

3. HIDROLOGÍA REGIONAL

El análisis hidrogeológico regional abarca el área que comprende la franja costera del litoral atlántico bonaerense entre Punta Rasa (36° 18' latitud sur) y Punta Médanos (36° 54' latitud sur) que se corresponden con los extremos norte y sur del Cabo San Antonio.

3.1 Geología

3.1.1. Aspectos regionales

En el contexto geológico regional, la zona en estudio se ubica en el flanco sur de la provincia geológica Cuenca del Salado (Rolleri, 1975). Esta cuenca se desarrolla entre las sierras de Tandil y el umbral de Martín García.

La cuenca del Salado es una cubeta de depositación alargada, extendida desde el extremo norte de la provincia de Buenos Aires en dirección sureste hasta penetrar en la Plataforma Continental Argentina al sureste de la Bahía de Samborombón. El relleno es de una potencia de 6000 m que se caracteriza en su porción continental por presentar según Bracaccini (1980):

- Carencia de afloramientos anteriores al Cuaternario.
- Gran desarrollo vertical de sedimento Paleozoico superior, Mesozoico y Terciario.
- La sedimentación es principalmente continental.
- Uniformidad estratigráfica.
- Evidencia de que existen procesos erosivos asociados a movimientos Triásicos y más modernos que originaron la desaparición de la secuencia Paleozoica.
- No vinculación con áreas orogénicas.
- Tendencia negativa a lo largo de la historia geológica con una mayor magnitud de hundimiento en el Mesozoico.

El origen de este importante depocentro cretácico - terciario está vinculado a procesos de fracturación extensional que tuvieron lugar sobre primitivas zonas de debilidad (fracturas basamentales transcurrentes y/o viejas zonas de sutura de preexistentes sistemas arco-fosa precámbricos - paleozoicos) rejuvenecidos durante la

apertura del Atlántico Sur en el Mesozoico tardío (Yrigoyen, 1975). Aquellas zonas de debilidad constituyeron focos de puntos triples donde se concentró el mecanismo de apertura inicial del primitivo continente de Gondwana (Figura 3.1). A medida que continuó la deriva continental y cuando la separación de las placas tomó un rumbo meridiano, algunos puntos triples, así como sus ramas occidentales se fueron desactivando. Estos brazos abortados y los abandonados centros de expansión se transformaron entonces en áreas de subsidencia con su eje orientado transversalmente al margen del pull-apart continental. Estas cuencas aulacogénicas, como la mayoría de las cuencas de tipo rift, pueden caracterizarse por una evolución tectónica y sedimentaria desarrollada cronológicamente en tres etapas distintivas: una fase prerift, una fase de rift y una fase de cuenca interior. Cada una de estas fases presenta geometrías, estilos estructurales y sucesiones estratigráficas individuales, las que son seguidas por una fase final de relleno de margen pasivo, cuando al finalizar la tectónica de rift, el nuevo borde continental del recién abierto Atlántico Sur es sepultado gradualmente por múltiples secuencias traslapantes derivadas del vecino Hinterland (Yrigoyen, 1999).

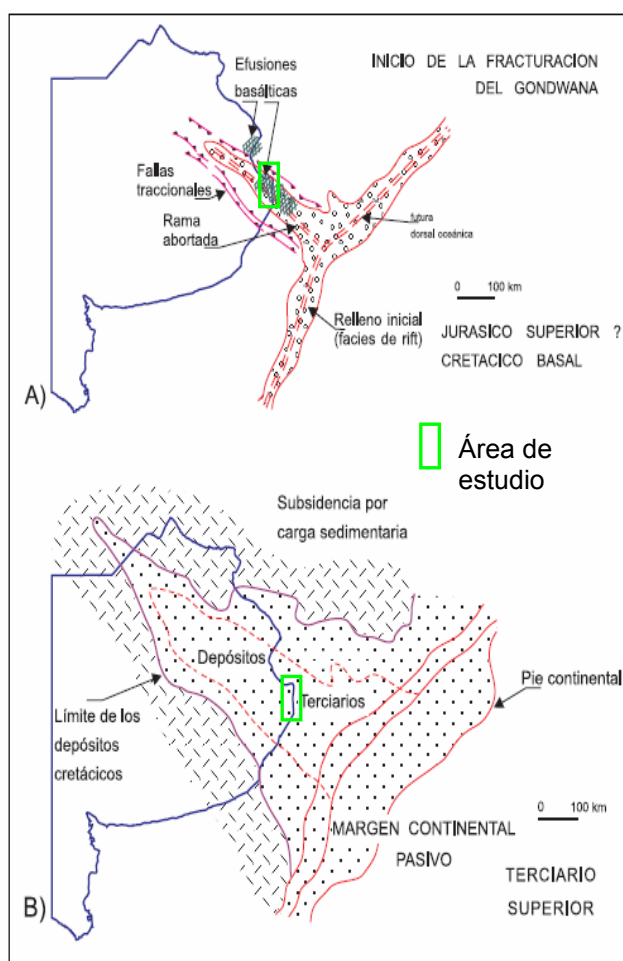


Figura 3.1. Cuenca aulacogénica del Salado (tomado de Ramos, 1999).

Se describen a continuación los estadios de evolución de la cuenca según Yrigoyen, 1999:

-Estadio prefosa (fase prerift)

Constituye el basamento sobre el que está desarrollada la cuenca del Salado. Estos terrenos se los reconoce aflorando en los bordes de la misma. En líneas generales están compuestos por metasedimentos de bajo grado, incluyendo cuarcitas y argilitas en contacto tectónico con brechas, esquistos y gneises con intrusiones de granitoides. Costa afuera estos terrenos antiguos han sido alcanzados por las perforaciones profundas realizadas sobre el alto de Martín García, en la porción externa de la cuenca donde por debajo de capas rojas neocomianas se encontraron 1140 m de lutitas negras y 483 m de diamictitas, que corresponderían a depósitos lagunares intracratónicos de edad pérmica.

-Estadio de fosa (fase rift)

Luego de un largo período de erosión, mediante una fuerte discordancia angular se depositaron sedimentos correspondientes al estadio de fosa, los que en la cuenca del Salado se inicia con las volcanitas suprajurásicas - eocretácicas del Grupo Serra Geral. Este episodio volcánico ha sido sincrónico con los primeros procesos tensionales de la deriva continental que provocaron fracturas profundas que alcanzaron las cámaras magmáticas permitiendo la efusión de lavas basálticas tholeíticas e ignimbritas. Continúa una segunda secuencia de depósitos continentales tipo red beds con tendencia grano-decreciente constituida por conglomerados, areniscas y fangolitas pardo-rojizas que rellenan los graben subsidentes. Los espesores de la secuencia del rift son variables debido a escalonamientos del fondo y a la discordancia de su techo, pudiendo superar los 3500 m en el depocentro. Los depósitos del estadio de fosa son conocidos como Formación Río Salado en la cuenca homónima asignada al Cretácico temprano. Todo el estadio de fosa se caracterizó por una fuerte convección térmica en la litósfera.

-Estadio de relleno de cuenca (fase de cuenca interior)

Al cesar el aporte calórico, la litósfera enfriada y fracturada entró en paulatina subsidencia enmarcada dentro de fosas limitadas por zonas de fallas gravitacionales reactivadas por el diastrofismo intersenoniano. Esto dio lugar a la iniciación del relleno

de cuenca subsidente con la individualización de dos litofacies características. La primera de ellas, con neto carácter de red beds, constituye la Formación General Belgrano. Si bien sus espesores varían de acuerdo a su posición dentro de cada depocentro, los valores máximos registrados son 886 m. Estos depósitos mayormente continentales se asientan sobre los sedimentos del estadio de fosa con discordancia angular bien marcada en las secciones sísmicas aunque no tan evidente en la diferenciación litológica.

La segunda litofacies del relleno de cuenca está constituida por sedimentos deltaicos y transicionales de alcance regional que tuvo lugar en el Maastrichtiano - Daniano, confirmado por su elevado contenido micro y macropaleontológico diagnóstico. Se trata de limolitas grises verdosas y arcilitas varicolores, con areniscas, yeso y anhidrita subordinadas. El espesor máximo conocido es de 1190 m para la Formación Las Chilcas.

-Estadio de margen pasivo

Completa la colmatación de las cuencas marginales una serie de secuencias tanto continentales como marinas, de disposición transgresiva - regresiva, que constituyen los depósitos característicos de un margen pasivo correspondiente a la continua expansión del fondo atlántico, que abarca todo el Cenozoico y continúa en nuestros días. Por sobre las unidades marinas de la transgresión larámica tierra adentro siguen depósitos transicionales y luego capas rojas continentales de carácter regresivo. A éstos se los conoce como Formaciones Olivos - Los Cardos ("Mioceno Rojo") conjuntos que alcanzan hasta unos 800 m de potencia y que hacia el este pasan transicionalmente a depósitos deltaicos y marinos, los que se hacen totalmente dominantes antes de alcanzar el talud continental. En el Mioceno temprano a medio se produce otro gran avance marino que, como el anterior maastrichtiano-paleoceno, vuelve a transgredir profundamente en esta parte del continente, representado por la Formación Paraná ("Mioceno Verde"), con espesores máximos registrados de 815 m. En la parte externa de la cuenca del Salado, existe un pasaje gradual entre los depósitos marinos miocenos y las unidades infrayacentes, pero acercándose hacia la costa dicha relación es de pseudo-concordancia, ya que existen claras evidencias de un episodio de fracturamiento que disloca la Formación Olivos sin llegar a afectar a la Formación Paraná que traslapa holgadamente los límites de los depósitos continentales anteriores (Yrigoyen, 1975). El proceso sedimentario cenozoico termina durante el Plioceno con acumulaciones clásticas continentales tierra adentro pero que

muestran siempre progresiva influencia marina a medida que se avanza hacia el océano.

En la cuenca del Salado se han diferenciado depósitos terrígenos pardo rojizos correlacionables con la Formación Arroyo Chasicó, pliocena inferior por su rico contenido faunístico, la que remata en el Plioceno superior con las "Arenas Puelches" conspicuo depósito de arenas cuarzosas, claras y pardo amarillentas, de pocas decenas de metros de potencia. Limos y loess del Grupo Pampa culminan la columna estratigráfica en el Cuaternario. (Figura 3.2 y 3.3)

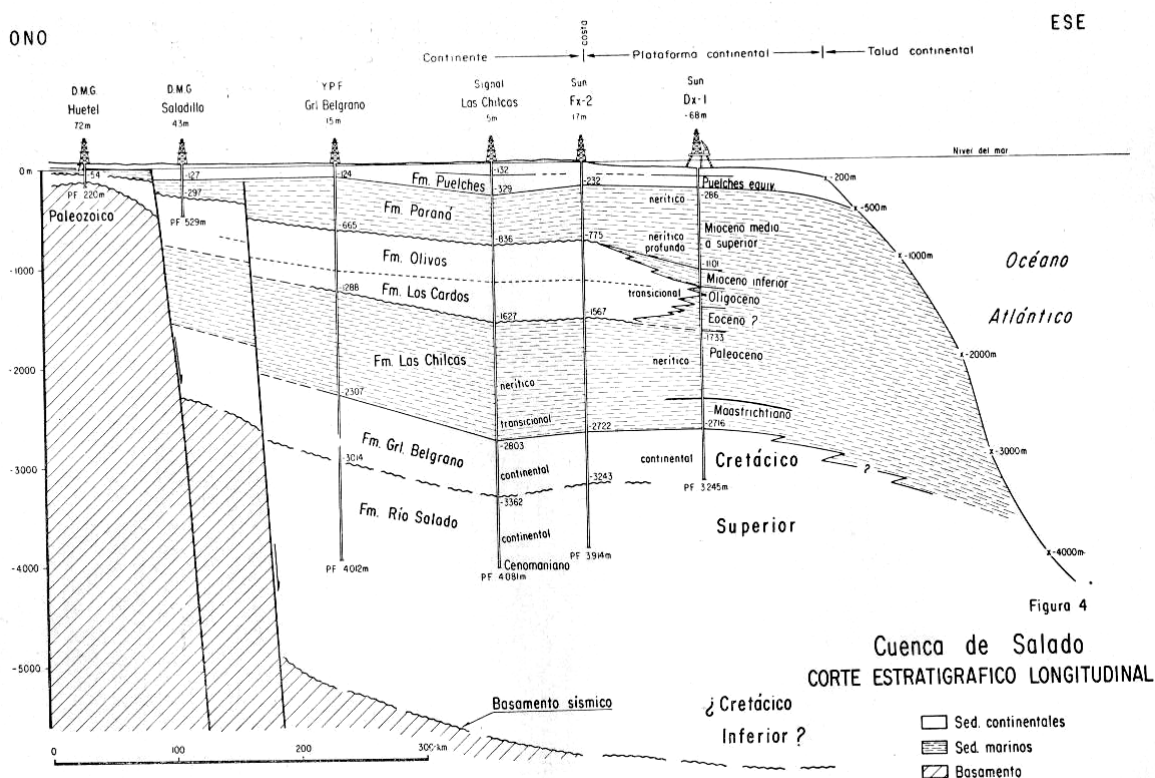


Figura 3.2. Corte estratigráfico longitudinal de la cuenca del Salado (tomado de Yrigoyen, 1975).

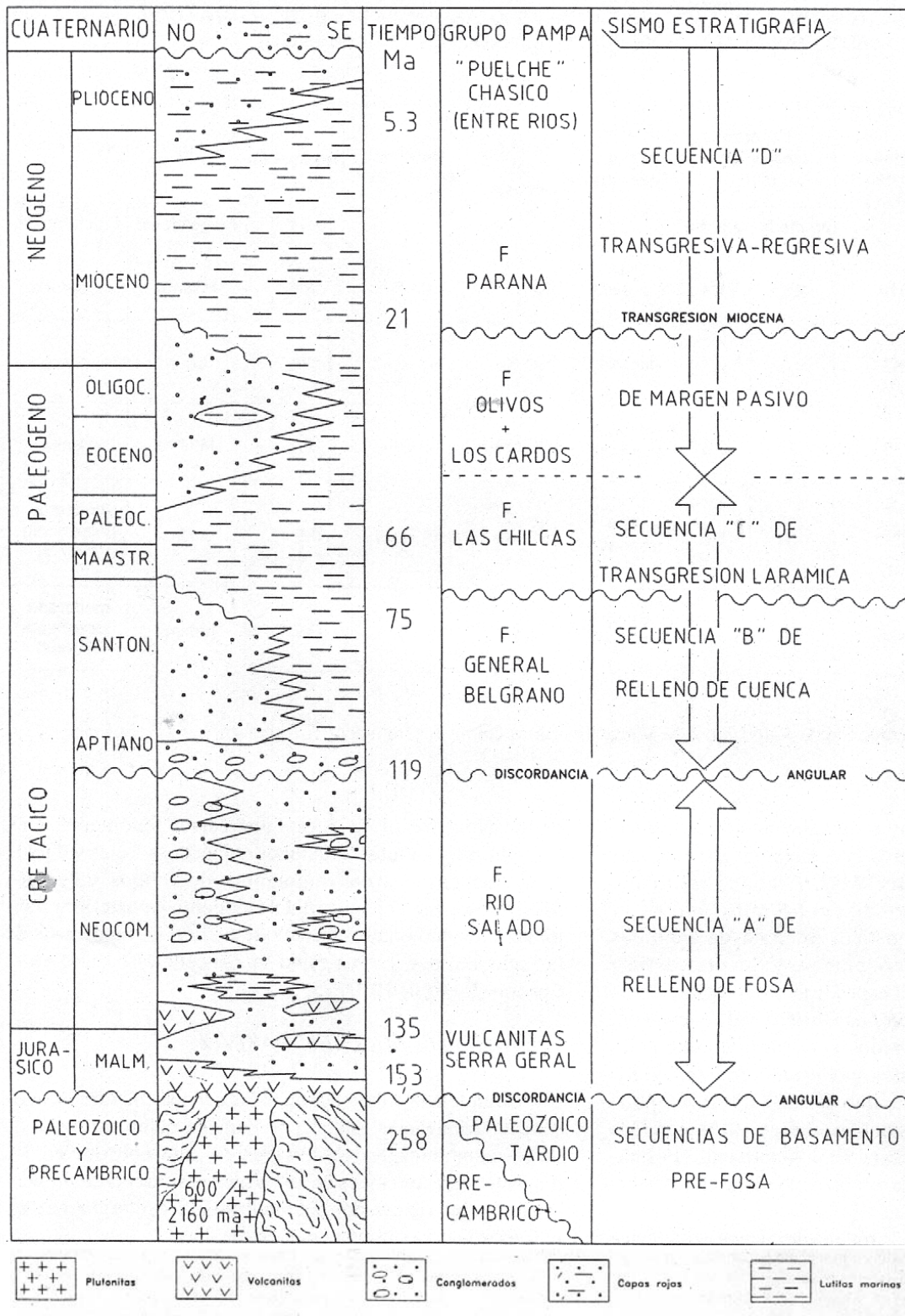


Figura 3.3. Esquema estratigráfico de la cuenca del Salado (modificado de Yrigoyen 1999)

3.1.2. Evolución geológica costera

La evolución de la llanura costera durante el Holoceno adquiere importancia en el comportamiento hidrológico regional. El tema se analizará fundamentalmente en base a Violante y Parker (2000), Violante et al. (2001) y Violante et al. (1992) que han realizados estudios detallados para el área de interés.

El Río de La Plata y la plataforma del nordeste bonaerense junto a las llanuras costeras vecinas, todas vinculadas a la depresión de la Cuenca del Salado, constituyen uno de los ámbitos geográficos argentinos más afectados por la transgresión marina que siguió a la última deglaciación, es por esto que el paquete sedimentario producto de este evento deba ser considerado como una unidad, aunque con características diferentes según los rasgos y procesos locales de cada área.

La distribución espacial y constitución litológica permiten diferenciar tres depocentros; la plataforma, el Río de La Plata y las llanuras costeras. Los sedimentos de la plataforma fueron identificados mediante métodos sísmicos. Están conformados por un manto continuo e ininterrumpido de espesor relativamente uniforme que cubre casi por completo la plataforma exterior. Su litología esta constituida por "sedimentos arenosos medianos a finos producto de la migración de ambientes de barreras litorales durante la transgresión, que fueron posteriormente remodelados y ajustados a las condiciones hidrodinámicas actuales" (Violante y Parker, 2000).

El Holoceno en el Río de La Plata conforma dos depocentros, uno inferior de carácter estuárico y composición arcillosa y otro superior que se manifiesta como un delta progradante compuesto de "sedimentos areno-limo-arcillosos que constituyen una secuencia vertical granocreciente hacia arriba y horizontalmente granocreciente hacia las áreas distales o de desembocadura".

Los depósitos de las llanuras costeras constituyen la terraza aluvial que conforma la cuña clástica costera, que se manifiesta de diferentes maneras según se relacione con el Río de La Plata o la plataforma. En las áreas adyacentes a ésta, se encuentra representada en su sección inferior por "un hem ciclo transgresivo granocreciente hacia arriba con gran acreción vertical, con facies arenosas de barrera texturalmente similares a las arenas de plataforma y por facies arcillosas de lagunas costeras. La sección superior esta representada en cambio, por sedimentos arenosos y arcillosos de playas, ambientes mareales y eólicos que conforman un hem ciclo regresivo granodecreciente hacia arriba y progradante". En las llanuras costeras adyacentes al Río de La Plata, el paquete sedimentario se vincula genéticamente a

cordones litorales asociados a la evolución del estuario. En el área de la Bahía de Samborombón, zona de transición entre los procesos actuantes en ambas llanuras costeras, los sedimentos se manifiestan con litologías uniformes, resultando en arcillas de llanura de mareas (Violante y Parker, 2000).

La evolución de las llanuras costeras del este de la provincia de Buenos Aires (Figura 3.4) según Violante et al., (2001) pueden sintetizarse en tres momentos principales: el periodo deglacial, durante el cual ocurrió el ascenso glacioeustático a una velocidad relativamente constante; la última parte de la transgresión, cuando el mar decreció su velocidad de ascenso hasta llegar a estabilizarse; y una etapa final de descenso de nivel del mar con intensa progradación costera.

Durante el primer periodo (8000-7000 a.A.P.) predominaron los procesos de deriva litoral hacia el norte con desarrollo de sistemas de barreras que se extendieron en dirección nordeste a través de la boca del Río de la Plata permaneciendo arraigadas por un lado a un rasgo costero saliente ubicado al sur como fue la paleopunta Villa Gesell, y por otro lado al Alto Marítimo localizado al norte. El Río de la Plata desaguaba en esa época bordeando la costa uruguaya hasta salir al mar a la altura del este uruguayo.

En el segundo periodo (7000-5000 a.A.P.) el nivel del mar invadió y sobrepasó el Alto Marítimo, y los procesos costeros que actuaban ahí se desplazaron rápidamente hacia la actual Punta Piedras. Simultáneamente, los sedimentos del Río de La Plata se volcaron hacia la plataforma por encima del Alto recién sumergido, llevando a la interacción entre los procesos propios de cada uno de esos ámbitos; esto trajo aparejado cambios en la deriva litoral que, alterada por el efecto de los altos de la paleopunta Villa Gesell y de Punta Piedras, generó sistemas divergentes de espigas de barreras en ambientes de mayor energía adosadas a las primera y cordones litorales de menor energía adosados a la segunda, dando lugar a la formación de células locales de circulación.

El tercer periodo (5000 a.A.P-actualidad) comenzó al iniciarse el descenso del nivel del mar y se extendió hasta la actualidad. Se destaca como evento trascendental el avance del delta hacia el sur que volcó la mayor carga sedimentaria hacia la Bahía de Samborombón. La interacción entre ese proceso y los litorales del cabo San Antonio condujo a la formación de un ámbito protegido, encerrado entre las espigas de barrera evolucionados hacia el sur, en el cual dominaron los procesos de baja energía que permitieron la depositación de los sedimentos provenientes de la plataforma y los propios del río, que junto a las condiciones dominantes de mayor energía

provenientes del sur, provocó una rápida progradación hacia el norte llevando al cerramiento progresivo de la Bahía de Samborombón hasta llegar a su presente configuración.

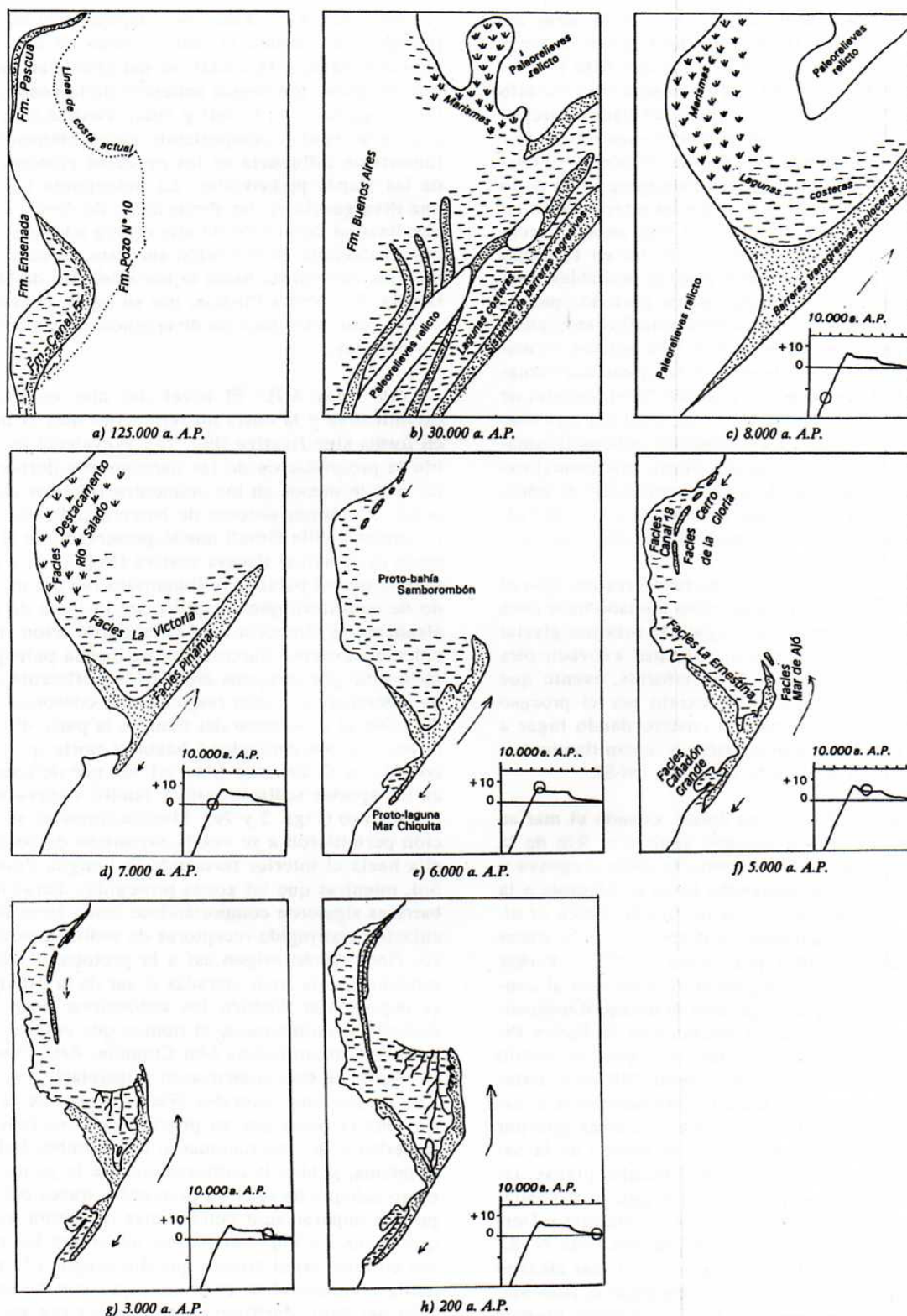


Figura 3.4. Esquema evolutivo de la región a partir del Pleistoceno tardío (Violante et al., 2001)

El conjunto de depósitos holocenos de la región constituye una *secuencia depositacional* (Violante et al.1992) que comprende a todos los ambientes sedimentarios interrelacionados entre si formados por procesos vinculados a la transgresión marina ocurrida a partir del ultimo máximo glacial, que se extiende desde la parte superior del delta del Paraná hasta la emersión continental. Los términos Holoceno y transgresión holocena deberían ser equivalentes y abarcar todo el evento transgresivo que sin solución de continuidad transcurrió durante los últimos 18.000 a 20.000 años.

Los ambientes que conforman la secuencia depositacional se formaron en respuesta a un proceso de transgresión y otro de regresión, cuyos registros geológicos reflejan la ocurrencia de estos eventos constituyendo *cortejos sedimentarios*, uno transgresivo y otro de nivel alto. Los ambientes de sedimentación individuales dentro de cada cortejo son los *sistemas depositacionales* (Violante y Parker, 2000 op. cit.)

El cortejo *sedimentario transgresivo* esta integrado por tres *sistemas depositacionales*, (Figura 3.5) de los cuales el único que se extiende en el subsuelo de las llanuras costeras es el *sistema depositacional de barreras litorales*, que incluye los ambientes de barrera propiamente dicha, playas, albuferas y llanuras de mareas. Por su parte, en la plataforma interior se desarrolla un *sistema depositacional litoral relictos* formado por el manto arenoso remanente de los sucesivos sistemas de barrera que migraron durante la transgresion holocena y, en el ambiente del Río de La Plata, lo hace el *sistema depositacional estuárico*, caracterizado por la presencia de sedimentos arcillosos depositados durante los periodos en que el río se mantuvo separado del mar abierto por el Alto Marítimo.

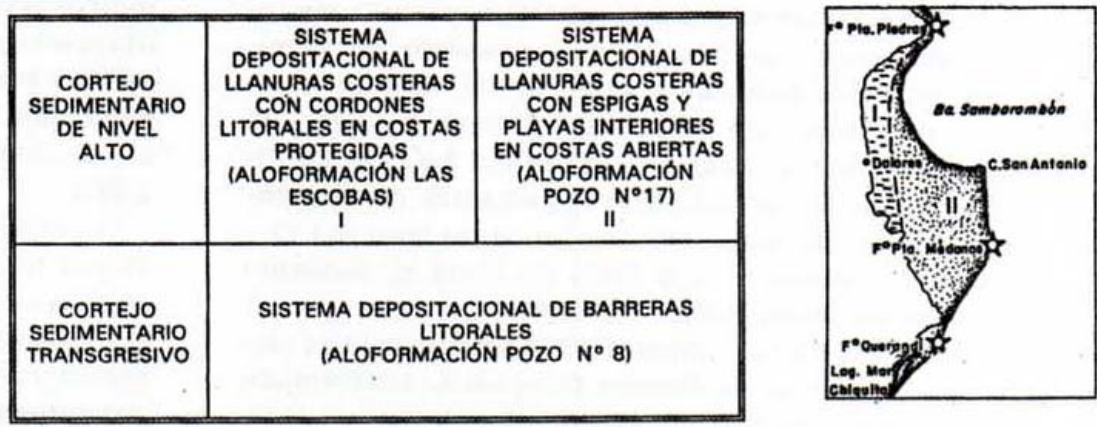


Figura 3.5. Cuadro estratigráfico modificado de Parker y Violante, 1993. Tomado de Violante et al. (2001)

El cortejo sedimentario de nivel alto esta integrado por todos aquellos sistemas depositacionales evolucionados durante las etapas finales de la transgresión holocena y las correspondientes al evento regresivo progradante subsiguiente. En las llanuras costeras se encuentra el sistema depositacional de cordones litorales en costas protegidas en las costas del Río de La Plata incluida la Bahía de Samborombón; en regiones adyacentes se hallan el sistema depositacional deltaico, desarrollado en el Río de la Plata, y el sistema depositacional de plataforma, formado en las áreas sumergidas a partir del remodelado de las arenas relictos del Holoceno transgresivo

Los cortes estratigráficos para diferentes sectores de la región pueden verse en la Figura 3.6.

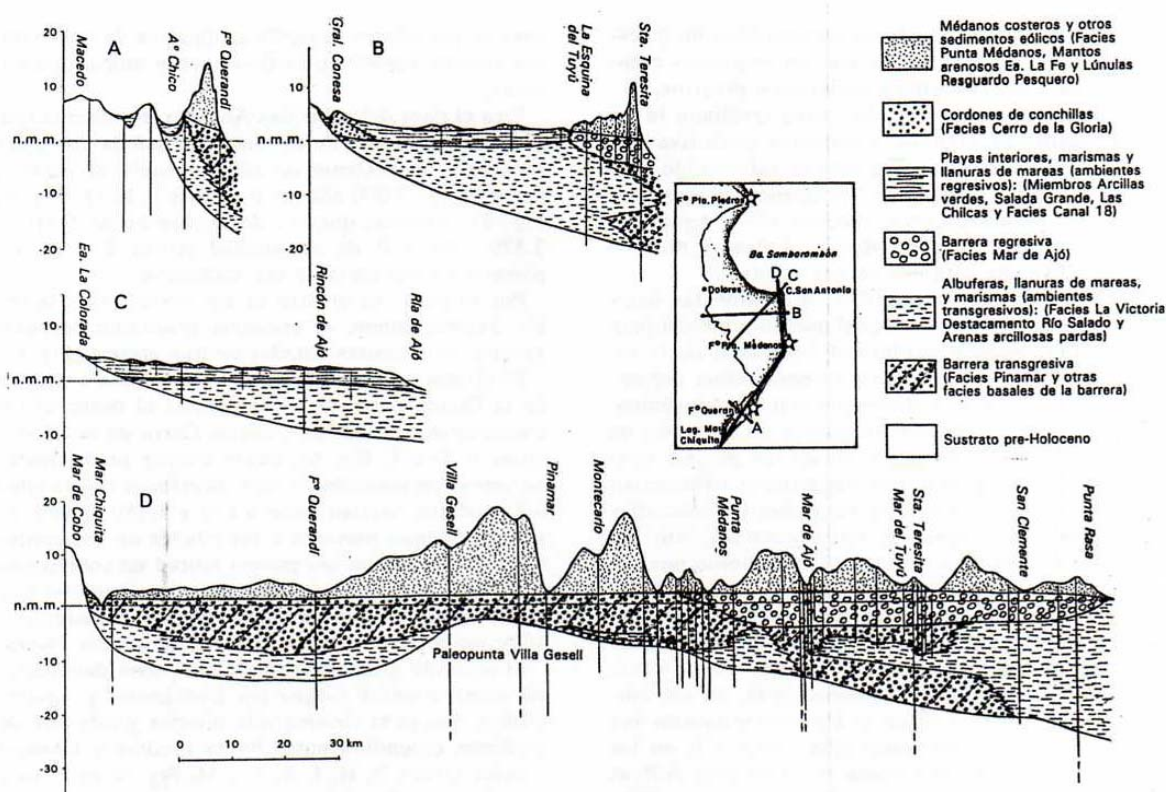


Figura 3.6. Cortes estratigráficos de diferentes sectores del litoral bonaerense, a) corte típico del área Laguna Mar Chiquita; b) Cabo San Antonio; c) sector sur de la Bahía de Samborombón; d) a lo largo de la línea de costa entre Mar Chiquita y Punta Rasa (tomado de Violante et al., 2001)

3.1.3. Estratigrafía Pleistoceno - Holoceno

La región presenta una secuencia, en su mayoría, de origen marino en donde se incluyen ambientes litorales, de barrera, albufera, etc., compuesto por arenas, arenas con conchillas, limos, y arcillas, finalizando con arenas eólicas que conforman los médanos actuales.

A continuación se presenta un cuadro basado en las descripciones del CFI (1989a) con las formaciones que se encuentran el área de estudio entre Punta Rasa a Punta Médanos (Tabla 3.1).

Nombre	Localidad tipo	Litología	Distribución	Relaciones estratigráficas	Espesor	Contenido faunístico	Edad	Ambiente de depositación
Fm Pozo N° 4	Pozo N° 4 en Pto Casales al oeste de Pinamar	margas y arcillas con intercalación de arcillas arenosas y niveles de conchillas. Techo con niveles de óxidos de hierro	hacia el norte de Pinamar, se hunde al SE. No aflora	grada al SO a la Fm Lomauquén. Sobrepuesta por Fm Pozo N°10	máximo 7 m sin llegar a la base	fragmentos triturados de conchillas	Pleistoceno Medio	plataforma interior
Fm Pozo N° 10	Pozo N° 10 al oeste de Lag. Salada Grande	arenas finas a medias pasan al este a arcillas con intercalaciones arenosas y conchillas. Clastos gruesos en la base	subsuelo desde Pinamar hacia el norte, al este del meridiano que pasa por Gral. Madariaga. También en plataforma aflora frente a la costa y en el fondo de canales profundos entre bancos alineados al E y SE de Pta Medanos, hunde al NE	Pasa al SO a la Fm Canal 5. Es sobrepuesta por Fm Pozo n° 8 y subyace a la Fm Pozo n° 4	casi 14 m	muy triturado de bivalvos de ambiente marino poco profundo.	Pleistoceno Superior Depositado durante el Interglacial Belgrano	litoral poco profundo a plataforma interior
Fm Cañadón Grande	Canal de desagüe del Cañadón Grande hacia A° de las Gallinas	arena limoarcillosas con conchillas	ámbito de Cuenca Interior Sur	es el equivalente lateral de Fm Canal 5. Sobrepuesto por Fm La Diana o por nivel entoscado	1 a 1,5 m	bivalvos y pequeños gastrópodos	Holoceno Temprano	llanura de mareas protegidas a espaldas del cordón de barrera pre-holoceno, cuando el nivel del mar alcanzó el punto más alto e inundó áreas deprimidas detrás de él

Nombre	Localidad tipo	Litología	Distribución	Relaciones estratigráficas	Espesor	Contenido faunístico	Edad	Ambiente de depositación
Fm Pozo N° 8	Perforado en Ea San José de las Chilcas	FC Pinamar: arenas variables y abundante restos de conchillas. FC La Victoria: arcillas plásticas con materia orgánica y arenas muy finas a limos arcillosos con conchillas triturada. FC Destacamento Río Salado: de arenas a limos con arcillas FC Arenas arcillosas pardas: arena fina muy fino abundante conchillas	2 áreas al N y S: Complejo Lagunar Salada Grande- B. Samborombón con FC La Victoria, Dto Río Salado y Arenas arcillosas. Sistema Laguna Mar Chiquita: FC La Victoria únicamente	apoya sobre Fm Canal 5 y Pozo n° 10. Sobrepuesta por Fm Pozo n° 17 o FC Cerro de la Gloria	máximo de 8 m en Cabo San Antonio y 10 m en Fo Querandí	restos escasos de bivalvos	Holoceno Temprano	FC Pinamar: sistema de barrera costera en facies transgresivas. FC Pinamar: barrera FC La Victoria: depósito de albúfera FC Dto Río Salado: amplias llanuras de marea o marismas, cangreiales que se extendieron a la albúfera en el área de bahía Samborombón FC Arenas arcillosas: depósitos arenosos de playa
Fm Buenos Aires	Ciudad de Bs As	limos, loess castaño claro, rojizo, masivos	Parte occidental del área hacia la costa como cuña entre Valeria del Mar y Va. Gesell. Forma divisoria entre Lag. Salada Gde. y Mar Chiquita	Sobre Fm Ensenada, y Pascua y Canal 5 . Sobrepuesta por distintas unidades del Holoceno	9 m	Escasos restos mamíferos	Pleistoceno Tardío. Mamífero-Lujanense	Continental. Por acción eólica como manto sobre superficie previa ondulada de sedimentos continentales y marinos

Nombre	Localidad tipo	Litología	Distribución	Relaciones estratigráficas	Espesor	Contenido faunístico	Edad	Ambiente de depositación
Fm Pozo Nº 17	Perforado en Pto Viuda de Venner cerca de Mar de Ajó	<p>FC.Mar de Ajó: arenas con conchillas y gravas con materia orgánica (crestas de playa al N de Mar de Ajó).</p> <p>FC.Pto.del.Tigre: arenas finas con conchillas trituradas (maniforme, representa espigas interiores asociado a evolución de Lag. Mar Chiquita)</p> <p>FC.La Ernestina: Mb inferior: arcillas verdes.</p> <p>Mb Salada Grande: arenas y limos.</p> <p>Mb Las Chilcas: arcillas con materia orgánica y óxidos de Fe.</p> <p>Por encima hay depósitos que difieren según el área:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Lúnulas de resguardo (dunas pelíticas) -Mantos arenosos Ea La Fe (arenas) -Chernier Gral. Lavalle (bancos conchillas en matriz areno arcillosa) 	<p>todo el ámbito de cuenca marina holocena al N y S de región Pinamar-Villa Gesell.</p> <p>FC.Mar Chiquita, franja costera al N de Pta Medanos.</p> <p>FC La Ernestina Mb Arcillas Verdes , al oeste del anterior entre Lucila del Mar y Pta Médanos y sur de Va. Gesell (Fm A° de las Gallinas), el resto de la facies únicamente en la cuenca norte. Los sedimentos del tope tienen áreas específicas</p>	<p>Apoya sobre Fm Pozo nº 8. La sobrepone, a través de un suelo enterrado, la Fm Pta Médanos</p>	<p>En general 2 m. Donde aparece el Mb Arcillas Verdes llega a 6-7 m</p>	<p>FC.Mar.de.Ajó: moluscos marinos de playa y litorales poco profundos.</p> <p>FC.La Ernestina: de ambiente salobre</p>	<p>Holoceno Tardío</p>	<p>Corresponden a diferentes ambientes asociados a sistemas de barra litoral evolucionado durante la etapa regresiva. FC.Mar de Ajó: barrera desarrollada por acreción de espigas de playa que crecieron partir de Pta Médanos hacia el norte, cerrando el ambiente albuferico-mareal del Cjo Lagunar Salada Gde.-Bahía Samborombón.</p> <p>FC.Pto.del.Tigre: espigas interiores asociadas a evolución de Lag Mar Chiquita desde Va Gesell al sur.</p> <p>FC.La Ernestina: ambientes albufericos (Mb Arcillas verdes), playas interiores (Mb Salada Gde.), mareasles (Mb Las Chilcas), y sedimentos terminales de la etapa final de la evolución del sistema de barrera (Chernier Gral. Lavalle, mantos Arenosos Ea La Fe, y Lúnulas de resguardo Pesquero) colmataron las áreas bajas que quedaron por detrás de las barreras</p>
Fm Punta Médanos	Área de Punta Médanos	arenas finas, medianas con restos de conchillas, típicas dunas costeras	sin interrupción por toda la costa, franja de hasta 3-4 km ancho adyacente a la playa	se superpone a la FC Mar de Ajó al norte de Pta Médanos y a la FC Pinamar al sur	hasta 30m	conchillas de especie de playa actuales	final del Holoceno Tardío	médanos actuales, por acción eólica a expensas de los sedimentos de playa.

Tabla 3.1. Estratigrafía regional.

Para el análisis hidrogeológico, las formaciones arenosas son las que presentan un mayor interés debido a su alta permeabilidad y capacidad de almacenamiento como capas acuíferas.

3.2. Rasgos geomorfológicos

Los rasgos geomorfológicos se relacionan al ámbito regional de la Pampa Deprimida (Frenquelli, 1946). Se reconoce un amplio sector continental y una restringida franja costera con rasgos particulares. El primero, se caracteriza por un relieve extremadamente llano de muy baja pendiente. La zona topográficamente más baja es el río Salado, donde se localiza el eje de la cuenca tectónica. El resultado, consecuencia de tan bajos gradientes, se manifiesta en condiciones de drenaje superficial muy deficiente, el cual actualmente se encuentra muy modificado debido a una red de canales artificiales de descarga que han interconectado cuerpos de agua, mientras que la construcción de carreteras y caminos ha generado endicamientos y anegamientos de diferentes sectores (Zárate y Rabassa, 2005). El relieve más marcado, que se encuentra en algunas partes del área, son ondulaciones muy suaves, excepcionalmente de 2 m de desnivel. (Tricart, 1973)

El ambiente costero propiamente dicho se puede dividir en tres regiones: terraza alta, terraza baja y cordón costero, las cuales se subdividen de acuerdo a características particulares de acuerdo a lo indicado en la Tabla 3.2 según la nomenclatura utilizada por CFI (1989a).

Región (forma primaria)	Subregión (forma Secundaria)
Terraza alta	Llanura alta
Terraza baja	Llanura deprimida
	Cordones litorales
	Cuenca interior norte
Cordón costero	Médano
	Playa

Tabla 3.2. Regiones geomorfológicas

Se describen a continuación las características de cada una, pudiéndose visualizar su ubicación y extensión en la Figura 3.7:

Terraza alta: incluye la subregión de la llanura alta. Se trata de una superficie suavemente ondulada y algo inclinada al este por encima de la cota de los 5 m s.n.m., sin elementos fisiográficos importantes. El drenaje es por canales artificiales. Está conformada por sedimentos pleistocenos y el borde oriental es un acantilado de no más de 1 m de altura que representa un resalto de pendiente, formado por erosión de olas en el máximo nivel del mar del Holoceno.

Terraza baja: se desarrolla al norte, este y sureste del cordón de barrera, entre éste y el cordón costero, a excepción del área adyacente a la Bahía de Samborombón, que se mantiene abierta al mar. Es una superficie plana, en forma de cubeta suave. Las cotas son inferiores a 5 m s.n.m., lo cual marca el límite con la terraza alta. En la zona norte, existe un drenaje natural por el río Ajó hacia la Bahía de Samborombón. Los arroyos están alimentados por canales artificiales que facilitan el escurrimiento. Es el área cubierta por sedimentos estuáricos y lagunares asociados a barreras litorales en la transgresión holocena.

Se pueden distinguir tres subregiones:

- Llanura deprimida: definida entre el cordón costero al este y la terraza alta y cordones litorales al oeste. Existe un declive hacia el centro y norte de la cuenca. Presenta geoformas menores.

Las de relieve positivo no exceden de 1,5 m sobre el relieve circundante, bordea el eje deprimido central desde Gral. Lavalle al sur. Las formas son médanos arcillosos (lúnulas) al suroeste, médanos arenosos (mantos) al este y noreste, y crestas de playa, ubicados al oeste de los médanos costeros.

Las de relieve negativo incluyen a los canales de marea, los cuales definen una red de cursos irregulares que convergen hacia el norte al Río Ajó con drenaje muy lento conformando cañadas con vegetación. Cerca de la Bahía de Samborombón y el Río Ajó son verdaderos canales de marea en donde se forman cangrejales.

- Cordones litorales: se componen de materiales gravosos conchiles hasta arenas, depositados por acción de tormentas y distribuidos por corrientes litorales en sentido norte-sur. Las cotas están en el orden de los 5 m s.n.m., excepcionalmente llegan a 10 m de altura y el ancho de estos cordones oscila en 2 km.

- Cuenca interior norte: se localiza por detrás de los cordones litorales, con cotas de 4 m s.n.m., es una superficie plana surcada por canales de marea. Son materiales finos lagunares cubiertos por sedimentos eólicos. Evolucionó a partir del máximo del holoceno. Presenta bañados, esteros y cañadas con lagunas temporarias y permanentes. El drenaje es por medio de canales.

Cordón costero: se desarrolla sin interrupciones desde Punta Rasa hasta la desembocadura de la laguna Mar Chiquita, tiene un ancho de 2-4 km con mayor desarrollo en la zona de Punta Medanos.

Presenta dos subregiones:

- Playas: rectilíneas, entre 50 y 150 m de ancho, con pendientes suaves, de arenas finas a medias, excepcionalmente gruesas. Son del tipo costas en construcción, sin barrancas, con playa arenosa. La zona al norte entre Mar de Ajó y Punta Médanos, de 70 a 100 m de ancho, tiene pendiente suave, con poca o nula diferencia entre los elementos de la morfología de la playa, la zona intertidal es casi todo el ancho. Presenta arenas finas, seleccionadas, con bajo porcentaje de carbonato de calcio como conchillas. Su dinámica de sedimentación es baja. La tendencia general de transporte en toda la playa desde la zona de San Clemente a Faro Querandí, presenta dos células de circulación, una desde el sur hasta Punta Médanos al norte, y otra de Pinamar al sur, aunque las condiciones oceanográficas indican un transporte neto de sedimentos hacia el norte

- Médanos: ubicados al oeste de la playa que les da origen. Entre en Cabo San Antonio y Punta Médanos son bajos y fijados por la vegetación. A veces es difícil identificar formas definidas. El balance según la cantidad de arena movida por el viento es positivo hacia el continente. La deriva litoral coincide con el transporte neto por el viento en dirección norte y se observa una pérdida de áreas de la playa que se van incorporando a los médanos.

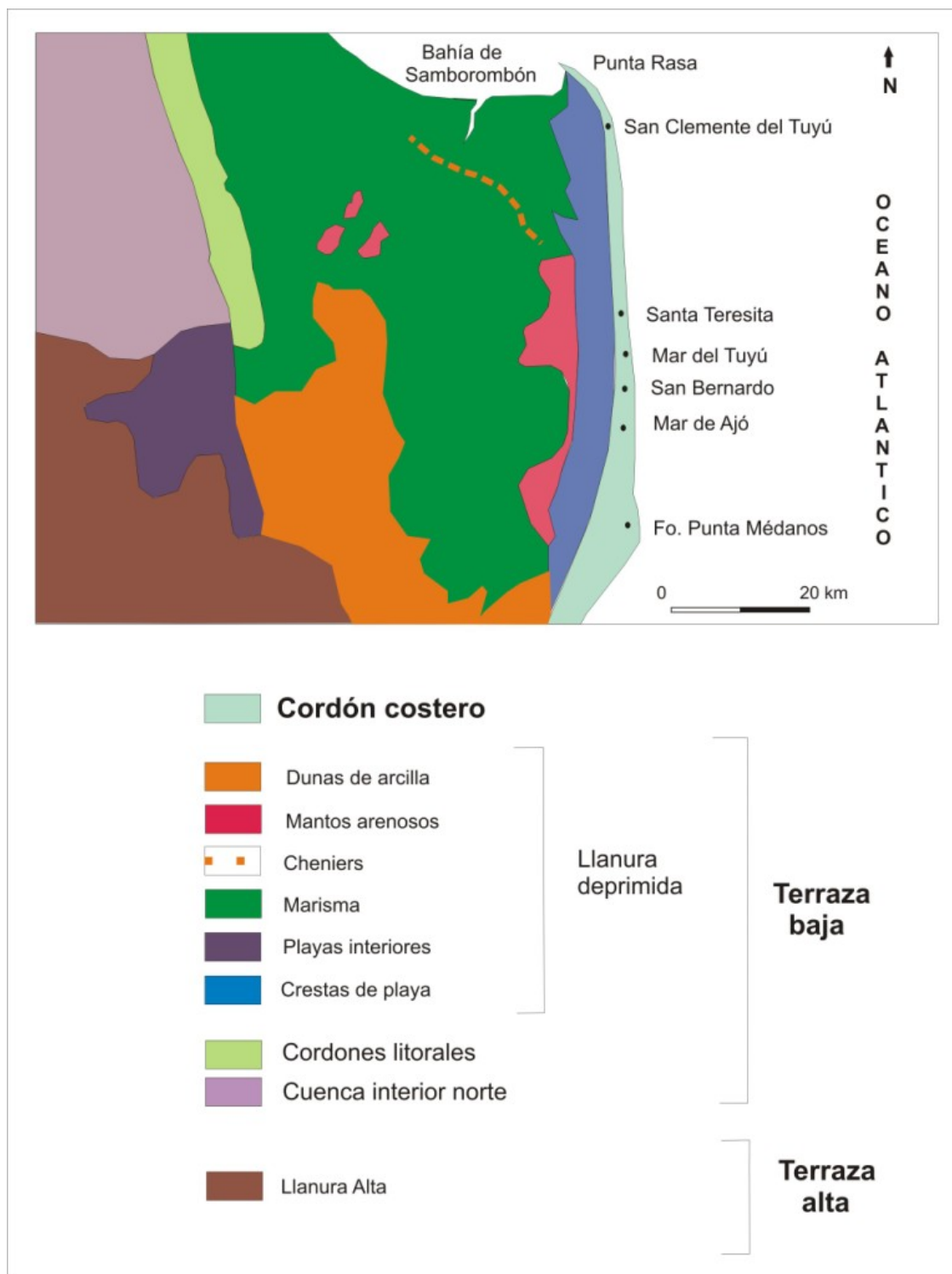


Figura 3 7. Mapa geomorfológico de la región

En el contexto geomorfológico de la región los rasgos que presentan una litología arenosa, entre ellos el cordón costero, revisten una especial importancia y adquieren relevancia en la caracterización hidrogeológica. La infiltración favorecida en estos ambientes indicaría puntos de interés en donde se produciría el potencial almacenamiento de las aguas subterráneas.

3.3. Suelos

Dentro de los distintos ambientes geomorfológicos estudiados, se distinguen tres tipos de suelos de acuerdo al sustrato que les dio origen (Tabla 3.3)

Ambiente	grado de evolución	espesor	Horizontes	clasificación	Capacidad de uso
Terraza Alta	Bien evolucionados	60-80 cm	A: oscuro alto contenido de humus, profundo, bien desarrollado. B: moderadamente bien drenado	Brunizem Argiudoles	uso agrícola-ganadero
Terraza Baja	Poco evolucionados, carácter insipiente		Sin horizontes diferenciados, bajo en humus, alto en CaCO ₃	Gley , Solonetz Natracualfes y Natracuoles	restringido uso agrícola-ganadero
Cordón Costero	Sin desarrollo arenosos		Excesivamente drenados e inestables	Cuarzipsamientos	forestación

Tabla 3.3. Suelos representativos de la región

Como puede observarse, en la región del cordón costero, el desarrollo de los suelos es inexistente. De acuerdo al mapa de suelos del INTA (1989) (Figura 3.8), la zona de estudio esta representada por el dominio edáfico 27, que se extiende desde San Clemente del Tuyú hasta la laguna de Mar Chiquita y desde Miramar hasta Punta Alta (Bahía Blanca), costa marina del partido de Patagones.

Los sedimentos originarios de los suelos de este dominio son arenas de playa marina. La mayor parte del paisaje consiste en dunas costeras. Los suelos hallados están en relación con el grado de estabilidad que presentan las acumulaciones arenosas. Los Cuarzipsamientos y Torripsamientos típicos se encuentran en las partes más activas, desprovistos de vegetación; los Haplustoles énticos y arídicos y los Hapludoles énticos, en los sectores más planos con mayor cobertura vegetal.

Dentro del dominio edáfico 27, encontramos la unidad 27a que es la que caracteriza el área de interés. El paisaje es de dunas dispuestas en forma de cordones. Algunas tienen crestas activas, en tanto que otras están fijadas por la vegetación. La asociación de suelos esta compuesta por Udipsament típico, en distintas posiciones de la duna algo estabilizadas por la vegetación. Cuarzipsamet típico, en dunas activas y Hapludol éntico en sectores plano-cóncavos entre dunas,

cubiertos por vegetación. Se pueden encontrar suelos menores, en áreas deprimidas, donde el agua puede quedar algún tiempo estacionada, allí se encuentran suelos con un horizonte B2 muy incipiente (Hapludol típico). Los suelos de la zona presentan como limitaciones una erosión eólica severa y una alta permeabilidad. Esto último es de gran importancia en su relación con la infiltración y recarga del sistema acuífero.

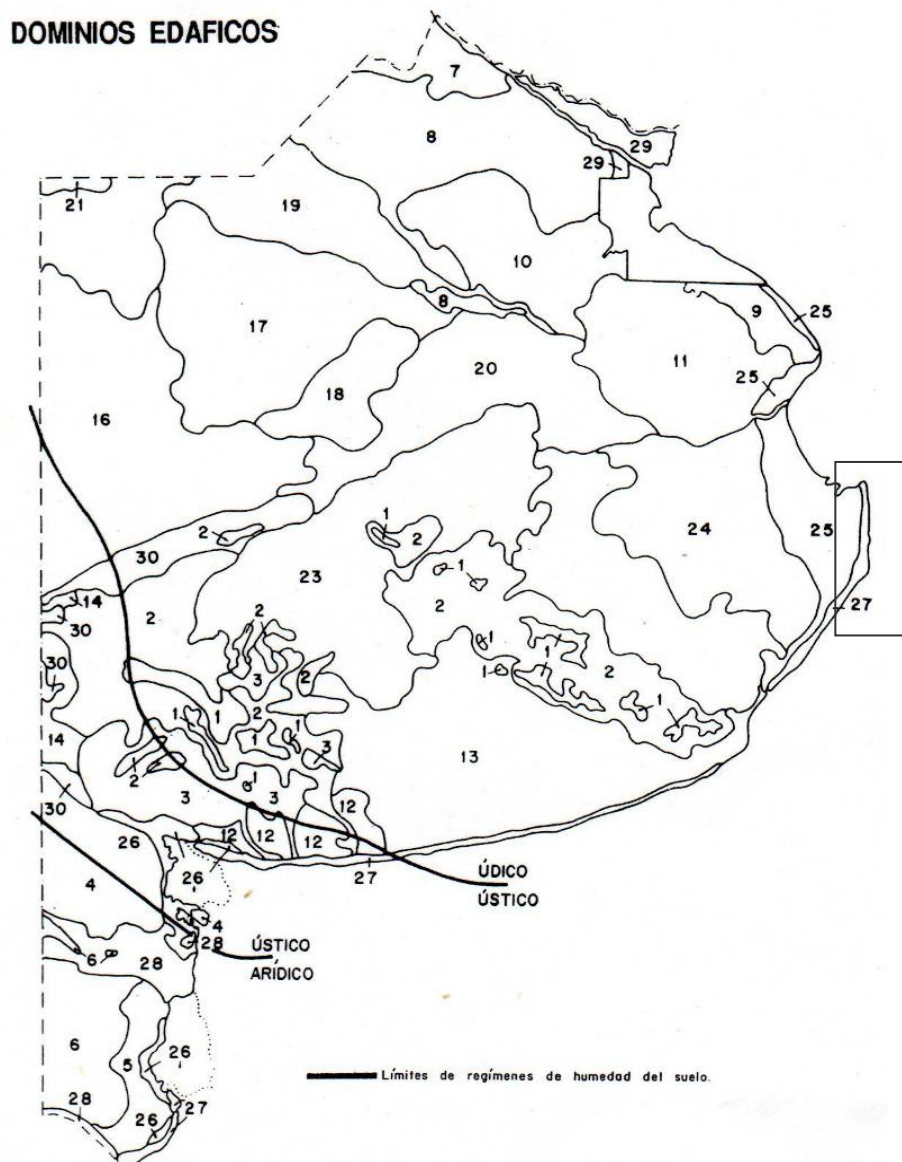


Figura 3.8. Mapa dominios edáficos de la Pcia. de Buenos Aires (INTA, 1989)

3.4. Condiciones climáticas

3.4.1. Caracterización general

El clima de la región es templado húmedo. Según la clasificación de Thornthwaite es $B1B'2ra'$, donde $B1$ es húmedo, $B'2$ es mesotermal (templado), r representa un nulo a pequeño déficit de agua, y a una concentración estival de la eficiencia térmica menor del 48 % (CFI, 1990a).

Las estaciones meteorológicas para realizar la caracterización climática se indican en la Figura 3.9. Algunas se encuentran fuera del área de estudio, y han sido utilizadas de apoyo.



Figura 3.9. Estaciones meteorológicas utilizadas para el análisis climático

La precipitación media (1925 – 2008) es 929 mm/año en Dolores y 965 mm/año en Punta Indio. En la Figura 3.10 se observa la serie anual, reconociéndose en ambos casos una leve tendencia positiva. De acuerdo a estas condiciones, las precipitaciones, como fuente de ingreso al sistema hídrico en sus términos medios se han mantenido o mostraron un leve aumento en el período analizado. El valor máximo es 1446,6 mm en 1963 para Dolores y 1734,5 mm en 1993 para Punta Indio. Las precipitaciones mínimas fueron 1929 con 531 mm en Dolores, y 1976 con 497,5 mm en Punta Indio.

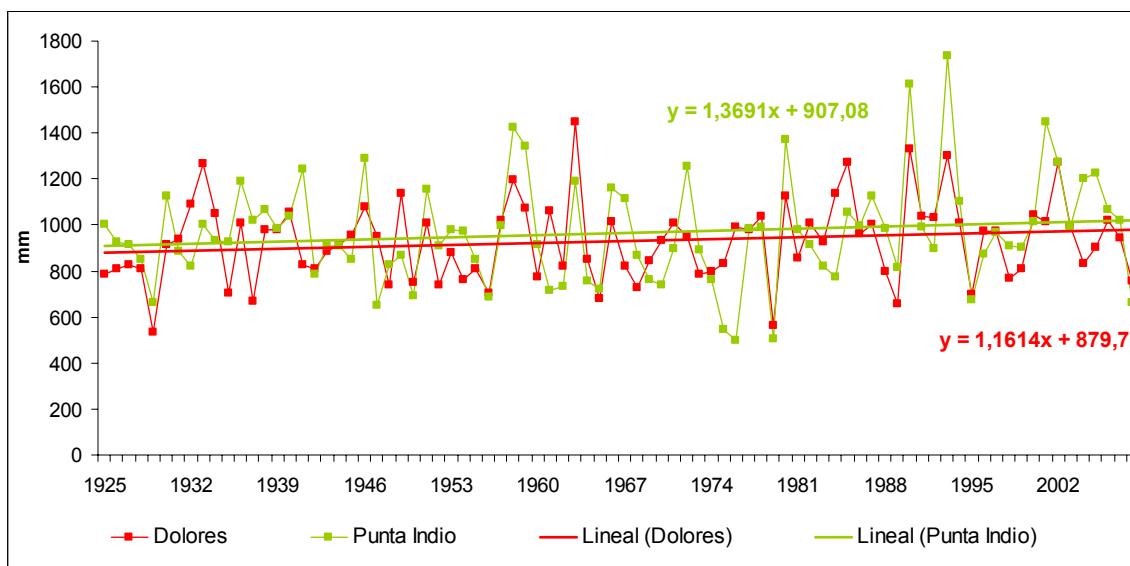


Figura 3.10. Serie histórica de precipitaciones anuales para dos estaciones del SMN de la región (1925-2008)

Se analizaron las lluvias incluyendo a las dos estaciones descriptas y Santa Teresita, en la zona de estudio, en el periodo de datos en común (1990-2005). La media anual es 1000,4 mm en Dolores, 1110,6 mm en Punta Indio y 1001,1 mm en Sta. Teresita. Estos valores confirman la homogeneidad en la precipitación anual a una escala regional.

Los valores máximos se produjeron en 1993 para Punta Indio (1734 mm) y para Sta. Teresita (1380 mm) mientras que en Dolores fue en 1990 (1330 mm). Las mínimas coinciden en 1997 para Dolores y Punta Indio con 695 y 677 mm respectivamente, siendo para Sta. Teresita de 773 mm en 2004. (Tabla 3.4)

	Media anual (1990-2006)	Máxima anual (mm)	Mínima anual (mm)
Dolores	1000,4	1330(1990)	695(1995)
Punta Indio	1110,6	1734(1993)	677(1995)
Sta. Teresita	1001,1	1380(1993)	773(2004)

Tabla 3.4. Valores medios de precipitaciones para las estaciones de estudio

Tal como se indicó la serie anual de precipitaciones en Dolores y Punta Indio (1925 – 2008) muestran una tendencia levemente positiva con ecuaciones de la recta muy similares. En cambio en el período 1990-2005 la tendencia es levemente negativa, con ecuaciones similares en Dolores y Sta. Teresita (Figura 3.11).

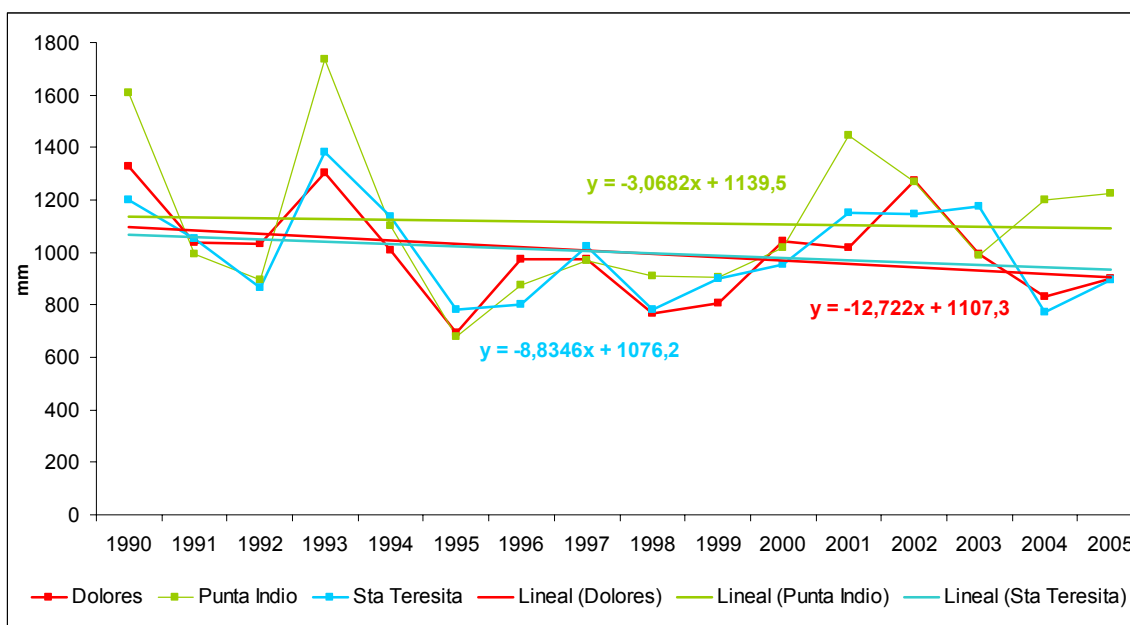


Figura 3.11. Serie 1990-2005 para las estaciones Dolores, Punta Indio y Sta. Teresita del SMN.

En la Tabla 3.5 se indican las precipitaciones mensuales medias, máximas y mínimas de Dolores (1959-2008). El máximo corresponde a noviembre de 1985 con 398,6 mm mientras que el mínimo de 0 mm se dio en dos oportunidades, junio de 1987 y agosto de 1969. De acuerdo a los valores medios, enero es el más lluvioso con 105,5 mm y junio con 52,7 mm el mes con menos lluvias.

El 30,6% de las precipitaciones ocurren en verano, el 21,4% en otoño, el 18,7% en invierno y el 29,4% en primavera. La distribución es relativamente homogénea, sin embargo el verano resulta la estación más lluviosa y el invierno la menor.

Considerando una división en semestres, el húmedo (octubre – marzo) contiene el 60% de las precipitaciones y el seco (abril – septiembre) el 40%.

Precipitaciones (mm)	Media mensual	Mensual máxima	Mensual mínima
Enero	105,4	274,6 (1971)	11,5 (1989)
Febrero	87,4	288,6 (1984)	4 (1959)
Marzo	96,1	330,5 (2002)	3 (1965)
Abril	91,1	376,8 (1993)	8,2 (1968)
Mayo	58,0	158,7 (1990)	7 (1988)
Junio	52,7	154,6 (1992)	0 (1987)
Julio	60,0	160,9 (1978)	5,3 (1993)
Agosto	59,1	157,6 (1963)	0 (1969)
Septiembre	57,2	183 (1982)	0,9 (1995)
Octubre	92,0	211,6 (1967)	8,7 (1964)
Noviembre	96,8	398,6 (1985)	20,4 (1982)
Diciembre	88,7	242,1 (1972)	3 (2008)

Tabla 3.5. Precipitaciones medias mensuales, máximas y mínimas. Estación Dolores (1959-2008)

Las precipitaciones mensuales a través del tiempo muestran una tendencia positiva en enero, febrero, abril, junio, agosto, octubre y noviembre. La recta con mayor pendiente pertenece a enero. Mientras que marzo, mayo, julio, septiembre y diciembre presentan una tendencia a la disminución, siendo julio la de mayor pendiente (Figura 3.12).

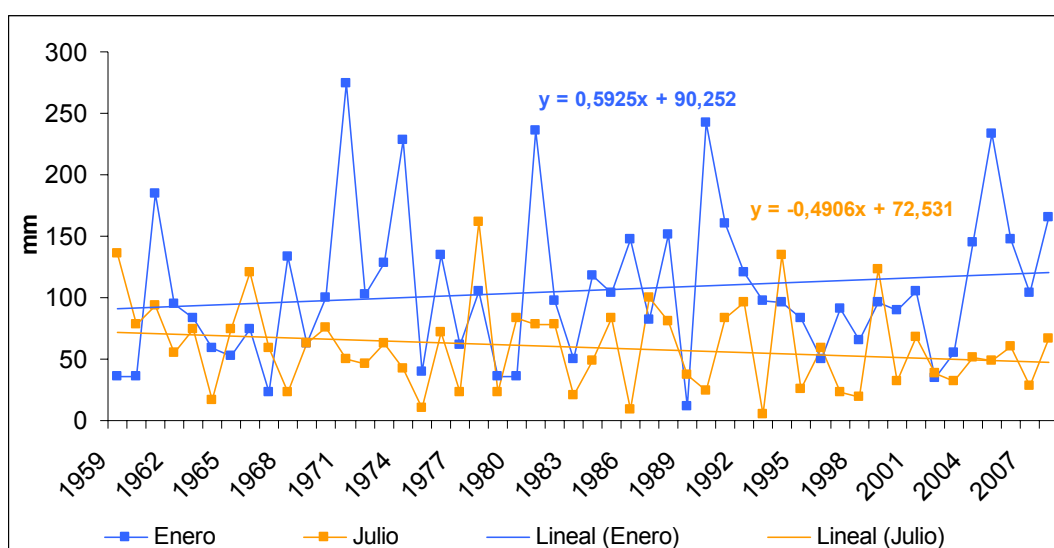


Figura 3.12. Ejemplo de gráfico con valores mensuales para la serie 1959-2008 de Dolores. Se ha elegido como ejemplo los meses con la mayor tendencia positiva y negativa

Las precipitaciones analizadas para períodos más extensos (50 años) en términos generales muestran similitud con los datos del CFI (1990a) donde se consideran períodos del orden de 30 años (Tabla 3.6).

	Periodo	Precipitación media anual	Precipitación Máxima absoluta	Precipitación Mínima absoluta
San Clemente	1948-1968	1035	402 mm (Mar. 1963)	0 mm (Feb. 1959/Jun. 1962/ Sep. 1961)
Mar del Plata	1951-1986	948	375,3 mm (May. 1957)	1,2 mm(Abr. 1964)
Pinamar	1950-1975	897	528,8 mm (May. 1957)	2,1 mm(Jun. 1962)
Dolores	1951-1986	906	398,6 mm (Nov. 1985)	0 mm(Ago. 1969)

Tabla 3.6. Precipitación mensual máxima y mínima absolutas

Puede concluirse que la precipitación media anual es del orden de de 1000 mm con una distribución relativamente homogénea a lo largo del año. Si bien localmente las estaciones presentan datos con cierta variabilidad, en su conjunto dicho valor adquiere validez regional.

Se reconoce que la disminución de las precipitaciones en el invierno puede dar lugar a una menor recarga al acuífero, dado que es la época en que se producen los mayores excesos con posibilidad de infiltración. En cambio la tendencia positiva en las precipitaciones durante el verano no necesariamente implicaría un incremento en la recarga al acuífero que de por sí es de menor importancia ya que se mantiene una elevada evapotranspiración.

Las máximas anuales varían entre 1300 y 1700 mm mientras que las mínimas oscilan entre 670 y 770 mm, representando años de extrema sequía o humedad que afectan de manera directa a la recarga del agua subterránea.

La temperatura media anual para la región es de 14,6°C. De acuerdo a los datos de San Clemente, Pinamar, Mar del Plata, en el sector costero, y Dolores en el sector continental, en CFI (1990a) se sostiene que es observable la influencia de la distancia al mar. Los vientos estacionales del mar hacia la tierra en verano traen aire frío a la estación terrestre, en invierno traen aire más calido. Una estación terrestre cercana a un litoral importante tendría menos variación de la temperatura cuanto más próxima este al litoral, esto se da para San Clemente, Pinamar y Mar del Plata comparada con Dolores. En la Tabla 3.7 pueden verse valores de temperaturas medias y absolutas para las estaciones utilizadas.

	Temp. media anual	Temp. Media enero	Temp. Media julio	Temp. Máxima Absoluta	Temp. Mínima Absoluta
Dolores	14,8	21,4	8,4		
San Clemente	14,5	20,4	8,5	35,6 (Dic. 1962)	-4,6 (Jun. 1967)
Pinamar	14,6	20,4	8,6	37,4 (Dic. 1970)	-6,6 (Jun. 1967)
Mar del Plata	Aero 13,7 Ciudad 13,5	20	Aero 8,4 Ciudad 9	38,2 (Dic. 1970)	-5,8 (Jun. 1962)
Promedio	14,6	20,55	8,7	37,1	-5,7

Tabla 3.7. Temperaturas medias y absolutas para Dolores, San Clemente, Pinamar y Mar del Plata

Es de destacar que los valores son relativamente homogéneos no existiendo grandes diferencias entre las estaciones en lo que a los datos presentados se refiere.

En cuanto al régimen de vientos, existe una gran variabilidad en frecuencia de direcciones entre los 30° y 60° de latitud sur, siendo una región con continuos cambios de dirección y estado del tiempo. Igualmente hay una permanencia de vientos provenientes desde el este. Otras características son que las brisas mar-tierra originan vientos perpendiculares a la línea de costa con importante aporte de humedad. A partir de primavera y casi finalizado el otoño, se observa el pasaje de un frente caliente desde el norte y determina días con vientos norte o noreste, calidos y húmedos. Además los frentes fríos desde la Patagonia producen vientos del noroeste.

En cuanto al análisis de los vientos se listan a continuación las direcciones y frecuencias en escalas de 1000 tomado de las Estadísticas Climatológicas 1951-1960 (SMN, 1965) en donde se encontraban datos disponibles para las estaciones de interés. (Tabla 3.8)

	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	calmas (promedio anual)	velocidad media mensual (km/h)
San Clemente	102	132	210	14	61	72	166	142	1	11-18
Mar del Plata (aero)	133	117	85	79	91	122	86	164	123	22-24
Pinamar	186	112	121	87	149	58	105	109	73	15-18
Dolores	127	185	84	89	110	103	86	112	104	13-20

Tabla. 3.8. Análisis de las características de los vientos.

De acuerdo a los datos de la tabla, se destaca el hecho de que San Clemente casi no presenta días con calmas en el promedio anual, además de mostrar la mayor frecuencia de vientos desde la dirección este.

La franja costera esta influenciada por el mar como factor que aumenta los valores de humedad relativa, así para Pinamar, la media anual es 76 % y para San Clemente 85%. El régimen de tensión de vapor es de 13 y 15 mb para las estaciones mencionadas

En la Tabla 3.9 pueden observarse otros fenómenos meteorológicos descriptos para el área.

Nº de días con:	Heladas	Cielo claro	Cielo cubierto	Granizo	Tormentas eléctricas	Precip.	Niebla
San Clemente (1961-1970)	5,8	144	85			58	
Mar del Plata (1971-1980)	20,1	92	101	1,6	33,5	108	55
Pinamar (1971-1976)	10,6	97	96	3,2	33	111	47,5
Dolores (1971-1980)	25,6	97	103	1	42	102	53

Tabla 3.9. Fenómenos meteorológicos varios para las estaciones de interés

Pueden hacerse algunas observaciones a partir de la tabla, como por ejemplo que en la estación continental (Dolores) la frecuencia de heladas es mayor. San Clemente presenta la mayor cantidad de días con cielo claro y por ende, el menor número de días con precipitaciones. El máximo se da en la zona de Pinamar, junto a los días con granizo. Mar del Plata posee más días con niebla que el resto, y Dolores la máxima cantidad de días con cielo cubierto y tormentas eléctricas.

De acuerdo al análisis de información antecedente como de datos actualizados puede concluirse que la zona de estudio se caracteriza por presentar un esquema regional de homogeneidad climática, con una precipitación media anual del orden de los 1000 mm, donde el mayor porcentaje ocurre de octubre a marzo. La temperatura media anual es de 14,6 °C, la humedad relativa promedio es del 85 % y la frecuencia de vientos es muy variable, aunque la dirección del este es algo predominante

3.4.2. Balance hídrico

Con el objeto de contar con una estimación regional del agua que ingresa y egresa del sistema hidrológico se evaluaron los balances hídricos de Punta Indio, Dolores y Mar del Plata (Tabla 3.10). Los balances realizados en trabajos antecedentes consideran periodos que abarcan las décadas del 40 al 80, por lo tanto se planteó la necesidad de realizar balances hídricos más actualizados.

Estación	Periodo	Precipitaciones	ETR	Excesos	CC	PMP
Punta Indio	1925-2008	965	698	267	180	115
Dolores	1959-2008	944	706	239	168	101
Mar del Plata	1961-2006	933	727	206	260	146
Promedio		947	710	237		

Tabla 3.10. Balances hídricos actualizados. ETR (evapotranspiración real). CC (capacidad de campo). PMP (punto de marchites permanente)

Los balances fueron confeccionados con el programa AGROAGUA v.5.0 (Forte Lay et al., 1995) según Thornthwaite y Mather (1955) utilizando el método de Penman-Monteith para el cálculo de la ET₀ (evaporación de referencia). Los parámetros tales como capacidad de campo (CC) y punto de marchites permanente (PMP) variaron de acuerdo a las características de los suelos de cada localidad, y se consideró un coeficiente de cultivo K_c igual a 1 para todos los casos.

De acuerdo a estos resultados, la ETR oscila entre 698 y 706 con un promedio de 710 mm. Por su parte los excesos están en el orden de los 237 mm, los cuales se producen entre abril y octubre.

De acuerdo a CFI (1990a) los valores obtenidos de acuerdo a la metodología de Thornthwaite y Mather (1955) indican una ETR que oscila entre 700 y 750 mm, con excesos entre 109 a 293 mm con el valor máximo obtenido para San Clemente. Cabe mencionar que en Dolores (estación continental) no se observan diferencias con las estaciones costeras (Tabla 3.11).

Por otra parte Sala et al. (1979) realizó cálculos de evapotranspiración por el método de Thornthwaite (1948), considerando dos periodos (Tabla 3.11). Para 1951-1960 se contó con datos de la Estación San Clemente, con un valor de precipitación

media anual de 1017 mm. El balance resultó en una EVR de 723 mm, excesos de 294 mm/año entre marzo y noviembre.

El periodo que abarca 1960-1975, fue analizado según datos de la estación localizada en el Vivero Cosme Argerich, con precipitación media anual de 747 mm y una ETR 688 mm. Los excesos calculados en 59 mm/año fueron registrados entre fines del invierno y comienzo de la primavera

Otro cálculo de balance hídrico fue realizado por Girardi (1994) quien también utilizó el método Thornthwaite y Mather (1955) (Tabla 3.11). Con una retención de humedad en el suelo de 75 mm y una precipitación de 900 mm como entrada, se obtuvo una ETR de 650 mm, excesos de 252 mm en invierno y primavera, un escurrimiento superficial de 4,5 mm calculado como el 0,5% de la precipitación por el tipo de suelo. La infiltración se estimó en 245,5 mm

Autor	Localidad	Periodo	ETR (mm)	Excesos (mm)	Almacenaje (mm)
CFI (1989)	Mar del Plata	1951-1980	713	198	Min. 241
	Pinamar	1950-1975	719	164	232 (Feb)
	Dolores	1951-1980	738	109	222 (min. Feb)
	San Clemente	1948-1968	741	293	Medio elevado (min. Feb 218)
Sala et al (1979)	San Clemente	1951-1960		294	
		1960-1975		59	
Girardi (1994)	San Clemente		650	252	
Promedio			712	229	230

Tabla 3.11. Balance hídrico según autor y localidad

De acuerdo a los datos obtenidos en el presente trabajo y los valores medios de los autores citados, se concluye que los valores de ETR están en el orden de los 710 mm y mientras que los excesos de agua en 230 mm.

3.5. Caracterización hidrogeológica

3.5.1. Unidades hidrogeológicas

En la caracterización regional se plantea un esquema hidrogeológico compuesto por un sistema somero y otro profundo. En el primero se reconocen cuatro unidades relacionadas con la secuencia sedimentaria psamítico-pelítica originada por sucesivos desplazamientos de la línea de costa por oscilaciones del nivel del mar en el Pleistoceno y Holoceno:

1- acuífero freático:

La unidad más superficial es el acuífero freático con un espesor entre 7 y 18 m, representado por arenas finas a medianas castaño amarillentas (5-8 m); arenas conchilíferas (2-6 m) que aumentan de espesor al E, desaparecen al O; arenas finas y arenas arcillosas (2,5-5 m). Presenta fracciones magnéticas minerales variables entre 0,6 y 7,3 % compuestas por vidrio incoloro y castaño-negro con abundante inclusiones de magnetita, generalizada hematitización, cristales independientes de magnetita con reemplazos a hematita.

2- unidad acuitardo-acuícludo:

Compuesta por arcillas y arcillas arenosas verde grisáceas con valvas enteras, con un espesor de 2,5 a 5 m. que presenta un techo casi horizontal con suave pendiente al sur, situándose entre 8 y 9 m debajo del nivel del mar.

3- complejo acuífero semiconfinado (CAS)

Incluye a limos arenosos y arenas limosas castaño amarillentas friables con propiedades más arcillosas en la base.

4- acuitardo-acuícludo:

Compuesto de arcillas plásticas verde-gris con valvas gruesas y moteados férricos

5- sistema profundo:

Integrado por sedimentos más antiguos que pertenecen al relleno de la Cuenca del Salado, comenzando con un depósito de arenas cuarzosas, claras y pardo amarillentas, de carácter acuífero, que se localiza entre los 90 y 120 m de profundidad. Continúa la secuencia limos y arcillas con intercalaciones psamíticas acuíferas hasta los 800 m. Sigue un depósito con areniscas y arcillas rojas hasta los 1200 m, que presenta niveles acuíferos, acuícludos y acuitardos. Las capas acuíferas del sistema profundo se caracterizan por aguas de elevada salinidad

Los nombres formacionales correspondientes y características de estas unidades están mencionados en la Tabla 3.12.

Hidrogeología	Litología	Formación	Ambiente	Edad		Modelo geoelectrico (resistividad en Ω m)
Acuífero freático (7-18 m)	arenas finas a medianas castaño amarillentas (5-8 m)	Punta Médanos	continental (cordón costero)	Holoceno	Tardío	30-600
	arenas conchilíferas (2-6 m) aumenta al E, desaparece al O	Pozo n° 17	marino (barrera litoral)			
	arenas finas y arenas arcillosas (2,5-5 m)	Pozo n° 8	marino (playa-barrera litoral)		Temprano	
Acuitardo-acuícludo	arcillas y arcillas arenosas verde grisáceas con valvas enteras		albufera			< 10
Complejo Acuífero Semiconfinado	limos arenosos y arenas limosas castaño amarillentas, friables (5 m)	Buenos Aires	continental	Pleistoceno	Tardío	25-100
	arenas y arenas limo arcillosas castaño a amarillento	Pozo n° 10	marino (litoral a plataforma interior)			
	propiedades más arcillosas en la base					
Acuitardo-Acuícludo	arcillas plásticas verde-gris con valvas gruesas y moteados férricos	Pozo n° 4	marino (plataforma interior)		Medio	< 3
Sistema profundo	arenas cuarzosas, claras y pardo amarillentas	"Arenas Puelches"	Continental (fluvial)	Neógeno	Plioceno	
	Limos y arcillas con intercalaciones psamíticas	Paraná ("Verde")	Marino (transgresivo)		Mioceno	
	areniscas y arcillas rojas	Olivos ("Rojo")	Continental (regresivo)	Paleógeno		

Tabla 3.12. Sección tipo área Punta Médanos (Modificado de CFI, 1990b)

El perfil tipo del sistema somero que se indica en la tabla anterior se reconoce íntegramente al sur de Las Toninas y Santa Teresita. Al norte de estas localidades este esquema presenta variaciones debido a cambios de facies en unidades

geológicas. Estas variaciones le otorgan al esquema regional, ciertas particularidades que se describen a continuación:

En el sector de San Clemente del Tuyú y alrededores debajo del acuífero freático (7-10 m), que presenta menor espesor por escasa exposición del cordón costero, se observa un paquete pelítico que es acuicludo, con niveles acuíferos y acuitardos con agua de alta salinidad. En el sector Las Toninas-San Bernardo se ajusta al esquema general, pero reconociéndose agua de elevada salinidad en el CAS, mientras que hacia el sur de Mar de Ajó la salinidad disminuye. El CAS de facies arenosas de ambiente costero, grada al norte a facies arcillosas de plataforma, modificando el comportamiento hidrogeológico, donde pasa a un potente espesor acuicludo con niveles acuíferos menores y acuitardo con aguas de alta salinidad.

3.5.2. Acuífero freático

Las arenas finas y conchilíferas del acuífero freático presentan una variabilidad en cuanto a los parámetros hidráulicos. En la Tabla 3.13 se resumen los definidos para esta unidad según las distintas fuentes de información.

Locación	Fuente	Método	T (m ² /d)	S	K (m/d)
San Clemente	DIGMAS (1985)		110-150	0,12	7,1
	UNLP (1976)		200	0,10	20
Las Toninas en Costa Chica	DOSBA (1980)		544	0,14	47
Área al norte de Sta Teresita y las Toninas	Namen SRL (1983)		90		7,3-10,1
Mar de Ajó	DOSBA (1980)		513	0,07	42
Extremo sur, zona de acuífero con mayor espesor	COPUAP (1982)	Jacob	1265	0,025	80
		Jacob	460-485	0,001-0,012	25-27
Ea. Rincón de Cobo	CFI (1990)	Theis	> 650	0,001	
		Chow	valores similares a los de Jacob		
Sur de Mar de Ajó	Santa Cruz y Silva Busso (2001)	Neuman	217-354	0,05	

Tabla 3.13. Parámetros hidráulicos según diferentes fuentes. DIGMAS: Dirección de Geología, Minería y aguas subterráneas. UNLP: Universidad Nacional de La Plata. DOSBA: Dirección Provincial de Obras Sanitarias. COPUAP Complejo Portuario de Ultramar en Aguas Profundas. CFI: Consejo Federal de Inversiones

Según la descripción geomorfológica surge el modelo hidrodinámico (Figura 3.13), así el cordón costero es la zona de recarga principal, luego un corto tramo es de conducción, y se da la descarga en dos direcciones opuestas, una hacia el mar y la otra al oeste en la terraza baja, específicamente a la llanura deprimida

El esquema general está limitado por dos interfases, hacia el continente agua dulce-agua salobre y hacia el mar, agua dulce-agua salada.

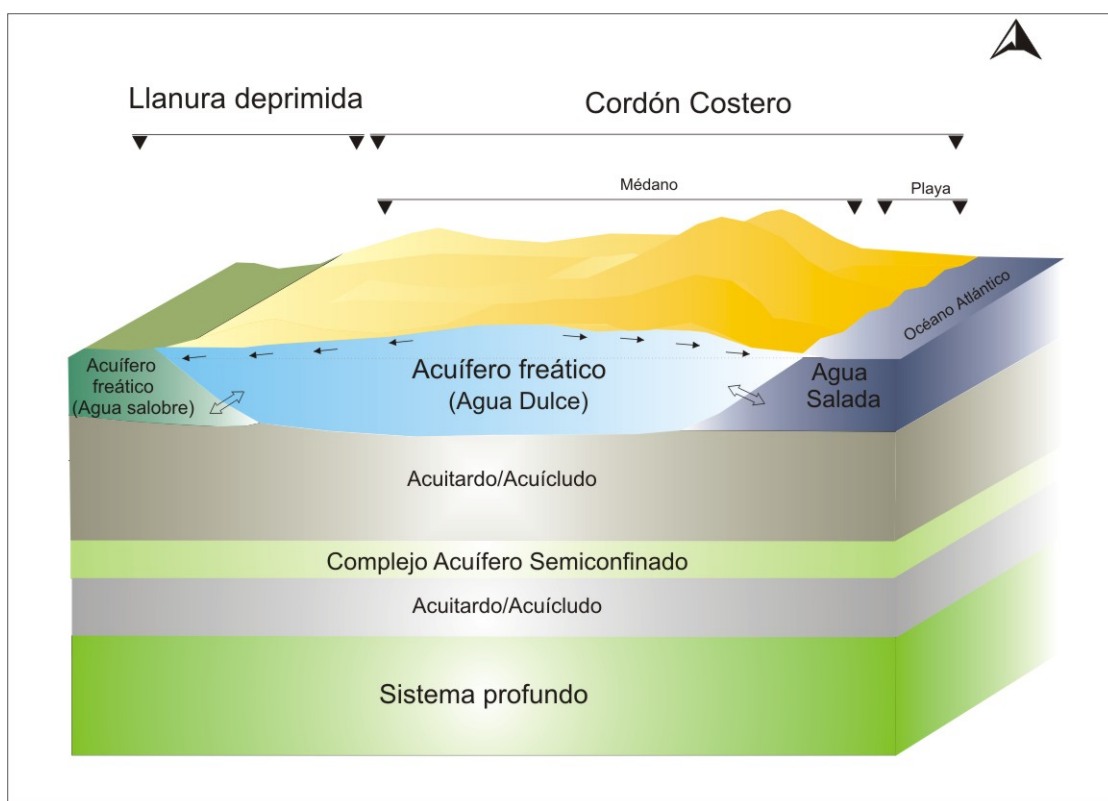


Figura 3.13. Esquema hidrodinámico regional

La divisoria de aguas subterráneas de dirección general N-S, tuerce levemente al SO a partir de Mar de Ajó, coincidente con las mayores alturas del cordón costero. Las curvas isofreáticas aumentan de norte a sur siguiendo la topografía del cordón medanoso, con valores de 1-2 m s.n.m. en San Clemente y 9 en Punta Médanos. El flujo se desplaza al este y oeste con una componente N-S de menor importancia.

El escurrimiento subterráneo se da en dirección al mar con un gradiente hídrico de 0,004 entre San Clemente y Mar de Ajó, llegando hasta 0,008. Al sur de Nueva Atlantis es de 0,002 y en Punta Médanos 0,001-0,0015. Hacia el oeste, con mayor uniformidad, el valor es de 0,001 y 0,002, salvo en el sector rural de San Bernardo, Mar de Ajó y Nueva Atlantis, que es de 0,0005.

De acuerdo a CFI (1990b) las mediciones del nivel freático entre abril y noviembre de 1987 permitieron determinar el espesor saturado total (EST), y el espesor saturado total sobre el nivel del mar (ESM), definiendo a este último como el límite de la depresión por explotación. Se reconoce un aumento del EST de norte a sur de 5 a 7 m en San Clemente pasando a 11-16 m en Punta Médanos. Una disminución del EST al este y oeste a partir del sector más elevado. Idéntico es el comportamiento del ESM con 0,7- 0,8 m en San Clemente a 1,5 -7,5 m en Punta Médanos.

Según estos mismos autores (CFI, 1990b) se reconoce la existencia de efectos localizados en los mayores centros urbanos, como depleción por sobre bombeo en época estival, que produce un avance del frente salino sobre el cordón costero que crece en magnitud e influencia con el tiempo (San Bernardo y Mar de Ajó).

El acuífero freático se caracteriza por presentar una baja salinidad, y en general bajo contenido de cationes y aniones en el cordón costero, observándose un desmejoramiento de la calidad química hacia la terraza baja. A su vez, los ambientes constituidos por los mantos arenosos y las crestas de playa son reservorios restringidos. Las diferencias de composición química del agua subterránea en las unidades geomorfológicas se pueden visualizar en la Figura 3.14.

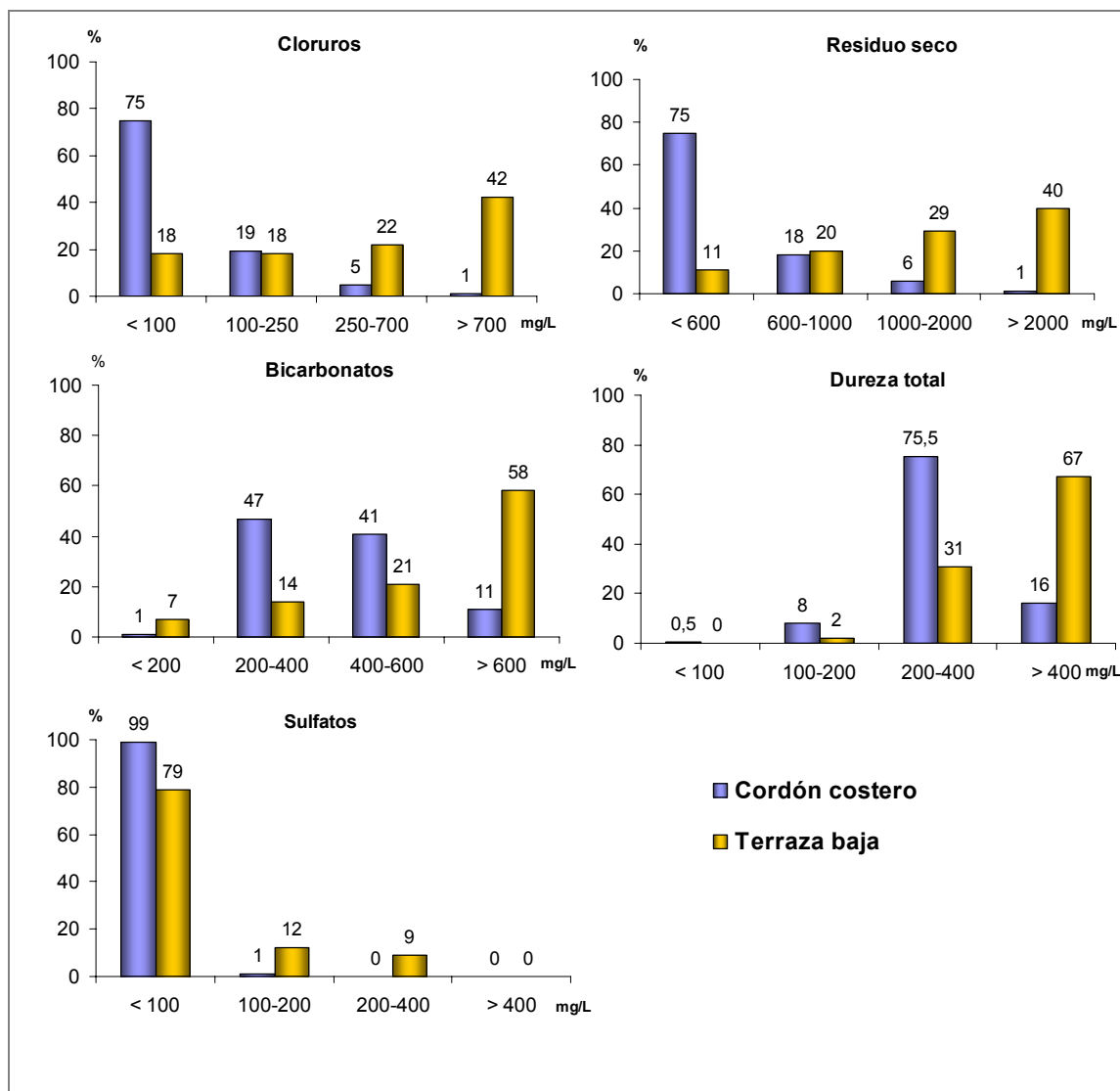


Figura 3.14. Diferencias de composición química entre las unidades geomorfológicas

La zonación química lateral que se corresponde con la geomorfología se evidencia en los cationes calcio y sodio (más notables), magnesio, potasio. Constituyen una excepción los sulfatos, que presentan valores bajos y uniformes en los dos sectores. En el cordón costero se reconocen aguas de tipo bicarbonatada cálcica mientras que en la terraza baja son principalmente cloruradas sódicas, con algo de bicarbonatada clorurada sódica. En las formas positivas de crestas de playa a mantos arenosos se trata de aguas bicarbonatadas cálcicas y en los canales de marea (cañadones), clorurada sódica.

El diagnóstico hidroquímico regional (CFI, 1990b) indica que el cordón costero presenta bajos tenores en las áreas centrales (divisoria subterránea) que aumentan en ambos sentidos de escurrimiento. De acuerdo a la evolución vertical, aumentan las

concentraciones en profundidad, lo cual es más notorio en el área de San Clemente - Mar del Tuyú con una secuencia bicarbonatada cálcica, bicarbonatada sódica, clorurada sódica. En el resto del cordón es bicarbonatada cálcica con pasajes a bicarbonatada sódica en el contacto con el acuífero semiconfinado.

En la terraza baja empeora la calidad del agua asociado a que es zona de descarga del cordón costero, y por su lento drenaje debido a la morfología y presencia de sedimentos arcillosos que producen un aumento de los contenidos respecto al cordón.

En las crestas de playa (relieve positivo) se originan reservorios restringidos con aguas de buena calidad, bicarbonatadas cálcicas. En los canales de marea (relieve negativo) se presentan aguas de tipo clorurada sódica y bicarbonatada clorurada sódica. La evolución vertical es similar a la del cordón costero con cambios más marcados. Regionalmente, disminuyen los contenidos hacia el sur a medida que aparecen los mantos arenosos. En toda la región es poco significativa la concentración de fluoruros, sulfatos, nitratos.

3.5.3. Complejo Acuífero Semiconfinado (CAS)

En el área de Punta Médanos presenta características netamente acuíferas y aguas de baja salinidad. Los ensayos a caudal constante mencionados por CFI (1990b) para la zona de Ea. Rincón de Cobo indican una T de 182 m²/d y S de 3,8 x10⁻⁴ (método de Walton) y T de 224 m²/d y S de 10⁻⁴ – 10⁻⁵ (Hantush), generalizándose para el acuífero una T de 180-220 m²/d y un S del orden de 10⁻⁴.

La recarga al acuífero semiconfinado es por filtración vertical a través de la unidad acuitardo-acuícludo (Fm. Pozo n° 8, facies La Victoria) que actúa como semiconfinante. La descarga es preferentemente hacia el mar, en menor medida al oeste, y hacia el norte hay una componente mínima limitada por los cambios litológicos.

En profundidad se produce una lenta filtración vertical que supera el basamento hidrogeológico e influye sobre el paquete plioceno-mioceno, caracterizado por elevada salinidad y escasa dinámica.

Donde el CAS tiene mejores condiciones hidrodinámicas y químicas, no existe un marcado urbanismo y las explotaciones pertenecen al área rural (molino para ganado). Representa un acuífero de alta vulnerabilidad a la contaminación y

sobreexplotación por su extensión areal reducida e inestabilidad de los límites hidráulicos y por los contactos con aguas de elevada salinidad (CFI, 1990b).

La hidroquímica entre de Mar de Ajó-Punta Médanos, muestra que en el cordón costero el agua es de mejor calidad, en cambio en la terraza baja, se observa una salinidad elevada hacia el área de descarga, y también hacia la gradación lateral a arcillas. Para la caracterización hidroquímica (CFI, 1990b), regionalmente, se divide en 3 áreas denominada como zona 1 la ubicada al norte de Nueva Atlantis, donde el Complejo mantiene condiciones de acuífero y va perdiéndolo para comportarse como acuitardo y acuícludo. La zona 2 se localiza al sur de la zona 1, en sector rural hasta Ea. Rincón de Cobo. Por último la zona 3 se encuentra en el extremo sur (Figura 3.15).

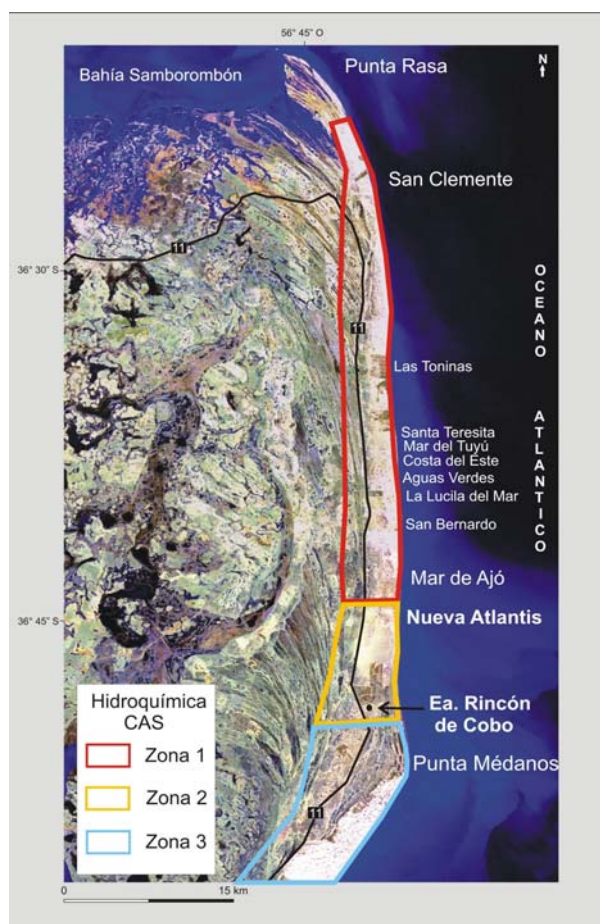


Figura 3.15. Mapa de zonas hidroquímicas para el CAS

En la Tabla 3.14 se pueden observar los tenores para las determinaciones realizadas.

	Cloruros (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	Bicarbonatos (mg/L)	Dureza Total (mg/L)	Residuo Seco (mg/L)	Familia
Zona 1	300-400	3-13	1500-2000	100-340	2000	bicarbonatada-sódica pasando a clorurada-sódica al norte
Zona 2	100-200	valores muy bajos	1000-1500	150-200	1000-2000	bicarbonatada-sódica
Zona 3	30-80	3-5	400-600	30-80	1000, disminuye a 400-600 en el área central	

Tabla 3.14. Parámetros químicos para el acuífero semiconfinado.

Este reservorio presenta una gran variabilidad en arsénico (0,02-0.16 mg/L), fluoruros (0,1-0,5 mg/L), hierro (vestigios a 3,5 mg/L) y manganeso (0 a 0,6 mg/L), parámetros que resultan independientes del contenido salino, ubicación, geomorfología y profundidad.