

ANEGAMIENTO Y CONTAMINACIÓN BACTERIOLÓGICA DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEAS EN CIUDAD DE LA COSTA (DPTO. de CANELONES, URUGUAY)

OVERFLOW AND MICROBIOLOGICAL CONTAMINATION IN SURFACE AND GROUNDWATERS IN CIUDAD DE LA COSTA CITY (CANELONES DEPARTMENT, URUGUAY)

Marmisolle, J.; Goso Aguilar, C.
jomarmi@adinet.com.uy

RESUMEN

La Ciudad de la Costa ha experimentado en las últimas décadas una importante expansión urbanística con serias consecuencias ambientales. Con el objetivo de establecer la situación del riesgo al anegamiento de terrenos, a partir de un estudio iniciado en el 2002 y para contribuir a un futuro ordenamiento territorial, se realizaron en 2005 nuevos mapas de riesgo al anegamiento en el sector Sur de la ciudad. A través de nuevos estudios geológicos, geomorfológicos e hidrogeológicos, junto con el análisis de datos pluviométricos actualizados, se pudieron identificar zonas de alto riesgo al anegamiento (nivel freático inferior a 0.50 m) para el primer semestre de 2005, ocupando una superficie aproximada del 40 % del total de la zona estudiada. Paralelamente, se realizaron análisis microbiológicos de agua subterránea que confirman la importante contaminación bacteriológica existente en las aguas pertenecientes al acuífero libre correspondiente a los depósitos costeros del Reciente. A excepción de las aguas del A° Carrasco, los resultados de análisis de agua de otros cursos de agua superficial y de las playas, no muestran niveles de contaminación.

PALABRAS CLAVE: riesgo sanitario, anegamiento, contaminación, Ciudad de la Costa

ABSTRACT

In this paper the results of a geological risk study made during 2005 related to overflow and microbiological water contamination at Ciudad de la Costa City (Canelones department) are shown. This city has been showed a great urban growth for the last three decades. New hydrogeological studies looking forward the phreatic level and its bacteriological quality allow to know the level of the risk along 2005's first semester. The top of the phreatic table in 40% of the studied area is below than 0.50 meter depth. The results of fourteen bacteriologic analyses in groundwater samples show extreme contamination values in faecal coliform, Pseudomona sp. and Aeruginosa content. Both surface drainage and beach water bacteriologic analyses did not show contamination values except those corresponding to Carrasco creek.

KEYWORDS: environmental geology, healthy risk, contamination, overflow, de la Costa City

INTRODUCCIÓN

En un estudio geotécnico realizado por Goso (1997) en el Parque Roosevelt (Hipermercado Geánt) de Ciudad de la Costa, los sondeos efectuados revelaron que el nivel freático se encontraba entre 3 y 4 m de profundidad, con respecto a la superficie del terreno. En Pereira (2002), se presentaron los resultados de un estudio que denotaba una situación de riesgo geológico en el sector Sur de la Ciudad de la Costa (Depto. de Canelones), debido a la elevación de los niveles freáticos. En ese estudio se concluyó que esa elevación era producto del incremento demográfico a partir de la década del setenta y los vertidos de aguas residuales al terreno; y también al aumento pluviométrico medio para la región (Pereira & Goso, 2003).

El anegamiento es la acumulación de aguas de lluvias sobre la superficie del suelo. Se relaciona directamente con la intensidad de las precipitaciones y con la incapacidad del suelo y subsuelo para infiltrar con la suficiente velocidad el agua de lluvia. Es un hecho episódico que afecta a determinadas áreas con diferentes magnitudes.

Si bien la intensidad de las lluvias es el factor determinante, la posibilidad de que ciertas lluvias provoquen anegamientos, depende de las características físicas del suelo y subsuelo que influyen en la capacidad de infiltración, comportamiento hidrogeológico y escurrimiento superficial (Ilabaca, 1992 in Guido et al. 2001). Estudios de riesgo al anegamiento han sido realizados, dado la creciente necesidad de contribuir a planes de manejo del territorio. Estos trabajos se han realizado porque el proceso de anegamiento tiene una alta previsibilidad, en función que los factores que en él intervienen y la ocurrencia del fenómeno pueden ser evaluados y/o estimados (Guido et al. 2001).

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar las causas de las variaciones del nivel freático del sector Sur de la Ciudad de la Costa (Canelones) y determinar la calidad de las aguas subterráneas y superficiales, desde el punto de vista bacteriológico, durante el primer semestre de 2005. Entre los objetivos específicos se tiene la elaboración de mapas de riesgo al anegamiento de la porción estudiada de la Ciudad de la Costa.

Para una mejor caracterización del área de estudio, se realizó un mapa geomorfológico y cortes geológicos a partir de datos de perforaciones realizadas en la zona de estudio. Asimismo, se efectuaron análisis bacteriológicos del agua subterránea perteneciente al acuífero libre superior y también del agua superficial de los cursos que atraviesan el área y de las playas.

UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y CARACTERÍSTICAS SOCIO-ECONÓMICAS

La Ciudad de la Costa, se sitúa en el Departamento de Canelones (Figura N° 1) y está comprendida entre los arroyos: Carrasco (Oeste) y Pando (Este).

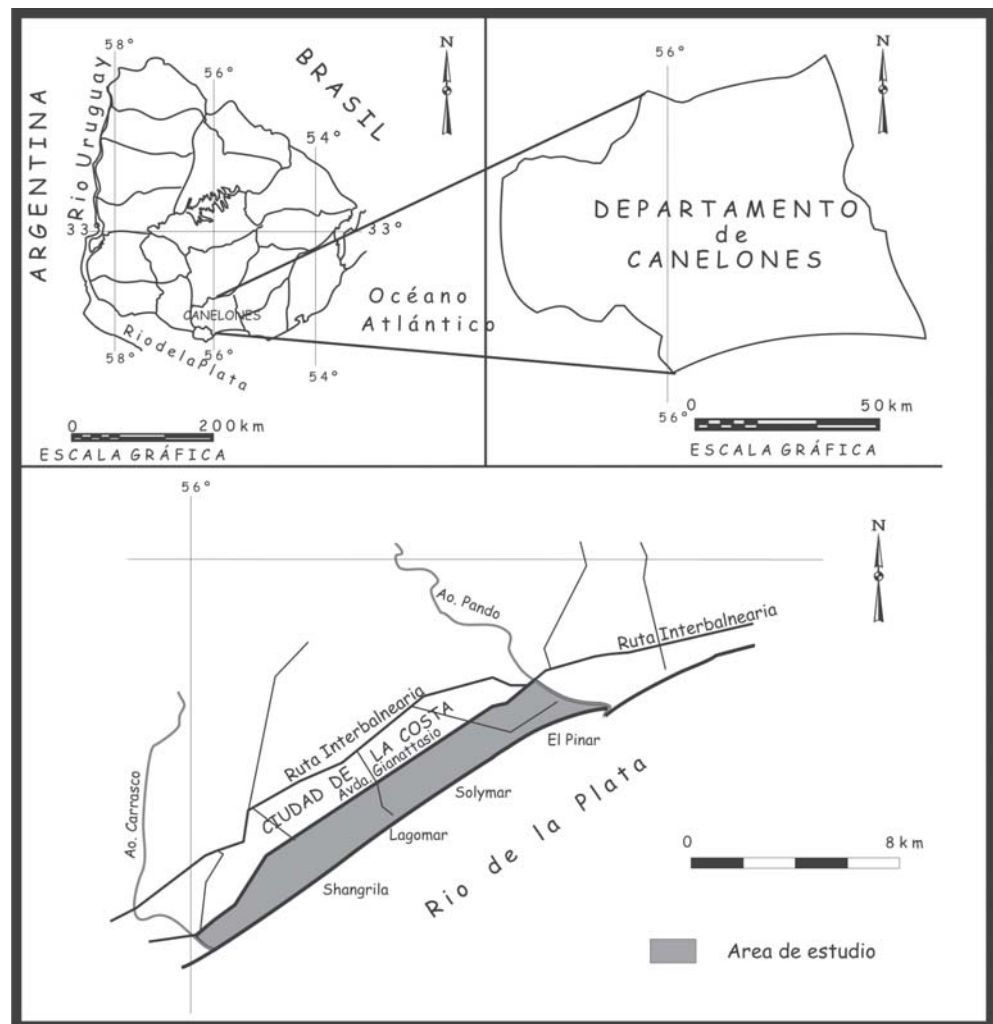


FIGURA N° 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.

FIGURE 1. Localization map of the studied area.

Además, tiene al Río de la Plata y su Rambla Costanera como límite Sur y a la Ruta Interbalnearia como límite Norte, (Hernández, 1999). Esta ciudad tiene una clara disposición lineal (Figura Nº 2) siguiendo tres ejes principales: la Avda. Giannattasio al centro, la Ruta Interbalnearia al Norte. A esta ciudad la conforman varios "barrios balnearios", donde cada uno de ellos presenta características que lo distinguen de los otros. La Avda. Giannattasio eje y corredor hacia el Este del departamento, no actúa como centro unificador, sino que se comporta como una barrera de separación entre el sector Norte y Sur.



FIGURA Nº 2. Vista aérea parcial de Este a Oeste de la Ciudad de la Costa. Avda Giannattasio y lagos (antiguas areneras) al fondo.

FIGURE 2. Partial aerial view from east to west of de la Costa City. Giannattasio Av. and lakes (old sand quarries).

Después de Montevideo, la Ciudad de la Costa es la ciudad más extensa en longitud (Hernández op.cit.). En particular, la zona de estudio tiene 17 km de largo por un ancho aproximado de 1.35 km, lo que supone una superficie de 23 km², aproximadamente.

Actualmente, se estima que la población de la Ciudad de la Costa asciende a unos 100.000 habitantes, de los cuales aproximadamente el 63% residen al Sur de Avda. Giannattasio (datos censales INE, 2005).

Entre 1963 y 1996 se verifica en esta zona el fenómeno de migración interna más importante ocurrido en el Uruguay. En este período se constató un verdadero impacto demográfico y habitacional en la Ciudad de la Costa (Figura Nº 3). Este fenómeno fue incrementándose a un ritmo constante y rápido, dando lugar a una extendida área urbanizada, en la que aún persisten muchas carencias básicas por resolver. Se trata de una concentración urbana donde

no se han aplicado planes locales de desarrollo, por lo tanto, no ha existido un Plan de Ordenamiento Territorial que contemple todas las variables involucradas en ese proceso habitacional.

El mayor propulsor de este fenómeno talvez haya sido la presión inmobiliaria que surgió a partir de la aplicación de la Ley de Alquileres de 1974. También, pueden haberse sumado otros factores de orden socioeconómico como por ejemplo: apertura del mercado automotor, mayor facilidad de ser propietario en la costa de Canelones por los bajos valores de los terrenos en determinada época, entre otros.

Por ser ésta una "ciudad dormitorio" donde las fuentes de trabajo propias del lugar son escasas, (aunque crecientes en el rubro de servicios), se trasladan diariamente una cantidad muy significativa de personas hacia Montevideo. Los motivos de estos

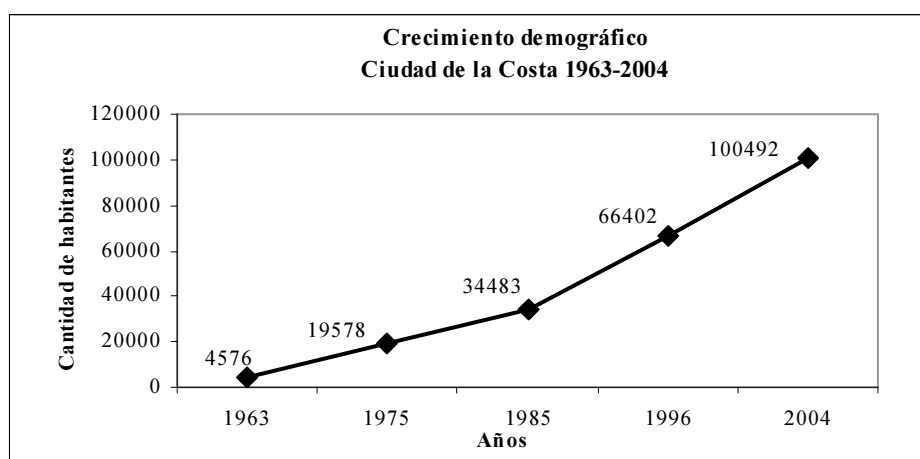


FIGURA Nº 3. Crecimiento demográfico en Ciudad de la Costa, período 1963-2004. Fuente: INE (2005).

FIGURE 3. Demographic growth in de la Costa City, between 1963 and 2004 from INE (2005).

traslados son muy variados pero típicamente metropolitanos: trabajo, negocios, estudios, salud, recreación, etc. La industria de la construcción es una importante fuente de trabajo en la zona, el resto de las fuentes de trabajo son en el orden de los servicios: educación, salud, dependencias administrativas, transporte, cultura, etc. (Hernández, 1999).

RELIEVE, VÍAS DE ACCESO Y RED DE DRENAJE

La Ciudad de la Costa presenta una topografía relativamente plana y baja -en especial el sector Sur- donde la pendiente es mínima. Allí, el terreno muestra cotas altimétricas que van desde 0 a 10 m en las proximidades de los arroyos Carrasco y Pando, y sobre la costa propiamente dicha. Desde el centro y hacia el Este del área, las cotas altimétricas de valor más elevado se sitúan entre 10 y 29 m en El Pinar.

El sector Norte muestra una topografía distinta. Allí, el relieve es suavemente ondulado. Las cotas altimétricas van aumentando de valor hacia el Noroeste, donde se tienen máximos de hasta 60 m.

Las vías de acceso a la Ciudad de la Costa se restringen a la Rambla Costanera, la Avda. Giannattasio, Avda. de las Américas, Cno. Carrasco, Ruta Interbalnearia, Ruta N° 101, Ruta N° 102, como así también los caminos, avenidas y calles que las interconectan (Figura N° 4).

La red de drenaje es relativamente restringida. Existen dos arroyos el Carrasco y el Pando, de dirección aproximada N-S. Éstos son los cauces con mayor caudal del área y desembocan en el Río de la Plata. También, en la zona de estudio se presentan dos cañadas. Una de ellas, está canalizada (Canal Artigas) y se localiza en San José de Carrasco. La otra cañada se encuentra en Parque de Solymar.

En el sector Norte y como consecuencia de una topografía con mayor pendiente, existe una red de drenaje más importante (cañadas y cursos intermitentes). Todos ellos afluentes del A° de Escobar, el cual desemboca en el A° Pando. También, existen varios lagos, la gran mayoría de éstos producto de antiguas explotaciones de arena, que actualmente están inactivas (Figura N° 4).

La zona cuenta con escasas obras para desagotar las aguas pluviales. Solamente se encuentran algunas canalizaciones de pluviales construidas en concreto en las avenidas: Racine (Parque de Carrasco), Calcagno (Shangrilá) y el Canal Artigas (San José de Carrasco), y en algunas calles de Shangrilá en la Rambla y en la Barra de Carrasco. Las obras ejecutadas en 2004 en las avenidas Racine y Calcagno consistieron en la colocación de perfiles en U de cemento prefabricados, que se ubican a 1 m de profundidad en las canaletas existentes y se extienden hasta la rambla, comunicándose por alcantarillas a la costa. Los perfiles están perforados con el objetivo de drenar el agua de la napa superior. Durante el desarrollo de este trabajo (primer semestre de 2005), estas obras no habían recibido suficiente

mantenimiento y aparecían cubiertas de vegetación, rellenas de arena, gravas y residuos, que las colmataban. En el resto de las calles y avenidas, las cunetas prácticamente no existían o funcionaban como tales, por causa de un nulo mantenimiento municipal. Todo esto provocaba que el agua no circulara correctamente por ellas y por lo tanto, se estancara, no cumpliendo adecuadamente su función. Cabe consignar que en la actualidad, como fruto de trabajos desarrollados por el Municipio -desde el último trimestre de 2005 a 2006 - esta situación ha cambiado notoriamente, al menos en varias avenidas y calles de la Ciudad de la Costa.

Para alcanzar los objetivos planteados fueron realizados trabajos geológicos -de superficie y subsuelo- y geomorfológicos. Asimismo, se colectaron datos pluviométricos de los últimos años de la Estación N° 86580, ubicada en el Aeropuerto de Carrasco (Dirección Nacional Meteorología,) y muestreos de aguas subterráneas (acuífero libre) y superficiales (arroyos, cañadas y playas).

TRABAJOS EFECTUADOS

Estudio geológico y geomorfológico

Para desarrollar los estudios geológicos de superficie y subsuelo, como así también el geomorfológico se realizó una investigación de los datos cartográficos regionales y locales disponibles, y la fotointerpretación de fotos aéreas a escala 1:20.000. Esta investigación llevó a la recopilación de datos de perforaciones de Dirección Nacional de Minería y Geología (DI.NA.MI.GE.), la O.S.E. (Obras Sanitarias del Estado) y de la empresa de perforaciones Tecnoagua. A su vez, se recurrió a mapas geológicos a diversas escalas y a perfiles estratigráficos existentes (Pereira, 2002). Con los datos obtenidos y los relevados en el campo, se confeccionaron nuevos perfiles estratigráficos, un mapa geológico local de detalle, dos cortes geológicos y un mapa geomorfológico del área.

Estudio piezométrico

Para realizar el estudio piezométrico del acuífero libre, se midieron los niveles freáticos en más de 60 puntos, en tres oportunidades diferentes (febrero, abril y julio de 2005), para confeccionar mapas con las superficies piezométricas y visualizar las líneas de flujo hidráulico del acuífero estudiado.

El valor de la profundidad del nivel freático se refirió a la cota altimétrica de las calles (las mismas están referidas al nivel del mar). Para ello, se utilizó un relevamiento altimétrico realizado por la Intendencia Municipal y se cotejaron los datos con las cotas de la carta topográfica. De esta forma, se calculó el nivel estático, que es equivalente al nivel piezométrico por tratarse de un acuífero libre.

Estudio pluviométrico

Para llevar a cabo este estudio fue necesario recolectar los datos pluviométricos de los últimos años

depósitos del Cuaternario. Esta unidad, en el subsuelo, mostró espesores decamétricos alcanzando en el pozo A 297 (Aeropuerto) una potencia de 44 m.

En virtud de las asociaciones de facies descriptas para otras regiones, se ha interpretado que esta formación se depositó en ambientes de tipo fluvial y eólico, con la formación de paleosuelos y procesos de flujos gravitacionales (remoción en masa). Los fósiles en ella encontrados permite asignarle una edad Oligoceno superior (Ubilla, 2004).

La Formación Libertad (Goso 1965), se la encuentra en el sector Norte de la Ciudad de la Costa sobre la Ruta Interbalnearia y Ruta 101. Está integrada por sedimentos de granulometría fina: arcillas y limos, de espesor métrico. En general se presentan de forma masiva. En cuanto al color se aprecian tonalidades marrones y agrisadas. El carbonato de calcio aparece de manera frecuente y de forma concrecional o pulverulenta. Genéticamente la unidad se vincula a un ambiente de sedimentación continental, con procesos de remoción en masa, coincidente con los momentos de las glaciaciones del Cuaternario (Spoturno *et al.* 2004). Las relaciones de contacto son discordantes tanto en la base con la Formación Fray Bentos, como en el tope con depósitos del Reciente. Esta Formación presenta potencias que varían entre 6 y 10 m, aproximadamente. En base a sus relaciones estratigráficas con las otras unidades cuaternarias se le asigna una edad Pleistoceno inferior – medio (Martínez & Ubilla, 2004).

La Formación Chuy (Goso 1972), se encuentra en el subsuelo del área de estudio. Litológicamente está constituida por una amplia variedad granulométrica de sedimentos que van desde arcillas gris verdosas y gris oscuras; *wackes* con matriz limosa de color verdoso y presencia de materia orgánica e hierro; arenas finas a gruesas cuarzosas de color amarillento y fracciones gravillosas de color pardo amarillento. Genéticamente, se vincula a esta unidad con momentos interglaciares del Pleistoceno (Spoturno *et al.* 2004). Esta relacionada a una sedimentación del tipo transicional (isla barrera – *lagoon*). Las relaciones de contacto son discordantes en la base con la Formación Fray Bentos y discordantes en el tope con las formaciones Libertad, Dolores y sedimentos del Reciente. Esta formación muestra espesores variables entre 10 y 22 m en el área. Se le asigna una edad Pleistoceno por sus relaciones estratigráficas con las demás unidades del Cuaternario (Martínez & Ubilla, 2004).

La Formación Dolores (Goso 1972) se expresa al Norte del área de estudio sobre la ruta Interbalnearia y ruta 101, ocupando la terraza alta de cursos fluviales. Asimismo, se la encuentra en el subsuelo del área de estudio. Los sedimentos que conforman a esta unidad son fangolitas con variable contenido de arena fina, gravilla y grava. El color es marrón oscuro y agrisado. Presenta concreciones de carbonato de calcio y materia orgánica. En general

presentan aspecto macizo. Genéticamente, la unidad se la relaciona a un sistema continental en semiárido de tipo estepario (Spoturno *et al.* 2004), vinculada al último episodio glacial. Las relaciones de contacto son discordantes tanto en la base con las Formaciones Chuy y Fray Bentos, como en el tope con la Formación Villa Soriano y el Reciente. Esta unidad presenta espesores de 10 a 12 m. De acuerdo al contenido fosilífero estudiado en otras zonas del Uruguay le ha sido atribuida una edad Pleistoceno superior.

La Formación Villa Soriano (Goso 1972) se encuentra ocupando las planicies bajas de los cursos fluviales, en la base de la margen derecha del Aº Pando, así como en el subsuelo del área. Litológicamente está caracterizada por una gran variedad textural: hay predominio de fracciones limo arcillosas y arenosas muy finas (*wackes*); en forma subordinada aparecen fracciones arenosas, y ocasionalmente gravillas y cantos. Las arcillas y limos presentan color negro, gris oscuro y verdoso, las fracciones arenosas son blanco - amarillentas. Una característica común a todas las litologías es la presencia de bioclastos fragmentados y enteros, de moluscos bivalvos. Genéticamente estos depósitos indicarían condiciones de sedimentación litoral, en parte en bahías restringidas, producto del ascenso del nivel del mar que se dio en un período interglaciar durante el Cuaternario tardío. Las relaciones de contacto en la base son discordantes con las Formaciones Dolores y Chuy, así como en el tope son discordantes con el Reciente y Actual. Los espesores de esta unidad oscilan entre 6 y 11 m. De acuerdo al registro fosilífero y a las dataciones existentes para esta unidad ha sido establecido que la sedimentación habría ocurrido en el Cuaternario tardío, con edades ¹⁴C que van desde *circa* 30000 – 35000 a. AP hasta *circa* 1500 a. AP, (Martínez & Ubilla, 2004).

El registro geológico culmina con un conjunto de sedimentos que son el producto de la actuación de procesos posteriores a la Formación Villa Soriano y que se los agrupa en el Reciente. Para la separación de las unidades se adopta un criterio genético. Se reconocen depósitos: de playa, eólicos (dunas), de bañados y aluviales. Los depósitos de playa ocupan la porción más distal de la faja costera, se distribuyen de forma paralela a la línea de costa y presentan una gran influencia de las olas especialmente las generadas a partir del régimen de sudestadas. Los sedimentos están compuestos por arenas finas hasta muy gruesas y gravillosas, blanco amarillentas, cuarzo feldespáticas y de selección pobre, con clastos con un grado de redondez variable desde angulosos hasta redondeados. Las acumulaciones dunares se ubican en la faja costera desde la barra de playa hacia el interior del continente. Presentan desde unos pocos cientos de metros de anchos hasta varios kilómetros de longitud. Son arenas blancas, finas a muy finas, con buena selección, cuarzosas y con clastos redondeados. Presentan estratificación plano paralela

Marmisolle, J.; Goso Aguilar, C.

Nº de Muestra	Nº de Cateo	Dirección	Coordenadas		Balneario	Prof. Nivel Freático (m)
			x	Y		
Pozo 1		Ruta Interbalnearia, Km 29	487,016	6151,915	Pinar Norte	0,57
Pozo 2		Albardón y Rambla	487,387	6146,956	Parque de Solymar	0,62
Pozo 3		Cruz del Sur y Río de Janeiro	482,547	6144,517	Shangrilá	0,40
465	P56	Pérez Fuentes y Magallanes	491,029	6149,539	El Pinar	0,60
466	P46	Naciones Unidas y Costanera	490,078	6149,499	El Pinar	0,95
467	P39	Calle Nº 3 y Rambla	488,482	6147,716	Lomas de Solymar	0,70
468	P35	del Monte y Transversal	486,944	6147,504	Lomas de Solymar	1,30
469	P26	Uruguay y Marte	485,163	6146,210	Solyimar	0,90
470	P54	Giannattasio y Roma	490,530	6150,453	El Pinar	1,38
471	P40	Florianópolis y Long Beach	488,658	6149,357	Lomas de Solymar	1,42
472	P21	Buenos Aires y Rambla Costanera	487,770	6144,450	San José de Carrasco	1,20
473	P19	Giannattasio y Río Uruguay	483,080	6145,690	San José de Carrasco	1,40
474	P11	Colombia y Bogotá	481,425	6143,490	Shangrilá	1,10
475	P4	La Paloma y Rambla Costanera	479,682	6141,626	Barra de Carrasco	1,18
476	P3	Giannattasio y La Paloma	479,257	6141,994	Barra de Carrasco	1,00
Punto a			480,484	6141,769	Parque Roosevelt	Playa
Punto b			484,962	6145,011	El Bosque	Playa
Punto c			486,041	6146,002	Solyimar	Playa
Punto d			490,893	6149,008	EL Pinar	Playa
M 1		Desembocadura de Canal Artigas	483,208	6143,948	Shangrilá	
M 2		Marques Castro y Rambla	486,241	6146,079	Solyimar	
M 3		Desembocadura de Arroyo Pando	493,211	6150,385	El Pinar	
M 4		Desembocadura de Arroyo Carrasco	479,036	6141,143	Barra de Carrasco	

TABLA Nº I. Ubicación de las muestras de aguas superficiales y subterráneas para análisis microbiológicos
TABLE I. Localization of surface and groundwater samples for bacteriologic analyses

CRONOLOGIA	UNIDAD	LITOLÓGÍAS DOMINANTES
EPOCA	FORMACIÓN	
Reciente		Arenas muy finas a muy gruesas, blancas, cuarzo-feldespáticas, redondeadas a angulosas; arcillas grises a negras, fangos, wackes con materia orgánica
Holoceno	Formación Villa Soriano	Limos arcillosos, grises a negros, arenas muy finas. Subordinadamente arenas medias a gruesas y conglomerados
Pleistoceno superior	Formación Dolores	Fangolitas y wackes marrones y agrisados
Pleistoceno	Formación Chuy	Arcillas gris-verdosas, arenas finas a gruesas y conglomerados anaranjados
Pleistoceno Inferior - Medio	Formación Libertad	Arcillas, limos y limos loésicos marrones y grises
Oligoceno Superior	Formación Fray Bentos	Limolitas, areniscas muy finas a medias y fangolitas rosadas
Paleoproterozoico	Formación Montevideo	Paraneisses y micaesquistos biotíticos

TABLA Nº II. Columna estratigráfica y principales litologías del área de estudio.
TABLE II. Stratigraphical column and main lithologies in the studied area.

y cruzada de gran porte con *ripples* en sus flancos. En la zona de El Pinar es donde muestran la mejor exposición. Por su parte, depósitos de bañados se localizan en las áreas de planicie muy bajas, donde se reconocen dos tipos. Los asociados a la faja costera, detrás de la duna frontal con una distribución homogénea, y los vinculados a las interdunas que predominan en el sector oriental del área. En general estas áreas presentan una napa freática permanente, por encima o muy próxima de la superficie. Están constituidos por arcillas, limos y niveles de turba. Los sedimentos arcillo limosos contienen arena fina a media y abundante materia orgánica (fangos). Presentan color gris oscuro y negro. La turba se encuentra por lo general encima de los horizontes arcillo limosos y se trata de un material orgánico con abundante restos de vegetales de coloración marrón oscuro. El espesor es variable, en los Bañados de Carrasco se reconocen niveles entre 0.50 y 2.8 m con buena continuidad lateral (Veloza 1975 *in* Spoturno *et al.* 2004). Cortes geológicos que muestran las relaciones estratigráficas entre las unidades se muestra en las Figuras N° 6 y 7.

El estudio geomorfológico permitió identificar distintos procesos (de acumulación y erosión) que han dado lugar a la formación de una serie de unidades geomórficas entre las que se destacan: campos de dunas, bajos con mantos de arena, bañados, bañados interdunas, duna frontal, playa y terrazas (Figura N° 8). Según la clasificación de Shepard (Shepard 1963 *in* Teixeira & Baptista 2001), la Ciudad de la Costa es una faja costera del tipo isla barrera (*barrier islands*), donde el cordón litoral está unido a la tierra firme. Cabe consignar que estas consideraciones se realizan a partir de la fotointerpretación de fotografías aéreas de 40 años. En la actualidad algunas de estas geoformas están modificadas (con diferente magnitud) por causa de la urbanización y forestación.

Entre las formas de acumulación se tienen:

- **Playa:** es la acumulación de sedimentos no consolidados, arena, grava o cantos rodados, que se distribuyen entre la línea de pleamar o máximo alcance del oleaje en tempestad y hasta donde el oleaje tiene capacidad para movilizar éstos sedimentos, bajamar. Esta unidad geomórfica se extiende ininterrumpidamente desde el A° Carrasco hasta el A° Pando, con un ancho variable de algunas decenas de metros.
- **Duna frontal:** es la primer línea de dunas o acumulación de sedimentos arenosos más cercana a la línea de costa que se desarrolla a lo largo del litoral. Se extiende en la retaguardia de playas de baja energía, son pequeñas y estables. Es la primer defensa continental contra la acción del oleaje, viento y el ingreso de agua marina al continente. La duna frontal presenta anchos variables desde la playa hacia

el continente, en las zonas más cercanas al arroyo Pando (Médanos de Solymar y El Pinar) la duna frontal alcanza su mayor potencia. Ésta ha sido fuertemente alterada de sus condiciones naturales por la presión urbanística. Presenta alturas variables de algunos pocos metros. En la zona de El Pinar y del Parque Roosevelt las dunas frontales allí existentes, muestran movilidad transgrediendo a la zona bañados y avanzando sobre las viviendas.

- **Campos de dunas:** toda la zona se ha caracterizado por la existencia de importantes campos de dunas, pero en la actualidad han quedado reducidos sólo a unas pocas áreas. Algunos de éstos se encuentran activos (El Pinar), mientras que la mayoría están estables, fijos y arrasados a causa de la vegetación y/o urbanización. Las dunas no presentan una morfología bien definida.
- **Zonas bajas y bañados:** Se desarrollan por detrás de la duna de playa ocupando muchas veces amplios espacios. Muchas de éstas zonas bajas son bañados permanentes, mientras que otras acumulan agua pluviales por períodos cortos de tiempo. En ambos casos existen drenajes superficiales o subsuperficiales hacia la zona de playa. Además de la importancia que pueden tener como ecosistemas, cumplen una función de regulación de las aguas pluviales provenientes de la zona urbana.

Del estudio pluviométrico

Los datos obtenidos de la Estación Meteorológica del Aeropuerto de Carrasco, se calculó el total de lluvias mensuales para el período 1997 a 2005, en los primeros siete meses (Tabla N° III). Asimismo, con los datos pluviométricos históricos, se calculó el valor medio para los siete primeros meses del período 1997 - 2005 y se comparó con el valor medio mensual para el período 1961 - 1990 (Tabla N° IV). Por otro lado también se comparó el valor de lluvias mensuales (Enero - Julio) para el período 1997 - 2005, con el valor medio mensual de los mismos meses para el período 1961 - 1990 (Figura N° 9).

Del estudio piezométrico

A partir de los datos de profundidad de los niveles freáticos medidos en los cateos realizados y sus cotas relativas, se efectuaron los mapas de riesgo al anegamiento para los meses de febrero, abril y julio que se ilustran en las Figuras N° 6, 7 y 8. Con las medidas del nivel piezométrico se confeccionó un mapa que muestra las superficies piezométricas y las direcciones principales de flujo para el sector Sur de la Ciudad de la Costa (Figura N° 9). Para las tres campañas de medidas se obtuvieron similares resultados, donde las aguas del freático descargan hacia el Río de la Plata y hacia el A° Carrasco y el A° Pando. Existe en una pequeña zona ubicada en

Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Total (mm)
1997	49,4	111,3	59,6	40,4	84,0	116,7	38,3	499,7
1998	113,2	34,1	142,4	128,8	64,7	33,6	92,1	608,9
1999	210,8	102,3	137,2	61,9	51,0	102,8	101,0	767,0
2000	17,4	37,5	85,7	145,5	238,1	92,4	114,8	731,4
2001	164,5	146,3	237,0	53,2	73,3	158,8	100,8	933,9
2002	82,3	56,7	444,3	89,0	142,0	17,8	71,0	903,1
2003	59,0	160,4	29,4	73,0	156,3	125,4	83,0	686,5
2004	64,6	64,8	16,0	167,5	51,0	60,8	34,6	459,3
2005	189,2	97,0	59,6	173,9	153,9	152,1	169,9	995,6

TABLA Nº III. Pluviometría de los primeros 7 meses, entre 1997 y 2005 (Bidegain, *com.pers.*)

TABLE III. Monthly rain between january and july since 1997 to 2005 (Bidegain, *com. pers.*)

	Enero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Total	
Valores medios para el 1º semestre, período 1997 - 2005 (mm)	105,6	90,0	145,6	103,7	112,7	95,6	89,5	742,7
Valores medios para el 1º semestre, período 1961 - 1990 (mm)	94,9	99,5	101,2	102,8	93,0	78,0	87,1	656,5

TABLA Nº IV. Valores medios mensuales de lluvias para los períodos 1961-1990 y 1997-2005 (Bidegain, *com.pers.*)

TABLE IV. Mean month pluviometric values between 1961 to 1990 and 1997 to 2005, Bidegain (*com.pers.*)

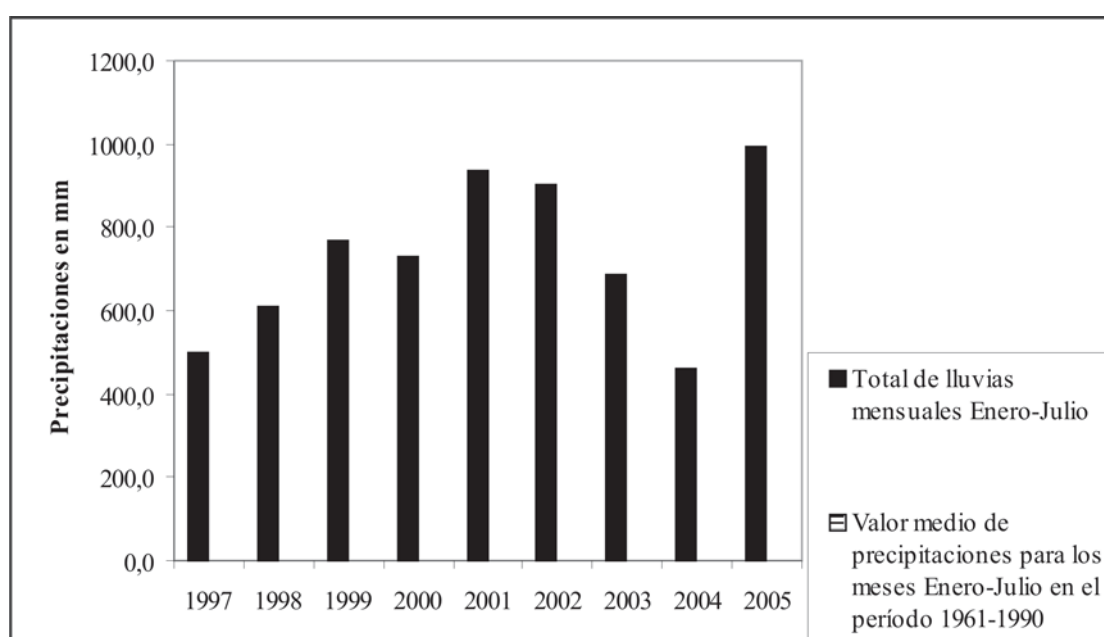


FIGURA Nº 5. Valor medio de precipitaciones para los meses Enero a Julio del período 1961 – 1990 (trazo continuo) y valores de lluvias de los mismos meses entre 1997 – 2005. Fuente: Bidegain (*com.pers.*)

FIGURE 5. Mean value (mm) of rainfalls for January - July between 1961 and 1990 (full trace) and rainfalls in same months since 1997 to 2005, Bidegain (*com.pers.*)

Anegamiento y contaminación bacteriológica de aguas superficiales y subterráneas en ...

Febrero	Abril	Julio	Prof. Nivel Freático (m)	Color Mapa	Riesgo
11 pozos (17,8%)	20 pozos (32,3%)	26 pozos (41,9%)	< 0,5	Rojo	Alto
24 pozos (38,7%)	27 pozos (43,5%)	25 pozos (40,3%)	0,5 - 1	Naranja	Moderado
17 pozos (27,4%)	9 pozos (14,5%)	6 pozos (9,7%)	1 - 1.5	Amarillo	Bajo
10 pozos (16,1%)	6 pozos (9,7%)	5 pozos (8,1%)	> 1,5	Verde	Muy Bajo

TABLA N° V. Profundidades de los niveles freáticos de los pozos y zonas de riesgo
TABLE V. Phreatic depths in the studied wells and risk categories

Parque de Solymar (Figura N° 5) una convergencia de las líneas de flujo.

Con los datos de los niveles freáticos medidos se calcularon los porcentajes de cateos para las diferentes clases de riesgo establecidas. En la Tabla N° V, se muestra la variación del nivel en las tres mediciones efectuadas.

De los análisis bacteriológicos

Los resultados de los análisis microbiológicos en ocho muestras de aguas superficiales (4 de playas y 4 de cursos fluviales) realizadas por el Laboratorio de Higiene Ambiental de la IMM, indican que todas excepto una (M4), presentan valores aceptables para el uso recreativo. El análisis efectuado a la muestra M4 (desembocadura del A° Carrasco) excede en 88 veces el valor máximo admisible para Coliformes fecales (C. Termotolerantes). Las demás muestras presentan valores por debajo del valor máximo admisible según el Código de Aguas.

Los resultados de los análisis microbiológicos en 14 muestras de aguas del freático, realizadas en la IMM (2 muestras) y por el Laboratorio de Contralor Sanitario de la IMC (12 muestras) indican que no son aceptables desde el punto de vista de su potabilidad.

DISCUSIÓN

En este *item* se analizan, integralmente, los resultados obtenidos en los estudios realizados (geológicos, geomorfológico, piezométricos, pluviométrico y microbiológicos).

Los perfiles y cortes geológicos muestran la presencia casi constante de las limolitas oligocénicas correspondientes a la Formación Fray Bentos, como substrato de la sedimentación cuaternaria del área. Únicamente en las proximidades al A° Pando no se la ha encontrado en las perforaciones. Allí, el substrato está constituido por rocas correspondientes al basamento cristalino, indicando la existencia de un control estructural en esa zona para la sedimentación cuaternaria.

En relación a las características geológicas del subsuelo de la zona Este (El Pinar, Médanos y Lomas de Solymar) es distinta a la del resto del área. En el sector oriental se encuentran sedimentos correspondientes a las Formación Libertad o Dolores, por debajo de los depósitos de dunas y playas del Reciente y Actual. Estos sedimentos finos, limos

arcillosos, amarronados y con variables cantidades de arenas, gravilla y grava, pueden comportarse como acuitardo en esas zonas.

Hacia el sector centro y Oeste del área, los sedimentos del Reciente y Actual -en los cuales está contenido el acuífero estudiado- se apoyan en las Formaciones Villa Soriano y/o Chuy, las que también presentan secciones con sedimentos arcillosos gris verdosos, con variable contenido de arenas (*wackes*, fangos) que limitan a los acuíferos presentes. La estructura geológica se ilustra en las Figuras N° 10 y 11.

A partir de los datos geológicos y geotécnicos existentes, es posible interpretar que el agua que se infiltra en el terreno, a través de los sedimentos arenosos de espesor métrico, muy permeables (2.0×10^{-2} cm/s *in* Pereira 2002) del Reciente y Actual, llegan al tope de los depósitos más o menos arcillosos que constituyen a las formaciones infrayacentes de Villa Soriano y Chuy (sector Oeste y centro), y Libertad o Dolores (en el Este), saturándolo. Estas unidades pueden comportarse como barreras de baja permeabilidad que limitan las diferentes unidades acuíferas porosas en esa zona (libres, semiconfinados y confinados). Así, el acuífero libre superior, estaría limitado en su base por esas unidades, con paquetes de relativamente baja permeabilidad. Más adelante se discutirán la fuentes de agua que entran al sistema y en parte, al terreno (precipitaciones, agua potable y aguas negras).

Los elementos geomorfológicos del área de estudio, han sido modificados por la creciente urbanización. En especial, los campos de médanos han sido explotados como fuente de áridos y de cuarzo, para la industria de la construcción y del vidrio, respectivamente. Asimismo, este elemento geomórfico ha sido arrasado para el nivelado de los terrenos, a efectos de construir viviendas y la infraestructura vial. En la Ciudad de la Costa se han impermeabilizado grandes superficies del terreno por la construcción de unas 25.500 viviendas (datos censales, INE), unos 600 km de calles y avenidas de balasto, perdiendo así el suelo arenoso la capacidad natural de infiltración. Pereira (2002), estimó una reducción del área de infiltración del orden del 25 %. En algunas ocasiones debido al anegamiento de los terrenos -producto de intensas lluvias- se canalizan las pluviales, tanto en lugares donde naturalmente existen, como a través de cortes en la duna frontal.

De esta forma, se generan zonas con erosión en las playas por escorrentía.

Como era de esperar, el mapa de superficies piezométricas y de direcciones de flujo indica que la descarga del agua se realiza predominantemente hacia el Río de la Plata, al A° Carrasco y al A° Pando. También se observó una situación de convergencia de las líneas de flujo en Médanos de Solymar. Este comportamiento se observó en las tres oportunidades en que se realizaron las medidas y fue mencionado en el trabajo de Pereira (2002). Esto podría estar señalando que en ese punto existe una depresión topográfica del terreno no documentada, o que también, exista allí una extracción de aguas subterráneas superior a la de otras zonas. Tampoco se descarta que exista algún problema puntual con la cota altimétrica utilizada.

Con respecto a las mediciones de los niveles del freático en el sector Sur de la Ciudad de la Costa se tiene que ocurren oscilaciones importantes para cada mes. Los resultados obtenidos para Febrero, Abril y Julio se representaron en mapas de riesgo al anegamiento según la profundidad a la que se encontraba el agua con respecto a la superficie del terreno (Figuras N° 6, 7 y 8).

Del análisis realizado a los mapas de riesgo al anegamiento se tiene que para el mes de Febrero los terrenos con susceptibilidad alta de riesgo al anegamiento se extienden desde Médanos de Solymar hacia El Pinar. A partir del balneario Lagomar y hacia Médanos se encuentran los terrenos con moderado riesgo al anegamiento para este período del año, mientras que los terrenos con bajo riesgo se distribuyen entre Barra de Carrasco y San José de Carrasco. Los terrenos con riesgo muy bajo al anegamiento son puntales y se localizan en El Pinar, San José de Carrasco y Barra de Carrasco (Figura N° 6).

Las mediciones y mapa del mes de Abril muestran cambios en los niveles del freático. La superficie con terrenos con alto riesgo al anegamiento aumenta, extendiéndose desde Lomas de Solymar hacia El Pinar y, además, se concentran en algunos puntos específicos de los balnearios El Bosque y Solymar. Los terrenos de riesgo moderado al anegamiento son aquellos que se extienden desde Barra de Carrasco hasta Lomas de Solymar. Los terrenos con riesgo bajo y muy bajo al anegamiento se concentran en algunas zonas puntuales (Figura N° 7).

Por su parte, en el mes de Julio, la superficie con terrenos con alto riesgo al anegamiento ocupa gran parte del área de estudio. En su mayoría se extienden desde el Bosque hacia El Pinar, pero casi todos los balnearios presentan terrenos con estas características. Los terrenos con moderado riesgo de anegamiento solo se encuentran entre Barra de Carrasco hasta Parque de Solymar y los terrenos con riesgo bajo y muy bajo, son muy escasos y localizados (Figura N° 8).

A medida que transcurren los meses y se entra en la estación invernal, al menos hasta Julio, desde

el verano hasta ese mes se tiene que las zonas con el nivel de freático a más de 1 m de profundidad disminuyen. Dicho de otra forma, el nivel de freático se eleva progresivamente desde el Este al Oeste. Esto en parte podría explicarse por las condiciones altimétricas y la pendiente (declividad) de los terrenos, que muestran las zonas más bajas y declividades menores hacia el Oeste.

Por lo tanto, en presente monitoreo, se pudo verificar un aumento progresivo del riesgo al anegamiento de los terrenos de Oeste a Este y desde el verano al invierno. Así se tiene, que la zona con freático a menos de 1 m en Febrero era el 56,6%, en Abril el 75,8% y en Julio el 82,2 % de la zona de estudio.

De los datos de antiguas perforaciones y sondeos, se conoce que el nivel freático se encontraba, entre 3 y 5 m de la superficie. En el primer semestre de 2005, el mismo se encontraba a menos de 1 m en la mayor parte del área.

El anegamiento de los terrenos afecta la calidad de vida de los habitantes de la Ciudad de la Costa. Este fenómeno provoca el constante deterioro de las calles que prácticamente en su totalidad son de balasto. El agua de lluvia circula (cuando puede) por cunetas y también por las calles, aumentando las perspectivas de bacheo. Esto a su vez, trae como consecuencia la retracción de los servicios públicos de transporte, recolección de residuos, retrasos para ingresar con vehículos de emergencia, etc. Se han observado luego de lluvias intensas, viviendas sumergidas en varios centímetros de agua, así como casas con desniveles interiores que se inundan. También es frecuente observar fachadas de muchas viviendas con evidencias del ascenso capilar de la humedad en sus paredes.

Si se comparan los resultados de este trabajo con el de Pereira (2002), se constata el aumento del área con el nivel freático a menos de 1 m de la superficie. En el 2002, era el 70% del área la que presentaba el freático en esa circunstancia. En 2005, ese porcentaje se incrementó al 80%. Por su parte, si se comparan los porcentajes con freático a menos de 0.5 m, también se constata un pequeño aumento del área. Los valores pasaron de 37 % a 42 % de 2002 a 2005, respectivamente.

Cabe consignar, que en el momento de efectuar los 12 muestreos de aguas subterráneas (Diciembre de 2005), el nivel freático en todos los casos había descendido entre 20 y 90 cm, aproximadamente. Esto puede ser atribuido a una mayor evapotranspiración y a lo excepcionalmente seco que fue el segundo semestre de ese año (Figura N° 5). Otro elemento que se debe considerar en el análisis es la disminución del uso del agua subterránea del acuífero, debido a la llegada de las líneas de agua potable por OSE. Un número importante de viviendas se abastecían de agua de pozos, que la tomaban del acuífero estudiado. Esta disminución en el uso de ese acuífero puede también haber influido en la saturación del mismo.

Uruguay se ubica en la zona climática sub húmeda – húmeda, con precipitaciones en el rango de 750 a 1.000 mm anuales. Para efectuar el análisis pluviométrico se requiere una gran cantidad de datos para establecer tendencias. Del análisis de los datos recabados para este trabajo, se puede concluir que el total de lluvias anuales para 2002 y 2005 ha variado poco. En el año 2002, se registraron en total 127,3 mm más que en el 2005. Lo mismo se puede observar con respecto al 2003, en el que se registraron precipitaciones similares a los años mencionados, pero no ocurre lo mismo en 2004, donde el registro pluviométrico es sensiblemente menor. Mientras que en 2002, 2003 y 2005 el total de precipitaciones anuales superó los 1.200 mm, en el año 2004 llovieron 817,3 mm.

En el período Enero–Julio del 2005 se registró el 79.3% de las precipitaciones ocurridas en el año. Excepto el mes de Marzo, en el resto del período Enero – Julio llovieron de 100 a 190 mm/mes, aproximadamente. Cabe destacar, que este régimen es variable, ya que en 2002 en Marzo se registró el máximo valor de precipitaciones (444,3 mm), mientras que 2003 y 2004, Marzo fue el mes con menos precipitaciones. Por otro lado, se tiene que los meses de Febrero y Marzo de 2005 fueron los menos lluviosos del semestre considerado (97 mm en Febrero y 59,6 mm en Marzo), mientras que en los meses de Abril y Julio se registraron precipitaciones de 173,9 mm y 169,9 mm, respectivamente.

Si se analizan los registros de lluvias del período Enero-Julio desde 1997 a 2005, se observa un aumento en las precipitaciones, aunque el mismo no ha sido regular. A su vez, si comparamos este mismo período con el valor medio (de esos siete meses) para el período 1961 – 1990, se observa que en los últimos ocho años ha habido un leve incremento de las precipitaciones (Figura N° 5).

Cabe consignar, que no se considera apropiado realizar un estudio tendiente a conocer el balance hídrico de la zona de estudio por varias circunstancias. En primer lugar, se trata de una zona urbanizada y son notorias las dificultades consignadas en la bibliografía específica de realizarlo debido a la necesidad de contar con un cúmulo importante de datos (escurrimiento, evapotranspiración) y con una distribución apropiada, cosa que no se dispone en esta localidad, además de las condiciones particulares al no tratarse de terrenos naturales. También al ser una zona costera del Río de la Plata, la dinámica fluvial (escurrimiento superficial) de los arroyos Carrasco y Pando está controlada parcialmente por las corrientes provocadas por las sudestadas -que son bastante frecuentes- ocasionando flujo y reflujos de sus aguas. Asimismo, debería tenerse en cuenta en el estudio hidrológico el probable efecto “cuña salina” que supone la proximidad del Río de la Plata, que no fue objeto de un análisis particular en este trabajo.

Para la interpretación de los resultados de análisis de aguas se debe considerar que según el Código

de Aguas de la República Oriental del Uruguay (Aprobado por Decreto-Ley N° 14.859, 1978), existen cuatro clases de aguas según sus usos preponderantes actuales o potenciales (Decreto 253/979, Artículo 3°). Según esta clasificación las muestras de aguas superficiales analizadas en este trabajo se corresponden a la Clase 2B: aguas destinadas a recreación de contacto directo con el cuerpo humano. Por otro lado, se tiene que las muestras de aguas subterráneas se ajustan a la Clase 4: aguas correspondientes a los cursos o tramos que atraviesan zonas urbanas o suburbanas que deban mantener una armonía con el medio, o también aguas destinadas al riego de cultivos cuyos productos no son destinados al consumo humano en ninguna forma.

Las muestras de agua de freático merecen un análisis más detallado. Según el Código de Aguas si no sobrepasan el límite establecido para el parámetro Coliformes fecales, por lo que no serían objeto de contaminación ambiental. Sin embargo, el Código de Aguas no menciona otros parámetros que son importantes a la hora de evaluar la calidad del agua para que no sea un riesgo para la salud, como por ejemplo la presencia de bacterias heterotróficas, *Pseudomonas Aeruginosa*, etc. Si se tiene en cuenta la Norma UNIT 833-90 ninguna de las muestras realizadas son aceptables para estar en contacto con seres humanos y no considerarlo como un riesgo para la salud. La totalidad de las muestras presentan valores altos de Coliformes totales, presentan Coliformes fecales y todas las muestras a excepción de dos, presentan cepas de *Pseudomonas Aeruginosa*. Desde otro punto de vista, se tiene que todas las muestras de aguas del acuífero libre superior presentan indicadores de contaminación, por lo que la totalidad de las muestras estuvieron expuestas y son susceptibles a la proliferación de especies patógenas.

El Código de Aguas y OSE, establecen que las aguas Clase 2B no deben exceder el límite de 1000 Coliformes fecales/100 ml, para prevenir la contaminación ambiental; mientras que para aguas Clase 4 se establece que no deben superar el límite de 5000 Coliformes fecales/100 ml para tales fines.

Por otro lado, se tiene que la Norma para agua potable, UNIT 833-90 establece los parámetros indicadores de calidad. La misma establece los valores máximos admisibles (concentración o cantidad) que garantizan que el agua será agradable a los sentidos y no causará un riesgo para la salud. Según esta norma, para los parámetros Coliformes totales y Coliformes fecales el valor máximo admisible debe ser 0/100 ml para el método de membrana filtrante y <2/100 ml por el método NMP. Para el parámetro bacterias heterotróficas el valor máximo admisible es de 1000 u.f.c./ml. Los valores mencionados son los mismos tanto para el caso de aguas no tratadas (agua bruta), como para aguas tratadas (por ejemplo: aguas sometidas a tratamientos como la desinfección).

Estos valores anómalos en la concentración de bacterias, se explica por la conectividad que tienen los terrenos con los “pozos negros” de las viviendas de aquella ciudad y la falta de infraestructura básica de saneamiento. Es conocido el empleo del sistema del “robador” (sifón) en las fosas, que origina la contaminación referenciada. Cabe comentar, que las empresas de desagote de fosas (barométricas) extraen diariamente del orden de 1 millón de litros de toda la Ciudad de la Costa, que se disponen en las piletas de oxidación de El Pinar norte (Zielenieck, *com. pers.*). Este valor se incrementa en un 50% en la época de verano. Según algunas estimaciones, considerando la población existente y el número de viviendas, ese volumen representa del orden del 10% de lo que OSE factura por consumo.

Una fuente de ingreso de agua al sistema es el abastecimiento de agua potable que OSE realiza desde fines de la década del noventa. El transporte de agua potable que abastecía a la ciudad de Montevideo, así como las principales ciudades y localidades del departamento de Canelones (incluida la Ciudad de la Costa hasta Salinas) se realizaba a través de la 4ª línea de bombeo. A partir de 1998, se aprobó la ampliación de obras del Proyecto 5ª Línea de Bombeo y en 1999 se colocaron 13 km de tuberías en el denominado Troncal Giannattasio, con 100 km de red de distribución, aumentando así la cobertura del servicio de agua potable en la Ciudad de la Costa. Un volumen estimado de ingreso de agua a Ciudad de la Costa se ubica en los 325 millones de litros mensuales. Considerando unas 25000 conexiones a un promedio de 13 m³/mes, resultan unos 325 millones de litros de agua por mes que ingresa al sistema. Si se resta lo que se extrae por las barométricas (unos 30 millones/mes), es fácilmente explicable la creciente saturación del acuífero y su grado de contaminación bacteriológica.

CONCLUSIONES

A manera de resumen de las conclusiones de este trabajo, se puede señalar:

- Se vuelve a constatar el fenómeno de anegamiento en la Ciudad de la Costa, particularmente durante los meses más lluviosos. Los niveles freáticos (techo del acuífero libre superior), sometidos a los procesos naturales del ciclo hidrológico, oscilan estacionalmente elevándose en los períodos más lluviosos y en invierno. Esa elevación se produce progresivamente de Este a Oeste. Son múltiples las causas de esta elevación. Se considera como las más relevantes: a) pendiente general del terreno hacia el Oeste; b) incremento de las precipitaciones; c) la falta de saneamiento y la conectividad de las fosas (pozos negros) al terreno; d) la disminución de la superficie por la urbanización con pérdida en la capacidad de infiltración; e) la llegada de agua potable suministrada por OSE; f) la deforestación; g) el ineficiente drenaje de pluviales;

h) riego de parques y jardines en verano con agua de acuíferos inferiores.

- Se constata el nivel de contaminación bacteriológica del agua correspondiente al acuífero libre. A través de los distintos análisis bacteriológicos de las aguas subterráneas se pudo conocer que existe un riesgo sanitario grave, ya que los indicadores de contaminación son importantes y sin duda alguna tiene un origen antrópico.

- De las aguas superficiales, la única que presenta problemas de contaminación bacteriológica son las del Aº Carrasco. Las correspondientes a playas y demás cursos fluviales no mostraron problemas en este sentido.

Finalmente, la zona de estudio ha experimentado una gran transformación del medio físico debido a la explosión demográfica sufrida en las últimas décadas. Los cambios geomorfológicos, incremento en el régimen de lluvias, llegada del agua potable, ha provocado el aumento del nivel de la napa freática. Éste en particular, constituye un riesgo geológico que trae como consecuencia daños materiales y peligro sanitario. La contaminación del acuífero libre merece atención, no solo porque el agua se dirige hacia los cursos superficiales sino porque, en épocas de lluvias ésta se encuentra muy próxima a la superficie de los terrenos constituyendo un riesgo para la salud.

Agradecimientos

A la Comisión de Fomento Solymar-Centro por solventar parte de los análisis de aguas, y en particular a los Sres. O. Silvera, G. Ribero y J. Soriano, por la colaboración en el muestreo de aguas. A la IMC e IMM, que realizaron los análisis bacteriológicos. A los técnicos de la Dirección Contralor General (IMC): A. Zielenieck, G. Daleiro, N. Fraquío y C. Torres. Al Lic. E. Goso y al Departamento de Geotecnia (Fac. de Ingeniería) por el suministro de las herramientas de campo. A la Cátedra de Microbiología de la Facultad de Química por la colaboración en la interpretación de los análisis microbiológicos. A E. Aranda, a la Ing. I. Penadés y al Lic. A. Pérez de OSE por los datos del suministro de agua potable y perforaciones. Al Prof. M. Bidegain por el suministro de los datos pluviométricos. A R. Royol (Tecnoagua) por datos de perforaciones. A F. González, B. Conti, A. Manganeli y M. Cáceres por la colaboración en las tareas de campo, y a E. Morales por el apoyo en el manejo de software de diseño gráfico. Al Ing. M. Roure (CSI) por los datos para el Proyecto de Saneamiento en Ciudad de la Costa.

A los Dres. Omar Yazbek y Leonardo Almagro por las oportunas sugerencias en el manuscrito final.

Aneamiento y contaminación bacteriológica de aguas superficiales y subterráneas en ...

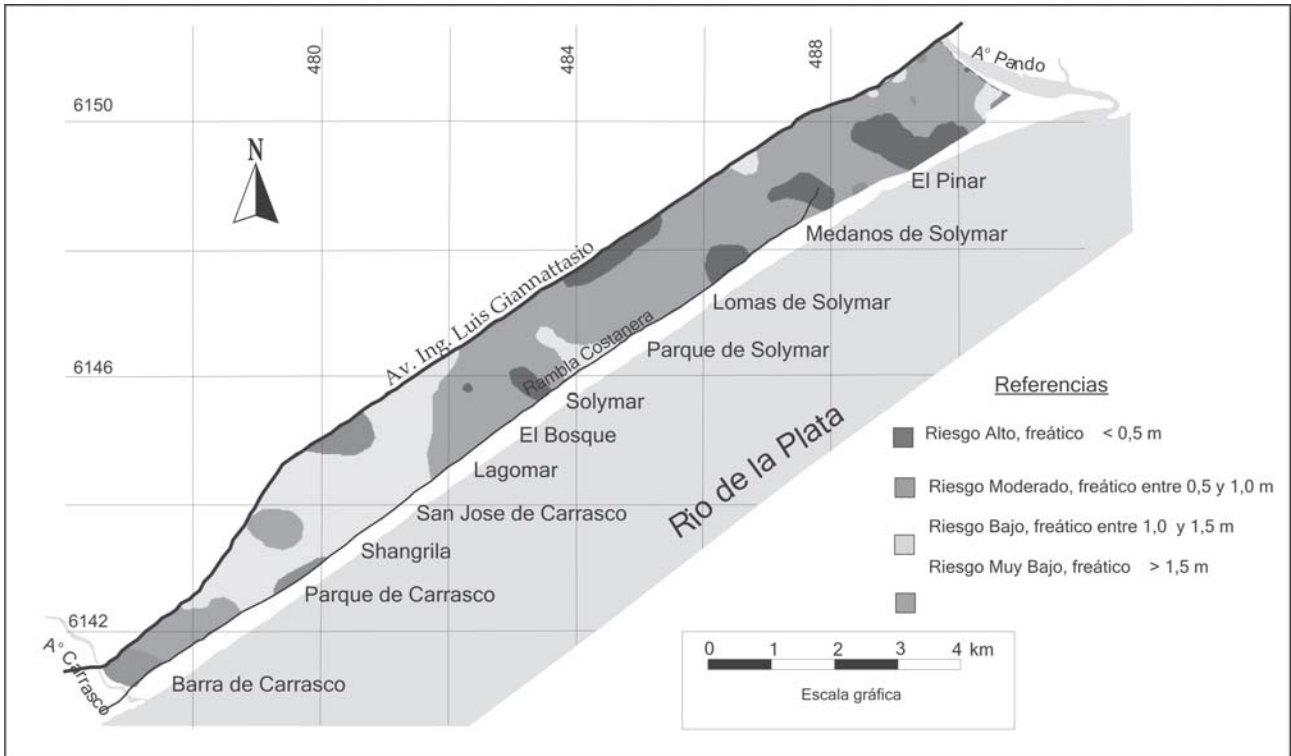


Figura Nº 6. Mapa de riesgo al anegamiento (Febrero de 2005)
Figure 6. Overflow risk map. February, 2005.

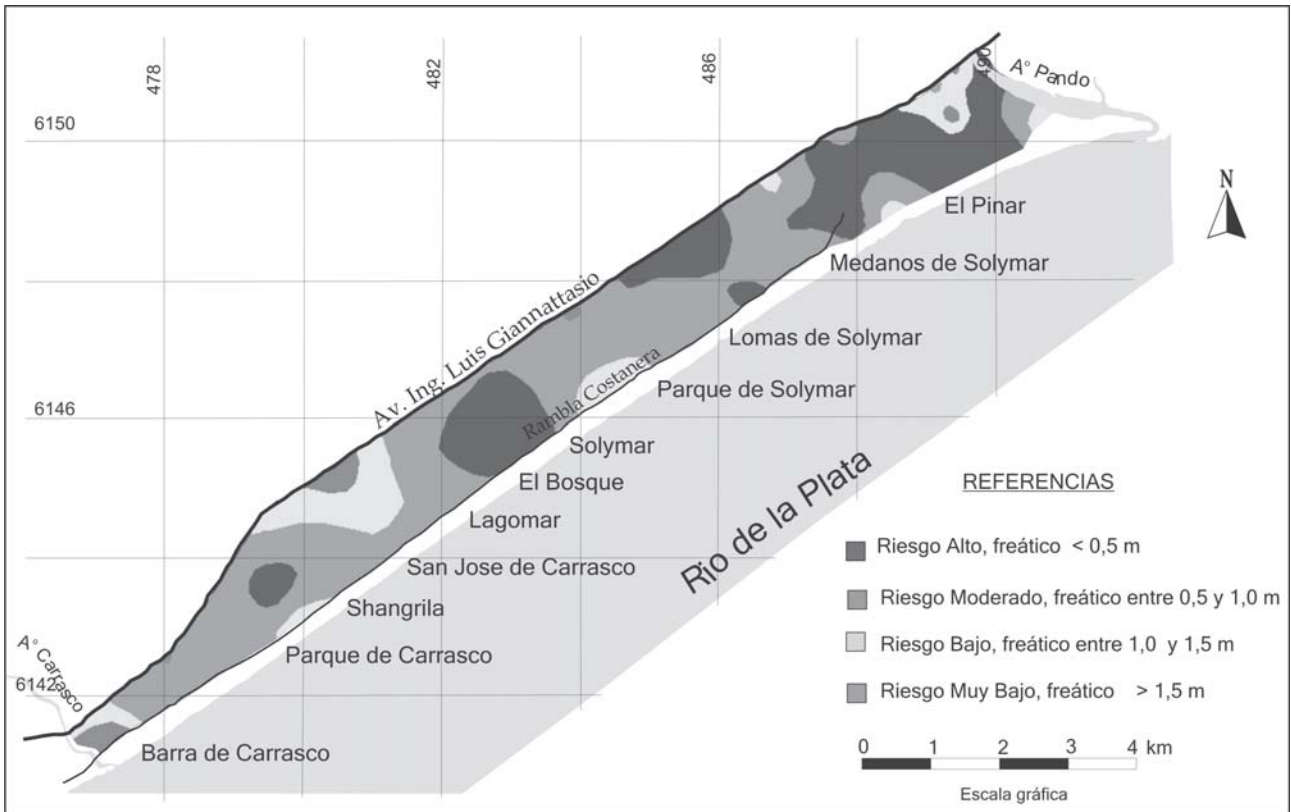


Figura Nº 7. Mapa de riesgo al anegamiento (Abril de 2005)
Figure 7. Overflow risk map. April, 2005.

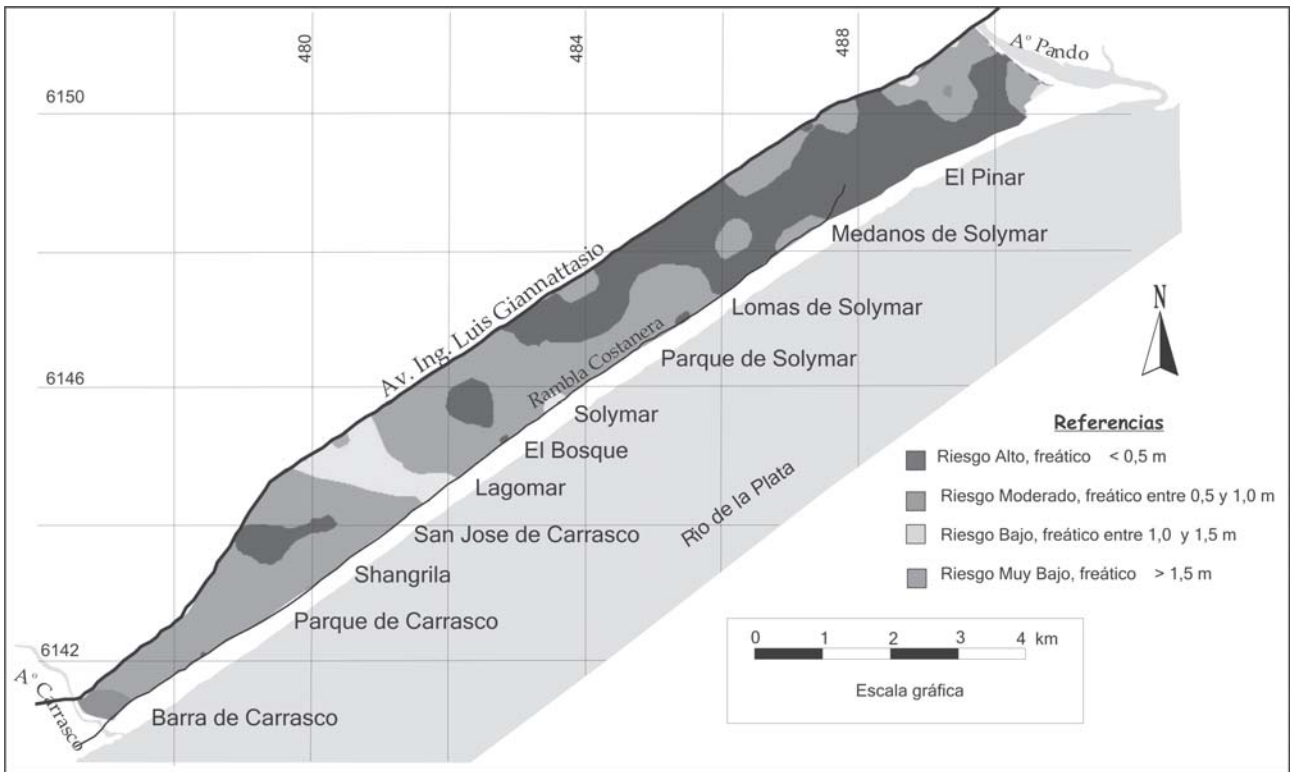


Figura N° 8. Mapa de riesgo al anegamiento (Julio de 2005)
 Figure 8. Overflow risk map. July, 2005.

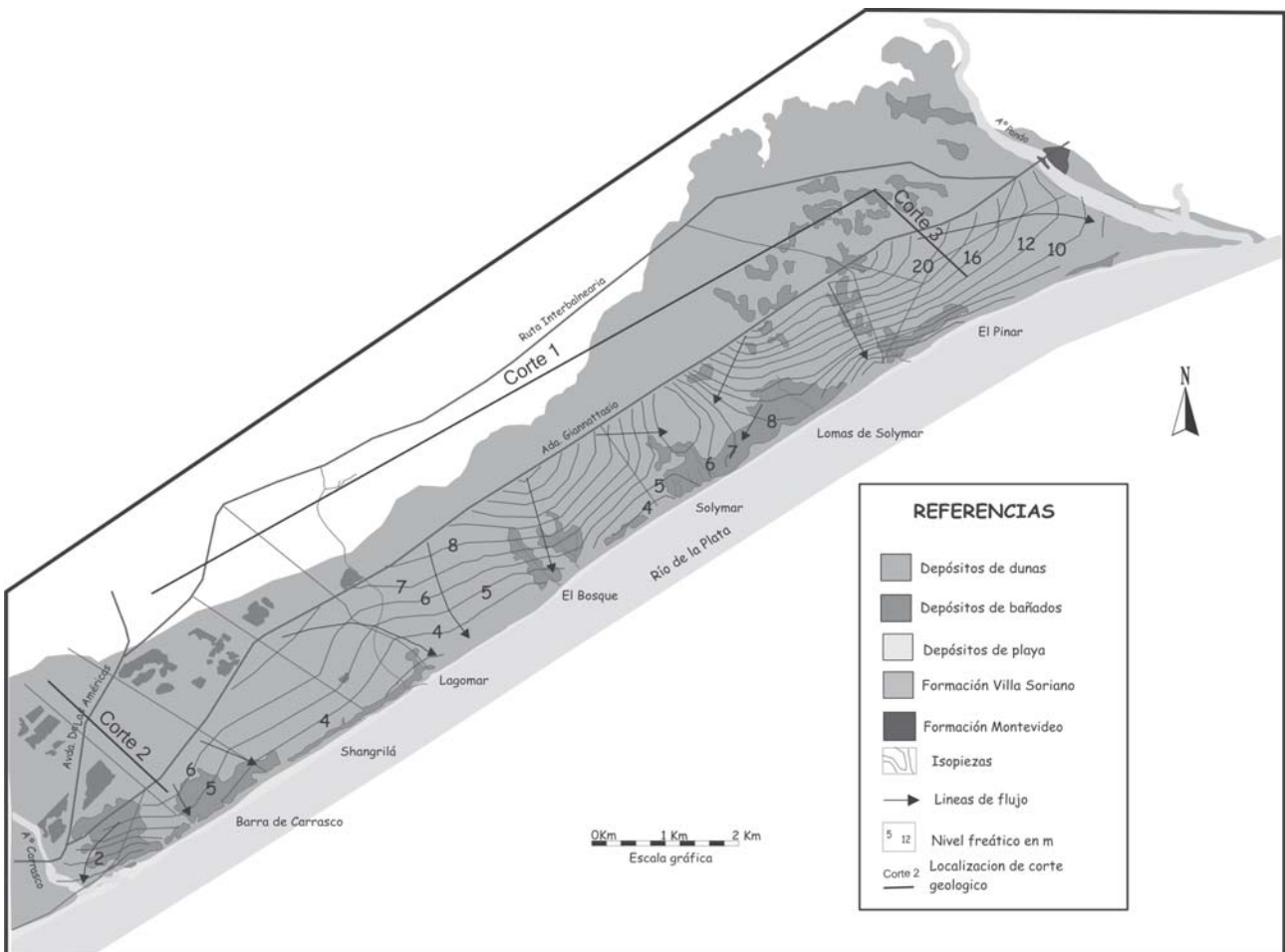


Figura N° 9. Mapa piezometrico y geologico del area de estudio. Ver localización de cortes geológicos.
 Figure 9. Piezometric and geological map of the studied area. See geological sections localization.

BIBLIOGRAFÍA

- GOSO, H. 1965. *El Cenozoico en el Uruguay*. Instituto Geológico de Uruguay, Ed. Mimeogr., 36 pp.
- GOSO, H. 1972. *El Cuaternario uruguayo*. Proyecto Estudio Levantamiento de Suelos. Ed. Mimeogr., 12 pp.
- GOSO, H. 1997. *Estudio geotécnico – Centro Comercial Géant*, inédito. Montevideo.
- GUIDO, E.; SESMA, P.; PUCHULU, M. Carta de riesgo de anegamiento de una región del noroeste argentino. San Miguel de Tucumán. In: Actas del XI CONGRESO LATINOAMERICANO DE GEOLOGÍA – III CONGRESO URUGUAYO DE GEOLOGÍA, 2001.
- HERNÁNDEZ, S. 1999. La migración hacia la Ciudad de la Costa entre 1963 y 1996. *Revista Uruguaya de Geografía “Geo Uruguay”*. Vol. Nº 3, 7-30. Montevideo, Uruguay.
- INE. 2005. Instituto Nacional de Estadísticas. Resultados del Censo Fase I. Canelones. http://www.ine.gub.uy/faseInew/Canelones/divulgacion_Canelones.asp
- MARTINEZ, S. & UBILLA, M. El Cuaternario de Uruguay. In: VEROSLAVSKY, G., UBILLA, M. & MARTÍNEZ, S. (Eds.) *Cuencas Sedimentarias del Uruguay – Geología, paleontología y recursos naturales – Cenozoico*. Montevideo : DI.R.A.C.- Fac. de Ciencias, 2004. 195 – 227 p.
- PEREIRA, A. Estudio de una situación de riesgo geológico: Anegamiento en Ciudad de la Costa. Dpto. de Canelones. 2002. *Trabajo final de Licenciatura*. INGEPA, Facultad de Ciencias, Universidad de la República. Montevideo, Uruguay. 68 p.
- PEREIRA, A. & GOSO, C. 2003. *Estudio de una situación de riesgo geológico: anegamiento en Ciudad de la Costa (Canelones, Uruguay)*. Revista de la Sociedad Uruguaya de Geología, 3ª Época (10): 29-37.
- SPOTURNO, J.; OYHANTÇABAL, P.; GOSO, C.; AUBET, N.; CASAUX, S. 2004. *Mapa Geológico y de Recursos Minerales del departamento de Canelones a escala 1:100.000*. Versión 1. Fac. Ciencias – CD DINAMIGE. Montevideo, Uruguay.
- TEIXEIRA, A & BAPTISTA, S. *Geomorfología, uma atualização de bases e conceitos*. 4 ed. Brasil: Bertrand, 2001. 472 p.
- UBILLA, M. La Formación Fray Bentos (Oligoceno tardío) y los mamíferos más antiguos del Uruguay. In: VEROSLAVSKY, G., UBILLA, M. & MARTÍNEZ, S. (Eds.) *Cuencas Sedimentarias del Uruguay – Geología, paleontología y recursos naturales – Cenozoico*. Montevideo: DI.R.A.C.- Fac. de Ciencias, 2004. 85 – 104.

Recibido: 11 de julio de 2006

Aceptado: 15 de diciembre de 2006