

4. CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS EN SAN CLEMENTE DEL TUYÚ

4.1. Hidrogeología

El esquema hidrogeológico regional descrito es aplicable en el ámbito local, con particularidades que se deducen del análisis de las perforaciones disponibles, las cuales presentan una distribución heterogénea y en general son de escasa profundidad. Además fueron realizadas con distintos objetivos y en muchos casos la descripción estratigráfica carece de la precisión y un detalle adecuado.

La localización de estos pozos puede observarse en la Figura 4.1. Otros datos de interés sobre las perforaciones analizadas se exponen en la Tabla 4.1

Organismo	Dir. Nac. de Minería				CFI			Mundo Marino	Girardi
N° de pozos	13	12	1	1	3			1	2
Denominación	1-9 13-15 24	10-12 15-23 25	26	28	Pr-3	Pr-5	SHN-1	Zona Puerto	PE-1 PE-2
Prof. Máxima alcanzada (m)	20	50-64	112,7	1205,2	12,4	9,5	22,4	117	8,4
Fecha	1952				1988			--	1994

Tabla 4.1. Datos de las perforaciones disponibles en San Clemente

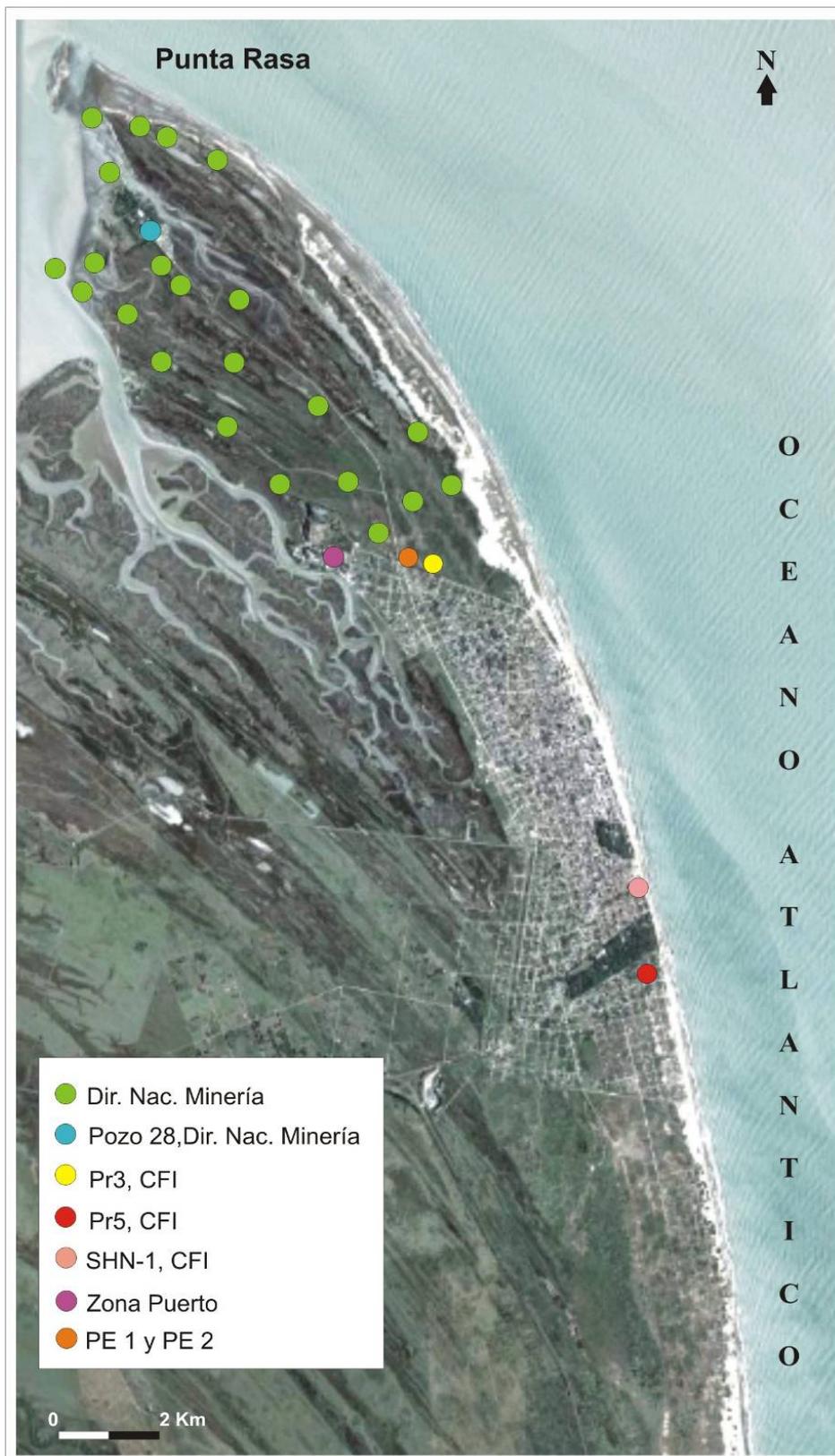


Figura 4.1. Mapa de ubicación de las perforaciones

La información existente permite diferenciar un sistema hidrogeológico somero y uno profundo.

La caracterización y análisis de mayor detalle corresponde al somero, que aloja lentes de agua dulce y está directamente relacionado con el ciclo hidrológico actual.

Para el profundo se carece de datos y sólo es posible definirlo como un sistema de baja permeabilidad que incluye algunos niveles arenosos que contienen agua de alta salinidad y se localiza a partir de los 92 m de profundidad.

En la Tabla 4.2 se resumen las principales características del sistema somero que está compuesto por una unidad acuífera (freático), dispuesto sobre una base acuícluda con niveles acuitardos y acuíferos de alta salinidad

<u>Hidrogeología</u>	<u>Litología</u>	<u>Formación</u>	<u>Modelo geoeléctrico</u> (resistividad en Ω m)
Acuífero freático	arena fina a mediana	Punta Médanos	10-100
	arena conchilífera	Pozo n° 17 (Facies Mar de Ajó)	
Acuícludo con niveles acuitardos y acuíferos de alta salinidad	arcilla/limo finamente arenosos y arcillas de diferentes coloraciones	Pozo n° 8 (Facies Destacamento Río Salado)	< 10
	arcilla/limo calcáreo con fragmentos de tosca	Buenos Aires	
	arcilla arenosa y arena arcillosa calcárea	Pozo n° 10	

Tabla 4.2. Sección tipo área San Clemente del Tuyú y alrededores

El acuífero freático está compuesto por una secuencia de arenas finas a medianas con un contenido variable de fragmentos de valvas y detritos vegetales con un espesor entre 4,5 y 10 m que pertenecen a las Formación Punta Médanos y la facies Mar de Ajó de la Formación Pozo n° 17 (Figura 4.2).

En Punta Rasa (perfiles de la Dirección Nacional de Minería), el espesor varía entre 4,5 y 8 m. En la zona Puerto la potencia es de 7,5 m con arenas negras friables. En el sector norte del radio urbano San Clemente, Girardi (1994) indica una variabilidad en el contenido de valvas que aumenta hasta aproximadamente los 5 m en donde se ubica un nivel de conchillas arenosas de entre 0,2 y 1,5 m de espesor, para luego continuar con las arenas hasta los 8 m de profundidad donde se detecta la presencia de arcillas verde grisáceas como fin de la perforación. En el pozo SHN-1 (CFI, 1990b) esta unidad comienza con 3,6 m de arena fina de color castaño incrementando su contenido de conchillas con la profundidad, hasta intercalarse con una capa de 3 m de conchilla con arena, para continuar con 4 m de arenas más gruesas de color grisáceo. A su vez en el Pr5 (pozo de reconocimiento 5) se destaca la presencia de arenas medianas a finas que gradan a medianas y gruesas con escasas valvas en los primeros 3,5 m para luego incrementar su contenido hasta los 7 m, a partir de donde se observan 2 m de unas arenas con abundante matriz arcillosa. Termina la secuencia con la presencia de arcillas grisáceas a castañas. El Pr3 es similar al Pr5 comenzando con arenas medianas a finas sin conchillas en los primeros 1,5 m, luego aparece la presencia de abundantes fragmentos de valvas hasta los 8,5 m de profundidad.

En la base del acuífero freático se desarrolla la unidad acuicluda con intercalaciones acuíferas y acuitardas. Al paquete arenoso descrito, le siguen 10 a 15 m de material limo arcilloso finamente arenoso con restos de bivalvos o arcillas de diferentes coloraciones que se corresponderían con la Formación Pozo n° 8.

En dos de los pozos de Punta Rasa (Dir. de Minería) se describen potencias mayores, resultando en un caso 35 m y en el otro 60 m en donde se finaliza la perforación. Para la zona Puerto se describen 15 m de arcilla azul con intercalaciones de conchillas y carbonatos, seguido por una fina capa de arenas cuarzosas con intercalaciones de arcilla y conchilla. En el pozo SHN-1 son arcillas grises y verdes con conchillas hasta los 22,40 m donde se concluyó la perforación debido a que el trépano se encontró con terreno muy compacto, recuperándose un limo arenoso gris amarillento a blanquecino, con rodados castaño claro de limos entoscados muy duros.

La secuencia continúa con un paquete arcilloso, que para los perfiles de la Dirección de Minería presentan entre 5 y 10 m resultando una arcilla/limo de tipo calcáreo con fragmentos de tosca y valvas en la mayoría de los casos. Presenta las características de la Formación Buenos Aires. Para el perfil del Puerto se trata de un paquete de 50 m de arcillas azules y verdosas con conchillas.

Le siguen otro conjunto de arcillas, en ocasiones más arenosas, con restos de valvas, de un espesor entre 10 y 20 m que cambia a una arena arcillosa calcárea, con fragmentos de valvas. En los perfiles de Punta Rasa aparece a partir de los 30 m de profundidad aproximadamente y continúa hasta el fin de las perforaciones. En la zona Puerto son arcillas arenosas y arenas arcillosas que se extienden hasta los 92 m. La litología se corresponde con la Formación Pozo n° 10.

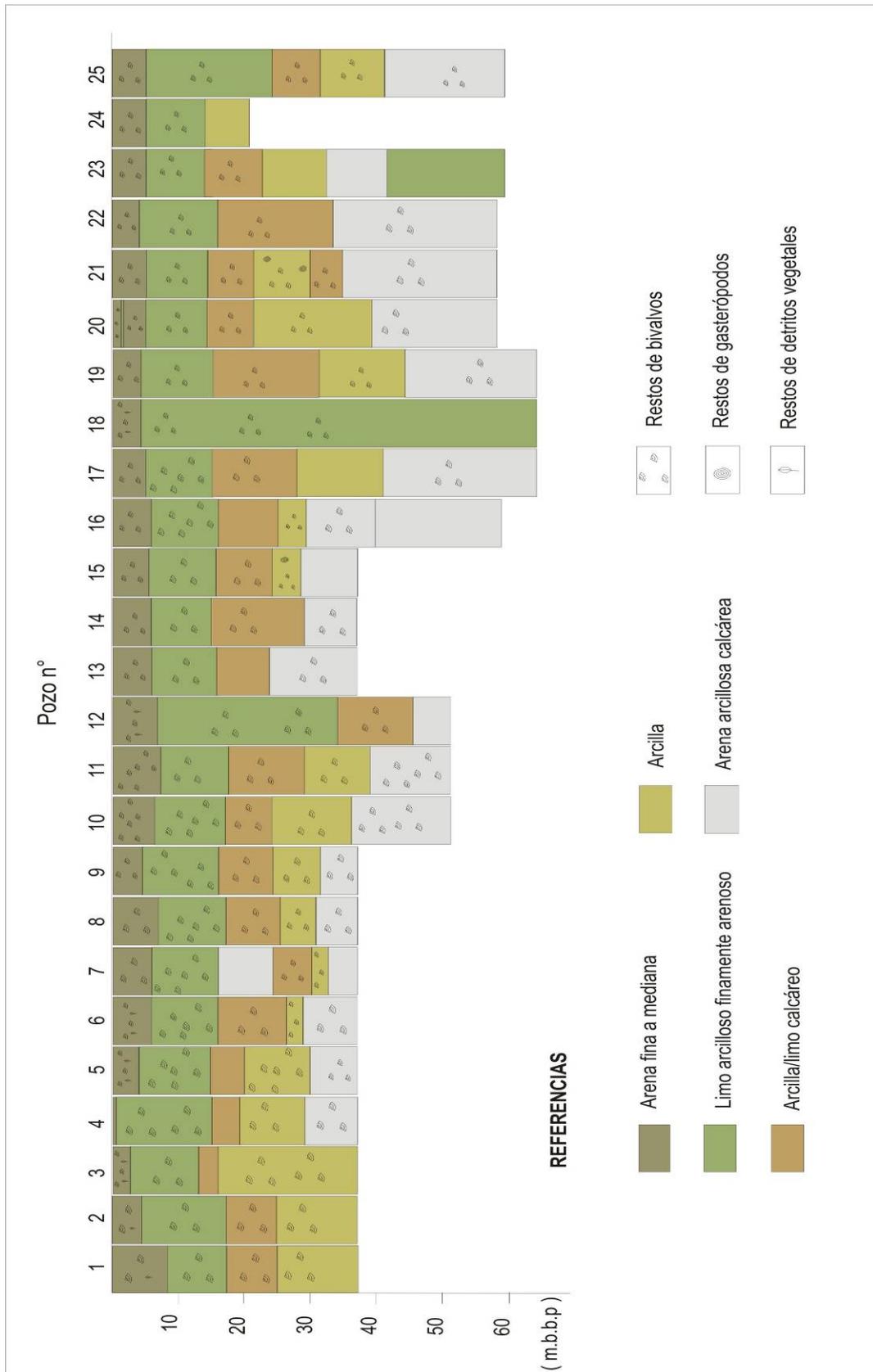


Figura 4.2. Perfiles del 1 al 25 pertenecientes a la Dirección Nacional de Minería

La descripción de la geología local se corresponde con el esquema regional tomado de Yrigoyen (1975) y se ve representado en las perforaciones profundas como se describe a continuación, constituyendo lo definido como sistema profundo.

A partir de los 92 m se describen arenas que para el pozo del Puerto son cuarzosas mediana a gruesa que se extienden hasta el fin de la perforación a los 117 m. El pozo n° 26 de la Dirección de Minería presenta las mismas características descritas previamente hasta los 92 m donde aparece un paquete de 13 m de arenas pardas claras con abundantes bivalvos y finaliza con arenas arcillosas. En el pozo n° 28, son 12 m de arena fina a mediana parda amarilla con gránulos silíceos y restos indeterminables de bivalvos. Este nivel podría corresponderse con las "Arenas Puelches".

Con los datos del pozo n° 28 cercano al Faro de Punta Rasa, se reconoce la secuencia sedimentaria hasta los 1205,20 m de profundidad. A partir de los 159 m de profundidad hasta los 792, se presenta una secuencia de arcillas, arcilla limosa y arcilla arenosa de color verdoso, en general, con escasos restos de bivalvos que podría identificarse como la Formación Paraná ("Mioceno Verde"). Continúa la columna desde los 792 hasta los 1205 m un conjunto formado por arcillas, arenas y limos de colores rojizos con restos de valvas de la Formación Olivos ("Mioceno Rojo"). (Figura 4.3.)

A los fines hidrogeológicos resultan de particular interés los estratos arenosos. En los perfiles más profundos (26, 28 y Puerto) se localizan arenas cuarzosas gruesas entre los 90 y 120 m. De acuerdo a las perforaciones, la calidad del agua alojada en estas arenas es de elevada salinidad quedando como único recurso disponible para el abastecimiento humano el agua freática contenida en el sistema somero. Debido a ello, el mayor tratamiento se centra en este último.

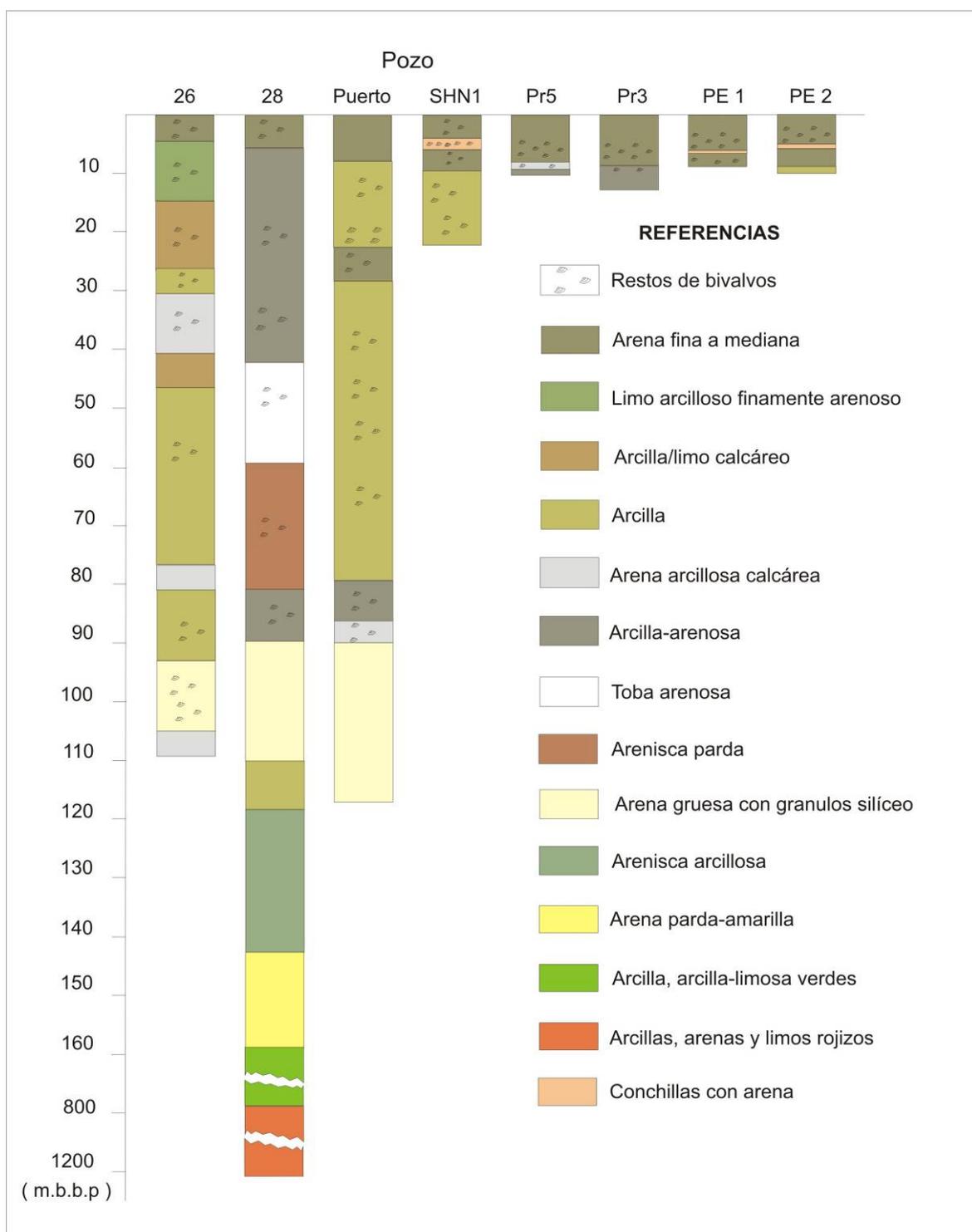


Figura 4.3. Perfiles de mayor profundidad de la Dirección Nacional de Minería (26 y 28), junto a los realizados por el CFI, el localizado en la Zona Puerto y Girardi (1994)

Con el objetivo de obtener cortes de resistividad del subsuelo para inferir el espesor del acuífero freático y aproximar la ubicación de la interfase entre el agua de baja y alta salinidad se realizaron sondeos geoelectrónicos cuya localización se ve en la Figura 4.4. Los datos geofísicos constituyen un elemento más que permite verificar el esquema hidrogeológico.

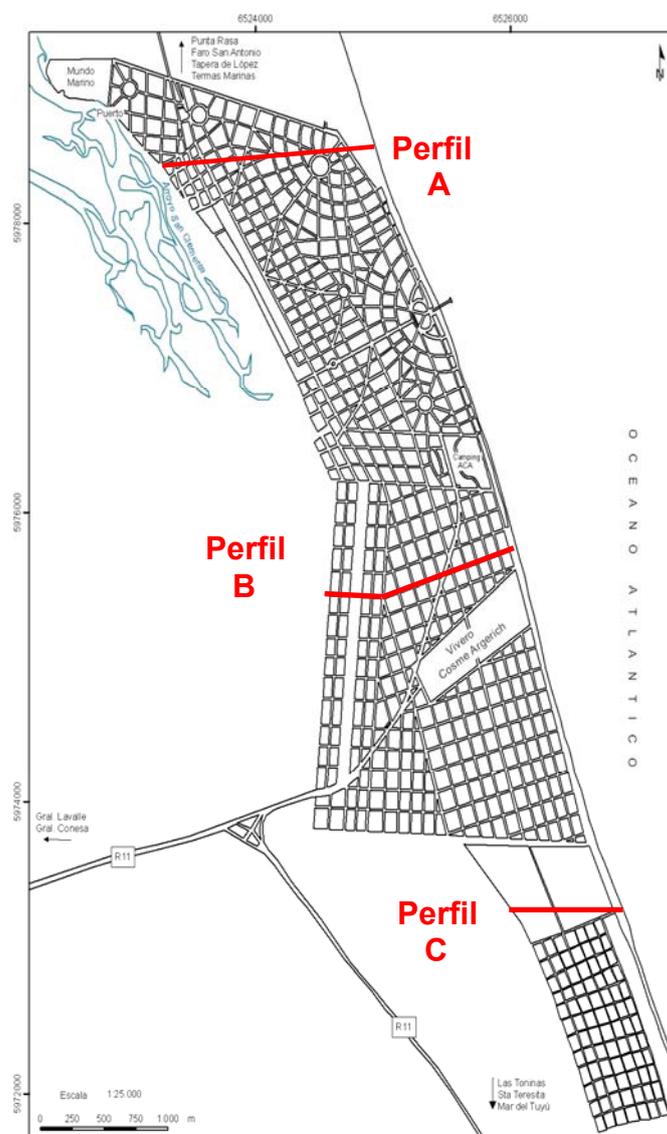


Figura 4.4. Mapa de ubicación de los perfiles geoelectrónicos

El acuífero freático con agua dulce está representado por las capas con resistividades entre 10 y 100 Ω .m. El sustrato conductor de resistividad menor a 10 Ω .m corresponde tanto a la base acucluida como a una capa con agua de elevada salinidad. Los valores mayores a 100 Ω .m representan a la zona no saturada.

De acuerdo a estos datos, en el perfil A (Figura 4.5) constituido por 6 SEV realizados en una transecta de 1500 m, el espesor del acuífero oscilaría entre 4 y 6 m.

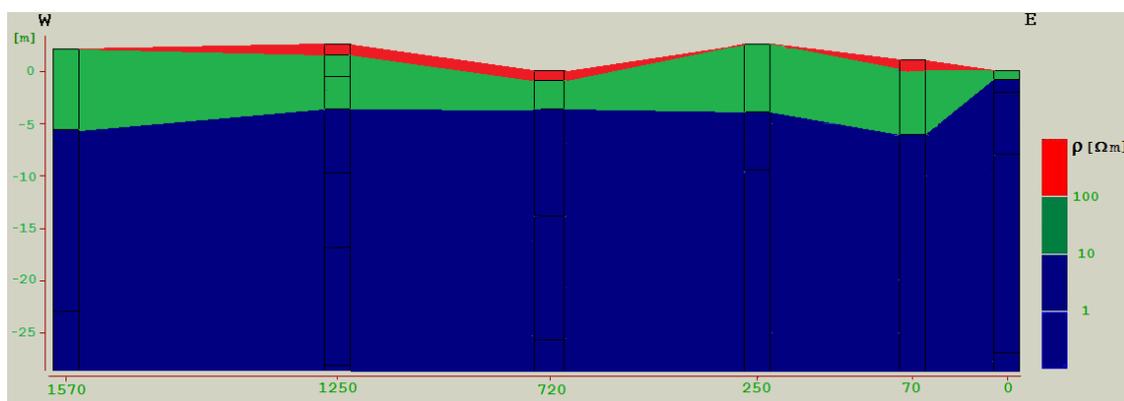


Figura 4.5. Perfil A

En el perfil B (Figura 4.6) donde se realizaron 5 SEV a lo largo de 2000 m, el espesor del acuífero resulta mayor, alcanzando a 7 m de potencia desde la costa hasta los 1200 m en dirección oeste, para luego disminuir notablemente. Los horizontes con valores menores a 10 $\Omega.m$ que se observan en los límites al este y oeste del acuífero podrían representar, en el primer caso, la interfase con el agua salada marina, y en el segundo con el agua salobre de la llanura deprimida lo cual se puede correlacionar con la elevada conductividad del agua de los pozos de la red de monitoreo en esa zona.

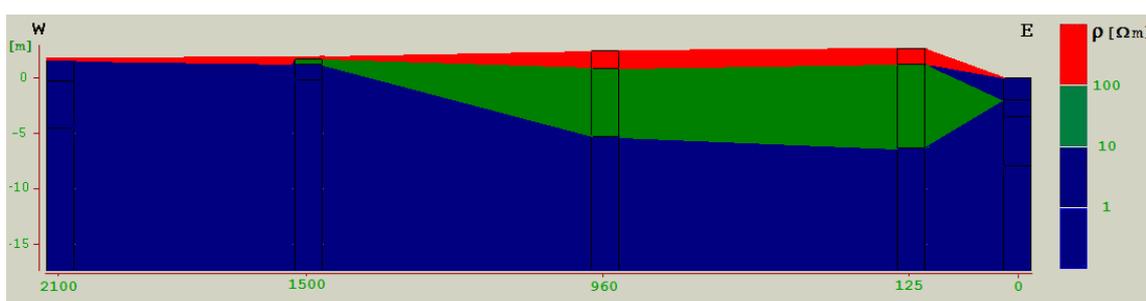


Figura 4.6. Perfil B

En el perfil C (Figura 4.7) donde se efectuaron 4 SEV en 1200 m el acuífero freático tiene una potencia máxima de 10 m en el sector central disminuyendo hasta los 6 m hacia el este y 4 hacia el oeste.

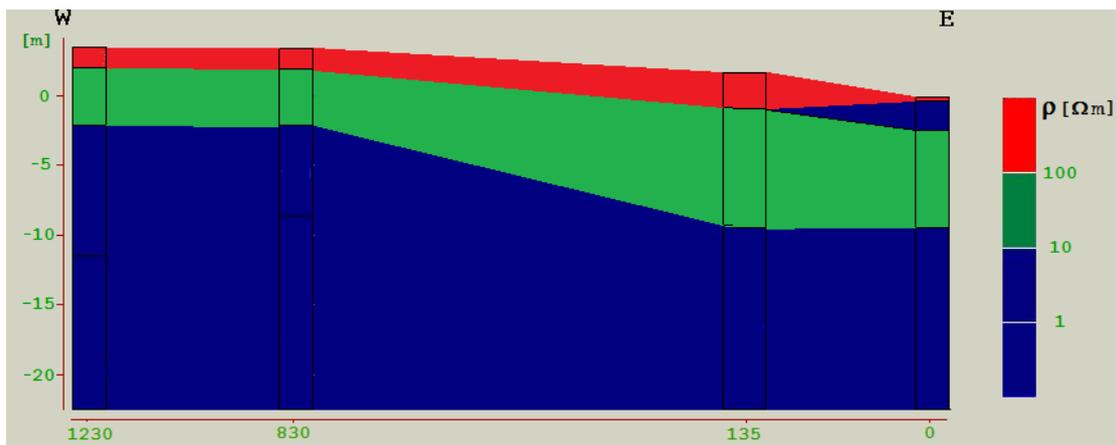


Figura 4.7. Perfil C

De acuerdo a lo analizado, se puede concluir que el espesor del acuífero freático en su sector central varía entre 4 y 10 m aumentando su potencia de norte a sur y disminuyendo hacia el este hasta la interfase con el agua salada marina y al oeste donde lo hace con el agua salobre continental. (Figura 4.8)

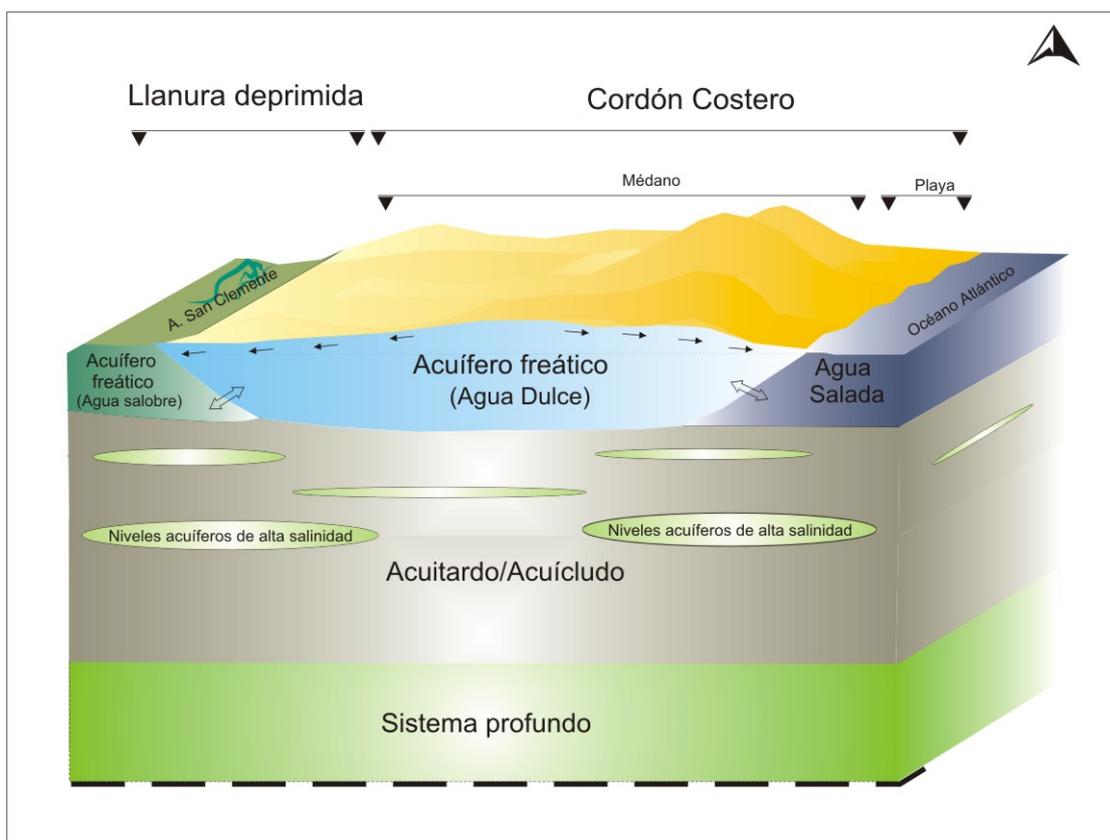


Figura 4.8. Esquema hidrogeológico para el sector de San Clemente

4.2. Ambientes geomorfológicos

Tal como fue indicado, dada la falta de un mapa topográfico que permita reconocer la morfología a una escala adecuada se construyó un mapa a escala 1:25000, en base a las nivelaciones de los pozos relevados en distintas oportunidades a los cuales se adicionaron puntos estratégicamente ubicados para contar con una densidad suficiente de valores de cota topográfica.

En el mapa (Figura 4.9.) pueden observarse dos altos topográficos con 3 m s.n.m. en la zona central del médano, una hacia el norte y la otra hacia el sur. Las alturas disminuyen levemente hacia el oeste y al este.

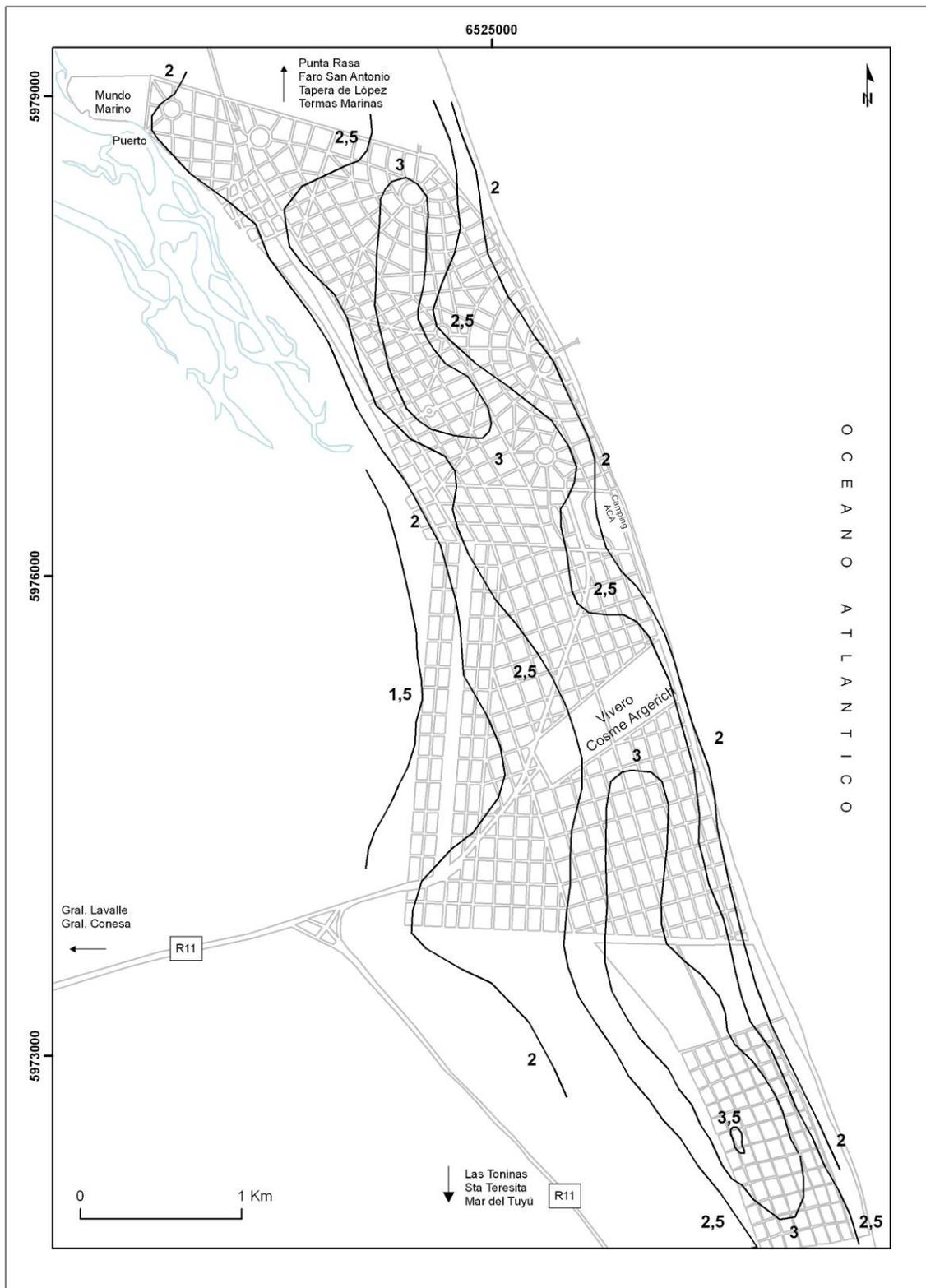


Figura 4.9. Mapa topográfico de San Clemente del Tuyú a escala 1:25000

4.2.1. Cordón costero y llanura deprimida

Se reconocen dos ambientes geomorfológicos, la llanura deprimida, que forma parte de lo definido regionalmente como terraza baja y el cordón costero. (Figura 4.10.)



Figura 4.10. Ambientes geomorfológicos en el área de San Clemente

La llanura deprimida, en esta zona, se encuentra abierta y comunicada al estuario del Río de La Plata en la Bahía de Samborombón. El drenaje se efectúa por el Arroyo San Clemente a través de canales de marea en los cuales se desarrollan cangrejales (Figura 4.11).



Figura 4.11. Cangrejales en la llanura deprimida

En la zona de Punta Rasa puede observarse la desembocadura de los canales de marea, áreas inundables por la influencia mareal. (Figura 4.12)



Figura 4.12. Llanura deprimida en la zona de Punta Rasa

En el sector sur, este ambiente se manifiesta mediante la presencia de bajos que a su vez resultan fácilmente inundables debido a las altas precipitaciones y al ascenso de los niveles freáticos. (Figura 4.13)



Figura 4.13. Bajos inundables de la llanura deprimida en el sector sur.

El cordón costero, está representado por dos subambientes: playa y médano. La zona de playa es rectilínea, tiene entre 50 y 150 m de ancho, con pendientes suaves hacia el este, las arenas son finas a medias con presencia de fragmentos de valvas (Figura 4.14).



Figura 4.14. Sector de playa, el color blanquecino que se observa en la arena son acumulaciones de fragmentos de valvas.

Los médanos que se encuentran emplazados al oeste de la playa que les da origen (Figura 4.15) son bajos (superan levemente los 3 m s.n.m.) y fijados por escasa vegetación. Su granulometría es de arenas finas y presentan, arealmente, un decrecimiento general del tamaño de grano de sur a norte.



Figura 4.15. Puede observarse la zona de transición entre la playa y la cadena de médanos

Este rasgo morfológico puede ser subdividido en médano fijo y médano activo. El médano activo, se localiza adyacente a la playa hacia el oeste sobre la línea de costa y conserva su dinámica de transporte debido a los vientos provenientes del este. Si bien se observa la presencia de vegetación, ésta es escasa tratándose en general de especies que se caracterizan por presentar extensos sistemas de raíces y tallos subterráneos, lo que ayuda a consolidar la arena de la duna. En el sector sur la presencia de vegetación es aún menor (Figura 4.16)

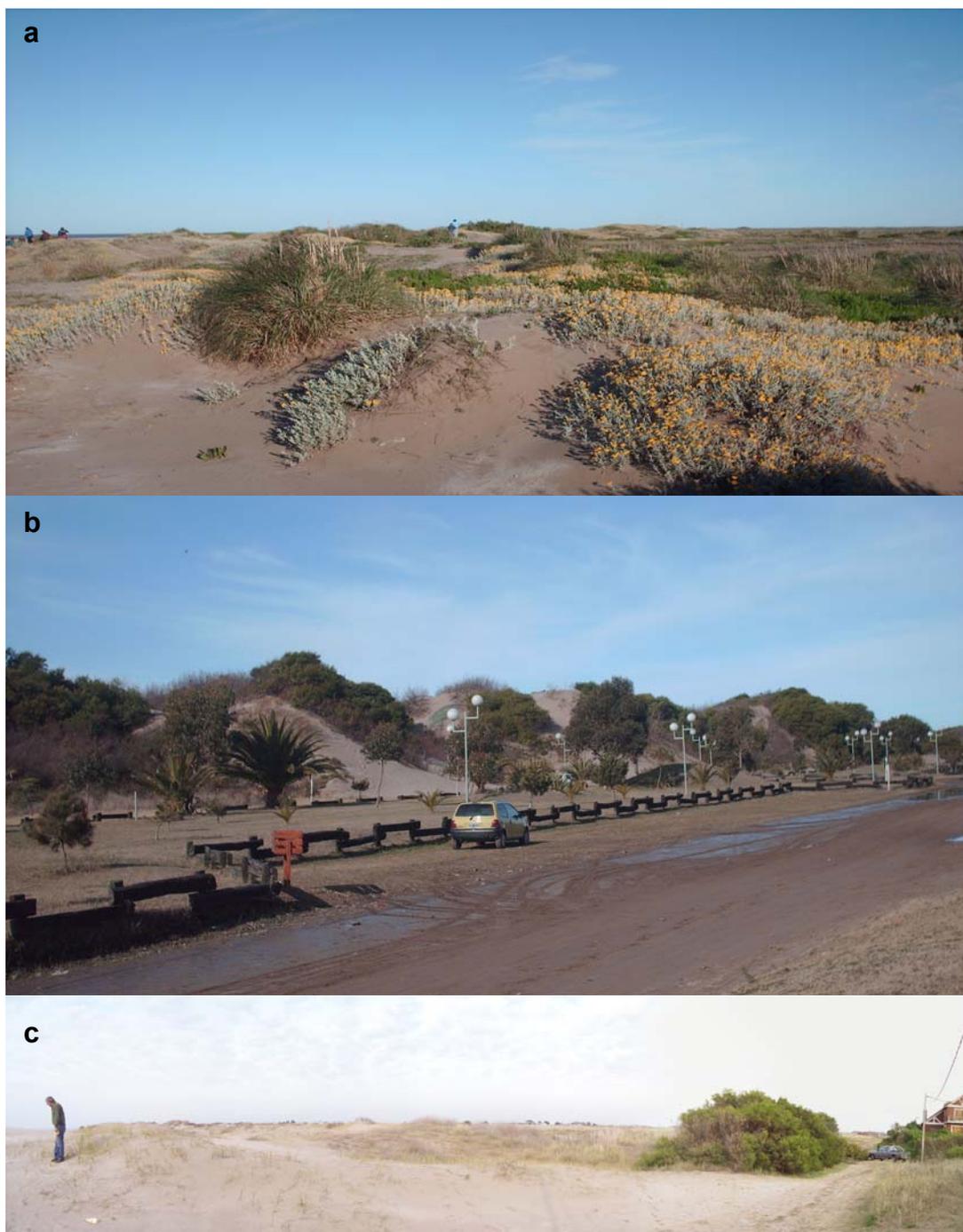


Figura 4.16. Médano activo, con escasa vegetación; a- sector en Punta Rasa, b- zona norte de la ciudad, c- zona sur

El médano fijo se encuentra al oeste del médano activo, y se observa una mayor presencia de vegetación que ha fijado el sustrato arenoso impidiendo su movilización. En ocasiones se trata de especies típicas de dunas y en otras, introducidas por el hombre con propósitos recreacionales (plazas, campings, etc) (Figura 4.17) La presencia de la urbanización extendida a lo largo de la localidad es

otro factor que ha contribuido a la compactación de las arenas del médano tanto mediante la construcción de viviendas como al trazado de calles.



Figura 4.17. Médano fijo, debido a la vegetación y la urbanización

4.2.2. Evolución del paisaje

A partir de la observación y análisis de las fotografías aéreas de 1958 (Servicio de Hidrografía Naval), 1984 (Ministerio de Obras Públicas de la Provincia de Buenos Aires) e imagen satelital de 2005, de Digital Globe, Google Earth, se reconoció la evolución del médano a través del tiempo.

Mediante el uso de un SIG se han digitalizado las áreas correspondientes al médano fijo, médano activo y playa, y se trazó el límite con la llanura deprimida en cada una de las imágenes mencionadas. Para cada sector delimitado se calculó el área correspondiente en km².

Para un análisis más detallado, a su vez se dividió la zona de estudio en tres partes, norte, central y sur (Figura 4.18). El primer sector se extiende desde Punta Rasa hasta donde comienza el trazado de la ciudad en la Avenida IX. La zona central

se corresponde con lo que actualmente abarca la mayor concentración de urbanización entre la Avenida IX y el Vivero Cosme Argerich en la Avenida XIV, mientras que el sector sur comienza en el límite con la Avenida XIV y termina en la calle 112 donde finaliza el trazado de la localidad.

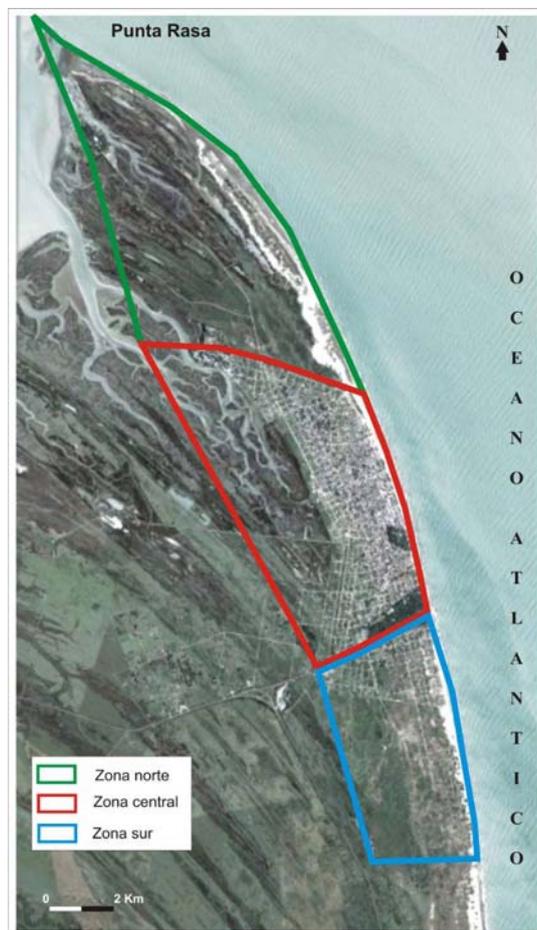


Figura 4.18. Ubicación de las zonas para el estudio geomorfológico

En la tabla 4.3 pueden observarse las áreas calculadas para el médano y la playa. Cabe aclarar que es dificultoso realizar un estudio sobre la playa a partir de las fotos e imágenes disponibles. Esto se debe a que han sido tomadas en diferentes horarios con distintos estadios en el ciclo de marea.

Km ²	1958	1984	2005
Médano fijo	13,6	16,3	18,2
Médano activo	5,2	3,6	2,9
Playa	1,4	0,7	2,7

Tabla 4.3. Valores de áreas calculados para el médano y la playa en los diferentes años estudiados.

La evolución del médano fijo manifiesta un aumento de su superficie en detrimento del médano activo (Figura 4.19)

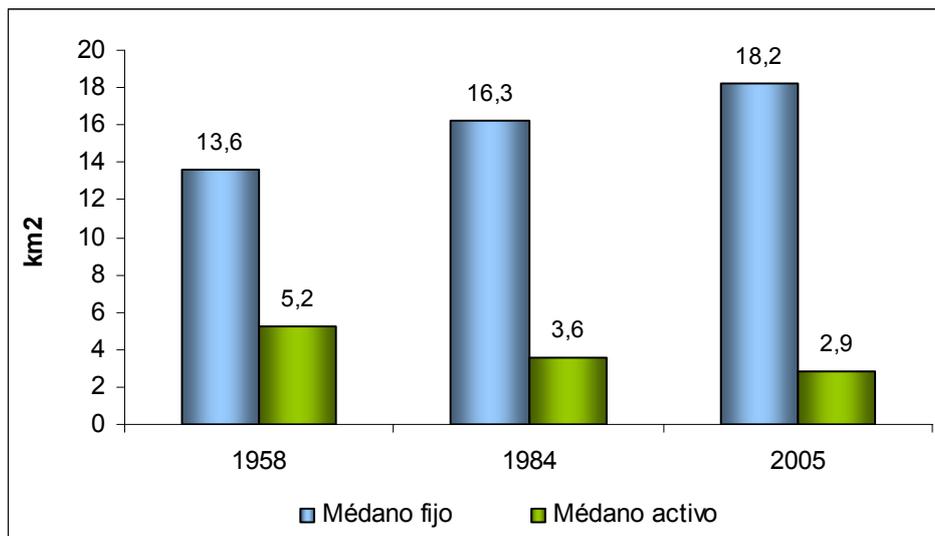


Figura 4.19. Evolución del médano fijo y activo a través del tiempo.

En 1958, el 22% del médano activo se localizaba en el sector norte, el 23% en la zona central y el 41% en el sur. Para 1984 los valores disminuyen a 15, 8 y 35% para el norte, centro y sur respectivamente. Finalmente en 2005, el sector norte cuenta con el 18% del médano activo, el centro con el 7% y el sur con el 17%. (Figura 4.20)

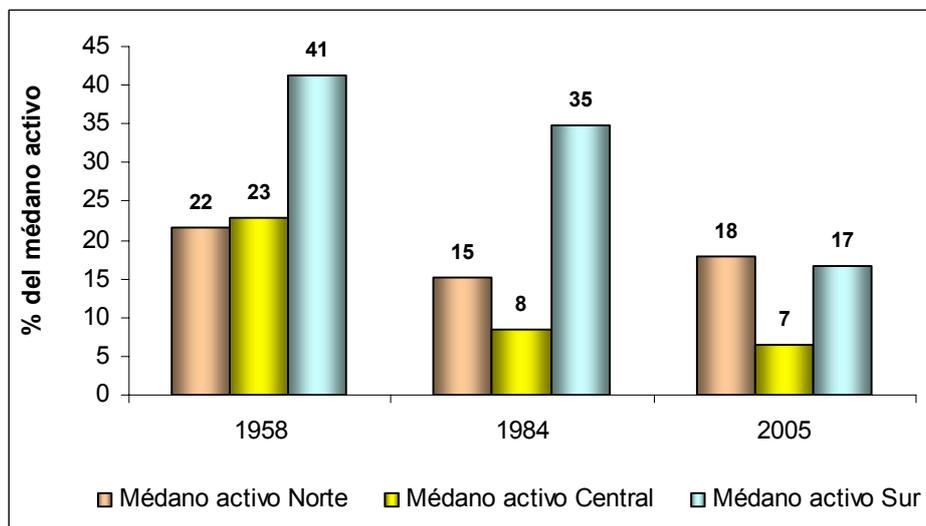


Figura 4.20. Porcentajes del médano activo distribuido por sectores.

Se calcularon los porcentajes de variación del médano activo en las áreas entre los diferentes años de acuerdo a los sectores delimitados. Las pérdidas de superficie

del médano activo se convierten en un aumento en el área del médano fijo. La fijación no es meramente un proceso natural, sino que también está afectada por acción del hombre mediante el avance de la urbanización.

Así para el sector norte la mayor disminución se da entre 1958 y 1984 con un 6%. Esto se puede observar especialmente en el límite con el sector central donde comienza la urbanización (Figura 4.21). Luego entre 1984 y 2005 el médano activo parece recuperarse levemente ya que aumenta en su superficie del 3%. Si se analizan los cambios acontecidos en los 47 años que distan entre la foto más antigua, 1958, y la imagen satelital, 2005, la disminución es del 4% en total.

En el sector central, existe pérdida de superficie del médano activo entre 1958 y 1984 con un 15%, resultando más del doble de lo acontecido en el norte. La variación entre 1984 y 2005 es casi imperceptible con una pérdida del 1% del área. La pérdida total entre 1958 y 2005 es del 16% de su superficie (Figura 4.22).

Finalmente en el sector sur entre 1958 y 1984 se produce una pérdida del 6% del médano activo que pasa a conformar parte del médano fijo. Entre los años 1984 y 2005 este número es aún mayor resultando en un 18%. El total de médano activo perdido entre 1958 y 2005 es del 24% (Figura 4.23).

Los valores mencionados pueden observarse en la Figura 4.24 en donde se resumen los porcentajes de variación del médano activo a través del tiempo. .

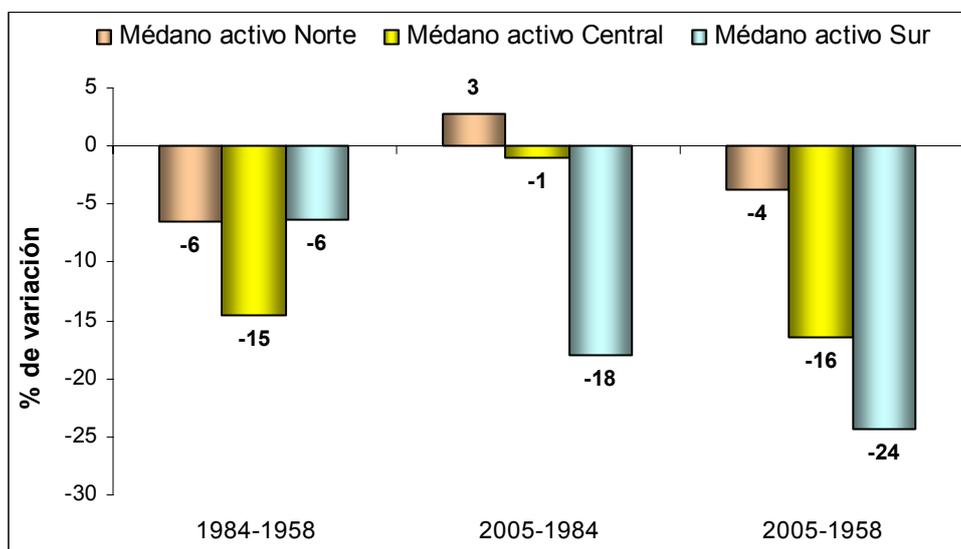


Figura 4.24. Porcentajes de variación del médano activo a través del tiempo

Se concluye que en términos generales el sector norte es el que se ha mantenido más estable a lo largo del tiempo. Nótese que el trazado de la ciudad no se

ha extendido hacia este sector debido a que los terrenos en esta zona pertenecen al dominio militar.

En el sector central es más que notorio el cambio que aconteció entre 1958 y 1984. En la primera fotografía resulta difícil reconocer las calles y las casas del trazado urbano entre el médano, mientras que en 1984 la urbanización resulta ser el rasgo más destacado. Incluso el médano fijo ha sido notoriamente modificado de un periodo al otro, ya que en 1958 se observa como una superficie no tan compactada como parece ser 26 años más tarde. El sector más afectado es el sur, donde el médano activo ha perdido un cuarto de su superficie en 47 años. En la fotografía de 1958, e incluso en la de 1984 casi no se distinguen loteos o construcciones, pero entre 1984 y 2005 se ha producido una fuerte modificación en este paisaje. Hacia el límite con el sector central se observa un gran aumento en la densidad de las viviendas, y un tanto más al sur, un trazado de loteos para futuras edificaciones.

Las variaciones en la superficie del médano están directamente relacionadas con la urbanización y a su vez con el aumento de la población en el área.

La importancia de este análisis reside en la estrecha relación que existe entre el estado del médano y las posibilidades de infiltración. En el médano activo la infiltración de los excesos de agua a través de las arenas resulta de una mayor significación. Si esas arenas están más compactadas, presentan una mayor cantidad de vegetación o se encuentran cubiertas por superficies impermeables (médano fijo), el resultado es la suma de factores que interfieren con el proceso natural del ciclo hidrológico en una zona medanosa, disminuyendo las posibilidades de infiltración.

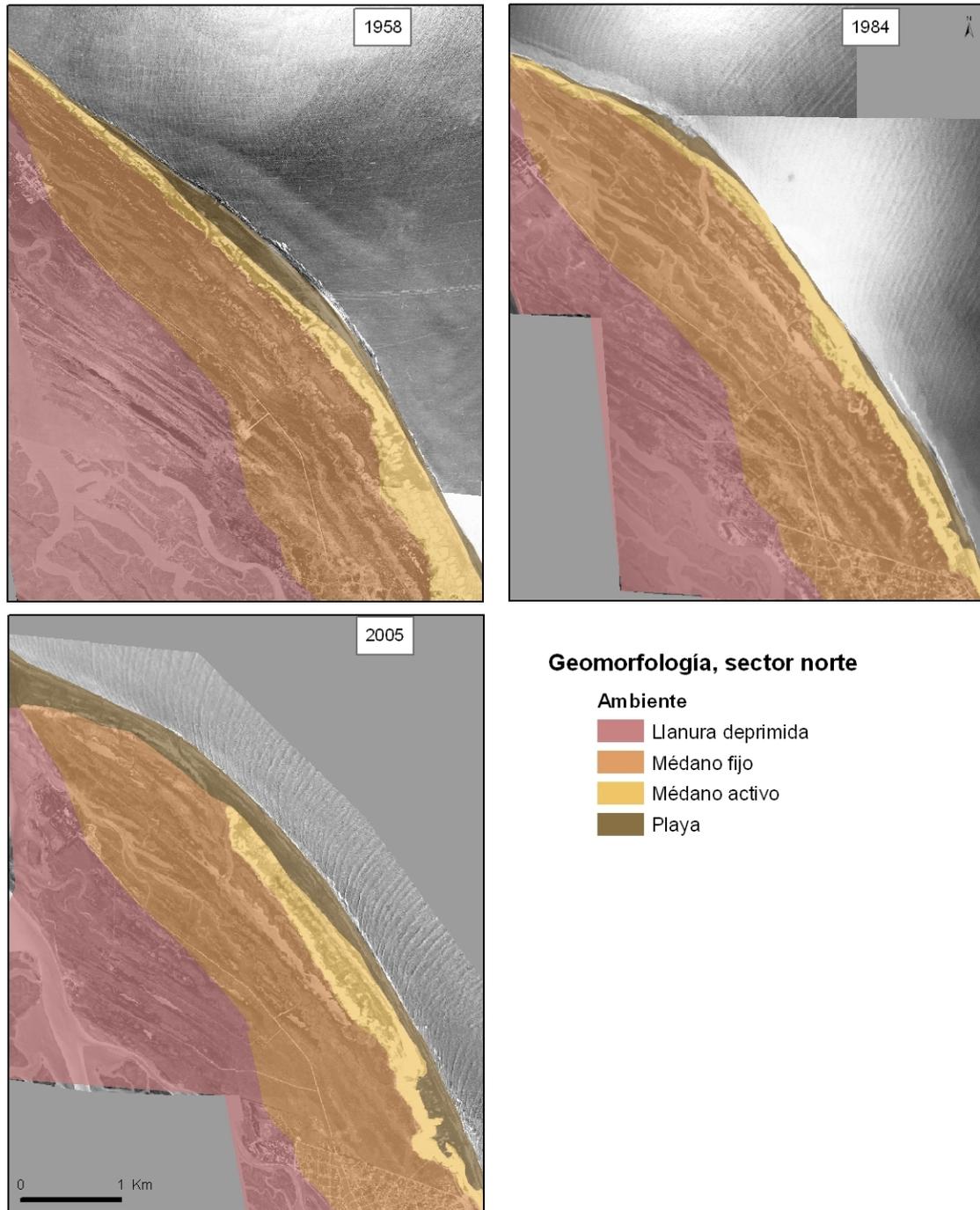


Figura 4.21. Morfología del sector norte a través del tiempo

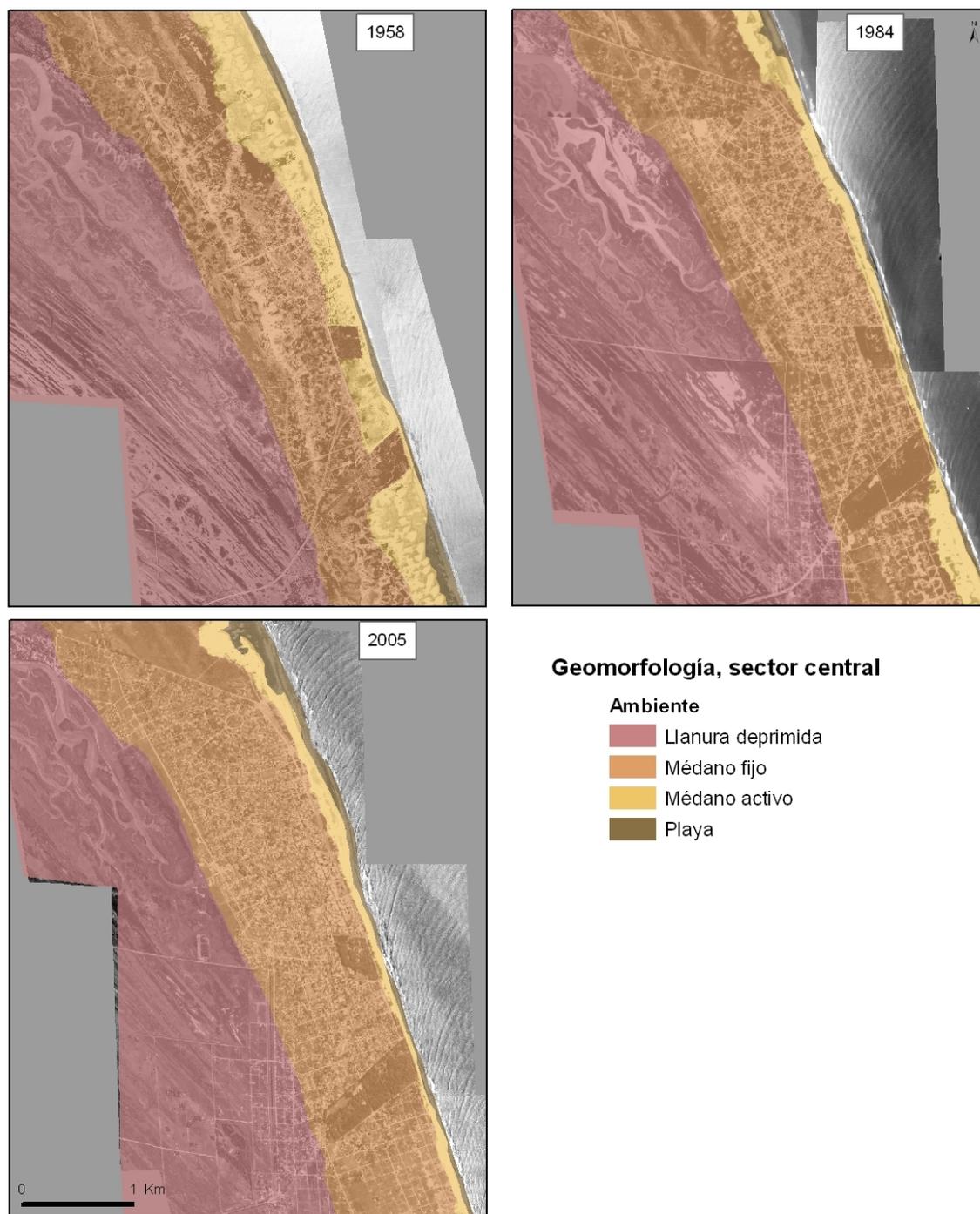


Figura 4.22. Morfología del sector central a través del tiempo

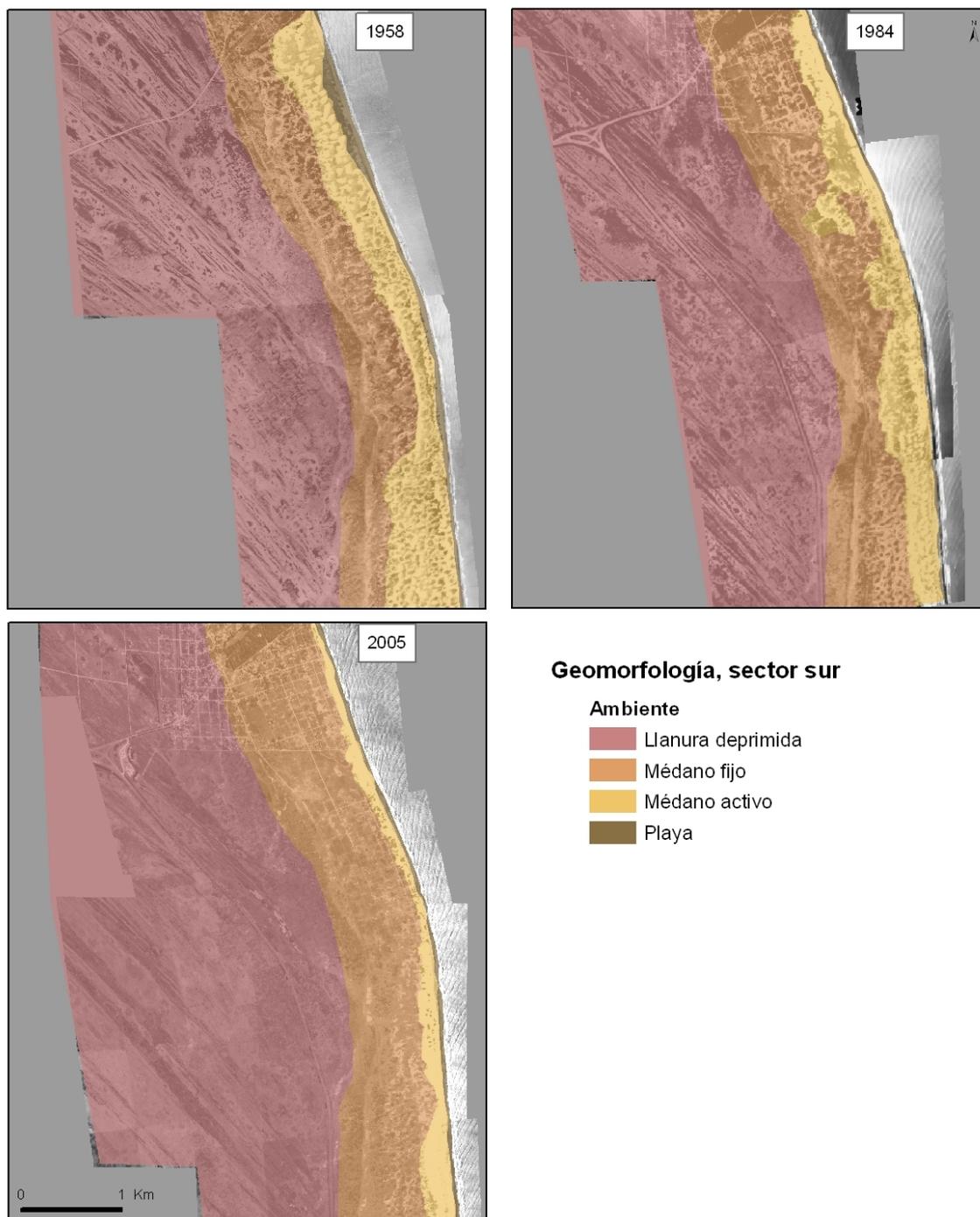


Figura 4.23. Morfología del sector sur a través del tiempo

4.3. Usos del suelo

El uso del suelo, particularmente en zonas urbanas y su relación con la cantidad y calidad de las aguas subterráneas ha sido extensamente abordado (Wang, 2001; Kim et al. 2003; Kim, 2004; Krothe et al. 2002; Zuquette et al., 2004; Houlahan y Findlay, 2004; Park et al., 2005; Schneider y Kruse, 2005; Israfilov, 2006; Dias Pons et al., 2007; Bellot et al., 2007).

En el área de estudio resulta de utilidad establecer esta relación debido a que el aumento de la población estable, y por ende de las viviendas, junto al ingreso de los turistas en los meses de verano, están íntimamente ligados con el consumo del agua y el manejo de las reservas disponibles.

4.3.1. Evolución de la población

La población permanente en el área de estudio es de 11.336 habitantes (INDEC, 2001), con una proyección para la actualidad de aproximadamente 15.000 habitantes. Esta región presenta un importante desarrollo turístico, con una alta actividad en la época estival, lo cual puede quintuplicar el número de habitantes. A su vez, la aparición de nuevas ofertas de turismo en la zona produce un aporte constante en el resto del año, pero por cortos periodos de estadía.

De acuerdo a los censos nacionales del INDEC correspondientes a 1960, 1970, 1980, 1991 y 2001, se reconoce un crecimiento marcado de la población (Figura 4.25).

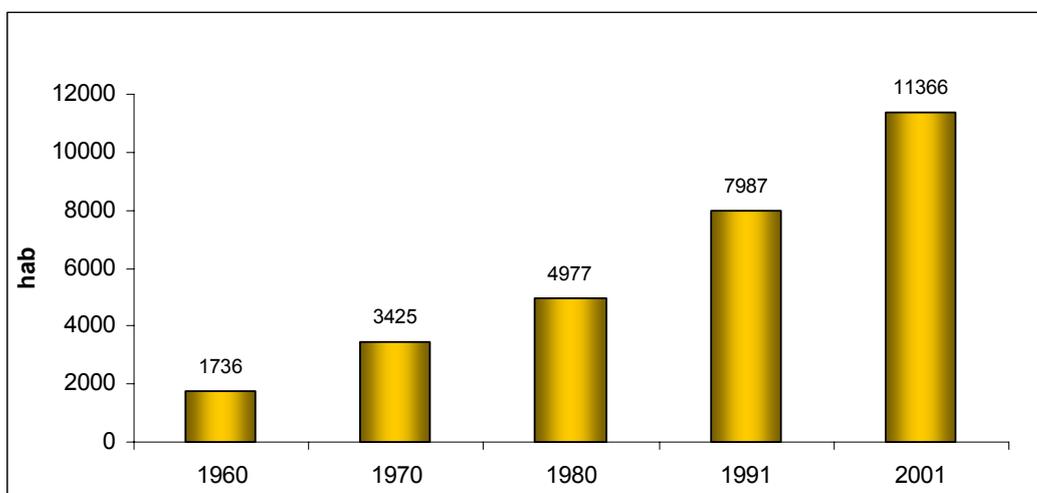


Figura 4.25. Evolución de la población en San Clemente del Tuyú según los censos del INDEC

Entre 1970 y 1960 se ha producido un aumento del 97% en la cantidad de residentes de la localidad. En la siguiente década fue del 45% mientras que entre 1991 y 1980 el valor calculado fue del 60%. El menor porcentaje se registra entre 2001 y 1991 con un 42% de incremento.

En cuanto a las viviendas se disponen datos para los años 1970, 1980 y 1991, donde puede observarse un marcado aumento especialmente entre 1970 y 1980 con un incremento del 73%. Para el periodo 1991-1980 se estimó en un 56%. (Tabla 4.4).

AÑO	n° viviendas	Varones	Mujeres	Pobl. total
1960		877	859	1736
1970	3857	1787	1638	3425
1980	6678	2554	2423	4977
1991	10426	3999	3988	7987
2001				11366

Tabla 4.4. Datos censales del INDEC

El constante aumento de la población estable asociado a la afluencia turística del verano, supone un incremento del consumo de agua, lo cual tiene una significativa influencia en el comportamiento del agua subterránea, afectando el ciclo hidrológico natural.

4.3.2. Evolución territorial

De acuerdo a los relevamientos de campo efectuados y del análisis visual de las fotografías aéreas e imagen satelital (1958, 1984, 2005), se plantean tres casos de distribución de uso del suelo, que se denominaron Zona 1, Zona 2 y Zona 3.

En primera instancia se establecieron las zonas en función de dos tipos de observaciones: los recorridos efectuados por el campo y su correlación con la imagen satelital actual. Como segunda instancia se intentó transpolar las características descriptas a continuación a las fotografías aéreas de los años anteriores. Dicha tarea no resultó fácil ya que, sobretodo en la más antigua, los rasgos de la urbanización no estaban definidos.

La Zona 1 está caracterizada por un suelo arenoso, con escasa urbanización y presencia de espacios verdes, ya sean áreas de camping o recreación, como jardines y espacios públicos, con calles que no se encuentran pavimentadas. En general es un ámbito favorable para la recarga, aunque limitada localmente en algunos sitios que presentan edificación o impermeabilización del terreno. Constituye un medio vulnerable y con riesgo de contaminación derivada de las actividades que en ella se desarrollan (Figura 4.26).

La Zona 2 se corresponde con el ambiente natural de médanos, que presenta un suelo arenoso con escasa vegetación, siendo insignificante la densidad de población. En este caso, los excesos de agua alimentan directamente al sistema hídrico subterráneo. El escurrimiento superficial tiende a cero, como consecuencia de las características morfológicas, de la inexistencia de una red de drenaje y de la alta permeabilidad de los sedimentos. En esta zona la baja actividad antrópica minimiza el riesgo de afectación de la calidad química del agua (Figura 4.27).

En la Zona 3 se han incluido los sectores densamente urbanizados, situados en el casco céntrico, donde se ubica el sector comercial, hotelero, gastronómico y las calles están pavimentadas. En estos sitios, como consecuencia de la impermeabilización prevalece el escurrimiento superficial de los volúmenes precipitados. En esta zona, que se encuentra aladaña a la costa, los desagües pluviales que colectan el escurrimiento superficial terminan en la zona de playa. La descarga se produce hacia el mar y se pierde parte de lo aportado por las precipitaciones, dando lugar a una situación desfavorable para la recarga, la cual se lleva a cabo sólo en pequeñas superficies libres como unas pocas plazas y jardines de reducido tamaño. Esta zona es la única abastecida por agua corriente. Se considera que no existen pérdidas significativas de la red de distribución de agua que aporten a la recarga debido a que se trata de una red en buen estado que cuenta con menos de 20 años de funcionamiento. Lo mismo ocurre con el servicio cloacal, que tiene menos de 10 años de instalación. Los bajos contenidos de nitratos en el agua freática son indicadores de tal situación (Figura 4.28).



Figura 4.26. Imagen satelital Google Earth 2005 y fotografía de campo representativa de la Zona 1.

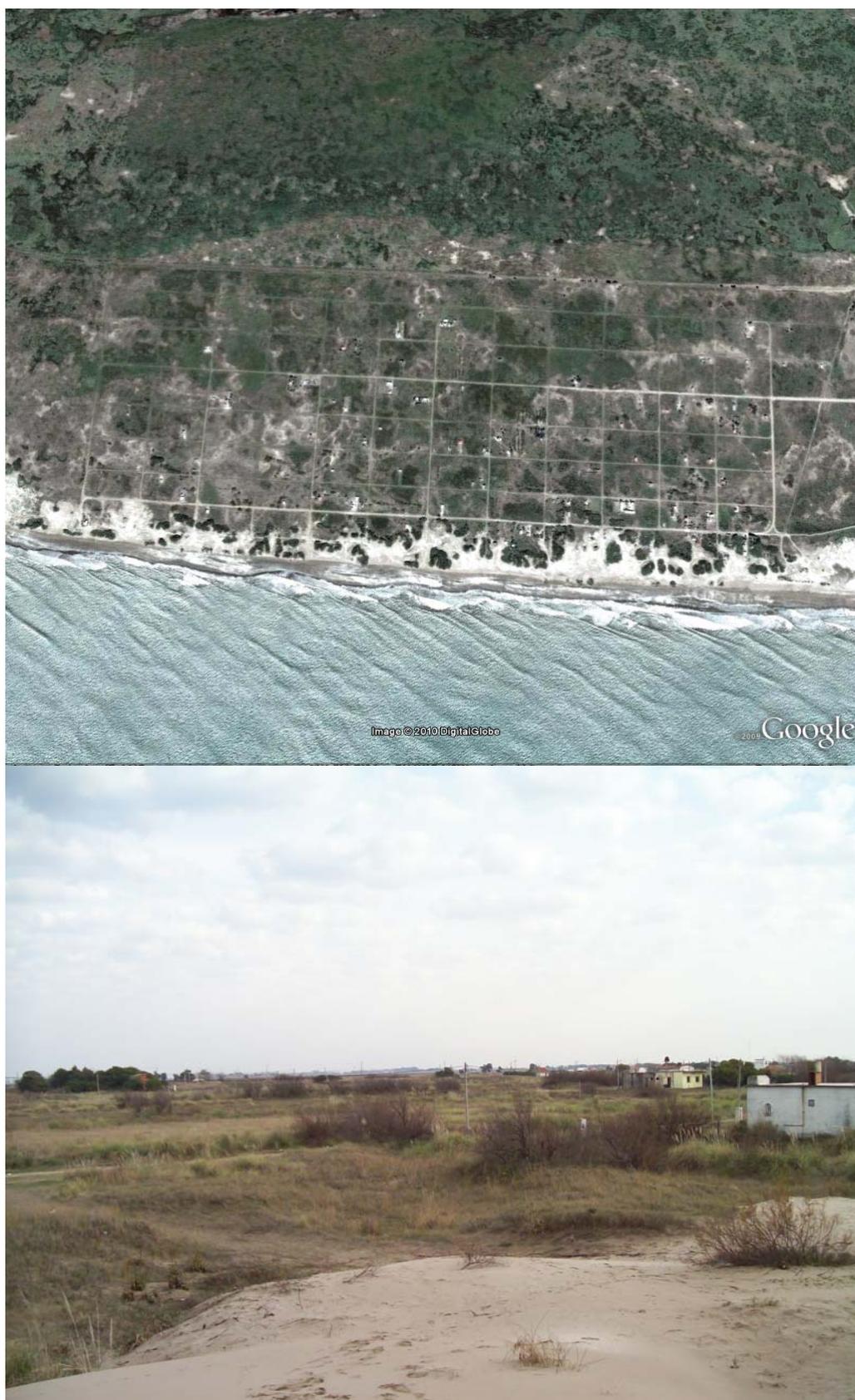


Figura 4.27. Imagen satelital Google Earth 2005 y fotografía de campo representativa de la Zona 2.



Figura 4.28. Imagen satelital Google Earth 2005 y fotografía de campo representativa de la Zona 3.

Se ha efectuado un análisis comparativo de las fotografías aéreas y la imagen satelital reconociéndose la evolución que han manifestado a través del tiempo las tres zonas descriptas.

En la Figura 4.29 se puede observar que para 1958 solo se reconocen la Zona 1 y Zona 2, es decir que no existía una urbanización significativa ni calles asfaltadas en ese momento.

En este análisis se consideró también 1976. La información sobre la distribución del uso del suelo se obtuvo de un mapa elaborado en el trabajo de Sala et al. (1976) en donde los autores dividen a la ciudad en sector urbano, semi-urbano y rural, considerándose una correlación entre las zonas definidas para este trabajo. De esa manera se manifiesta a partir de esta fecha la aparición de la Zona 3 con un crecimiento marcado de la Zona 1 (Figura 4.29).

Para 1984, la Zona 2 se ve considerablemente reducida a favor de la Zona 1, permaneciendo casi invariable hacia el 2005. En este año, se destaca la aparición de un nuevo sector perteneciente a la Zona 3, especialmente debido a la presencia de calles asfaltadas. (Figura 4.29)

Para 1947 se consideró una situación en donde la zona se conservaba en su estado natural ya que para esa fecha no existían más que algunos asentamientos dispersos en el área rural. Esta distribución areal ha evolucionado desde los primeros asentamientos en la localidad hasta la actualidad, acompañados del crecimiento poblacional y del consumo del recurso agua subterránea.

En 1976 la Zona 1 mostraba una superficie de 2,1 km²; la Zona 2 de 7,2 km² y la Zona 3 de 0,7 km². En 2005, treinta años después, los valores se han transformado en 4,8 km²; 3,6 km² y 1,5 km², respectivamente. Ello indica que se han duplicado los sectores urbanizados y las zonas de médano con escasa vegetación han disminuido la superficie en un 50%. (Figura 4.30)

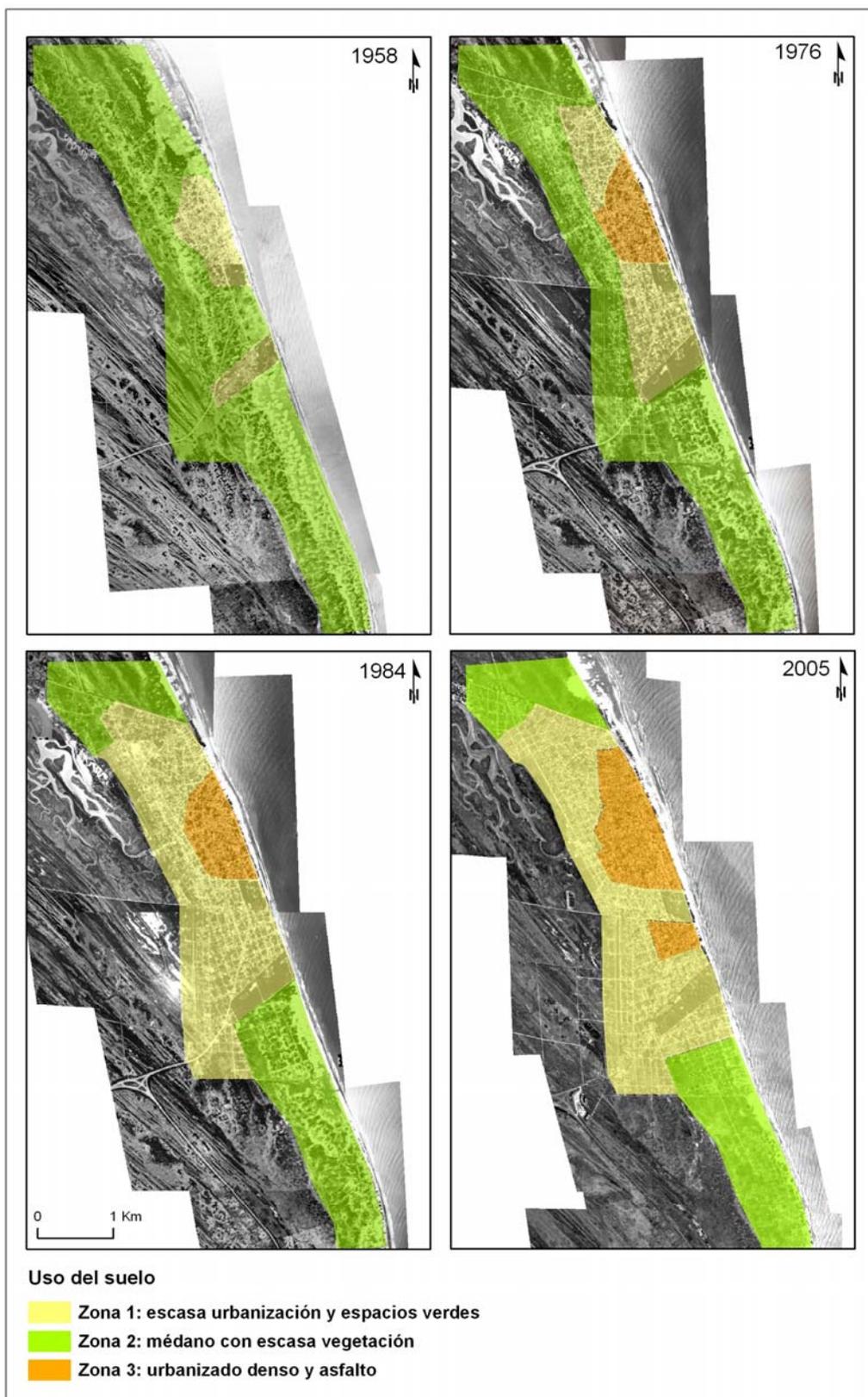


Figura 4.29. Cambios en el uso del suelo a lo largo del tiempo

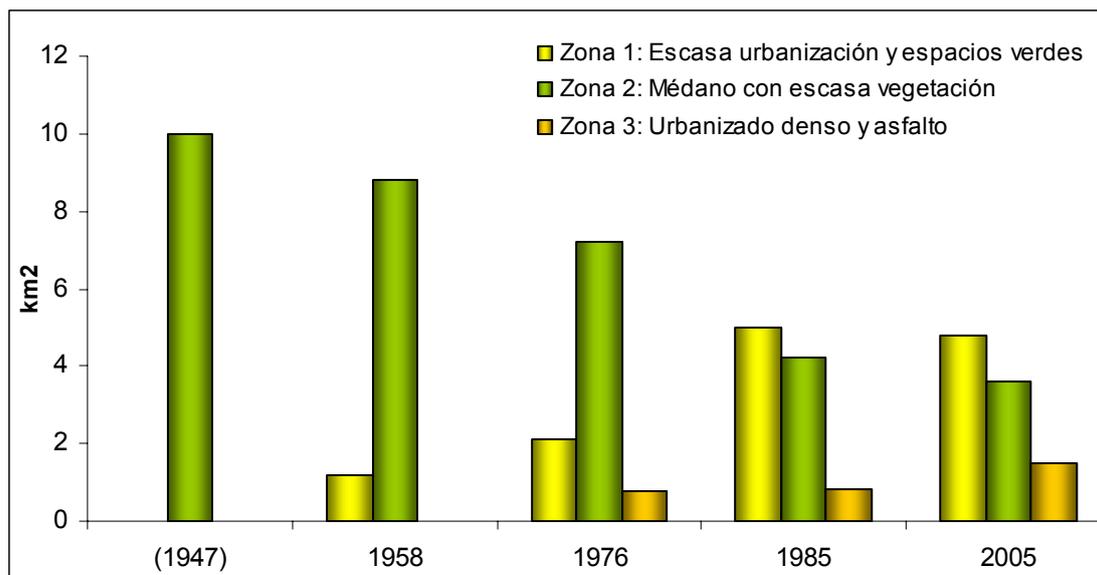


Figura 4.30. Evolución areal del territorio.

Estas observaciones se correlacionan con lo concluido en el apartado donde se trató la evolución del paisaje. El crecimiento poblacional observado mediante los censos del INDEC, los cambios en el uso del suelo en las zonas definidas y el comportamiento de los médanos están estrechamente relacionados entre sí. La aparición de los asentamientos humanos en esta región costera ha modificado el paisaje de manera continua y significativa a lo largo del tiempo. Esto no solo afecta de un modo paisajístico, sino que actúa sobre la dinámica del acuífero alojado en el médano.

4.4. Hidrometeorología

Si bien San Clemente del Tuyú se encuentra dentro del marco hidrometeorológico regional descrito, se dispone de información para lograr una caracterización más detallada de algunas variables meteorológicas.

4.4.1. Precipitaciones

Para verificar la consistencia de los datos del pluviómetro de la Cooperativa de Obras Sanitaria (COS) se realizó un análisis de doble masa con los datos del SMN Sta. Teresita, por presentar esta última estación una mayor confiabilidad. En la Figura

4.31 se puede observar la curva correspondiente, cuyo coeficiente de correlación es próximo a 1. Dado este resultado, se ha considerado a los datos del pluviómetro COS como información que puede ser utilizada en posteriores análisis.

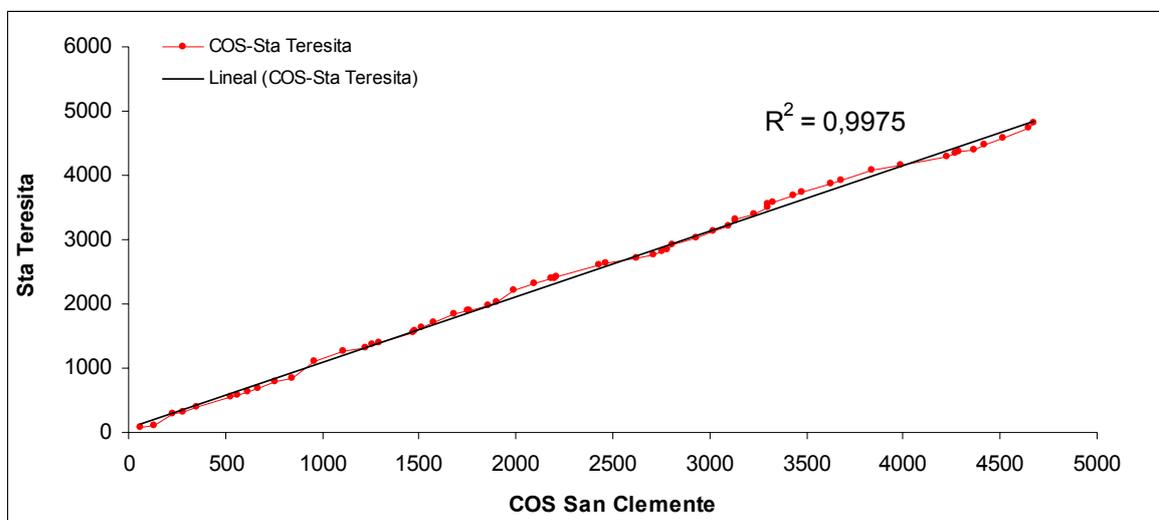


Figura 4.31. Gráfico que representa los resultados del análisis de doble masa entre la estación Sta. Teresita y COS para el periodo diciembre 2002 - noviembre 2007.

Este mismo tipo análisis con las otras estaciones instaladas en la localidad, no dieron resultados satisfactorios (Anexo 5) y por lo tanto no serán utilizadas en la evaluación hidrológica.

En la Tabla 4.5 se indican las precipitaciones mensuales, medias mensuales y anuales del pluviómetro de la COS entre enero de 2003 y diciembre de 2010.

En cuanto a la media mensual, febrero presenta el mayor valor (130 mm), mientras que mayo es el menor (52 mm). En el verano se presentan el 33,1% de las lluvias, el 22,3 % en otoño, el 22,7% en invierno y 21,9% en primavera, resultando una distribución homogénea con una leve tendencia a las mayores precipitaciones en la época estival. El semestre húmedo (octubre – marzo) cuenta con el 55% de las precipitaciones y el seco (abril – septiembre) con el 45%.

La máxima precipitación mensual se registró en febrero de 2008 con 244 mm considerándose un evento de precipitaciones extremas y será analizado posteriormente. Le sigue abril de 2007 (236 mm), junio de 2005 (221 mm) y febrero de 2010 (208 mm). En la serie existen meses en donde la precipitación medida fue de 0 mm, lo cual sucedió en tres oportunidades, mayo y agosto de 2006 y abril de 2008.

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Media
Ene	71	111	95	124	49	165	8	84
Feb	97	39	105	87	155	244	103	130
Mar	48	34	82	74	157	135	145	93
Abr	72	175	21	41	236	0	52	85
May	175	11	7	0	41	93	38	52
Jun	34	30	221	96	18	32	38	67
Jul	51	62	35	71	75	30	150	68
Ago	58	105	161	0	54	112	48	77
Sep	83	72	86	25	98	21	61	64
Oct	91	6	45	106	130	51	50	68
Nov	112	99	23	40	30	37	105	64
Dic	156	41	31	157	40	43	13	69
Anual	1048	785	912	821	1083	963	811	918

Tabla 4.5. Datos de precipitaciones para el pluviómetro COS (2003-2010)

Los años más lluviosos fueron 2003 y 2007 con 1048 y 1083 mm respectivamente, mientras que el 2004 resultó ser el más seco con tan solo 785 mm. La precipitación media anual (2003-2009) es de 918 mm, un tanto menor que la calculada a nivel regional donde se estimaron 1000 mm. Así mismo si se compara la media anual entre COS y la estación Sta. Teresita para 2003-2007, los valores resultan 930 y 963 mm respectivamente lo que estaría representando una diferencia del 3%, que se encuentra dentro del margen de error de las mediciones de precipitación.

Los eventos de altas precipitaciones generalmente se estudian en los procesos referidos a las aguas superficiales, que presentan una respuesta hidrológica rápida. En el ambiente natural de médanos, los excesos de agua de un evento de altas precipitaciones se manifiestan en el aumento de la alimentación del sistema hídrico subterráneo.

Se evaluaron las altas precipitaciones ocurridas en febrero de 2008, en base a los datos diarios de la serie 1990-2008 de la estación del SMN Santa Teresita y otros del pluviómetro perteneciente a la COS. El valor medio para enero y febrero (meses

previos a las mediciones realizadas) en la serie 1990-2007 en Santa Teresita es de 106 y 100 mm respectivamente, con una tendencia al aumento en las precipitaciones en febrero y una disminución en enero (Figura 4.32).

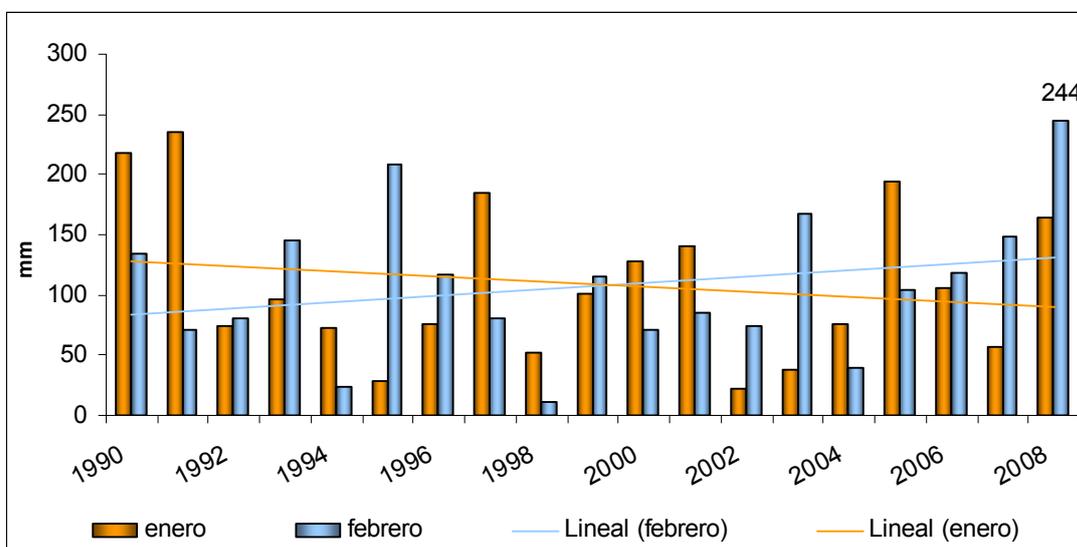


Figura 4.32. Precipitaciones mensuales en enero y febrero (1990-2008)

El valor de 244 mm registrado en febrero de 2008 se encuentra por encima de la media y es el extremo en el periodo 1990-2008. A partir del ordenamiento de la serie de los dos meses citados, se reconoce que es el máximo mensual en los datos de casi 20 años. Solo el 26% de los meses de enero muestran precipitaciones mayores a 150 mm. Para febrero este valor es del 16%, por lo cual los 244 mm de lluvia acumulados en el mes se consideraron un evento extremo (Figura 4.33).

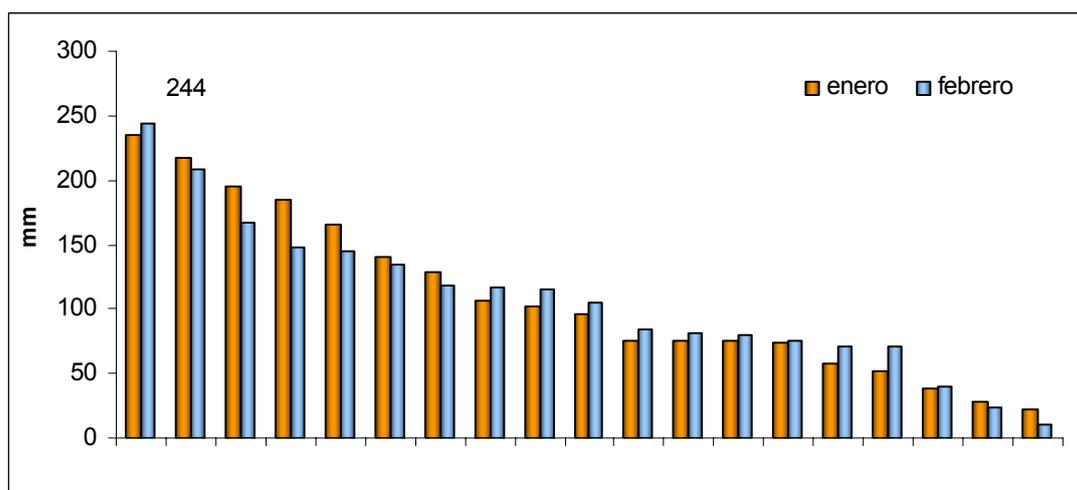


Figura 4.33. Precipitaciones mensuales en enero y febrero (1990-2008) ordenadas de mayor a menor

De los 244 mm registrados en febrero, 180 mm lo hicieron en un solo día (26 de febrero). El máximo en un solo día (1990-2007) era 120,8 mm, siendo superado por los 180 mm del 26 de febrero de 2008 (Figura 4.34).

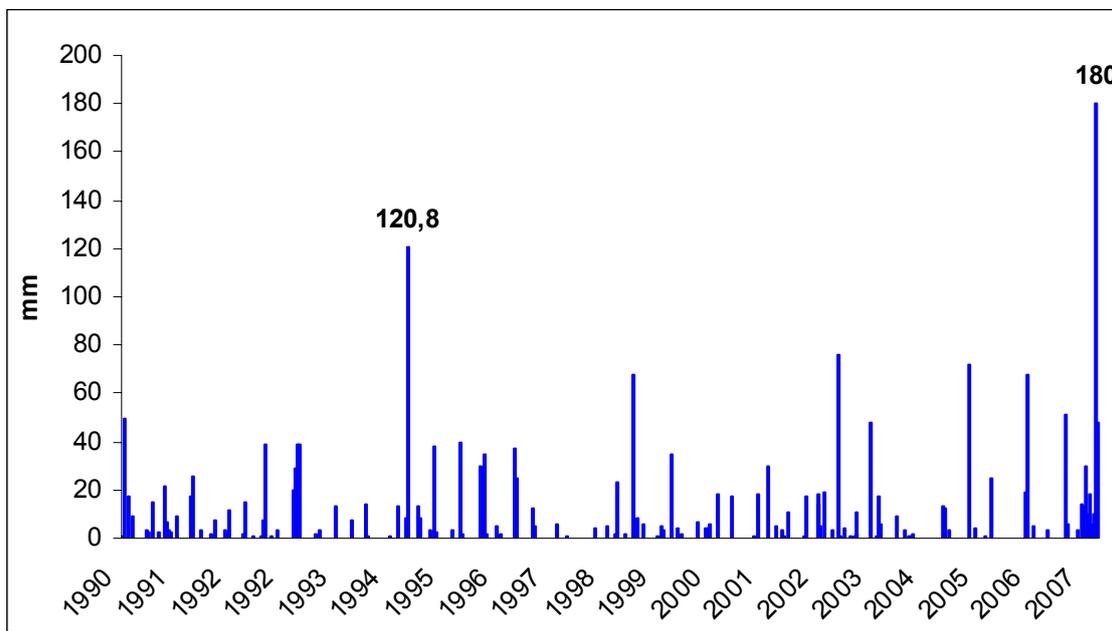


Figura 4.34. Días con precipitaciones en febrero (1990-2008)

Si se ordenan las precipitaciones de febrero, se observa que solo el 17% de los días presentan valores por encima de 20 mm, siendo la mayoría (83%) menores a este valor. Precipitaciones mayores a 100 mm diarios se registraron 2 veces, el 10 de febrero de 1995 y el caso analizado, lo cual representa tan solo el 1,3 % de los acontecimientos (Figura 4.35).

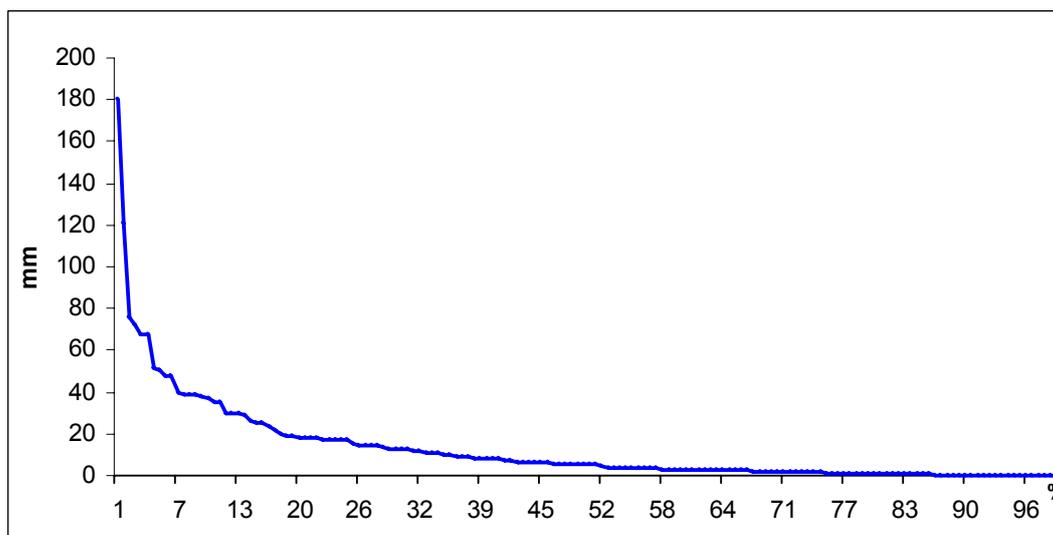


Figura 4.35. Días con precipitaciones en febrero (1990-2008) ordenados de mayor a menor.

En la región costera, los eventos de altas precipitaciones, si bien son excepcionales, pueden significar un aporte significativo a las reservas de agua dulce, por lo que deben ser aprovechados de manera eficiente.

4.4.2. Temperatura

Se ha analizado la temperatura de las dos estaciones de San Clemente. A partir de datos horarios, se han calculado las medias diarias, así como las mensuales. La temperatura máxima fue 34,2° C el 08/01/2008 a las 14 hs en la Planta 2, mientras la mínima fue -2,7° C el 03/08/2008 a las 8 hs en la Sede.

En la Figura 4.36 se observa que las medias mensuales presentan comportamiento similar a lo largo del año, con el mínimo en junio de 2008 (7,9 ° C) y el máximo en enero de 2009 (22,6 ° C).

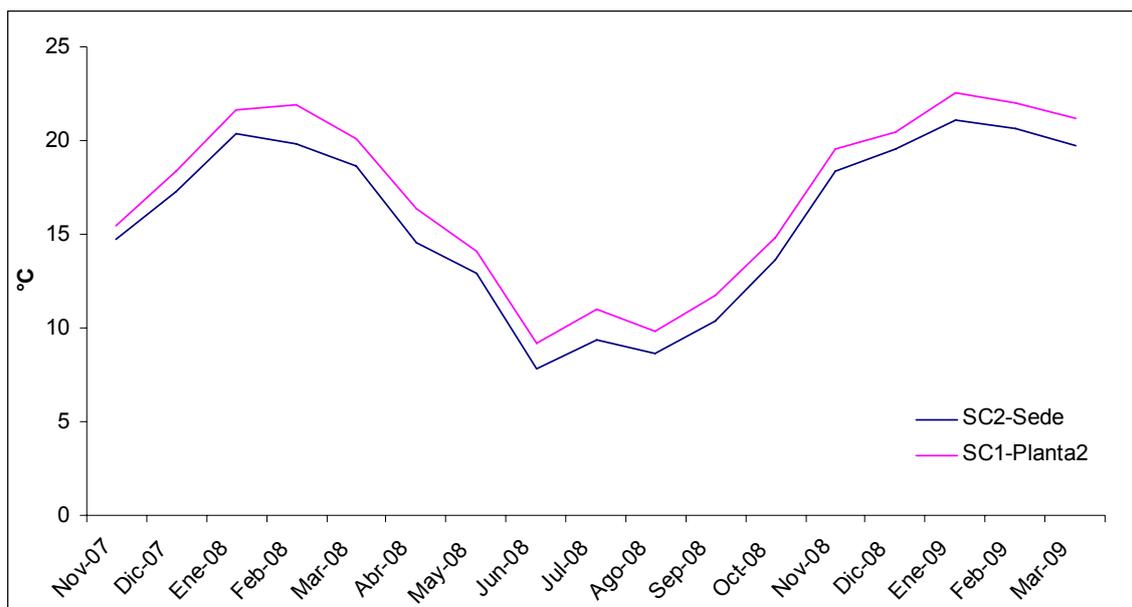


Figura 4.36. Temperatura media mensual para las dos estaciones en el periodo 14/11/2007-23/03/2009

4.4.3 Humedad relativa

En la estación Sede el valor medio mensual fue 70%, el máximo del 83% (julio 2008) y el mínimo del 58% (enero 2009), mientras que para Planta 2 fueron de 73%, 60% y 44% respectivamente.

En la Figura 4.37 puede observarse que los valores de la Sede son levemente mayores. El mayor porcentaje de humedad relativa se manifiesta durante el invierno.



Figura 4.37. Media mensual de la humedad relativa para las dos estaciones en el periodo 14/11/2007-23/03/2009

En análisis del comportamiento de la humedad relativa en relación con la temperatura se visualiza en la Figura 4.38. Se observa que en los meses de invierno, cuando la temperatura baja, la humedad tiende a ser mayor.

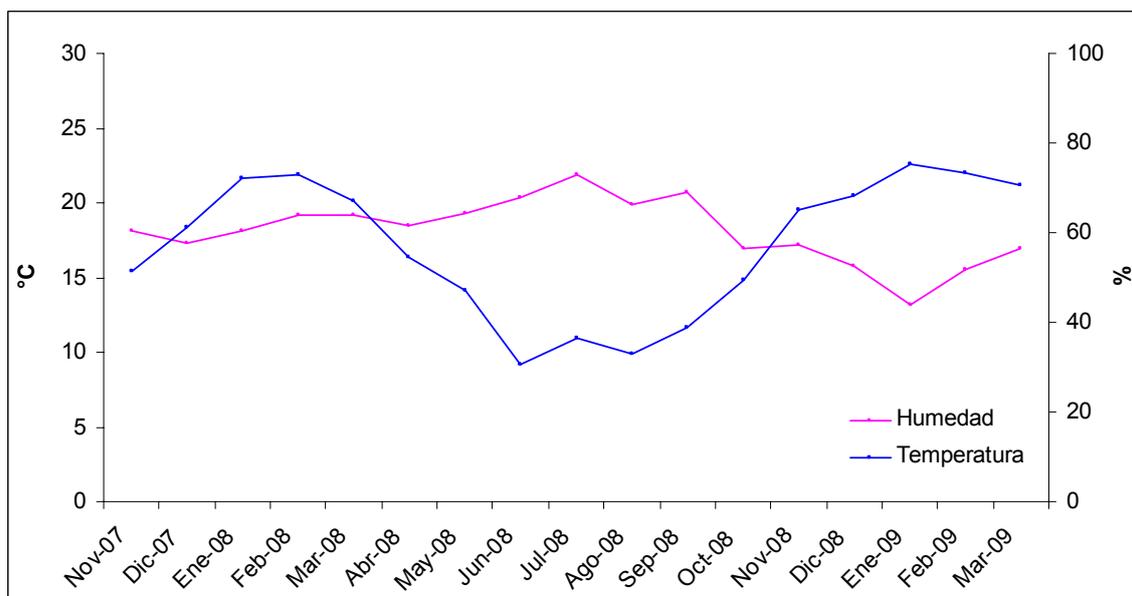


Figura 4.38. Humedad y temperatura para el periodo noviembre-2007 a marzo-2009

Lo mismo se manifiesta con la evolución diaria. (Figura 4.39). Se ha elegido el 15 de marzo 2008 como ejemplo, donde a partir de las 10 y 19 hs las temperaturas son más elevadas, resultando en ese mismo lapso los menores porcentajes de humedad.

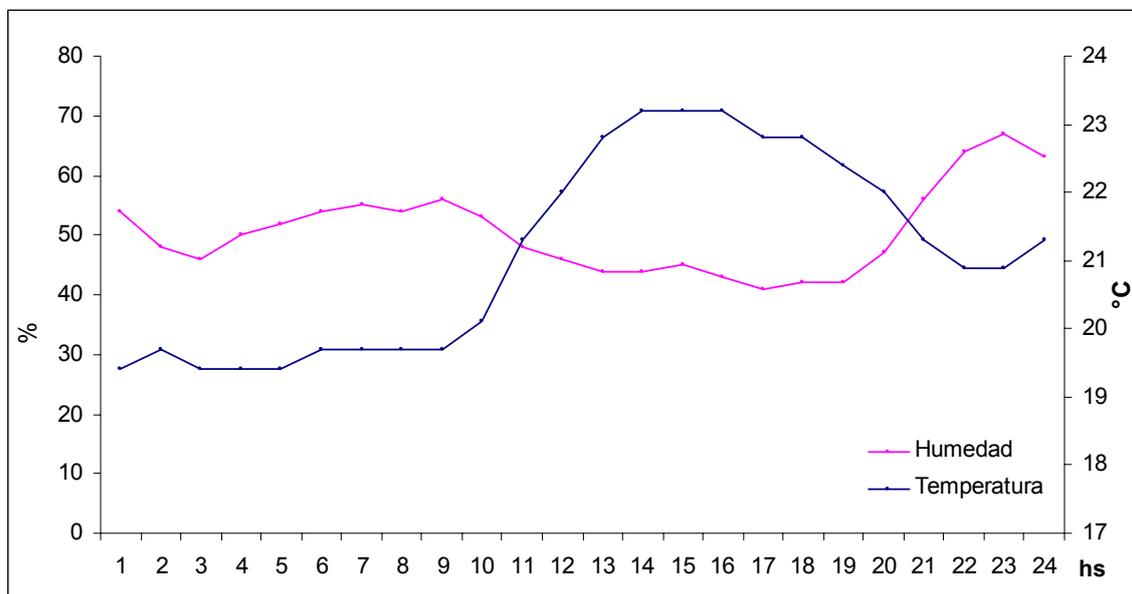


Figura 4.39. Humedad y temperatura para el día 15 de marzo de 2008

4.4.4. Presión atmosférica

El máximo registrado fue de 1020 hPa (mayo 2008), el mínimo de 995 hPa (diciembre 2007) y la media de 1013 hPa. En la Figura 4.40 se observa que los mayores valores de presión, por encima de los 1013 hPa, se presentan en otoño e invierno, con que es la estación seca en el área de estudio, mientras que los valores son inferiores entre octubre y marzo, que es el semestre húmedo.

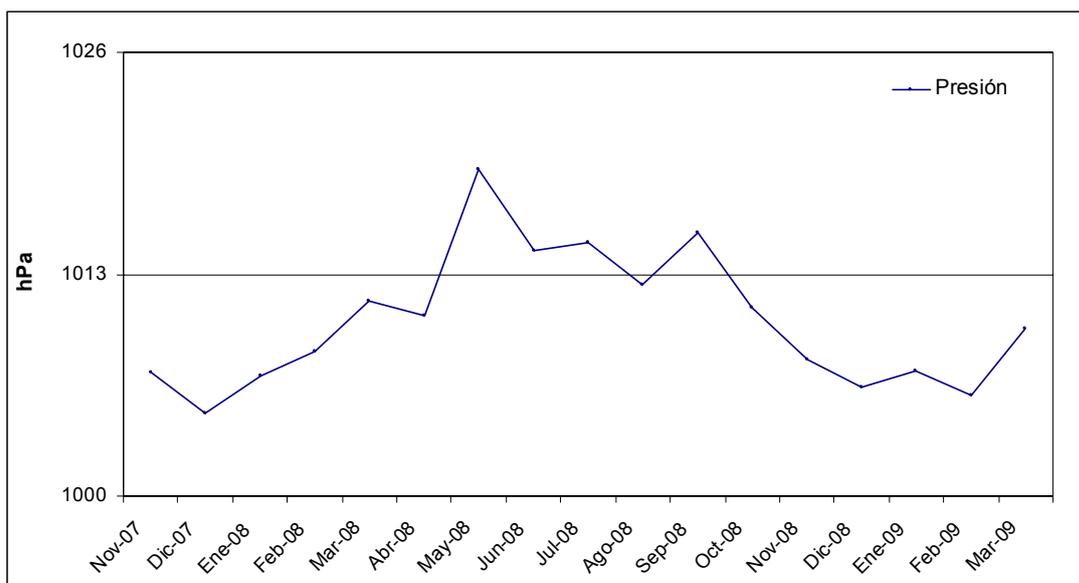


Figura 4.40. Presión atmosférica en hPa desde noviembre-2007 a marzo-2009

Existe una relación directa entre los valores por debajo de 1013 hPa y las precipitaciones. La Figura 4.41 muestra que entre abril-08 y septiembre-08 (semestre seco) las presiones se mantienen en general con valores altos (entre 1015 y 1019 hPa), resultando la suma de las precipitaciones en 279 mm. En cambio, desde noviembre-07 hasta marzo-08 (semestre húmedo) las lluvias fueron 614 mm con valores de presión generalmente más bajos (entre 1005 y 1012 hPa). Para el otro semestre húmedo, octubre-08 a marzo-09, las precipitaciones sumaron 353 mm, pero cabe aclarar que 2008 fue un año seco.

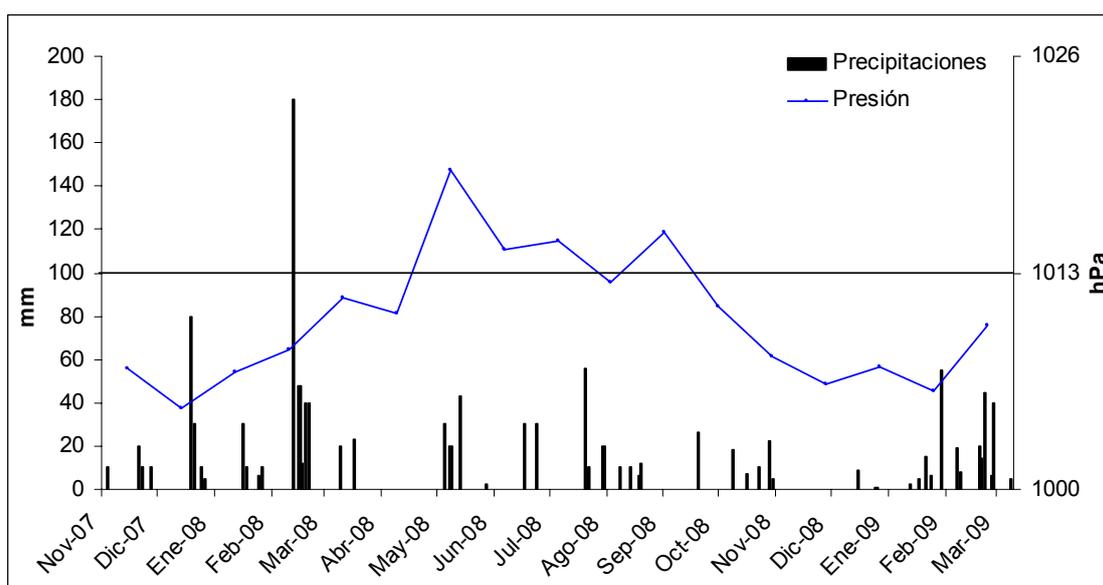


Figura 4.41. Precipitaciones y presión atmosférica (noviembre 2007-marzo 2009)

Se han elegido los días 10 y 11 de febrero 2009 como ejemplo para visualizar el comportamiento entre estas dos variables (Figura 4.42). El sensor ha registrado un valor por debajo de los 1013 hPa a partir de las 2 hs del día 10. En el transcurso de las horas siguientes los valores descienden aún más, llegando a un mínimo de 987 hPa a las 14 hs. Las precipitaciones comienzan a las 20 hs y tienen su pico a las 2 hs del día siguiente con 30 mm. La presión vuelve a elevarse hacia finales del día 11.

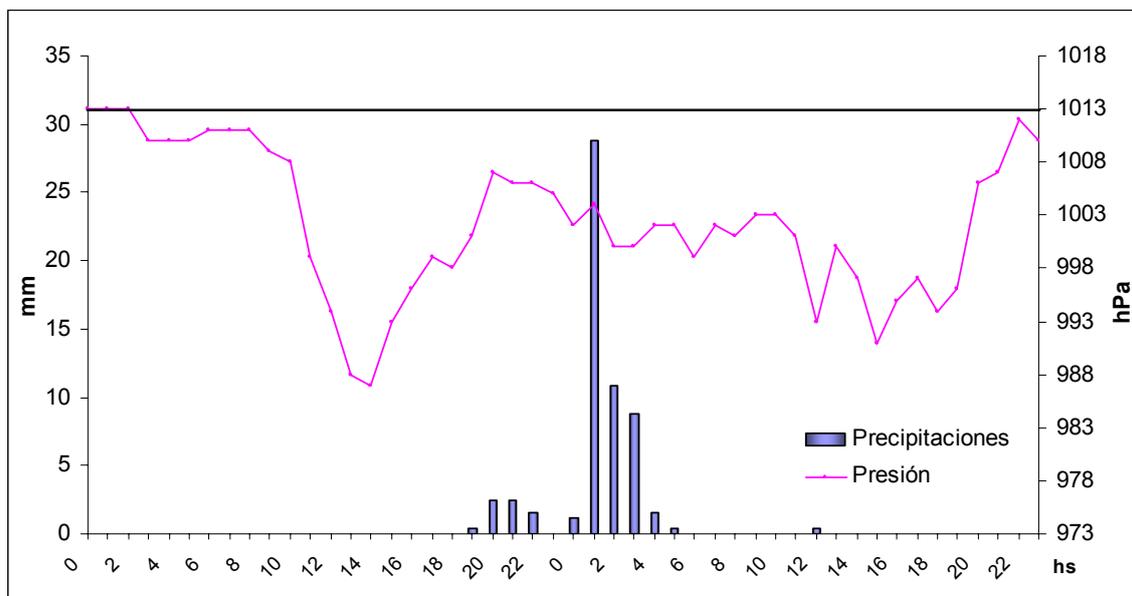


Figura 4.42. Comportamiento de la presión atmosférica y precipitaciones para los días 10 y 11 de febrero de 2009

En la Figura 4.43 se muestra la relación entre precipitación, temperatura, humedad relativa y presión atmosférica para el 10 y 11 de febrero de 2009. A la relación presión-precipitaciones descrita, se suma a esta observación el hecho que durante el periodo de lluvias la humedad relativa alcanza su máximo. Las temperaturas disminuyen durante las horas de la noche que es además, el periodo en donde se produjeron las precipitaciones.

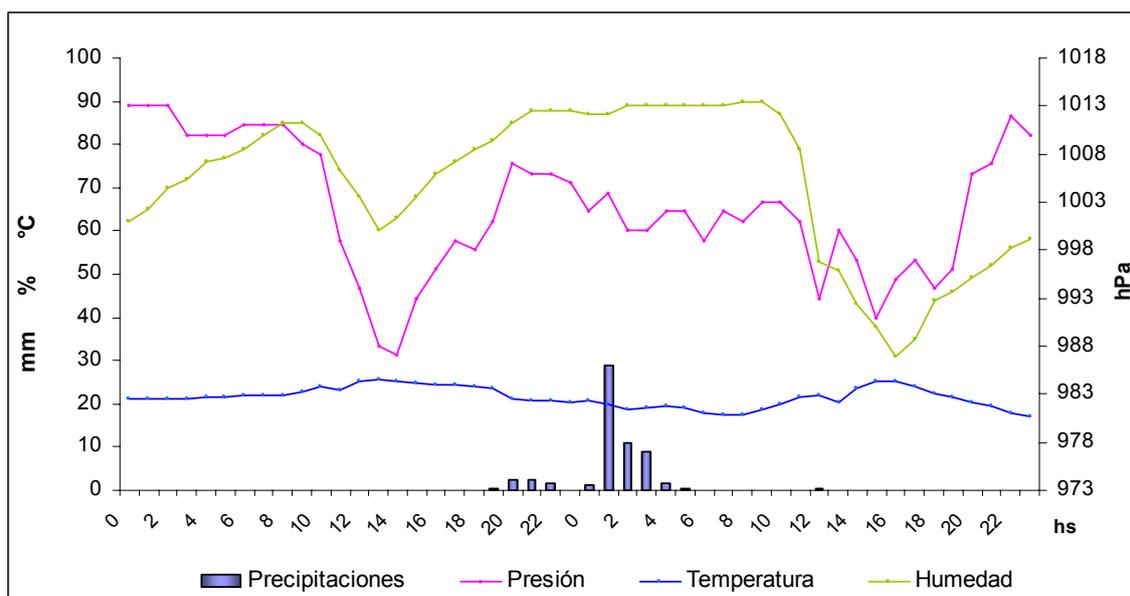


Figura 4.43. Comportamiento de las variables meteorológicas para los días 10 y 11 de febrero de 2009

El estudio de los fenómenos meteorológicos en relación con la hidrogeología es una cuestión compleja de abordar. El análisis de las precipitaciones reviste una mayor importancia por tratarse de la entrada al sistema acuífero, pero a su vez la temperatura es un factor que influye significativamente en la evapotranspiración, estrechamente ligada con la recarga. La humedad relativa y la presión atmosférica se relacionan también con las precipitaciones y la evapotranspiración.

4.4.5. Balance hídrico

Se han efectuado balances hídricos de paso diario para la serie 2008-2010 que luego se han sido adaptados al intervalo de tiempo entre los relevamientos de los niveles freáticos.

En la Tabla 4.6 se exponen los resultados de los mismos. El mayor exceso de agua mensual (275 mm) corresponde a marzo de 2008. En marzo, 2010 se registra un valor importante de lluvias que genera 154 mm de excesos.

De los 26 meses con balances hídricos, en 10 oportunidades los excesos de agua fueron entre 0 y 1 mm, mientras que solo en 5 ocasiones este valor superó los 80 mm. La suma anual de los excesos para 2008 indica 494 mm mientras que para 2009 es de 363 mm.

	Precipitaciones	ETR	Excesos
Feb-08	165	63	86
Mar-08	336	65	275
Abr-08	63	58	7
May-08	30	22	0
Jun-08	65	31	45
Jul-08	60	22	25
Ago-08	86	41	48
Sep-08	38	42	7
Oct-08	35	41	0
Nov-08	62	57	1
Dic-08	29	30	1
Ene-09	17	28	0
Feb-09	108	40	34
Mar-09	125	49	88
Abr-09	72	56	32
May-09	38	22	0
Jun-09	38	19	6
Jul-09	150	32	126
Ago-09	20	28	0
Sep-09	89	56	28
Oct-09	50	39	0
Nov-09	105	58	49
Dic-09	13	30	0
Feb-10	46	49	0
Mar-10	208	51	154
Abr-10	66	41	24

Tabla 4.6. Balances hídricos (febrero 2008-abril 2010)