

5. HIDRODINAMICA SUBTERRANEA

5.1. Flujo subterráneo

Los mapas de flujo subterráneo elaborados para cada medición mensual del período noviembre 2007 – julio 2010 (Anexo 6) indican, como generalidad, un área elevada en la morfología freática en coincidencia con la parte central y de mayor altura del cordón costero, constituyendo la zona de recarga principal de las aguas subterráneas. La conducción se produce por una corta distancia, dando lugar a la descarga que se manifiesta en dos direcciones opuestas, una hacia el mar al este y la otra hacia la llanura deprimida al oeste.

Como representativos para visualizar dichas características se han seleccionado dos situaciones extremas. Una de ellas es la correspondiente a la posición de la capa freática más elevada (marzo-08) y otra la más profunda (enero-09) (Figura 5.1).

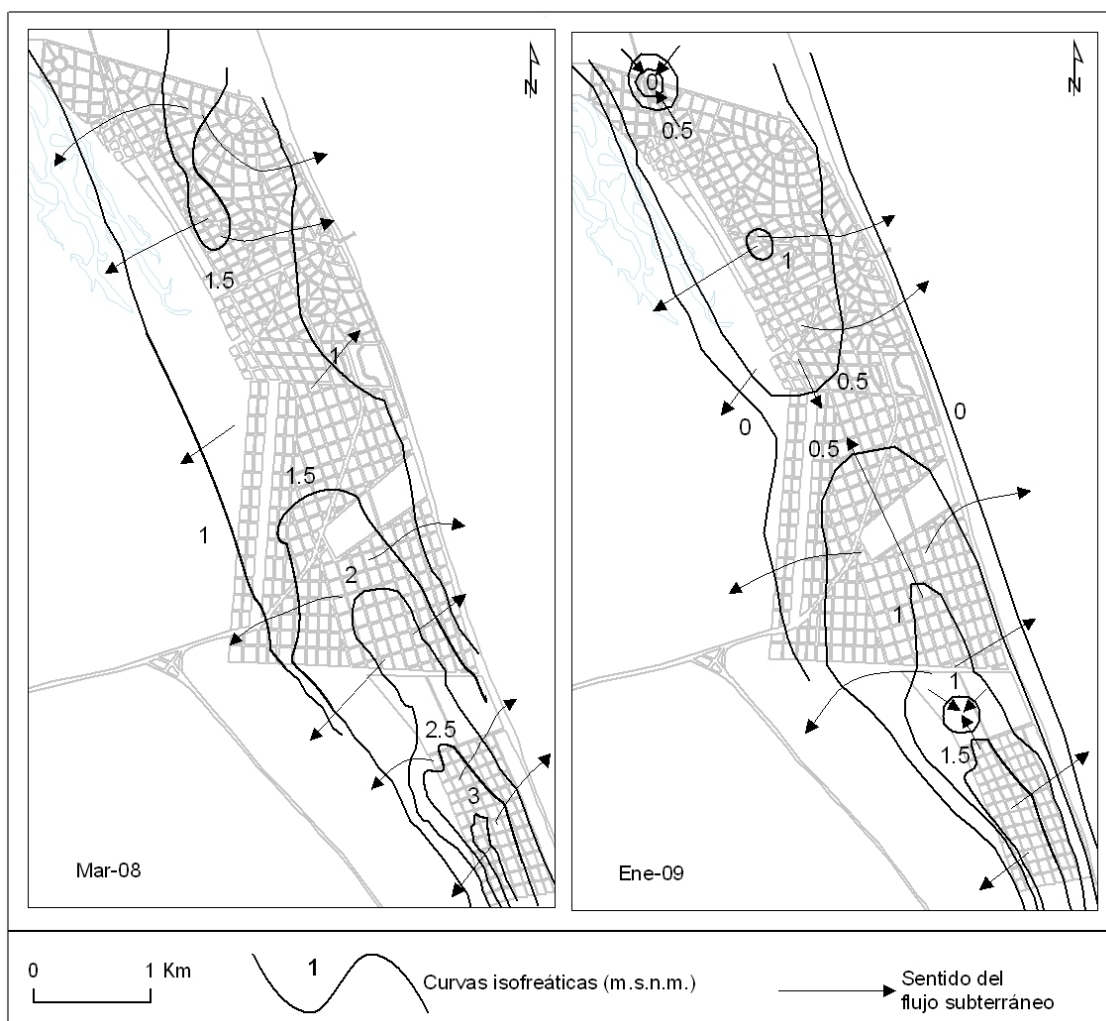


Figura 5.1 Mapas isofreáticos para marzo-08 y enero-09

Para la situación en donde los niveles están más elevados, en el sector sur se reconoce un domo en la morfología freática, con curvas isofreáticas que oscilan entre 2 y 3 m s.n.m. Para la situación de mayor profundización en el mismo sector se reducen a 1 y 1,5 m s.n.m. También se manifiesta un área elevada con la curva de 1.5 m s.n.m. en el sector norte para marzo-08, la cual desaparece en enero-09. Existen dos áreas donde se manifiestan pequeños conos de depresión. El del norte está relacionado a un bombeo realizado por el Municipio de la Costa, y el del sur al campo de extracción de agua para abastecimiento de la Cooperativa de Obras Sanitarias de San Clemente (COS).

En las dos situaciones se reconocen gradientes hídricos hacia el este y oeste cuyos valores medios se muestran en la Tabla 5.1

	Mar-08	Ene-09
i (oeste)	0,0034	0,0027
i (este)	0,0019	0,0016

Tabla 5.1. Valores de gradiente hídrico i (m/m)

Si se consideran todos los mapas isofreáticos mensuales construidos entre noviembre de 2007 y julio de 2010 se estima un gradiente hídrico medio de 0,0023 hacia el este y 0,0032 hacia el oeste. La velocidad efectiva media sería de 0,0003 m/d al este y 0,00046 m/d hacia el oeste.

5.2. Profundidad de niveles freáticos

En la Figura 5.2 se presentan los mapas de isoprofundidad para las dos situaciones citadas anteriormente. En marzo-08 las mayores profundidades se encuentran en el sector central del médano con valores entre 1 y 1,5 m que coinciden con el área de predominio de recarga. Las menores profundidades se observan hacia el área de descarga al este y al oeste con valores inferiores a 0,5 m. Existen tres sectores particulares, donde se reconocen curvas cerradas de valores menores a 1 m que indican una profundización puntual del nivel freático. Dos de ellos se ubican en las cercanías de los pozos de explotación del Municipio de la Costa y el tercero a la planta de extracción de la COS.

Para enero-09, se ha registra una mayor profundización. La máxima (2,5 m) se localiza en la planta de bombeo, repitiéndose el mismo fenómeno que en marzo-08 para las zonas cercanas a las perforaciones municipales. En el centro del médano las profundidades superan los 2 m, siendo menores de 1,5 m hacia el este, y de 1 m hacia el oeste.

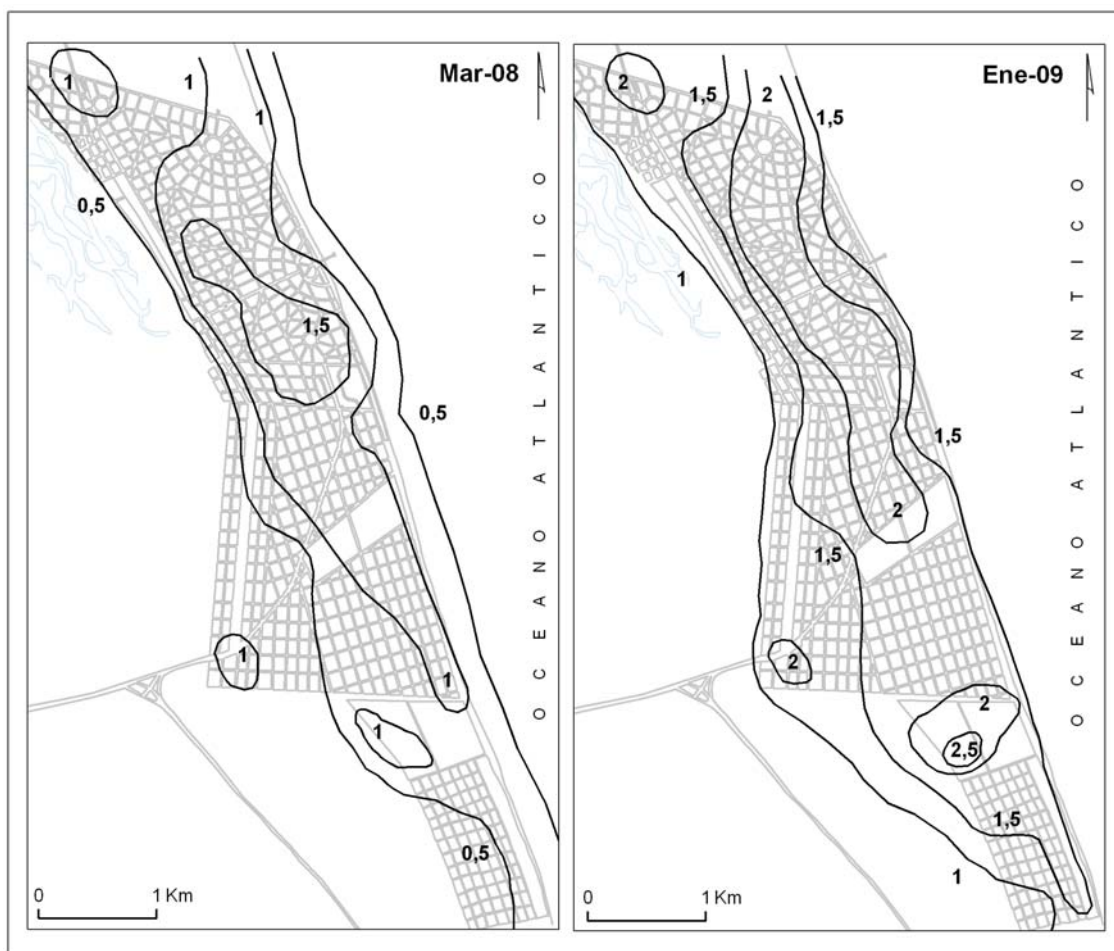


Figura 5.2. Mapa de isopropundidad (m) para marzo-08 y enero-09

5.3. Evolución temporal (1976-2006)

El análisis comparativo entre los mapas de flujo realizados con los datos de los relevamientos antecedentes (Sala et al., 1976 y CFI, 1990b), y los propios de 2006 han permitido verificar la permanencia en el tiempo de un área elevada en la morfología freática que es coincidente con las mayores alturas del médano. Tal como fuera indicado para la situación general, el escurrimiento subterráneo es en dos sentidos, hacia el este (mar), y hacia el oeste (llanura deprimida), reconociéndose particularidades del flujo subterráneo en los distintos relevamientos (Figura 5.3).

En 1976 es más notoria la elevación de la capa freática en el sector sur donde las curvas oscilan entre 1,5 y 3 m s.n.m., mientras que en el sector norte tienen una menor expresión.

A partir de 1987, se reconoce que la morfología es más suave, disminuyendo los valores de las mayores cotas de los niveles freáticos.

En 2006 la curva de 1 m s.n.m. presenta un desplazamiento hacia el interior, alejándose de la costa, y se observa una reducción areal de las curvas de 2,5 y 1,5 m s.n.m.

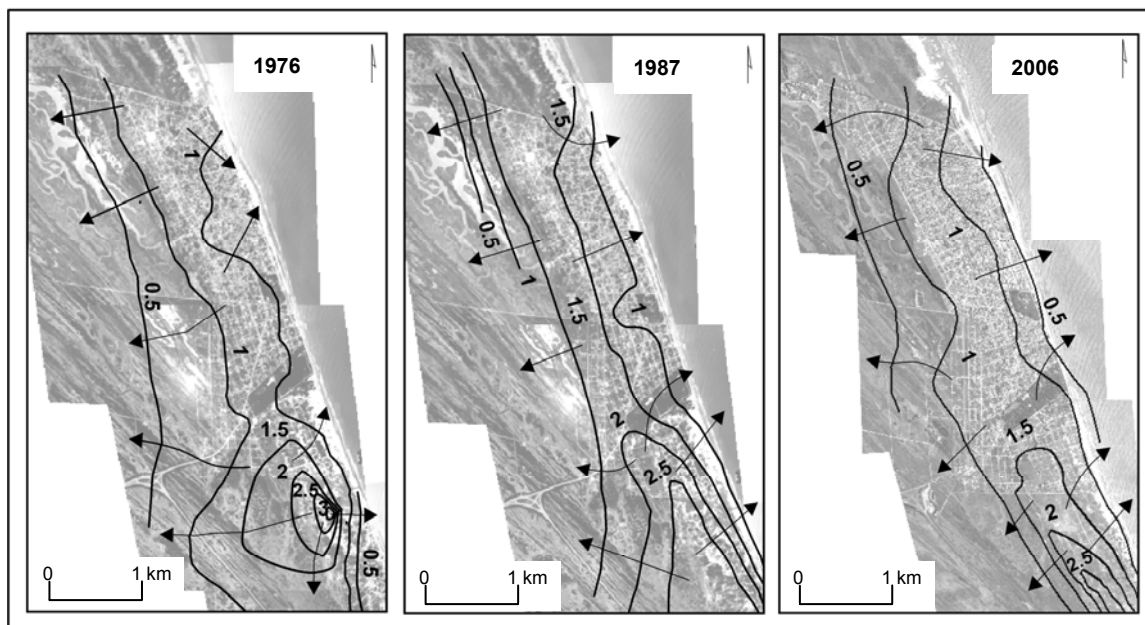


Figura 5.3. Mapa isofreático para los tres censos

Las variaciones en los gradientes hídricos asociados al coeficiente de permeabilidad de 20 m/d y de almacenamiento de 0,10 (Sala et al., 1976) han permitido reconocer valores máximos y mínimos de la velocidad efectiva del flujo subterráneo. Para 1976, en el flanco oriental del sector sur de la localidad, el gradiente hídrico máximo es 0,0062 y la velocidad efectiva 0,0009 m/d, mientras que el mínimo es 0,0012 y 0,0002 m/d respectivamente en el flanco occidental.

Para 1987 ambos gradientes fueron determinados sobre el flanco oriental del médano, donde los valores obtenidos son 0,0039 de gradiente máximo y 0,0005 de mínimo con velocidades efectivas de 0,0001 m/d y 0,0006 m/d.

En cambio, en el mapa de flujo de 2006 en el flanco occidental, los valores de gradiente hídrico es 0,0036 y velocidad efectiva 0,0005 m/d, máximos, en la zona sur. Los mínimos, en el norte de la ciudad, tienen valores de 0,0006 y 0,00001 m/d.

Del análisis de estos resultados se observa una progresiva disminución en los valores de los gradientes hídricos tanto máximos como mínimos, y por consiguiente de las velocidades efectivas, lo cual puede visualizarse en la Tabla 5.2.

	1976	1987	2006
i máx	0,0062	0,0039	0,0036
i min	0,0012	0,0009	0,0006
Ve máx (m/d)	0,0009	0,0006	0,0005
Ve min (m/d)	0,0002	0,0001	0,00001

Tabla 5.2. Gradiente hídrico y velocidad efectiva a lo largo del tiempo.

5.4. Fluctuaciones de los niveles freáticos (2007- 2010)

Las variaciones de los niveles freáticos entre noviembre de 2007 y julio de 2010, cuya graficación por pozo se observa en el Anexo 7, ha permitido diferenciar el comportamiento de acuerdo a su ubicación en la hidrodinámica del médano. De esta manera se dividen los freatómetros en 3 grupos principales: zona de recarga (sector central) y zona de descarga (sectores al este y oeste). Además algunos están dispuestos en el área de transición hacia la llanura deprimida (Figura 5.4).

Los pozos de la zona de recarga son el 3, 5, 11, 15, 18, 24, 28, 30, 31, 32, 35, 36, 37, 38, 41 y 43 . Los de descarga al este son el 4, 9, 10, 16, 17, 25, 42, 26, 27, 33, 34, 40 y 39. Al oeste se encuentran el 2, 6, 7, 12, 14, 19, 23 y 29. Por último en la llanura deprimida se ubican el 1,13, 20, 21 y 22.

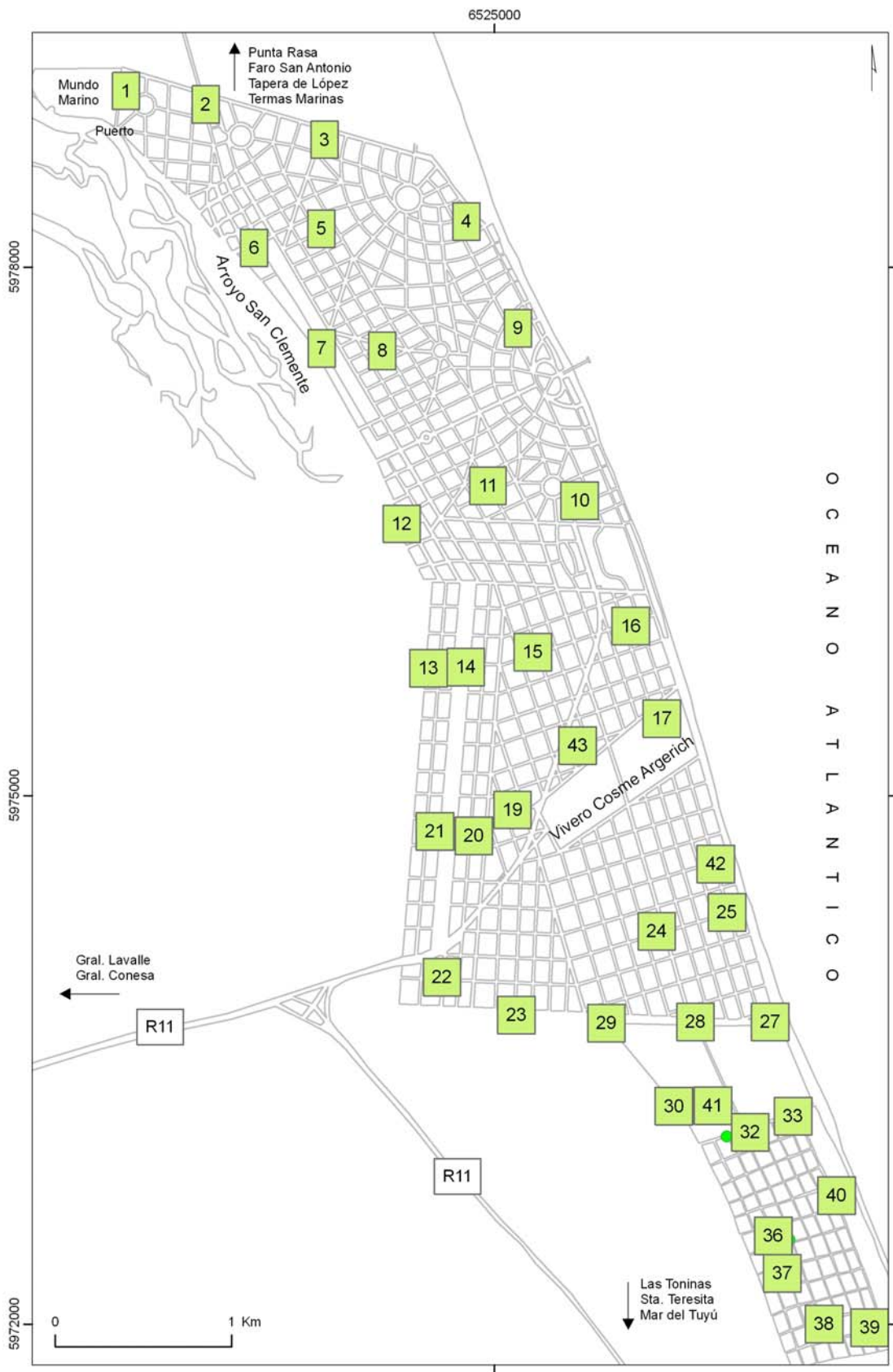


Figura 5.4. Distribución de los freáticos en la red de monitoreo

Se analizó el comportamiento general de toda la serie de datos disponible seleccionándose dos pozos para cada uno de los sectores mencionados. En la zona de recarga (Figura 5.5) los niveles freáticos oscilan entre 0,60 y 3 m s.n.m. con valores más altos para los ubicados al sur y los menores en el norte. Esto se relaciona con el hecho que la capa freática sigue la morfología del terreno, la cual aumenta su expresión topográfica de norte a sur. Esto se observa en los distintos sectores del médano.

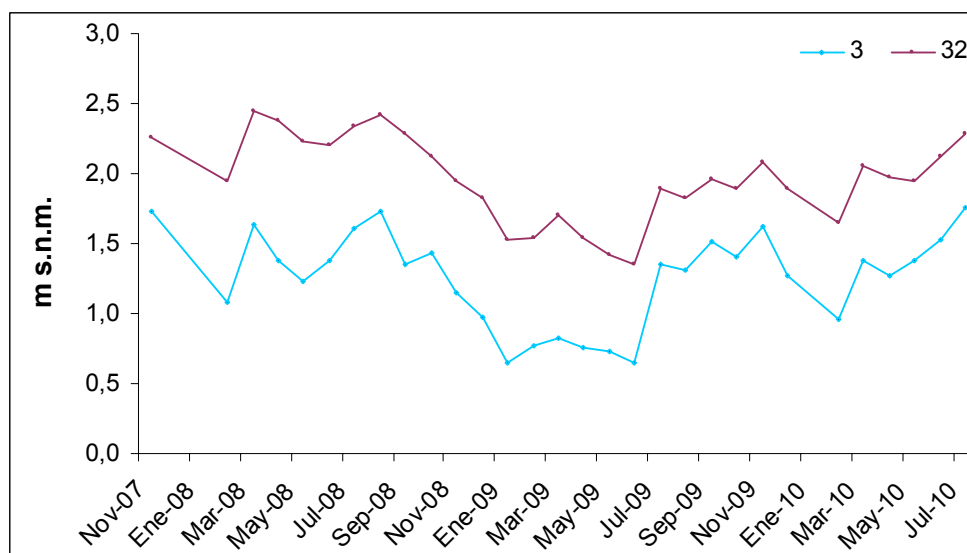


Figura 5.5. Niveles freáticos, zona de recarga principal.

Los niveles freáticos de la zona de descarga al este oscilan entre 0,5 y 2 m s.n.m. (Figura 5.6) mientras que los del oeste lo hacen entre 0,40 y 1,90 m s.n.m. (Figura 5.7)

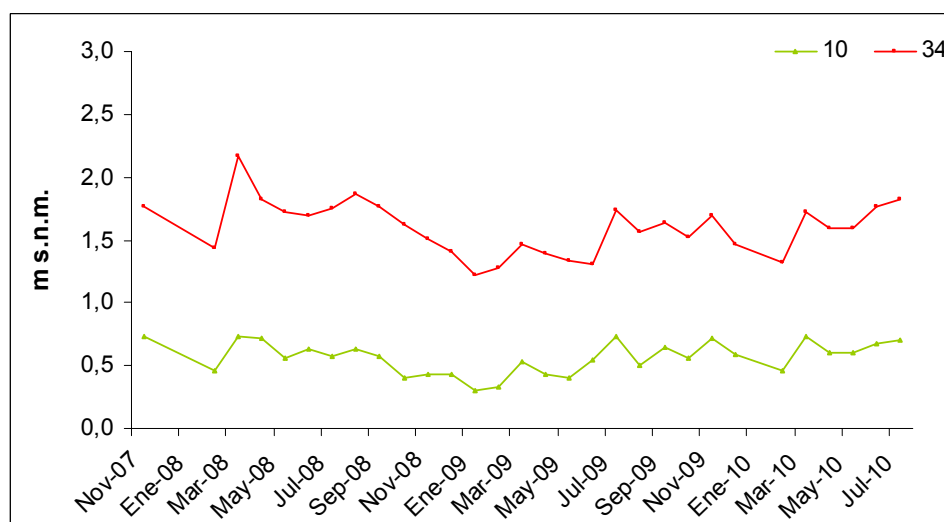


Figura 5.6. Niveles freáticos, zona de descarga al este.

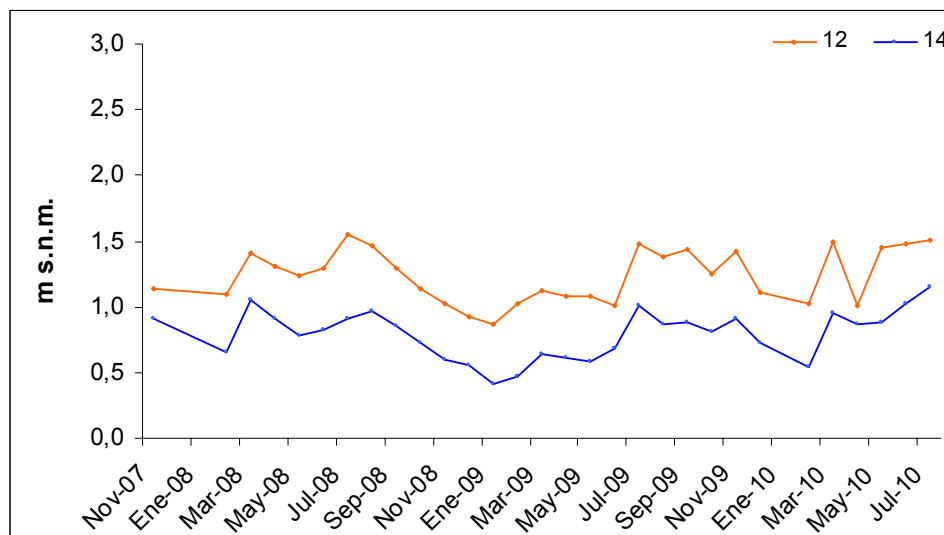


Figura 5.7. Niveles freáticos, zona de descarga al oeste.

Por último, para los freatómetros de la llanura deprimida, los niveles se encuentran generalmente entre 0,25 y 1,5 m s.n.m. (Figura 5.8)

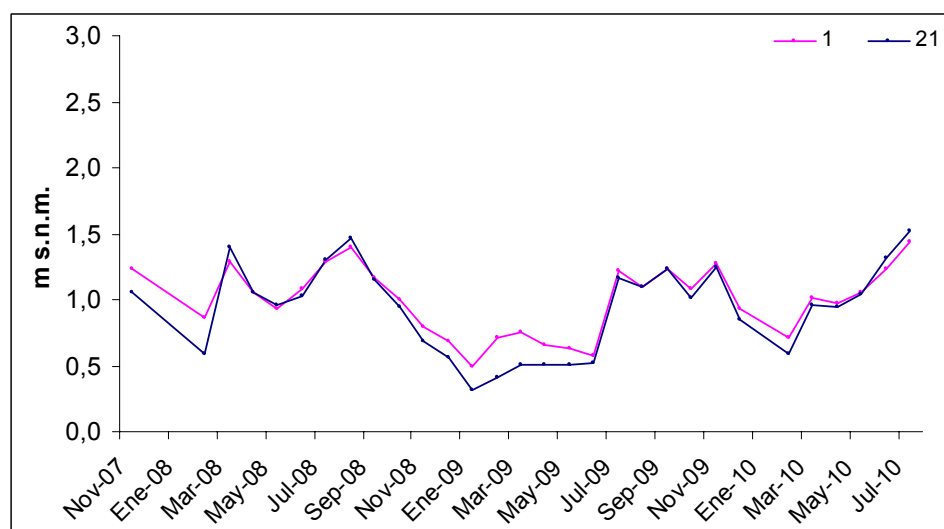


Figura 5.8. Niveles freáticos, zona de llanura deprimida

Como puede observarse en los gráficos, existe una homogeneidad en las variaciones de los niveles freáticos en cada una de las zonas representadas. Entre noviembre-07 y febrero-08 se ha producido un descenso progresivo de los niveles. Lo mismo ocurre entre noviembre-09 y febrero-2010. Los períodos de profundización mencionados son coincidentes con los menores excesos de agua que se producen en dicho período. Se suma a este efecto un mayor consumo debido a la afluencia turística estival.

Un comportamiento similar se da entre agosto-08 y enero-09, mes en el cual se alcanza la máxima profundización en la serie estudiada. Se trata de un periodo en el cual el descenso de la capa freática comenzó en el invierno y se extendió hasta pasado el verano.

En la Tabla 5.3 se exponen los valores máximos y mínimos del nivel freático en algunos pozos característicos. La máxima profundidad es coincidente en todos los pozos y se produce el 26/01/2009. Los valores mínimos se reconocen en distintas fechas: marzo de 2008, julio de 2009, noviembre de 2009 y marzo de 2010

Pozo	Ubicación en el médano	N.F. mínimo (m s.n.m.)	Fecha	N.F. máximo (m s.n.m.)	Fecha
1	llanura deprimida	0,50	26/01/09	1,40	19/08/08
12	zona de descarga (oeste)	0,87	26/01/09	1,55	14/07/08
3	zona de recarga	0,66	26/01/09 29/06/09	1,74	19/08/08
35	zona de recarga	1,86	26/01/09	3,00	13/03/08
10	zona de descarga (este)	0,30	26/01/09	0,73	13/03/08 28/07/09 02/03/10
39	zona de descarga (este)	1,28	26/01/09	2,13	13/03/08

Tabla 5.3. Niveles freáticos máximos y mínimos (nov07-jul10)

5.6. Variaciones areales

Se construyeron mapas de isovariación entre cada relevamiento mensual (que se presentan en el Anexo 8). Para su descripción general se han seleccionado las mismas fechas que los mapas de flujo subterráneo.

Las precipitaciones entre febrero y marzo de 2008 (periodo húmedo) fueron de 336 mm y generaron ascensos de los niveles freáticos entre 0,20 y 0,80 m. El rango 0,20-0,40 m se localiza, en general, en el área más urbanizada donde predominan zonas impermeabilizadas (Figura 5.9). Los mayores ascensos, con un rango entre 0,60 y 0,80 m se dan en el sector sur, en el médano natural, con la excepción de la zona que incluye el campo de extracción de agua potable.

Para el periodo seco, con tan solo 17 mm de lluvia caída entre diciembre-08 y enero-09, la profundización de los niveles freáticos varía entre -0,2 y -1 m. En este caso, además de las escasas precipitaciones se le suma un mayor consumo debido a la afluencia turística durante enero.

El sector con mayor profundización del nivel freático se localiza en el campo de bombeo, llegando a -1 m de variación. Para el resto de la localidad oscila, en términos generales, entre -0,2 y -0,4 m.

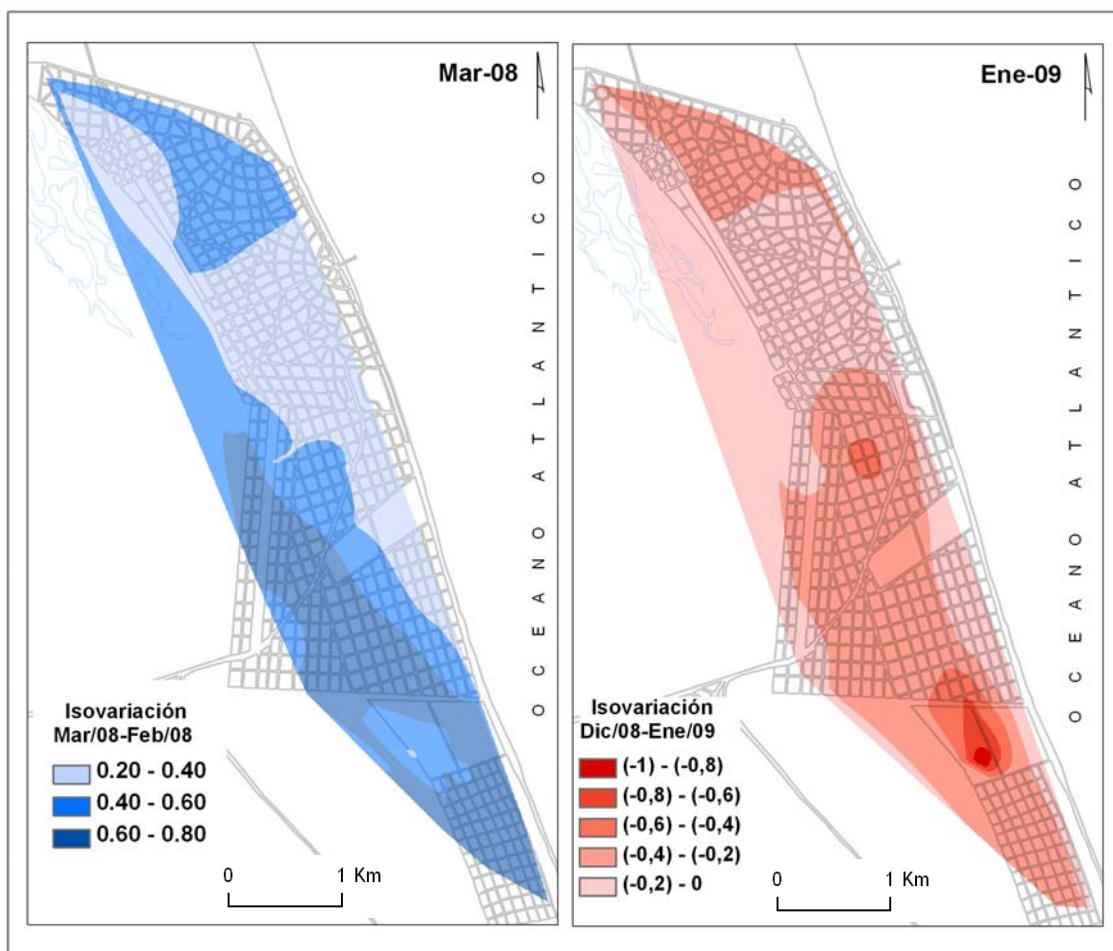


Figura 5.9. Mapas de isovariación

5.7. Relación variaciones del nivel freático - precipitaciones

Si las precipitaciones acumuladas entre las fechas de relevamientos (mensual) son inferiores a 60 mm, no se registra una elevación en los niveles freáticos. Es decir, que no se manifiestan una respuesta detectable entre un relevamiento y el siguiente si el total de las precipitaciones están por debajo de dicho valor. Por otro lado, si la suma

de las lluvias es mayor a 100 mm producen una elevación de los niveles que oscila entre 0,36 y 0,53 m.

Las variaciones de los niveles y las precipitaciones entre las mediciones pueden visualizarse en la Tabla 5.4.

Periodo	Variación del N.F. (m)	Precipitaciones (mm)	Días entre censos	Índice (precip/días)
feb08-mar08	0,53	336	36	9,3
mar08-abr08	-0,19	43	33	1,3
abr08-may08	-0,12	30	35	0,9
may08-jun08	0,06	65	29	2,2
jun08-jul08	0,12	60	26	2,3
jul08-ago08	0,09	86	36	2,4
ago08-sep08	-0,15	38	28	1,4
sep08-oct08	-0,15	35	34	1,0
oct08-nov08	-0,15	62	37	1,7
nov08-dic08	-0,11	29	22	1,3
dic08-ene09	-0,20	17	39	0,4
ene09-feb09	0,08	108	28	3,9
feb09-mar09	0,10	125	24	5,2
mar09-abr09	-0,07	72	39	1,8
abr09-may09	-0,03	38	29	1,3
may09-jun09	-0,02	38	34	1,1
jun09-jul09	0,49	150	29	5,2
jul09-ago09	-0,11	20	27	0,7
ago09-sep09	0,15	89	35	2,5
sep09-oct09	-0,09	50	25	2,0
oct09-nov09	0,19	105	38	2,8
nov09-dic09	-0,26	13	18	0,7
dic09-feb10	-0,27	46	46	1,0
feb10-mar10	0,36	208	28	7,4
mar10-abr10	-0,08	66	36	1,8

Tabla 5.4. Variaciones de los niveles freáticos y precipitaciones (nov07-abril10)

La relación entre la cantidad de precipitaciones, y los días transcurridos entre las mediciones que manifiestan un cambio en el comportamiento de la capa freática se da en la Tabla 5.4. De esta manera se trató de definir un índice que reflejara tal relación. En términos generales, valores menores a 2 significan una profundización de los niveles, mientras que los mayores a 5 muestran un ascenso superior a 0,35 m. (Figura 5.10). Puede observarse que un valor similar (5,2) se dio en dos

oportunidades, en una las variaciones de niveles fueron 0,1 m y en otra 0,49 m. El primer caso corresponde a junio-julio de 2009, y en el otro febrero-marzo de 2009, con precipitaciones de 125 y 150 mm respectivamente. En los meses de invierno, que es el primer caso, los mayores excesos de agua (125 mm) se manifiestan en un ascenso de la capa freática de 0,49 m. En cambio en el verano, con menores excesos (87 mm), el aumento es de tan solo 0,1 m. Los índices más altos, si bien se dan en verano, representan a precipitaciones superiores a 200 mm.

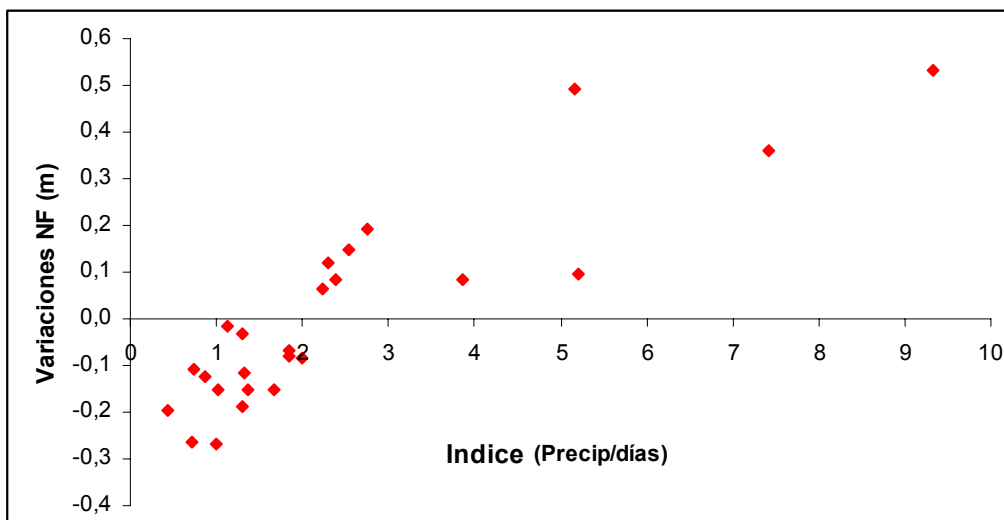


Figura 5.10. Relación variaciones de nivel freático e índice.

En la Figura 5.11 se corrobora lo observado en la Tabla 5.4. En términos generales lluvias superiores a 60 mm se manifiestan en variaciones positivas (ascenso de los niveles) mientras que las menores producen variaciones negativas (descenso) en el periodo entre mediciones.

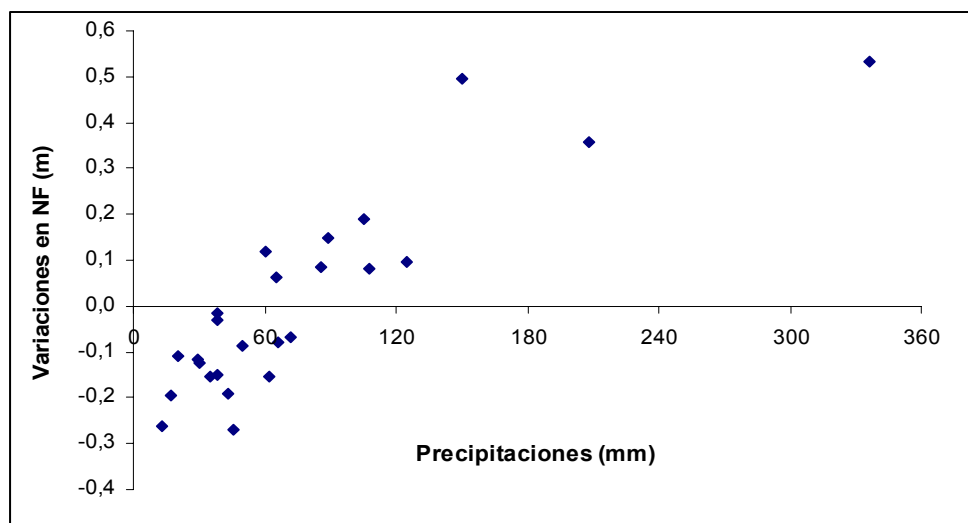


Figura 5.11. Relación variaciones de nivel freático y precipitaciones

A partir de los datos del registrador continuo situado en la estación meteorológica de la Planta 2 y colocado en el pozo 43, en el sector de predominio de recarga en el médano, se comprobó el comportamiento del nivel freático entre el 14/11/2007 y el 31/01/2009. En la Figura 5.12 se observa una tendencia general a la profundización de la capa freática con una respuesta casi inmediata ante las precipitaciones que generan una recarga en el acuífero. Luego de la recuperación los niveles continúan profundizándose hasta la próxima lluvia. En general los ascensos no sobrepasan los 0,10 m a excepción de las precipitaciones del 26 de febrero de 2008 (180 mm). En este caso se produce un ascenso del orden de 0,40 m, siendo 0,53 m el valor medio en todos los pozos de la red de monitoreo. El valor mínimo se produce el 30 de enero de 2009 en coincidencia con el resto de los pozos monitoreados.

De acuerdo a las mediciones con paso mensual se deducía un ascenso en los niveles cuando las precipitaciones superaban 60 mm en el lapso de medición. El registro continuo permitió definir que en el detalle diario los ascensos del agua subterránea se manifiestan con lluvias diarias superiores a 30 mm.

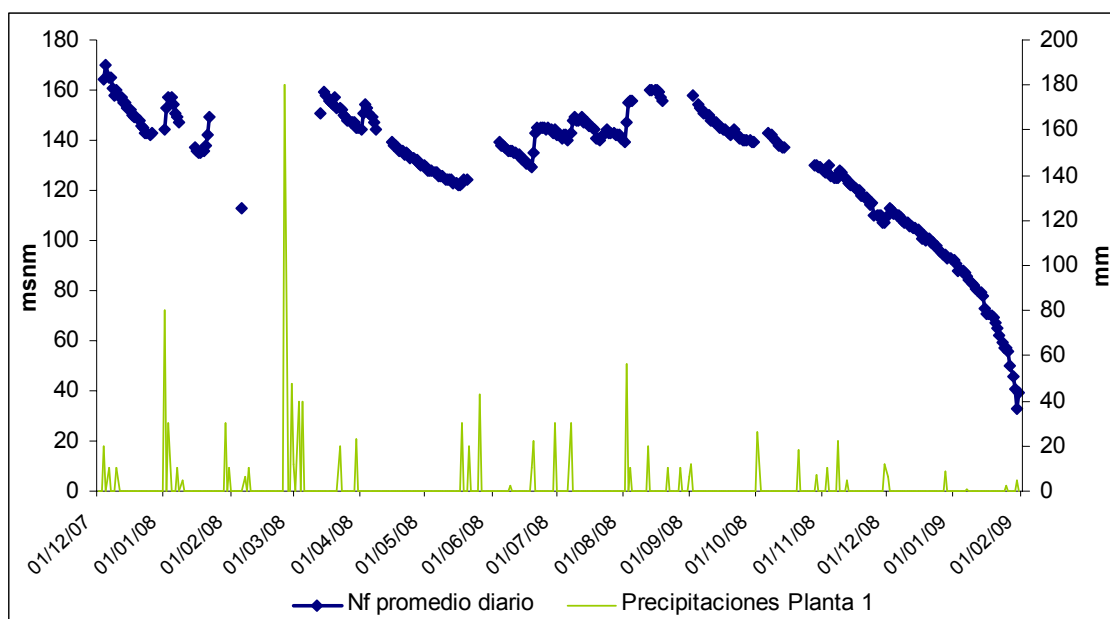


Figura 5.12. Niveles freáticos pozo 43 y precipitaciones

La relación entre las variaciones de los niveles freáticos y los excesos de agua en el balance hídrico muestra que existe una respuesta de los niveles cuando los excesos son, en general, mayores a 20 mm. (Figura 5.13)

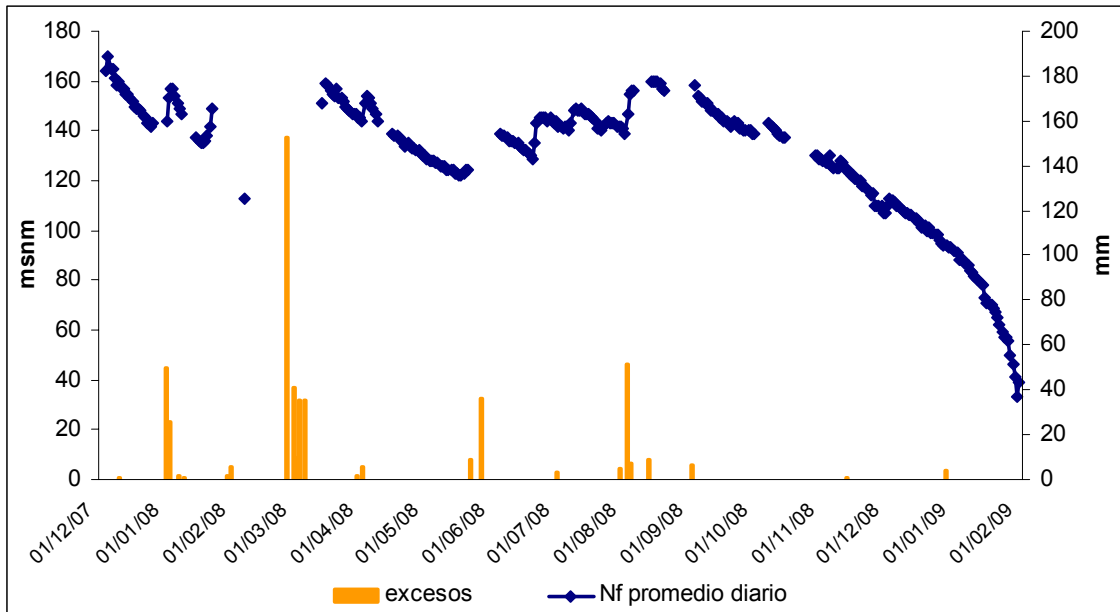


Figura 5.13. Niveles freáticos pozo 43 y excesos