

6. MODIFICACIONES DEL CICLO HIDROLÓGICO

6.1. Variabilidad (1976-2006)

De acuerdo a lo analizado en el capítulo de Hidrometeorología las precipitaciones, como fuente de ingreso al sistema hídrico en sus términos medios se han mantenido o mostraron un escaso aumento en el periodo 1925-2008.

Se han elaborado balances hídricos diarios para el período anual previo a los relevamientos de aguas subterráneas de 1976, 1987 y 2006. Es decir que se analizaron los períodos marzo -1975 a febrero-1976, septiembre-1986 a agosto-1987 y noviembre-2005 a octubre-2006. Los resultados de los balances hídricos se sintetizan en la Tabla 6.1.

	Precipitaciones	Excesos
1976	977	409
1987	921	424
2006	906	377

Tabla 6.1. Balance hídrico

La precipitación durante el año previo a cada uno de los relevamientos se encuentra en el entorno de los valores medios (entre 906 y 977 mm). Los excesos de agua oscilan entre 377 mm en 2006 y 424 mm en 1987. De esta manera, se deduce que los relevamientos de 1976, 1987 y 2006 responden a condiciones en que los balances hídricos son representativos de las condiciones climáticas medias y los excesos no presentan diferencias significativas. A partir de ello se puede reconocer que el ingreso de agua al sistema subterráneo no muestra variaciones importantes para las situaciones representadas.

De acuerdo a las condiciones establecidas, se reconoce que en el médano se produce la infiltración de prácticamente la totalidad de los excesos, los cuales alimentarán a la capa freática. Es decir que la infiltración para los períodos anuales analizados varió entre 377 y 424 mm.

En la zona urbana, para aproximar un porcentaje estimativo de la infiltración con respecto a la precipitación, se estimó que el 85-90% de la lluvia es drenada por la

red pluvial, restando un 10-15% de agua disponible para infiltración y recarga (Vázquez Suñé y Sanchez-Vila,1997). De acuerdo a ello y a los balances hídricos, la infiltración en la zona urbanizada oscilaría entre 57 y 61mm.

En base a los mapas de flujo (Figura 5.3), a los parámetros hidráulicos del acuífero (coeficiente de permeabilidad 20 m/d y porosidad efectiva 0,10) y considerando como plano de referencia el 0 m s.n.m., se estimó el volumen de agua dulce disponible, desde dicho plano, para cada uno de los relevamientos según la distribución de las zonas de uso de suelo. (Figura 6.1). En la Zona 1 (escasa urbanización) para 1976 el agua almacenada presentaba un valor de 0,24 hm³, la Zona 2 (médano) de 0,79 hm³ y la Zona 3 (urbanizada) de 0,06 hm³, mientras que en 2006 corresponden a 0,50 hm³; 0,34 hm³ y 0,13 hm³ respectivamente.

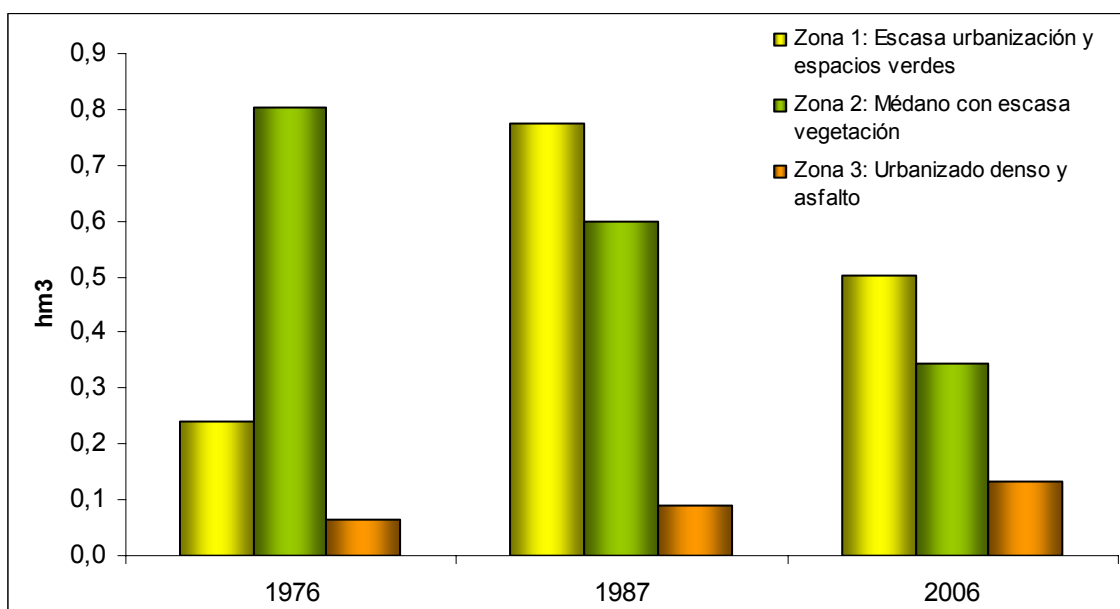


Figura 6.1. Volumen de agua subterránea por censo

A partir de los volúmenes y las áreas de cada una de las zonas fue posible estimar el agua disponible por unidad de área y así reconocer comparativamente el significado de esa agua almacenada y sus variaciones temporales.

En la Figura 6.2 se han representado dichas variaciones expresadas en mm, observándose que una menor lámina de agua caracteriza a la zona urbanizada (Zona 3) y una mayor a la zona de médanos (Zona 2). Independientemente de la evolución de las áreas de cada zona, los menores valores de lámina de agua en la Zona 3 (urbana) verifican los efectos de la disminución de la infiltración, producto de la impermeabilización del terreno y la existencia de escurrimiento superficial, cuyo

volumen se pierde a través de los desagües al mar. Comparativamente con la zona urbana, los mayores valores de la lámina de agua observados en el Zona 2 (médanos) son la respuesta de una infiltración sin impedimentos de los excesos de agua.

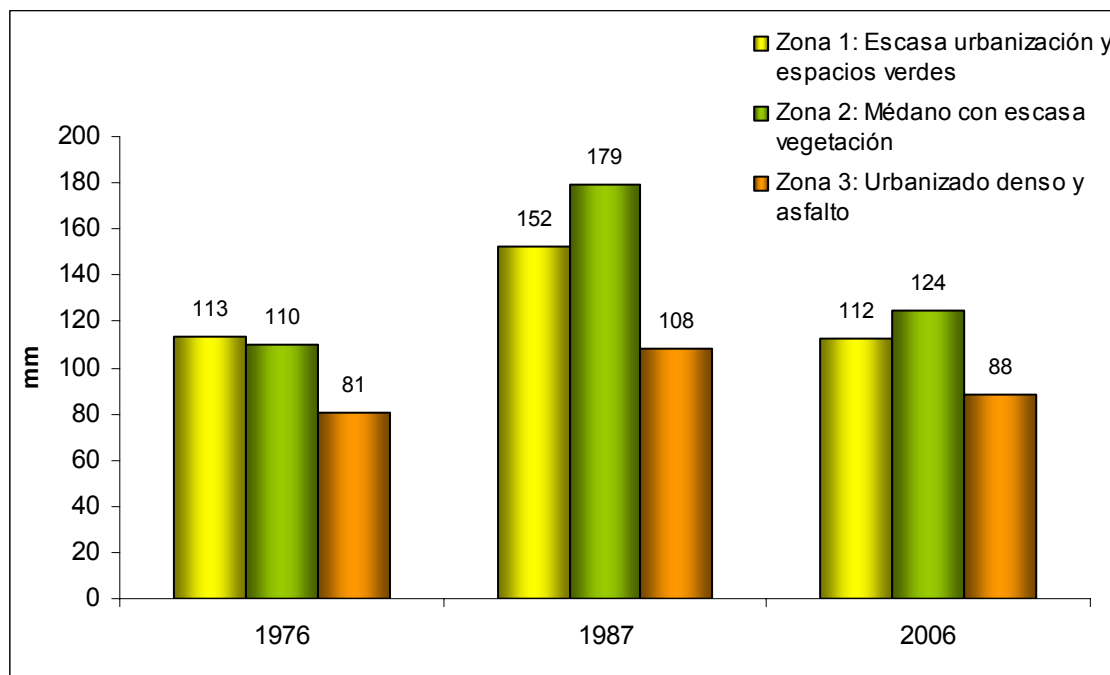


Figura 6.2. Lámina de agua calculada por zona para cada relevamiento.

A partir de los tres relevamientos analizados (1976, 1987 y 2006), se observa que las modificaciones en el uso del suelo se reflejan en el comportamiento del acuífero freático.

La lámina de agua almacenada por unidad de área en la zona de médanos es significativamente superior (entre 36 y 65%) a la correspondiente a la zona urbanizada.

Por otra parte la situación más desfavorable se verifica en el volumen relativo de agua almacenado en la zona de médano (Zona 2) que ha disminuido con el transcurrir del tiempo, para condiciones climáticas relativamente similares, como consecuencia de la reducción areal de las superficies de recarga natural del acuífero. En 1976 ese valor relativo significaba $0,79 \text{ hm}^3$ (un 72% del total en el área de análisis), mientras que en 2006 es de $0,34 \text{ hm}^3$ (35%).

6.2. Variabilidad (2006-2007)

Luego de analizar el comportamiento de la recarga a partir de censos históricos, se procedió con un tratamiento similar sobre datos de mediciones propias más recientes (octubre de 2006 y noviembre de 2007). Se realizaron balances hídricos diarios de acuerdo a los datos de precipitación para dos años hidrológicos: octubre 2005-septiembre 2006 y octubre 2006-septiembre 2007.

A partir de las zonas definidas previamente en cuanto a usos del suelo, se seleccionaron dos áreas para comparar las variaciones de los niveles freáticos. Las Zonas 1 y 3 fueron las elegidas dadas sus características contrastantes.

En la Figura 6.3 se pueden visualizar los mapas isofreáticos correspondientes a octubre de 2006 y noviembre de 2007.

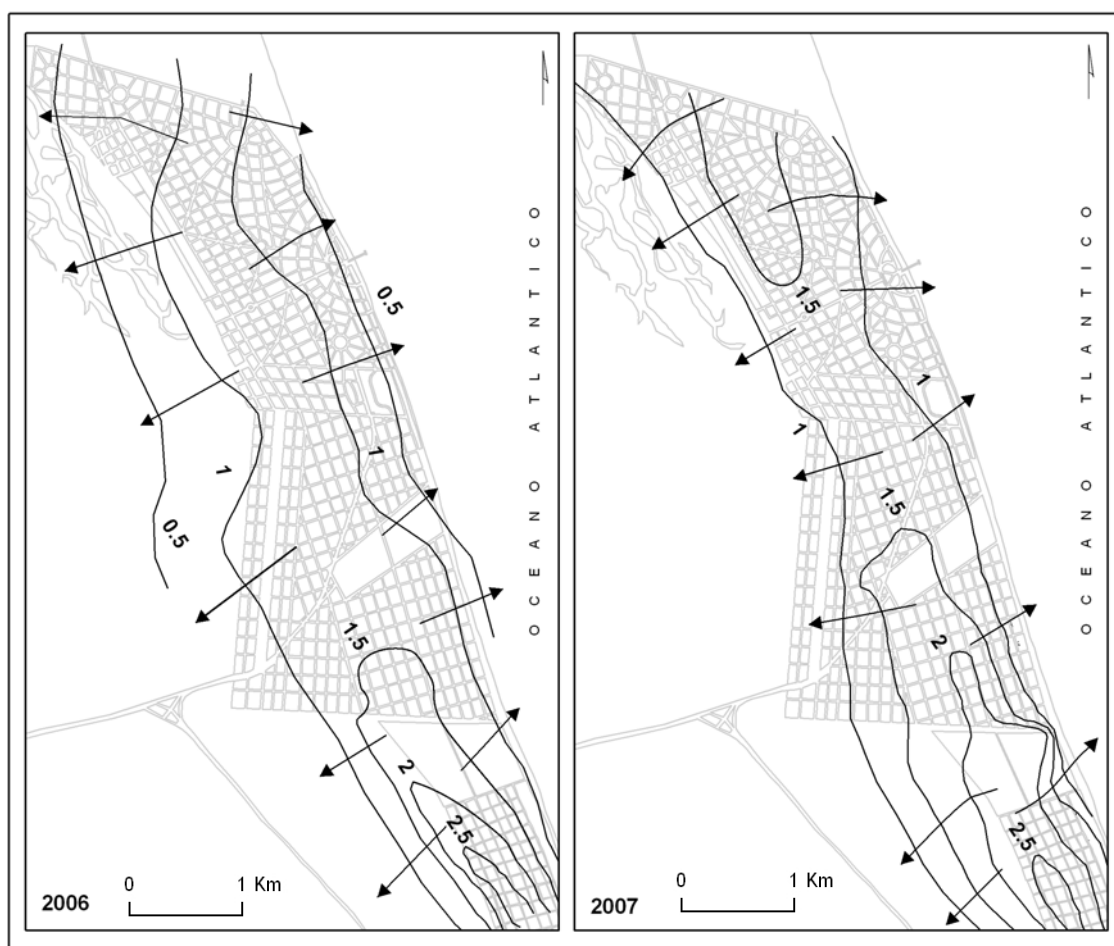


Figura 6.3. Mapas isofreáticos censo 2006 y 2007

Para octubre de 2006, en el sector sur de la localidad, se reconoce un área elevada en la morfología freática, con curvas isofreáticas que oscilan entre 1,5 y 2.5 m s.n.m. En noviembre de 2007 el sector delimitado por la curva de 1,5 m s.n.m., ha aumentado su área y se manifiesta un sector elevado (curva de 1,5 m s.n.m.) en el sector norte de la ciudad que no aparecía en 2006. Ello es consecuencia que 2007 es un año hidrológico con excesos mayores al 2006.

En la Tabla 6.2 se pueden observar los valores de gradiente máximos y mínimos calculados.

	2006	2007
i máx	0,0028	0,0032
i min	0,0008	0,0009

Tabla 6.2. Gradientes hídricos para 2006 y 2007

A partir de los mapas de flujo, se digitalizó el área entre curvas y se calculó el volumen de agua al momento del censo 2006 y 2007 a partir del 0 m s.n.m. como plano de referencia. Se presentan los resultados en la Tabla 6.3 para las dos áreas seleccionadas.

Zona	Volumen (hm³)		
	2006	2007	Incremento
Urbanizada	0,13	0,17	0,04
Médano	0,25	0,38	0,14

Tabla 6.3. Volumen almacenado e incremento

En la zona de médano el incremento del volumen es mayor que en el área urbanizada. Por otro lado teniendo en cuenta los valores de incremento obtenidos y la superficie de cada zona se calcularon los valores medios de variación de la lámina (en mm) por área de un año hidrológico al otro. Para la zona urbanizada el valor es de 27,2 mm, mientras que para el médano es de 64 mm. Por lo tanto, la zona de médanos presenta valores de variación de nivel freático tres veces superiores a la cantidad de agua de la zona urbana.

En el mapa de isovariaciones se observa un predominio marcado de los sectores donde el nivel freático tuvo un ascenso (Figura 6.4).

Para la zona urbanizada son dominantes y presentan una amplia distribución areal las variaciones entre los 0 y 0,3 m. (Figura 6.4-1)

En la zona de médanos es predominante arealmente el rango que va de 0,3 a 0,6 m. (Figura 6.4-2)

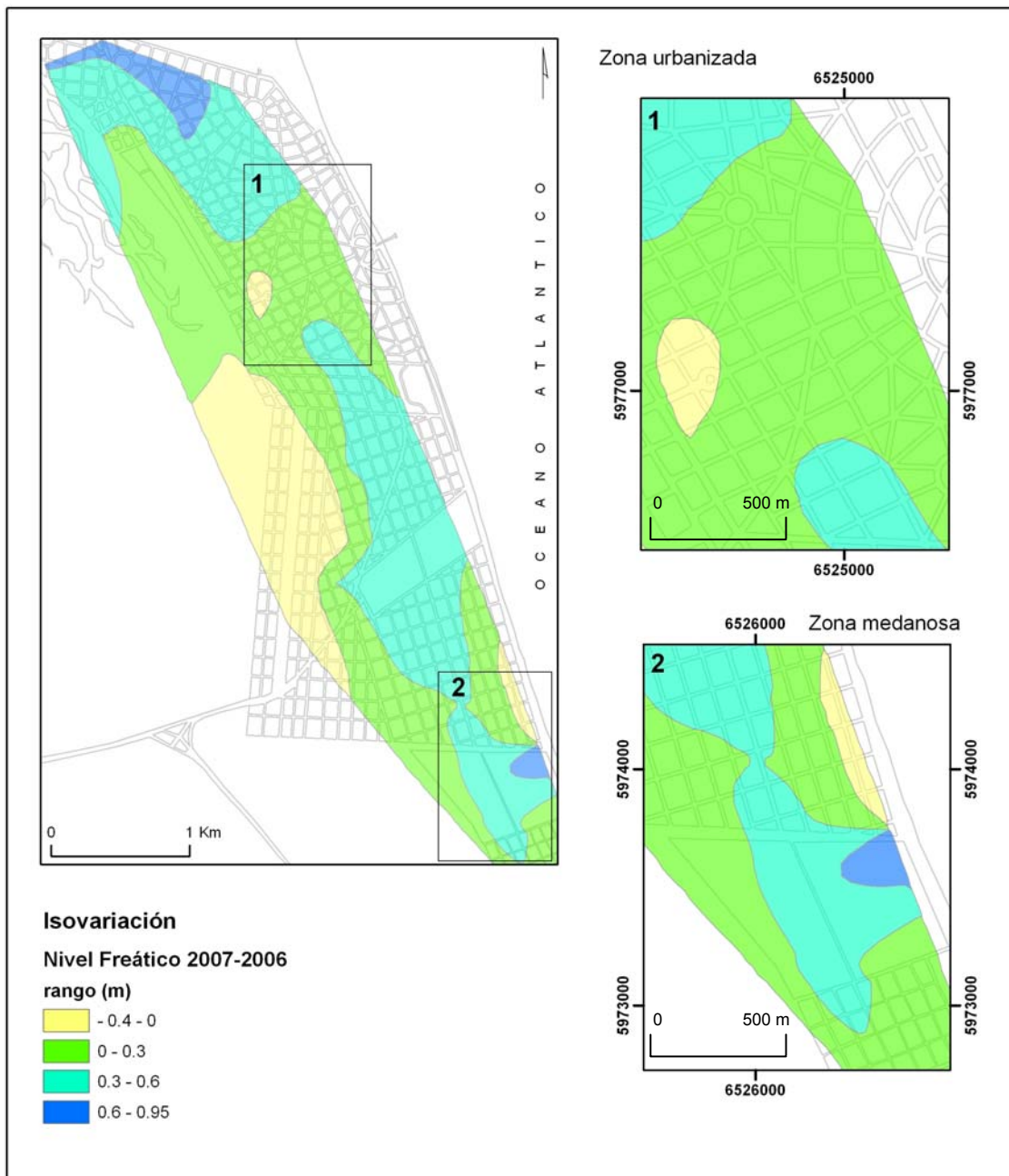


Figura 6.4. Mapa de isovariación entre los censos 2006 y 2007. 1) zona urbanizada.

2) zona medianosa

En el área caracterizada por un suelo medanoso con escasa vegetación los valores de variación de niveles freáticos triplican a los del sector altamente urbanizado.

Los mayores rangos de ascensos en el nivel freático se registran en esta zona. En el área urbanizada con calles asfaltadas, si bien se registran ascensos estos son menores.

6.3. Respuesta del nivel freático a un evento de precipitaciones máximas

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, como consecuencia de las características morfológicas, de la inexistencia de una red de drenaje y de la alta permeabilidad de los sedimentos, el escurrimiento superficial tiende a cero y los excesos de agua de un evento de altas precipitaciones se manifiestan en el aumento de la alimentación del sistema hídrico subterráneo.

En la Figura 6.5 se pueden visualizar los mapas isofreáticos correspondientes a febrero y marzo de 2008. En correspondiente a febrero de 2008, se reconoce un área elevada en la morfología freática ubicada en el sector sur de la localidad, con curvas que oscilan entre 1,5 y 2 m s.n.m.

A partir de los datos de marzo, como consecuencia de las abundantes precipitaciones ocurridas a fines de febrero (244 mm), puede observarse que el sector delimitado por la curva de 1,5 m s.n.m., ha aumentado su área y aparecen las curvas de 2,5 y 3 m s.n.m. También se manifiesta un área elevada con la curva de 1,5 m s.n.m. en el sector norte que no aparecía en febrero.

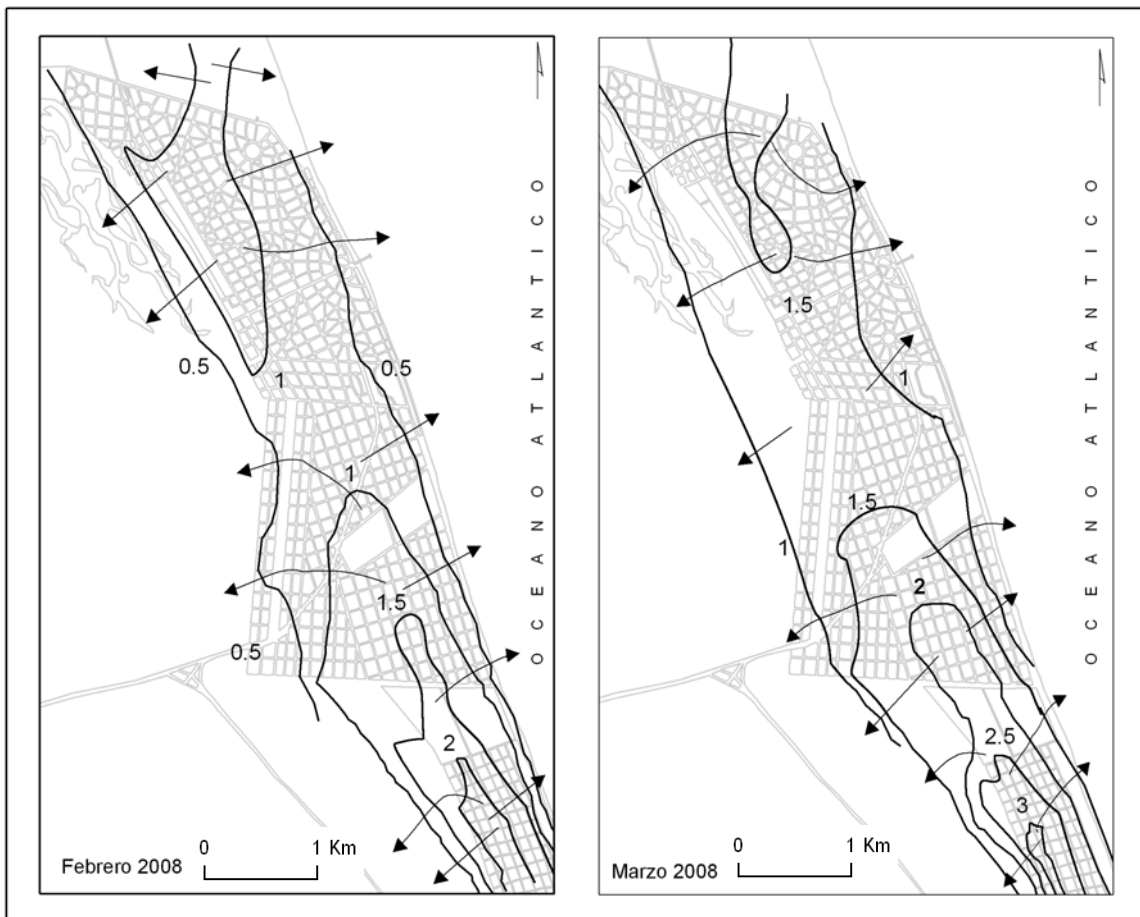


Figura 6.5. Mapas isofreáticos del censo de febrero y de marzo de 2008

Las diferencias del nivel freático entre los dos periodos mencionados muestra que se produjo un ascenso en toda el área. Para el sector sin urbanización oscila entre 0,60-0,87 m y en las zonas urbanizadas entre 0,40-0,60 y 0,18- 0,40 m. (Figura 6.6)

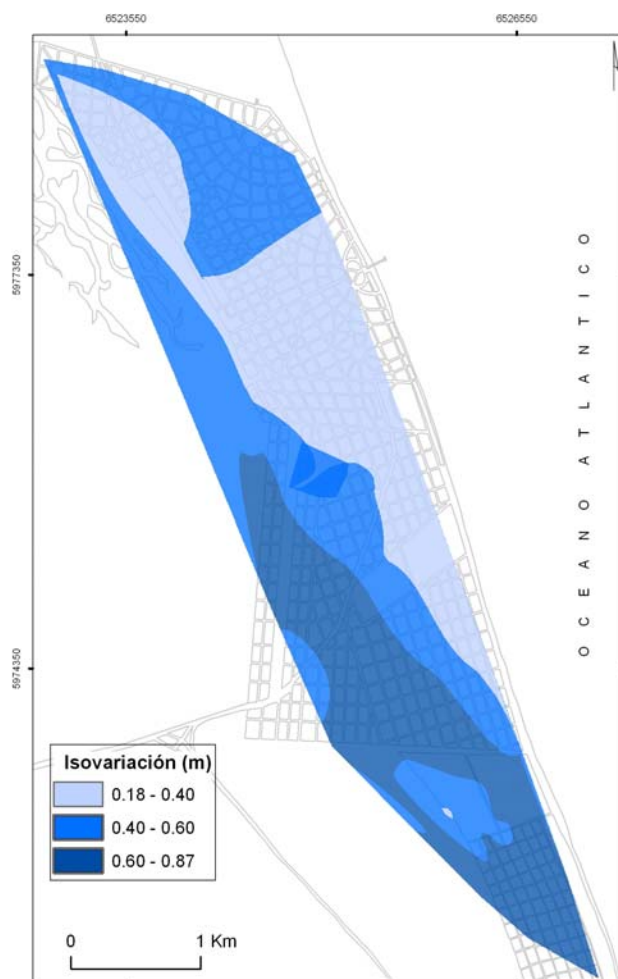


Figura 6.6. Variación de niveles freáticos entre febrero y marzo de 2008

A partir de los mapas isofreáticos se estimó el volumen saturado a partir del 0 m s.n.m. Los valores para los relevamientos de febrero y marzo, fueron de 0,98 y 1,63 hm^3 respectivamente. Puede observarse un incremento total de 0,65 hm^3 de un mes al otro (Figura 6.7a)

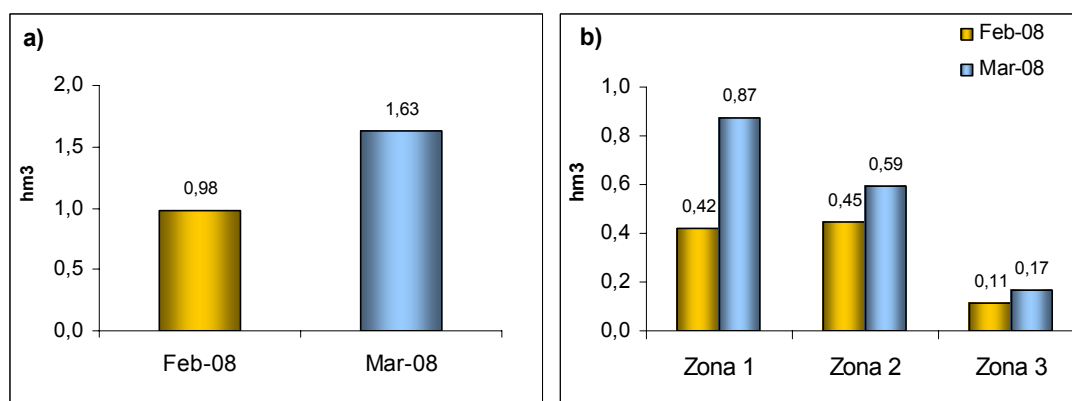


Figura 6.7. Volumen de agua subterránea almacenado

El volumen de agua, considerando cada zona de uso del suelo, presenta un incremento generalizado en todos los casos, aunque en los sectores con escasa urbanización y sin urbanización el aumento es más significativo resultando un porcentaje de incremento para el primero del 70%, para el segundo del 22 % y, para el sector urbano del 8% (Figura 6.7b).

La infiltración media estimada a partir de las variaciones isofreáticas es de un 30% de la precipitación. Una mayor infiltración se da en las áreas sin urbanización y con escasa urbanización (entre 26 y 38% de la precipitación), mientras que una menor ocurre en el área urbanizada (15% de la precipitación).

El escurrimiento en las zonas urbanizadas se puede dividir en dos componentes interrelacionados. El escurrimiento superficial por techos, veredas, calles, etc. que puede drenar hacia la red de conductos a través de obras de captación o hacia el cuerpo receptor principal (río, mar, lago,) y el escurrimiento en la red de conductos, los cuales transportan el agua captada del sistema superficial por medio de bocas de tormenta y zanjias, que drenan hacia el cuerpo receptor (Basile y Riccardi, 2000).

La impermeabilización de la superficie del terreno reduce tanto la infiltración como la evaporación, incrementando y acelerando el escurrimiento superficial. La recarga también disminuye en la superficie edificada (urbanizada) porque existen desagües pluviales al mar (Figura 6.8 y 6.9).



Figura 6.8. Caños pluviales colocados en la Av. Costanera que descargan hacia la playa y el mar



Figura 6.9. Desagüe que termina en la playa, donde posteriormente el flujo se conduce al mar.

Por estas razones en el ambiente urbano, eventos de tormenta como el analizado, traen como consecuencia inundaciones en la zona pavimentada, sobre todo en el sector costanero y del centro comercial, como así también la pérdida de un importante volumen de agua hacia el mar, que constituiría una potencial recarga al acuífero. (Figura 6.10)



Figura 6.10. Calles inundadas en la Costanera de San Clemente del Tuyú.

En el evento de altas precipitaciones analizado, se reconoció un ascenso generalizado de los niveles freáticos este comportamiento se manifiesta de manera diferencial según se trate de la zona sin urbanizar o del área urbana. En las áreas caracterizadas por medanos sin urbanizar y con escasa vegetación y las zonas con escasa urbanización con espacios verdes, los valores de variación mensual de niveles freáticos triplican a los del sector altamente urbanizado.

La disminución de la infiltración en los sectores urbanizados se relaciona con un incremento del escurrimiento superficial que cuando se producen lluvias significativas da lugar a inundaciones de distintas magnitud en los sectores más poblados.