23	44	78	74	65	61	56	49	
Variación Alm.	-8	-9	-4	-5	-7	-8	-9	-5	-1	-3	21	34	
ETReal	21	27	76	124	127	130	104	51	21	10	7	9	707
Exceso	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Déficit (EP-ER)	48	64	41	14	36	0	0	15	27	16	21	32	314
Relación ER/EP	3,3	3,4	1,5	1,1	1,2	1	1	1,3	2,3	2,6	4	5	



### **III.3.2.5 Balance hídrico de la cuenca de las lagunas**

De acuerdo con el estudio geomorfológico y el relevamiento de la hidrología superficial se puede asegurar que la depresión de las lagunas saladas recibe los principales aportes hídricos de las precipitaciones locales. La cuenca oriental, tal como se la definiera en el punto 2.1, recibe en épocas excepcionales el derrame de las crecientes de los ríos Horcones y Urueña. A su vez la cuenca occidental, definida en el punto 2.1, recibe los excedentes provenientes del Saladillo de Río Hondo. Fuera de estos aportes hídricos superficiales todo el sistema hídrico de la depresión esta alimentado por las precipitaciones.

Considerando la extensión de la cuenca, 2.400 km<sup>2</sup> y la precipitación media de 652 mm por año, el aporte de las precipitaciones es de  $240 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/año. Este valor puede ser utilizado como base para determinar los remanentes hídricos que permanecen, considerando la evapotranspiración y las pérdidas por infiltración en la cuenca y que constituyen la capacidad de retención del sistema de las lagunas saladas.

### **III.4.- GEOLOGÍA, SEDIMENTOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA DE LA DEPRESIÓN DE JUME ESQUINA**

#### **III.4.1.- ORIGEN GEOLÓGICO DE LA DEPRESIÓN**

La depresión de Jume Esquina en la provincia de Santiago del Estero es un cuenco natural formado sobre la margen derecha del actual río Salado medio, sobre un brazo antiguo del cauce principal, a unos 10 km. al norte de Villa Figueroa. En este tramo el río fluye del norte hacia el sur-sureste, comenzando una desviación hacia el este que lo aleja de la llanura aluvial del río Dulce, ubicada inmediatamente al sur. Es probable que el cauce abandonado haya tenido una conexión hídrica con el sistema del antiguo Río Dulce.

Tal como se describiera en la geología general de la región el río Salado ha sufrido un desplazamiento de su cauce a lo largo del periodo Pleistoceno que se encuentra aun en estado activo. A la formación del gran conoide aluvial que existió durante la mayor parte del Pleistoceno y que abarcó una amplia región del este de Santiago del Estero siguió la formación en el Pleistoceno Superior de un cauce profundo, desprendido de la gran llanura aluvial, encauzado sobre el borde occidental del abanico aluvial, con un sentido de escurrimiento principal de norte a sur. Este cauce meandroso ha sufrido desplazamientos laterales por avulsonamiento o colmatación de sedimentos, dejando sobre sus márgenes remanentes de cauces abandonados.

La depresión de Jume Esquina está formada sobre una secuencia de sedimentos fluviales del antiguo río Salado (Unidad As1 de la descripción geomorfológica) que muestran en sus perfiles verticales la característica alternancia de canales



limo-arenosos con bancos arcillo-limosos de creciente. Son frecuentes las intercalaciones salinas que corresponden a estadios sublagunares que se formaban sobre cauces abandonados y que terminaban secándose. Es probable que este brazo del río Salado estuviera alimentado por un brazo paralelo al actual río La Guardia y que recibiera además la descarga de las lagunas saladas a través del río Saladillo.

Por efecto del desplazamiento hacia el este del río Salado a un cauce más profundo, el brazo de Jume Esquina sufrió una desconexión del sistema de escurrimiento principal. El desnivel existente entre las barrancas laterales y el profundo cauce seco motivó una rápida erosión retrocedente que amplió la excavación de lo que fuera la antigua llanura aluvial de este brazo. Finalmente el retroceso de cárcavas sobre la margen derecha del cauce actual del río Salado conectó nuevamente al antiguo brazo de Jume Esquina con el sistema principal, evacuando los sedimentos erosionados de las márgenes y dejando un amplio cuenco en el lugar del estrecho cauce primigenio. El desagüe se efectúa por una estrecha garganta inmediatamente al sur de la localidad de Las Libranzas.

### **III.4.2.- MORFOLOGÍA DE LA DEPRESIÓN**

Jume Esquina es una depresión longitudinal que reconoce en su morfología origen fluvial. Se trata de una llanura aluvial ampliada lateralmente con un ancho medio de 4.000 metros y una extensión entre su apertura y la garganta de cierre de 10 km. La cota inferior en la garganta es de 141 m.s.n.m., en tanto que el albardón de sus cierres laterales se encuentra a una altura media de 145,50 m.s.n.m. Por haberse originado a través de un proceso de erosión lateral las márgenes son irregulares y muestran perfiles de inestabilidad. Lo mismo puede decirse del relieve interno

de la depresión que es ondulado en pequeña escala, con muy pocas áreas que muestren un estado de agradación horizontal. Estas características indican claramente que se trata de una cuenca en estado de degradación por excavación del nivel de base local.

El fondo de la depresión esta ocupada por un cauce meandroso semipermanente con afluentes laterales subparalelos y escapes de meandros originados por taponamiento. El suelo presenta una salinidad marcada, principalmente formada por concentraciones de sulfato y cloruro. La vegetación corresponde a un monte de vinal y jume. En los albardones de los paleocauces se observan bosques higrófilos en galería de escaso desarrollo. Existen sectores de suelos más salinos con asociaciones de halófitas especializadas, donde pueden predominar el palo negro y el jume. Los suelos predominantes son el tipo salortides.

### **III.4.3.- SEDIMENTOLOGÍA Y GEOTECNIA DE LA DEPRESIÓN**

Diversas perforaciones fueron realizadas en el entorno de la depresión para caracterizar los parámetros físicos de los sedimentos en que se ha formado. Se realizaron cuatro pozos de estudio hasta una profundidad máxima de 50 metros. Las localidades y datos granulométricos de los cuatro pozos se adjuntan al final del presente volumen.

Además se realizaron perforaciones para ensayos físicos de penetración, granulometría y determinación de parámetros físico mecánicos. Los valores correspondientes pueden consultarse en las planillas y gráficos al final del Tomo IV - Geotecnia.

Se puede observar una mayor heterogeneidad en los perfiles de la sección norte de la depresión, con una mayor concentración de niveles carbonáticos.

Se han trazado tres secciones con orientación transversal al eje principal de la depresión, o sea NE-SO. Estas secciones coinciden con estudios geoelectricos (ver III.2.4.1- Prospección Geofísica) por lo que en su descripción se utilizará idéntica nomenclatura que la correspondiente a los mismos.

El perfil E-F, construido con los datos de los pozos profundos de Puente de Madera (N° 1) y SEV N° 6 muestra un tramo superior, desde 0 á - 9,0 metros con una alternancia de capas limo-arenosas y arcillosas que se asientan sobre una secuencia de limos carbonáticos de hasta 6,00 metros de espesor. En el perfil de Puente de Madera se encuentra una capa limosa con abundantes eflorescencias de yeso entre - 14,0 y - 22,0 metros. La característica principal de este perfil es su heterogeneidad que indica que nos encontramos en una zona de cauce lateral, con oscilaciones granulométricas, como consecuencia de las frecuentes variaciones del régimen hídrico.

El perfil C-D, construido con los datos del pozo profundo de estudio PE N° 3 en Tres Chañares y los de ensayos físicos SPT N° 4 y N° 5, muestra una sección superior, de un espesor aproximado a los ocho (8) metros de gran homogeneidad, donde predominan los limos arcillosos o las arcillas limosas y mantos de arenas finas, de espesores y ubicaciones variables en el perfil.

La parte inferior de cada una de las perforaciones o sondeos realizados presenta generalmente una sección con predominancia de la fracción arena fina, sobre

las lentes finas. El yeso de tamaño máximo tamiz N° 4 se encuentra distribuido en casi todo el espesor de los sedimentos limo arcillosos.

La sección A – A1 (Perfil AB) construida sobre la traza de cierre, con los datos de los pozos profundos de estudio PE N° 2 (Las Libranzas) en el que se alcanzó los cincuenta (50) metros, el PE N° 4 (Las Libranzas Vieja) y los pozos de ensayos físicos SPT N° 1, N° 2 y N° 3 posee una sección superior hasta los doce (12) metros de granulometría muy fina, arcillo limosa, que pasa a una sección con bancos alternantes de arena y limos areno arcillosos de espesor no mayor a los tres (3) metros. Solamente en una olla topográfica en la cota de 142,00 metros, (PE N° 2) se han ubicado arenas limosas tipo SM en los primeros 8 metros, en forma de banco, sin significativa repercusión areal. El espesor de la capa arcillosa superior asegura una baja permeabilidad en la zona prevista para cierre.

Las características de las tres secciones indican que el ambiente geomorfológico de la depresión corresponde a una antigua llanura aluvial con cauces anastomosados de régimen irregular (Unidad A1 del mapa Geomorfológico)

#### **III.4.4.- CONCLUSIONES**

Se puede asegurar que el ambiente geológico-geomórfico de la depresión de Jume Esquina posee una adecuada aptitud para constituir un reservorio artificial, que se produciría por medio de un cierre en la garganta del antiguo cauce, situada en su extremo sureste. La salinidad de sus suelos no presentará problemas de modificación del agua contenida, en tanto se prevea una reposición de régimen por lo menos anual del volumen del embalse. Los aportes laterales a las márgenes del cie-

re no serán significativos, en tanto la granulometría de los sedimentos, en la sección superior de los perfiles, es predominantemente limo-arcillosa. Par las próximas etapas del Proyecto se recomienda realizar estudios más detallados de la sección del cierre (perfil A-B) por métodos directos (ensayos físicos con perforaciones) e indirectos tales como geoelectrica de alta resolución o, de ser posible, radar de propagación neutrónica.



Fotografía aérea (año 1986), mostrando el Río La Guardia en su ingreso a la depresión de Jume Esquina. El trazado meandroso es consecuencia de la pérdida de pendiente. Se advierte también la divisoria de aguas sobre la margen izquierda y es notable la garganta de descarga de la depresión.

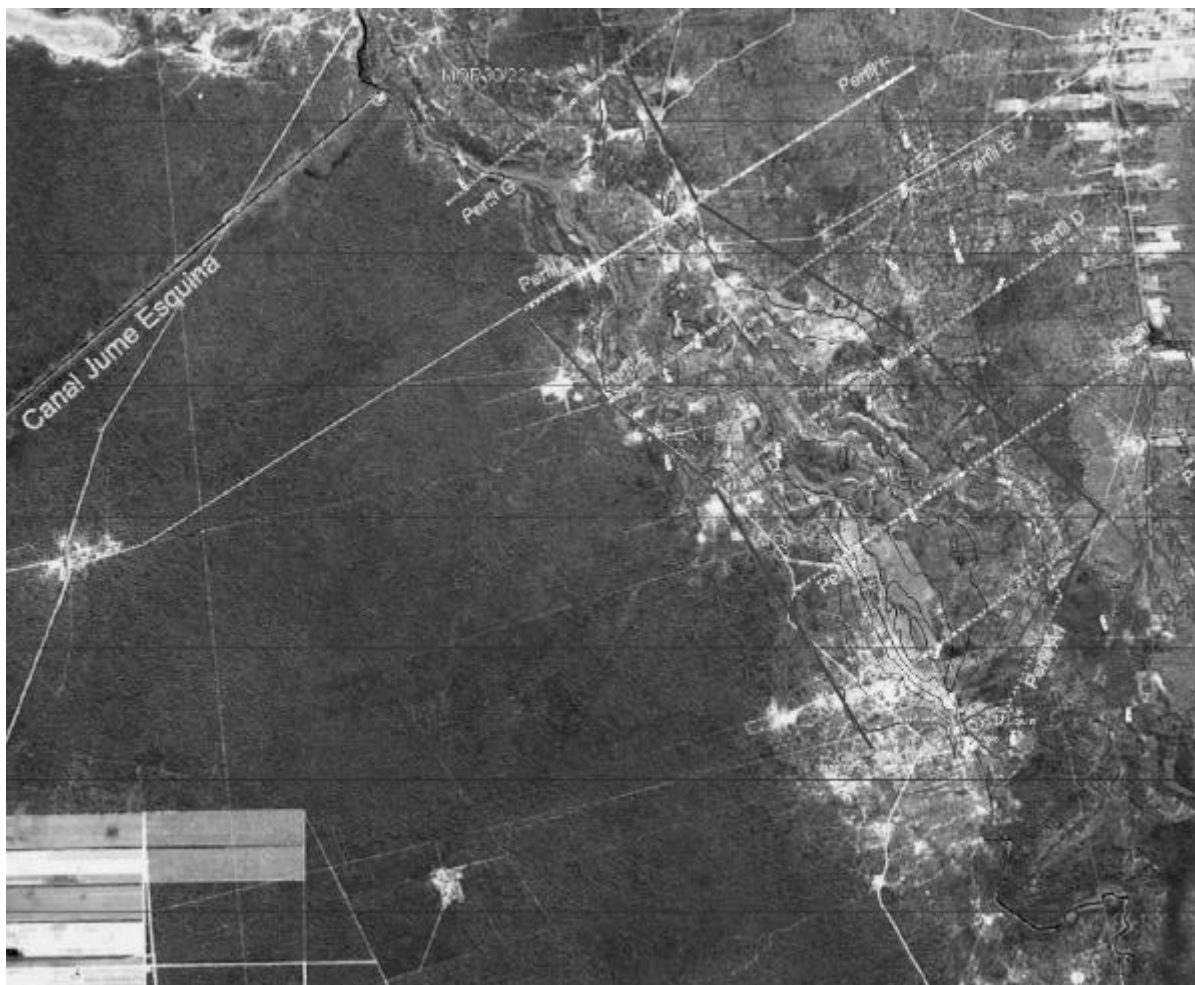


Imagen Satelital (año 1999), la escena muestra con singular nitidez las características del relieve de la depresión de Jume Esquina y la distribución de los perfiles topográficos [(A, A<sub>1</sub>) B, C, D, E, F y G]. Los perfiles geológicos AB, CD y EF, responden en correspondencia tentativa, con las manifestaciones superficiales visibles y con las singularidades de los sedimentos en profundidad.