

RELACION ENTRE LA DESECACION DEL SUELO Y LOS FENOMENOS DE SUBSIDENCIA OCURRIDOS EN INGENIERO WHITE, ARGENTINA

*Jorge C. Carrica*¹ y *Claudio Lexow*²

¹Dpto. de Geología - UNS. San Juan 670 (B8000ICN) Bahía Blanca. Argentina.

² CIC-PAID - UNS. San Juan 670 (B8000ICN) Bahía Blanca. Argentina.

E-mail: jcarrica@uns.edu.ar, lexow@uns.edu.ar

RESUMEN

Las variaciones del contenido de humedad en suelos de naturaleza pelítica como consecuencia de la infiltración de agua de lluvia y de la evapotranspiración provocan importantes procesos de expansión y contracción principalmente en aquellos niveles con predominio de arcillas montmorilloníticas. Este fenómeno natural ha sido indicado como la causa de asentamientos diferenciales del suelo e inestabilidad en las cimentaciones cuyas manifestaciones fueron agrietamientos y roturas de las estructuras que no fueron diseñadas para este tipo de terrenos, como es lo que ocurre con la mayoría de las viviendas construidas en el área de Ingeniero White. Este trabajo asume como hipótesis que la magnitud y ocurrencia de las componentes que intervienen en el balance hidrológico del área gobiernan la intensidad del fenómeno, por lo que resulta de importancia su cuantificación. A tal fin se utilizaron programas de balance hidrológico: código Visual Balan V.1.0 y Balshort V.3 para el período 1979-1983, lapso durante el cual tuvo lugar un episodio de subsidencia de suelos de singular magnitud que produjo la rotura de unas 220 viviendas. Se demuestra que los valores mínimos de humedad en el suelo del lapso considerado, calculados por el programa Balshort V.3, se producen en la primavera de 1981 coincidentemente con la ocurrencia del mencionado episodio de subsidencia.

Palabras Claves: Balance hidrológico - Subsidencia - Expansión de suelos

ABSTRACT

The moisture variations of the silty clay soils due to rainwater infiltration and evapotranspiration processes cause important expansion and contraction movements in the ground mainly in those levels with montmorillonite. This natural phenomenon has been pointed as the origin of soil settlement and instability of foundations whose manifestations were crackings and breakage of structures because they were not designed for this type of terrains, as it was the case with the most houses built on the area of Ing. White. This work assumes, as working hypothesis, that the magnitude and occurrence of the components that take part in the hydrologic balance of the area govern the intensity of the phenomenon, therefore it is very important its quantification. Then, two water balance software were used: Visual Balan V.1.0 and Balshort V.3 for the period 1979-1983, when it took place an episode of soil settlement that produced the breakage of 220 houses. We demonstrate that the minimum values of moisture in the soil, calculated by the program Balshort V.3, take place in the spring of 1981 with the occurrence of the settlement episode.

Key words: Water balance - Settlement - Expansion of soils

INTRODUCCION Y OBJETIVOS

El subsuelo de la localidad de Ingeniero White se caracteriza por la heterogeneidad de sedimentos de origen marino costero, la escasa profundidad del nivel freático y una lenta hidrodinámica lateral que presenta un predominio de los movimientos verticales del agua de infiltración, recarga y evapotranspiración sobre el escurrimiento superficial y subterráneo; particularidades éstas, que responden al medio físico natural del área costera (Bonorino y Sala, 1983).

Las magnitudes y ocurrencia de las componentes que intervienen en el balance hidrológico provocan una alternancia de estados de humectación y desecamiento, más o menos rápida, e importantes fluctuaciones del nivel freático. Como consecuencia de ello se generan procesos de expansión y contracción en los niveles arcillosos que componen la zona no saturada y la porción superior del acuífero (Fidalgo, 1983; Trevisán, 1983; Caló *et al.*, 1996). Este proceso natural induce asentamientos diferenciales del suelo e inestabilidad en las cimentaciones que se traducen en agrietamientos y roturas de las fundaciones no adecuadas para este tipo de terrenos, como lo son la mayoría de las viviendas asentadas sobre el área de Ingeniero White. Un episodio de notable magnitud se produjo a fines de 1981 y principios de 1982 donde resultaron seriamente afectadas unas 220 viviendas. El fenómeno se ha repetido, aunque con menor intensidad, hasta el presente y ha sido motivo de numerosos informes técnicos realizados por la Municipalidad de Bahía Blanca, la Universidad Nacional del Sur, la Dirección de Energía de Buenos Aires y el Ministerio de Obras Públicas de la provincia de Buenos Aires (MOP).

El objetivo del estudio es establecer una relación entre los fenómenos de subsidencia observados y las variaciones en el contenido de agua en el suelo. Estas últimas ponderadas

a partir de la cuantificación de las variables que intervienen en el balance hidrológico del área en general y del suelo en particular mediante programas computarizados de balance hidrológico de intervalo diario, que no se encontraban disponibles en la época que acontecieron los fenómenos de subsidencia.

Al presente, este estudio adquiere relevancia debido al importante desarrollo urbano e industrial experimentado por la localidad de Ingeniero White, particularmente en las últimas tres décadas con la implantación del polo petroquímico e industrial, que han producido la modificación del funcionamiento del medio ambiente físico en general y del sistema hidrológico en particular. El flujo subterráneo local que naturalmente tenía una muy lenta circulación general en dirección a su nivel de descarga natural en el mar, ha sido modificado producto del relleno artificial del suelo, bombeos para la remediación de contaminaciones del acuífero y la construcción de zanjas drenantes para mitigar el efecto de las inundaciones por ascenso del nivel freático (Carrica *et al.*, 2003).

METODOLOGIA

La inexistencia de registros de humedad edáfica que permitan relacionar fehacientemente sus variaciones con los fenómenos de asentamientos de suelos, motivó el desarrollo de una metodología de trabajo secuencial consistente, en principio, en identificar y luego cuantificar las variables intervinientes en el balance hidrológico del área mediante la aplicación del código interactivo Visual Balan V.1.0 (Samper *et al.*, 1999), para el período 1979-1983 del cual existen registros meteorológicos completos diarios y freatimétricos parciales. La pluviometría diaria corresponde a la Estación White, (ex FF-CC Roca) y los datos meteorológicos diarios de la Base Cte. Espora. La evapotranspiración potencial se calculó por el método de Penman Monteith (FAO, 1993).

El balance hidrológico global de un área constituye un medio simple e idóneo para la comprensión de su funcionamiento hidrológico. La metodología permite realizar estimaciones de las variaciones de las reservas de agua en el suelo y de la recarga de acuíferos y presenta como ventajas, la frecuente disponibilidad de datos meteorológicos, la facilidad y rapidez de ejecución y los bajos costos de aplicación. Las variaciones de humedad edáfica y de la recarga calculada por el programa se obtiene por diferencia entre las otras componentes del balance, lo que da lugar a que los posibles errores de estimación de cada componente, tiendan a acumularse (Custodio, 1997). Debido a ello autores como Lerner *et al.* (1990), Samper (1997), Simmers (1997), Scanlon *et al.* (2002), entre otros, coinciden en que el cálculo de la recarga e indirectamente el de la reserva de agua en el suelo, a través de los modelos de balances hidrológicos, debe realizarse a intervalos cortos de tiempo, en lo posible diarios, mediante un proceso iterativo y sus resultados deben ser ajustados con mediciones hidrométricas confiables y contrastados por otros métodos de estimación independientes de los anteriores.

En este sentido y a los efectos de calibrar el modelo resultante, las oscilaciones del nivel freático simuladas por el programa Visual Balan V.1.0 se compararon con freatogramas reales (período febrero de 1982 a septiembre de 1983) obtenidos de tres lecturas semanales en 11 piezómetros someros construidos por la Municipalidad de Bahía Blanca. Estos registros constituyen los datos seriados disponibles de mayor extensión temporal y de distribución areal y dadas las condiciones del medio físico permiten estimar la recarga por el método de las fluctuaciones del nivel freático (WTF) según Healy y Cook (2002).

Una vez obtenidos y ajustados los valores de la recarga según WTF se estimó la humedad edáfica diaria del período 1979-1983, mediante los programas Visual Balan V.1.0 y el pro-

grama de cálculo del balance hidrológico diario del suelo Balshort V.3 (modificado de Carrica 1993) utilizando los mismos parámetros climáticos y edáficos. Los resultados anuales y diarios de la evapotranspiración real (ETR), la recarga y las variaciones de humedad ($\Delta\theta$) en el suelo estimados por ambos programas se compararon entre sí, a los efectos establecer la existencia de una correlación entre los mismos.

AREA DE ESTUDIO

Comprende una estrecha franja costera de forma poligonal de unos 8 km² que incluye la localidad de Ingeriero White y sus alrededores. Limita al norte con el ejido urbano de la misma y al sur con el estuario de Bahía Blanca (Fig. 1).

Descripción del medio físico

Se trata de una zona costera, de escasa pendiente (2 a 3 por mil) y cuyas elevaciones topográficas no superan los 4 msnm. Desde el punto de vista geomorfológico constituye una plataforma de abrasión marina elaborada sobre sedimentos Plio-pleistocénicos por las últimas ingresiones del Holoceno. Morfológicamente, el rasgo más destacable lo constituye el estuario de Bahía Blanca que conforma el nivel base de descarga del sistema hidrológico del área.

El subsuelo está constituido por los denominados sedimentos pampeanos (Fidalgo *et al.*, 1975), que subyacen a sedimentos marinos costeros de la Formación Maldonado (Fidalgo, 1983). Los primeros, son sedimentos loésicos del Plioceno medio a superior de amplia distribución regional y considerable espesor (unos 180 m), que afloran hacia el norte a partir, aproximadamente, de la curva de nivel de 5 msnm, mientras que hacia la costa y por debajo del nivel del mar están cubiertos por los depósitos costeros. Estos últimos (Formación Maldonado) están restringidos al área costera, encontrándose en posición aflorante o cubierta por un delgado suelo vegetal o rellenos artificiales. Hacia el norte se acuña sobre los sedimentos pampeanos aflorantes,

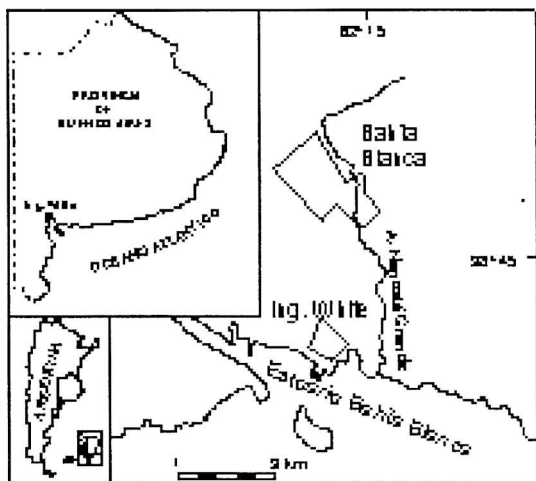


Figura 1. Ubicación del área de estudio

mientras que hacia el sur continúa por debajo del nivel del mar alcanzado, en el área de estudio, espesores máximos de hasta 15 m. Está constituida por sedimentos típicos de áreas costeras y en parte de albufera y marismas, conocidos vulgarmente como “cangrejales”. La base de la formación se apoya sobre los sedimentos pampeanos y está compuesta por arena mediana a fina, gris oscura, con restos de conchillas, que pasa gradualmente hacia el techo a limos arenosos y limos arcillosos o arcillas limosas, grises, muy plásticas, con abundantes conchillas y a una arcilla gris verdosa oscura, plástica, muy expandible, con una mineralogía típica de una asociación montmorillonita-illita, con predominio de la primera de ellas. La montmorillonita es un mineral expandible con el aumento en el contenido de humedad, máximo en este caso, pues se trata de una variedad sódica con mala cristalinidad que lo hace muy activo (Fidalgo, 1983).

La propiedad de expansión-contracción de estas arcillas como consecuencia de procesos de humectación y secado más o menos rápido se ve favorecida por las oscilaciones del nivel freático y de la franja capilar, que se encuentra a escasa profundidad. Este proceso afecta, en mayor o menor medida, la estabilidad de las cimentaciones, dando origen a asentamientos

de las estructuras no adecuadamente diseñadas y construidas para este tipo de terrenos. Desde el punto de vista geotécnico este suelo presenta condiciones de fluidez con escasa a nula capacidad portante hasta profundidades de 5 m (Trevisán, 1983).

Los suelos autóctonos y la vegetación natural arbustiva halófila del sector han sufrido una notoria disturbación y depredación como consecuencia de las actividades antrópicas y sólo se conservan en terrenos naturales. En la mayor parte del área de estudio el suelo natural está cubierto por rellenos artificiales de 1 a 4 m de espesor, compuestos por sedimentos pampeanos compactados que constituyen la base donde se asientan las plantas industriales y las vías de comunicación. En los alrededores de las plantas puede observarse algunos restos de un suelo natural de escaso desarrollo, mal drenado, alcalino y salino, bien provisto de materia orgánica (2 a 3 %) que puede clasificarse como un Salortid acuólico. La primera capa superficial, de unos 15 cm de espesor, posee una textura limo-arcillosa, presentando abundantes raíces y como rasgo destacable eflorescencias salinas. Hacia abajo existe otra capa de textura arcillo-limosa, sin estructura definida, color gris verdosa, muy plástica, con restos de valvas de moluscos que correspondería al techo de la Formación Maldonado.

Hidrológicamente el área de estudio carece de una red natural de drenaje superficial, lo que ha motivado la construcción de numerosas zanjas de drenaje poco profundas y de distribución anárquica. Desde el punto de vista hidrogeológico y del alcance de esta publicación interesa el comportamiento hidrodinámico de la zona no saturada (ZNS) y de los niveles acuíferos someros alojados en los sedimentos de la Formación Maldonado. El nivel arenoso basal, aunque de escaso espesor, denota condiciones de buena permeabilidad, mientras que hacia el techo la misma disminuye significativamente debido a la presencia de ar-

cillas. Se citan transmisividades de $50 \text{ m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ y porosidades efectivas de 0,1 en la sección inferior disminuyendo hacia la superficie a 0,04 y permeabilidades de entre 0,1 y $1,5 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$ o sea valores que varían desde bajas permeabilidades en los materiales arcillosos superiores hasta valores medios en los niveles basales más arenosos (Bonorino y Sala, 1983). Sin embargo, desde el punto de vista del funcionamiento global se pueden considerar como un sistema continuo de transmisión de agua.

Régimen hidráulico

Si bien, el balance hidrológico modular anual simplificado del área considerando la precipitación anual media (período 1956-1985) de 594 mm y una evapotranspiración potencial de 771 mm, aparece como deficitario (Carrica, 1998), los registros de las oscilaciones del nivel freático ponen en evidencia la existencia de un importante tasa de recarga distribuida durante casi todo el año. La mayor parte de este volumen de agua vuelve a la atmósfera por evapotranspiración, mientras que el resto conforma el escurrimiento subterráneo hacia el estuario, situación que evidencia un claro predominio de los movimientos hídricos verticales del agua, favorecidos por un relieve casi sin pendiente, bajos gradientes hidráulicos y la presencia de un acuífero freático a escasa profundidad (Bonorino y Sala, 1983).

El funcionamiento hidrológico del sistema no solo depende de la capacidad evaporante de la atmósfera y del escaso espesor de la ZNS, entre 0 y 5 m según la topografía y la época del año, sino además de la presencia de arcillas que facilita el proceso de transferencia de agua desde la capa freática por ascenso capilar, potenciando la evapotranspiración.

La recarga se produce, en mayor o menor medida, en toda el área; mientras que los lugares topográficamente bajos constituyen zonas de descarga local del acuífero freático. Estos sectores permanecen frecuentemente anegados durante el otoño e invierno (estación

húmeda del año hidrológico); mientras que en verano (estación seca) las pérdidas por evapotranspiración se traducen en un descenso de los niveles freáticos y un desecamiento del suelo dejando en superficie eflorescencias salinas claramente visibles.

Los mapas de flujo construidos hasta el presente (Bonorino y Sala, 1983; Sala *et al.*, 1985; OSBA, 1991; Carrica *et al.*, 2003) permiten corroborar lo antedicho observándose un flujo local que escurre de las zonas más altas a las más bajas, donde se verifica la descarga. La superficie freática presenta una tendencia natural a ser plana con muy bajo gradiente hidráulico, pero ha sido notoriamente transformada, por acción antrópica, en una capa radial con presencia localizada de domos de flujo divergente que se corresponden con zonas de recarga natural ó inducida y vaguadas con líneas de flujo convergente en las zonas con predominio de la descarga.

RESULTADOS

Conceptualmente los términos del balance hidrológico general del área para un período de tiempo determinado son la precipitación (P) y el escurrimiento subterráneo afluyente desde el norte del área (Qse) como ingresos de agua al sistema y como egresos la interceptación vegetal (I) que luego se evapora, la evapotranspiración real desde el suelo (ETR), el escurrimiento superficial a través de las zanjas de drenaje (Es) y el escurrimiento subterráneo (Qss), estos dos últimos hacia el mar. Las variaciones del almacenamiento de agua (ΔS) ocurren tanto en el suelo como en el acuífero y son la causa, cuando resultan positivos, de los encharcamientos temporarios de los sectores bajos. La ecuación general de balance resulta:

$$P + Q_{se} - I - ETR - E_s - Q_{ss} = +/- \Delta S$$

Los términos Qse y Es son numéricamente muy pequeños en relación con las compo-

nentes principales P y ETR (Bonorino y Sala, 1983), por lo que el primero de ellos (Qse) se ha despreciado para el cálculo de balance diario mediante Visual Balan V.1.0 y el segundo (Es) se ha determinado por defecto a través de las iteraciones del mismo programa. Los parámetros y procedimientos de cálculo utilizados como entrada para los mencionados programas se sintetizan en la Tabla 1. En el programa Balshort V.3 la interceptación vegetal (I) es una función lineal limitada a 5 mm diarios en base al concepto de que ésta alcanza un valor final constante que depende de la capacidad de almacenamiento del dosel vegetal y es independiente de la cantidad de lluvia caída (Linsley *et al.*, 1982; López y Giráldez, 1997; Carrica y Lexow, 2002).

La reserva de agua útil del suelo de 180 mm, se calculó sobre la base de la composición litológica y el espesor del suelo (Fuertes y Cruz, 1990; en Samper *et al.*, 1999), la conductividad hidráulica vertical (Kv) del suelo se estimó en base a los resultados de ensayos de infiltración con doble anillo o método de Muntz realizados en 1985 por la UNS y la Kv de la ZNS mediante ensayos en calicatas (Trevisán, 1983).

Los coeficientes de agotamiento (α_h), de percolación (α_p) se calcularon a partir de Kv (suelo) = 0,1 m.d⁻¹, y una Kv (ZNS) = 100 mm.d⁻¹ respectivamente, mientras que la descarga subterránea a la ría y las oscilaciones del nivel freático considerando un coeficiente de almacenamiento del acuífero (S_y) de 0,05 y de agotamiento (α_a) estimado empíricamente a partir de las características hidrogeológicas del acuífero. Este último, fue utilizado como variable de ajuste para la calibración de la salida piezométrica del Visual Balan al ser contrastada con las oscilaciones del nivel freático en los freatogramas reales del período 1982-1983.

El análisis de las fluctuaciones del nivel freático (WTF) constituye, bajo ciertas condiciones, un método idóneo para el cálculo de la recarga (Lerner *et al.*, 1990; Simmers, 1997; Scanlon *et al.*, 2002). En el área de estudio, el tiempo máximo de respuesta entre la lluvia y el pico del freatograma -lag- es de 5 días (Δt). La recarga (R) se calculó para cada pico según la relación: $R = S_y \Delta h / \Delta t$ utilizando el S_y estimado en cada piezómetro de acuerdo a la litología puntual del acuífero y a deter-

Tabla 1. Parámetros de ingreso - Programas Visual Balan V.1.0 y Balshort V.3⁽¹⁾

PARÁMETRO	VALOR O MÉTODO DE RESOLUCIÓN
Interceptación vegetal (I)	Método de Horton, pastos, 50% cobertura ⁽¹⁾
ETP	Penman Monteith ⁽¹⁾
ETR/ETP	Penman-Grindley / textura limosa ⁽¹⁾
Reserva de agua útil	180 mm ⁽¹⁾
K _v (Suelo)	5,0 x 10 ⁻⁴ cm.s ⁻¹
Escorrentía superficial	Método Número de Curva, N = 60
Recarga en tránsito diferida	Curva logística
Porosidad total del suelo	0,5 ^(*)
α_h	1 x 10 ⁻³ d ⁻¹
K _v (Zona No Saturada)	100 mm.d ⁻¹ ^(**)
α_p	1 d ⁻¹
S _y	0,05 ^(*)
α_a	8,4 x 10 ⁻⁴ d ⁻¹

minados valores de porosidad obtenidos en laboratorio (Trevisán, 1983). En todos los casos, los valores de S_y utilizados para la parte superior del acuífero varían entre 0,04 y 0,07. El método WTF se aplicó conforme las pautas y sugerencias señaladas por Healy y Cook (2002) utilizando 6 freatigramas correspondientes a los piezómetros MBB-1, 2, 6, 7, 8, y 9 que son los más representativos del área de estudio (Fig. 2). La recarga promedio calculada a partir de los freatigramas fue, para el año 1982, de 94,2 mm (11,5 % de la P) y para el año 1983 de 118,9 mm (17,8 % de la P). El resultado anual medio de la recarga se presenta comparativamente junto con los obtenidos por los programas de balance hidrológico para distintos lapsos en la Tabla 2.

En cuanto a éstos últimos, los excesos de agua del suelo (EX) calculados por Balshort V.3 permiten estimar la recarga a partir de: $R = EX - Ed$, siendo Ed el escurrimiento superficial o escorrentía que se considera, como ya se mencionara, muy pequeño con relación a la magnitud de las otras componentes. El valor de escorrentía estimado por Visual Balan V.1.0 (Tabla 2), corrobora lo antedicho. La variación de almacenamiento en el suelo consignada en la tabla es la correspondiente al total del período, sin promediar.

Los valores de la recarga calculados por los tres métodos para el bienio 1982-1983 son similares, lo cual disminuye la incertidumbre del resultado. La Figura 3 muestra las fluctuaciones piezométricas generadas por el programa Visual Balan V.1.0 para dicho período y los valores reales del nivel freático del piezómetro tipo (MBB 8) del área de estudio, denotando un aceptable ajuste entre los valores estimados y medidos.

Para el lustro 1979-1983 los dos programas (Visual Balan V.1.0 y Balshort V.3) brindan resultados anuales equivalentes y similares a los obtenidos con el método WTF (Tabla 2). Sin embargo, si se analizan los valores de humedad edáfica obtenidos por los mencionados programas a escala diaria, se observan diferencias de importancia, en general en VB V.1.0 por exceso, cuando el suelo está bien provisto de agua, o por defecto, especialmente cuando el suelo está seco. Esta situación ya señalada en varios suelos de la zona (Carrica 1993, Carrica *et al.*, 1998, Carrica y Lexow, 2002 y 2004) indujo a asumir como representativos los valores diarios calculados por el programa Balshort V.3 (Fig. 4). En este último gráfico se observa que los menores contenidos de humedad edáfica se produjeron a fines de octubre de 1981, con un mínimo absoluto de 26,8 mm el día 26. El período de sequía edáfica continuó hasta principios de febrero de 1982, sincrónicamente con las denuncias de agrietamiento y roturas de viviendas.

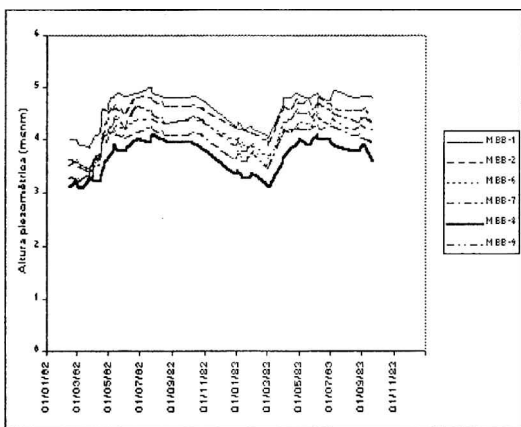


Figura 2. Freatigramas correspondientes a los piezómetros MBB

CONCLUSIONES

Los programas computarizados de balance hidrológico Visual Balan V.1.0 y Balshort V.3 aplicados al área de estudio brindan resultados similares y compatibles con la recarga calculada por el método de fluctuaciones del nivel freático. De esta forma, los resultados de humedad en el suelo calculados por el programa Balshort V.3 pueden asumirse como valores calibrados. Conforme este procedi-

Tabla 2. Resultados anuales medios (mm) de los balances hidrológicos según Visual Balan V.1.0 y Balshort V.3 y el método WTF para distintos períodos

Parámetros	V. Balan 1982-1983	Balshort 1982-1983	WTF 1982-1983	V. Balan 1979-1983	Balshort 1979-1983
Precipitación	745	745	745	633	633
ETP	1288	1288	-	1272	1272
Intercepción	16,3	19,5	-	14,0	17,4
ETR	632,9	626,7	-	554,4	560,8
Escurrentía	0,6	-	-	1,8	-
Flujo hipodérmico	0	-	-	0	-
Flujo subterráneo	104	-	-	75,2	-
Recarga	112,8	-	106,5	74,5	-
Exceso en el suelo	-	109,1	-	-	70
ΔS del suelo (total)	-	+ 18,6	-	-	+ 11,6

miento, los contenidos mínimos de agua en el suelo estimados por dicho programa en el período 1979-1983, ocurrieron a fines de octubre de 1981, con un mínimo absoluto de 26,8 mm el día 26. El período de sequía edáfica continuó hasta principios de febrero de 1982 coincidentemente con las denuncias de agrietamiento y roturas de viviendas.

Los resultados obtenidos permiten ratificar cuantitativamente las deducciones cualitativas realizadas por Bonorino y Sala (1983) y Fidalgo (1983) en cuanto a que la falta de humedad natural de los suelos arcillosos ha sido la causa

del agrietamiento de las edificaciones de Ingeniero White.

En síntesis, la magnitud y ocurrencia de las componentes que intervienen en el balance hidrológico del suelo provoca una alternancia de estados de humectación y desecamiento más o menos rápidos y consecuentemente procesos de expansión y contracción en los niveles arcillosos que componen la porción superior del acuífero y la zona no saturada. Este proceso natural provoca asentamientos diferenciales del suelo e inestabilidad en las cimentaciones que se traducen en agrietamientos y roturas de las fundaciones no adecuadas para este tipo de terrenos como lo

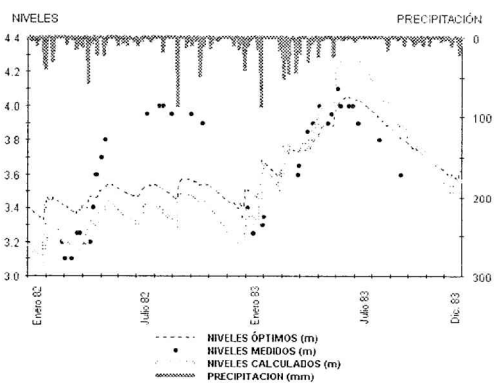


Figura 3. Fluctuaciones piezométricas calculadas por Visual Balan V.1.0 y valores del nivel freático del piezómetro MBB 8

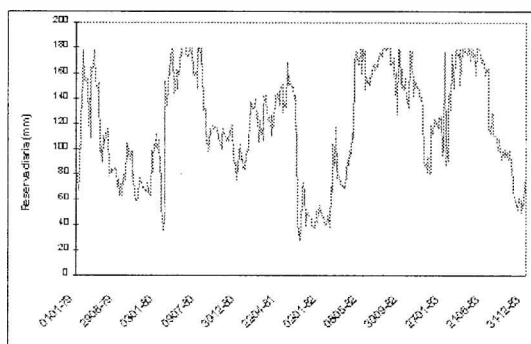


Figura 4. Variaciones de humedad edáfica según el programa Balshort V.3

son la mayoría de las viviendas asentadas sobre el área de Ingeniero White.

REFERENCIAS

- Bonorino A. G. y J. M. Sala. 1983. Geohidrología. En Comisión de estudio Suelos White-Cerri. Informe final. MOP de la Provincia de Buenos Aires. La Plata (inédito).
- Caló, J., E Fernández y H. Aldacour. 1996. La influencia de la geología y el medio ambiente en el deterioro de viviendas en Ingeniero White (Bahía Blanca, Prov. de Bs. As.). Actas Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería. X: 61-72.
- Carrica, J.C., 1993. Balshort: Un programa de balance hidrológico diario del suelo aplicado a la región sudoccidental pampeana. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos, (4): 243-248. Mendoza.
- Carrica, J. C., 1998. Hidrogeología de la cuenca del Arroyo Napostá Grande, Provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. Argentina. 215 p. y anexos. (Inédita).
- Carrica J. C. Lexow, G. Bonorino e I. Mormenco, 1998. Aplicación del programa Balshort para el cálculo del balance hidrológico del suelo en parcelas experimentales (Cuenca del Arroyo del Aguila, provincia de Buenos Aires, Argentina). 4to. Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea. Montevideo. Uruguay. Actas (3): 1343-1353.
- Carrica, J.C. y C. Lexow. 2002. Estimación de la recarga natural al acuífero de la cuenca superior del Arroyo Napostá Grande, Argentina. XXXII Congreso Internacional de IAH y IV de ALSHUD. Mar del Plata. Resúmenes, 129 p. Texto completo en CD.
- Carrica, J.C. y C. Lexow. 2004. "Evaluación de la recarga natural al acuífero freático de la cuenca superior del A° Napostá Grande, Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina. 59 N° 2 (281-290). Buenos Aires.
- Carrica, J.C., E.R. Albouy y A.G. Bonorino. 2003. Modificaciones hidrodinámicas en efa cuífero costero del área industrial de Bahía Blanca. III Congreso Argentino de Hidrogeología y I Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de hidrología subterránea. (1): 113-122.
- Custodio, E., 1997. Recarga de acuíferos: Aspectos generales sobre el proceso, la evaluación y la incertidumbre. En: La evaluación de la recarga a los acuíferos en la Planificación Hidrológica. AIH-GE, p. 19-39. Las Palmas de Gran Canaria.
- FAO, 1993. CropWat. Riego y Drenaje Nro. 46. 215 p.
- Fidalgo, F., F.O. de Francesco y R. Pascual. 1975. Geología superficial de la llanura bonaerense. VI Congreso Geológico Argentino. Bahía Blanca. Relatorio: 103-138.
- Fidalgo, F. 1983. Geología y geomorfología del área White-Cerri y los alrededores de Bahía Blanca. Comisión Estudio Suelos White-Cerri. MOP de la provincia de Bs. As. Informe Final (inédito). La Plata.
- Healy, R.W. and P.G. Cook. 2002. Using groundwater levels to estimate recharge. Hydrogeology Journal, 10(1): 91-109.
- Lerner, D.N., A.S. Issar and I. Simmers. 1990. Groundwater recharge. A guide to understanding and estimating natural recharge. International contributions to hydrogeology. Vol. 8. IAH, Heisse, Hannover, 345 p.
- Linsley, R., M. Kohler and J. Paulhus. 1982. Hidrology for engineers. McGraw Hill. N.Y. 389 p.
- López Rodríguez, J.J. y J.V. Giráldez Cervera. 1997. Evaluación de la modificación de la recarga por cambios en la cobertura vegetal. En: La evaluación de la recarga a los acuíferos en la Planificación Hidrológica. AIH-GE, p. 209-227. Las Palmas de Gran Canaria.
- OSBA, 1991. Polo Petroquímico Bahía Blanca - Monitoreo de agua subterránea. Mapa No. 4, Equipotenciales. (Inédito) La Plata.
- Travisán, S., 1983. Getotecnia. Comisión Estudio de Suelos White-Cerri. MOP de la Provincia de Buenos Aires. Informe final (inédito). La Plata.
- Sala J.M., A.G. Bonorino y J.C. Carrica. 1985. Aspectos hidroquímicos del acuífero libre en los alrededores de Ing. White, provincia de Buenos Aires. Primeras Jornadas Geológicas Bonaerenses. Tandil. Actas: 505-529.
- Samper, J., 1997. Métodos de la evaluación de la recarga por la lluvia por balance de agua:

- Utilización, calibración y errores. En: La evaluación de la recarga a los acuíferos en la Planificación Hidrológica. AIH-GE, p. 41-81. Las Palmas de Gran Canaria.
- Samper, J., Ll. Huguet, J. Ares y M.A. García-Vera. 1999. Programa Visual Balan V.1.0. Código interactivo para la realización de balances hidrológicos. Universidad de la Coruña. 124 p. España.
- Scanlon, B.R., R.W. Healy and P.G. Cook. 2002. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. *Hydrogeology Journal*, 10: 18-39.
- Simmers, I., 1997. Groundwater recharge principles, problems and developments. In: Recharge of phreatic aquifers in (Semi-) arid areas. IAH, A.A. Balkema / Rotterdam / Brookfield, (19): 1-18.