

ESTUDIOS HIDROGEOLOGICOS PARA LA ESTABILIZACION DE DESLIZAMIENTOS DE BARRANCAS EN LA CIUDAD DE DIAMANTE. PROVINCIA DE ENTRE RIOS. ARGENTINA.

Fili, M.F.⁽¹⁾; Dalla Costa, O.A.⁽¹⁾; Diaz, E.L.⁽¹⁾ y Giorgio, E.⁽²⁾

⁽¹⁾ PROINSA. Proyectos de Ingeniería S.A.

Dorrego 3187 - (3000) Santa Fe - Tel/fax: +54-342-4552526

E-mail: proinsa@gigared.com

⁽²⁾ PROTUNEL S.A. Tunelería Inteligente

von Wermicke 3038 - (1642) San Isidro. Bs. As. Tel/FAX: +54-11-47353900

E-mail: protunel@ferromet.com.ar

RESUMEN

Los estudios hidrogeológicos se orientaron a determinar la incidencia de las aguas subterráneas en los procesos de deslizamientos de las barrancas sobre el Río Paraná en la ciudad de Diamante, Provincia de Entre Ríos, para lo cual se analizaron las características de las formaciones involucradas y la dinámica de las aguas subterráneas.

Con el propósito de identificar las capas acuíferas que pueden incidir en los procesos geotécnicos se realizó un censo de pozos y perforaciones, análisis físico-químicos, ejecución de 5 perforaciones y perfilajes geofísicos mediante sondas eléctricas, SP, gamma natural y neutrónica, y ensayos de infiltración en piezómetros construidos al efecto y ensayos por bombeo.

Teniendo en cuenta las características constitutivas de la columna hidrogeológica, las características hidráulicas de las formaciones y el comportamiento de los drenes existentes, se ha efectuado el diseño de un sistema de drenes horizontales y verticales prototipo, su construcción para interceptar el flujo subterráneo y su descarga en la zona de barrancas y el monitoreo durante un período de seis meses.

Los resultados muestran la eficiencia del funcionamiento del sistema de drenes horizontales para deprimir la carga de la unidad geotécnica superior sobre las arcillas afectadas en el proceso del deslizamiento.

ABSTRACT

Hydrogeological studies were carried out to determine the groundwater effects over the landslide process on the margins of the Paraná River at the Diamante City, Entre Ríos Province. For this reason the involved formation characteristics and the groundwater dynamics were analyzed. Besides, the field checking results of the proposed system based on horizontal drains are presented.

The aquifer layers identification that could affect the geotechnical process was based on a inventory of borehole and well. Chemical analysis, construction of 5 boreholes and geophysical logging using electrical, SP and radioactive probes were performed. Also, infiltration and pumping tests, in selected wells, were evaluated.

The hydraulic relation between the aquifer unity (UG 6) and the potential aquifer (UG 4), with the landslides are clearly demonstrated. A prototype design of a vertical and horizontal drains were calculated, it is included the construction and monitoring during a six months period to evaluate the groundwater flow interception. The interception of water and the groundwater depletion are presented during the construction and operation period. The horizontal drain system efficiency by the discharge of each drain, and the depletion of the hydraulic levels in the upper piezometers over the clays affected by the landslides are evaluated.

Keywords: landslides, drainage, groundwater monitoring, groundwater exploration

INTRODUCCION

Los estudios hidrogeológicos que se desarrollaron se orientaron a determinar la incidencia de las aguas subterráneas en los procesos de deslizamientos de las barrancas en la ciudad de Diamante, Provincia de Entre Ríos, y el diseño y control de funcionamiento de un sistema de drenes para eliminar los excesos. Para ello se analizaron las características de las formaciones involucradas y la dinámica de las aguas subterráneas, Figura 1.



Figura 1. Area de estudio

OBJETIVOS

La investigación fue dirigida a profundizar el conocimiento de las causas de los deslizamientos y mecanismos de falla de las barrancas, así como la forma y estructura del cuerpo deslizado para optimizar el proyecto de las obras de estabilización de las mismas, para ello se planteó en etapas:

- a) la caracterización de la situación geológica-geotécnica de la zona costera de la ciudad de Diamante
- b) realización de investigaciones hidrogeológicas con el objeto de proveer parámetros de diseño de las alternativas de solución.
- c) evaluar las alternativas de funcionamiento de los sistemas propuestos.

METODOLOGIA

Geología del área

Como marco de referencia al tratamiento de las unidades que componen la columna hidrogeológica, se describen brevemente las

unidades litoestratigráficas que se han identificado para la secuencia sedimentaria aflorante en las barrancas del Río Paraná en la zona de Diamante, de acuerdo a Fili et al (1995).

Formación Paraná (Mioceno Superior)

Esta unidad de origen marino está constituida en su parte superior y media por bancos de calcáreos fosilíferos, arcillas verdes y arenas grises, finas y medianas, en partes con restos de bivalvos.

Las perforaciones realizadas en Diamante penetran en esta Formación a cotas que varían pocos metros por encima de 20 m (IGM) y al hacerlo, en algunos casos lo hacen en arcillas verdes, en calcáreos arenosos o arenas grises arcillosas. La parte superior presenta una capa acuífera de espesor variable pero poco potente (2 o 3 metros) y su localización en profundidad también es variable, debido a la heterogeneidad que presenta la Formación. Generalmente por debajo de cota 10 m la unidad es predominantemente arenosa, constituyendo el acuífero principal de la región.

La base de la Formación está constituida por arcillas de extensión regional y es comúnmente identificada como "arcilla azul" en los perfiles de las perforaciones más profundas.

Formación Alvear (Pleistoceno)

Fili et al (1995) han designado formalmente bajo este nombre a los calcáreos tabicados que sobreyacen aquí a la Formación Paraná y más al norte, entre las ciudades de Paraná y La Paz, a la Formación Ituzaingó. Hacia el sur se extiende hasta la entrada del arroyo Nogoyá en el delta. Entre los tabiques de tosca incluye limos arcillosos castaños y verdosos con manchas de manganeso. Suele formar bancos compactos y muy duros; en las perforaciones realizadas en la región se la conoce vulgarmente como "piedra mora".

Grupo Punta Gorda (Pleistoceno)

Fili et al (1995) agrupan aquí a las unidades del "Pampeano" que se depositaron "antes de establecerse la actual red de drenaje". La unidad descripta precedentemente integra la base del grupo y se le superponen arcillas grises verdosas y rojizas, en partes limoarenosas, con abundante

contenido de calcáreo. La parte superior del grupo equivale a lo que al norte de la ciudad de Paraná se conoce como Formación Hernandarias. En la zona de Diamante no se ha detectado presencia de bancos yesíferos en estos sedimentos como es frecuente en la Formación Hernandarias.

Formación Tezanos Pinto (Pleistoceno Superior)

Esta designación formal (Fili et al, 1995) comprende a los loess que coronan la parte superior de las barrancas del Paraná. Comprende lo que en el informe de Anteproyecto fue denominada como Unidad Geotécnica 1 (UG1).

Hidrogeología

La cubierta superficial está compuesta por loess y limos loessoides, con concreciones calcáreas, que en la literatura geológica se han designado formalmente como Formación Tezanos Pinto (Pleistoceno Superior). Constituye lo que en el Estudio de Anteproyecto se designa como Unidad Geotécnica 1. Por sus características permite la rápida infiltración de las aguas pluviales en las áreas de topografía más llana.

Tanto en pozos "de balde" de la zona rural, como en proximidad de las barrancas se ha podido constatar que esta unidad presenta niveles saturados que constituyen un acuífero freático que en las barrancas se observan algunos sitios de descarga.

La base "impermeable" para este primer horizonte acuífero la constituye, regionalmente, la capa de arcillas rojizas y limos con capas de tosca en la base, que en el Anteproyecto está representada por las unidades UG 2 y UG 3.

Descripción de los trabajos realizados

Recopilación y procesamiento de información antecedente

Se recopilaron las perforaciones realizadas por la ex Dirección Nacional de Geología y Minería de la Nación y por Obras Sanitarias de la Provincia; análisis químicos provenientes de los organismos citados; se obtuvieron y procesaron datos climatológicos de las estaciones meteorológicas más próximas a Diamante, con registros de precipitación representativos de la zona de estudio.

Censo de Pozos y Perforaciones.

Con los propósitos de identificar las capas acuíferas que pueden incidir en los procesos que afectan a la estabilidad de las barrancas, analizar la dinámica del flujo subterráneo y tomar muestras de agua para el estudio de la hidrogeoquímica, se realizó un censo de pozos y perforaciones.

Se censaron 23 captaciones en el área delimitada al norte por el Arroyo de la Ensenada, al este por la ruta Provincial N° 11 y al sur por el límite de la zona urbana; se midió la profundidad del agua subterránea en molinos y perforaciones en el área rural próxima a la zona de estudio y se obtuvo información hidrológica de las perforaciones en el área urbana; se tomaron 8 muestras para efectuar análisis químicos.

Determinación de parámetros hidroquímicos

Como complemento de la información hidroquímica antecedente, se realizaron 9 análisis físico químicos con determinación de los siguientes parámetros: pH; Dureza; Alcalinidad; Conductividad; Sales Totales Disueltas; Bicarbonatos; Sulfatos; Cloruros; Sodio; Potasio; Calcio; Magnesio y Nitratos.

Ocho muestras corresponden a captaciones censadas y una fue tomada de uno de los piezómetros realizado a la unidad geotécnica 4 (UG4). Los análisis fueron procesados mediante el software PLOTCHER (TECSOFT INC 1997).

Ejecución de Perforaciones

Se ejecutaron 5 perforaciones con el objeto de diseñar y construir un dren tipo y evaluar su eficiencia.

Para ello se construyó un freatómetro que monitoree los niveles de la UG3, un piezómetro a los niveles de la UG4, un Dren que conecta los acuíferos freático (UG3) y semiconfinado (UG4) con el acuífero relacionado al río (UG6) con una profundidad total de 54 metros.

El dren se realizó a rotación con aditivo biodegradable en diámetro 17", encamisada en 5", colocando frente a la UG6 filtro de ranura continua de 0.5 mm de abertura y de 3 metros de longitud.

Frente a la UG4 un tramo de 6 metros de filtro de 5" perforado con orificios de 5 mm, frente a la UG3 6 metros de filtro perforado con orificios de 5 mm, y (se le colocó) canto rodado de 3 a 10 mm en el espacio anular entre filtros y las formaciones. Para evaluar el funcionamiento y la eficiencia se construyó un piezómetro que monitoreó los niveles de la UG4 y otro a los niveles de la UG6.

Todas las perforaciones se perfilaron mediante sondas eléctricas (normal de corto y largo espaciado), potencial espontáneo y radioactivas (gamma natural y neutrónica).

Con el objeto de determinar las características hidráulicas de las formaciones geotécnicas UG4 y UG6, se realizaron ensayos de infiltración en piezómetros construidos al efecto. Los métodos de infiltración en sondeos consisten básicamente en llenar de agua el entubamiento de una perforación y registrar los descensos en función del tiempo (velocidad de infiltración). Para determinar la conductividad hidráulica se aplicó la metodología del "pozo inverso" y se procesó mediante el método de Porchet. A estos datos se les efectuó tratamiento estadístico. En los piezómetros a la UG4, también se realizaron ensayos por bombeo.

Para la interpretación de los ensayos por bombeo se aplicaron los métodos de "Recuperación de Theis", Theis (1935) y el método propuesto por David C. Schafer para analizar ensayos por bombeo en formaciones de bajo rendimiento (en Edward E. Johnson, 1966). Mediante ambos métodos se determina la Transmisividad del acuífero.

Esquema Hidrogeológico

Como marco general de referencia a los estudios, se realiza el análisis de la columna hidrogeológica en el área del proyecto. Se toma la sección superior de la secuencia sedimentaria, a partir de la parte superior de la barranca hasta penetrar en el techo de las arenas, identificadas como Unidad Geotécnica 6 (UG 6), que infrayacen a las arcillas verdes "estrato arcilloso".

En base a la descripción de la "Perforación N° 3 en Puerto Diamante" cuya columna se ha adaptado a las unidades geotécnicas, se presenta el esquema hidrogeológico de la Tabla N° 1. Este esquema ha sido validado mediante la realización

de las perforaciones de estudio.

Dentro de la secuencia descripta, la unidad definidamente acuífera es la denominada UG 6. Esta capa acuífera está intercalada en las arcillas de la Formación Paraná; regionalmente, en sus primeros metros presenta arenas sucias, con importante porcentaje de finos. En el Anteproyecto Sanguinetti, 1995, planteó la posibilidad de drenar hacia esta capa el agua que circularía por las arenas de la UG 4.

Hidrogeología del Cuerpo Deslizado

Otras condiciones hidrogeológicas se presentan en el cuerpo deslizado. Estas varían significativamente en distintos sectores del área de estudio, con diverso grado de complejidad, propios de la constitución y movilidad de los depósitos.

TABLA N° 1. Esquema Hidrogeológico

Cota	Esp.	U.G.	Descripción
61.5	hasta 13 m	1	Loess y limos loésicos. Acuífero de bajo rendimiento
50.0	hasta 11 m	2	Arcillas castaño rojizo. Acuitardo a acuícludo
40.0	hasta 14 m	3	Limos arcillosos gris verdoso. Acuitardo
27.0	hasta 5 m	4	Arenas muy finas, pulverulentas - Acuífero semiconfinado
24.0	hasta 13 m	5	Arcillas verdes de alta plasticidad - Acuícludo
12.0	> 10 m	6	Arenas densas de la Fm Paraná-Acuífero

En esencia la causa del inicio de la inestabilidad y posteriores deslizamientos se deben a la degradación de los parámetros resistentes del estrato arcilloso UG 5 por humectación de su techo mediante agua que llega desde niveles superiores. Los mecanismos de falla se originan pues concurren varios factores para la concreción de ruptura y deslizamiento (PROINSA, 1999):

- forma y altura de los taludes naturales
- disposición de los estratos geológicos subhorizontales o levemente inclinados hacia el río

- factores climáticos, fundamentalmente lluvias en la cuenca.
- Presencia de agua en las barrancas
- Factores antrópicos.

Los estudios realizados demuestran que no existe vinculación de los deslizamientos de barranca con la dinámica del Río Paraná.

Las Figuras 2.a, 2.b, 2.c y 2.d muestran este mecanismo de falla.

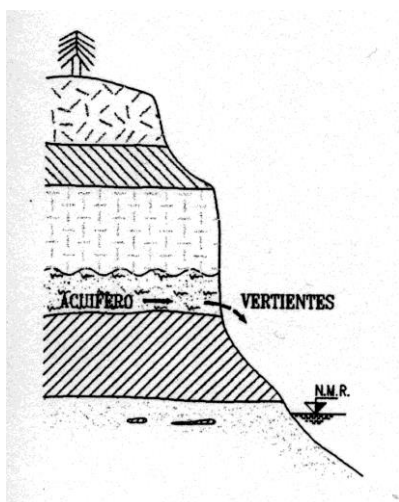


Figura 2.a. Etapa 1 del deslizamiento

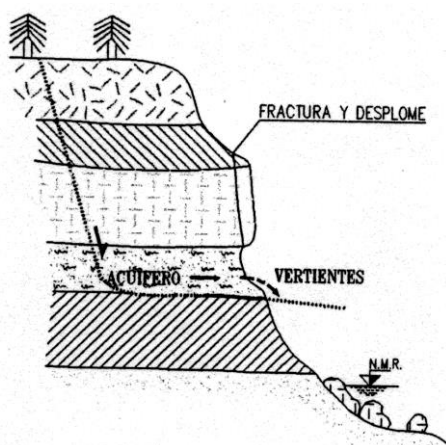


Figura 2.b. Etapa 2 del deslizamiento

Características hidrodinámicas del agua subterránea

Sobre la base de la información consignada en los perfiles de las perforaciones así como la registrada durante el censo de pozos y perforaciones, se ha constatado que la columna

hidrogeológica presenta 3 niveles acuíferos.

El primer nivel acuífero está constituido por la capa freática alojada en los loess. Se encuentra a profundidades inferiores a los 5 metros y su comportamiento hidrodinámico está directamente condicionado por la morfología de la superficie topográfica, es decir que el sentido del escurrimiento acompaña a ésta; los niveles más altos se encuentran en las lomas y la descarga se produce en los cursos que disectan la región penetrando con sus cárcavas en las arcillas que les subyace.

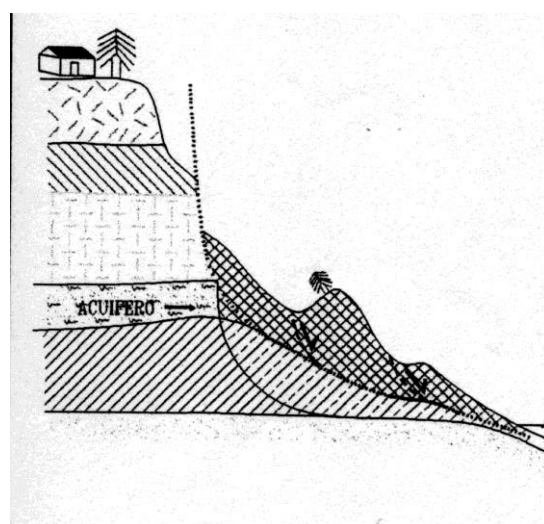


Figura 2.c. Etapa 3 del deslizamiento

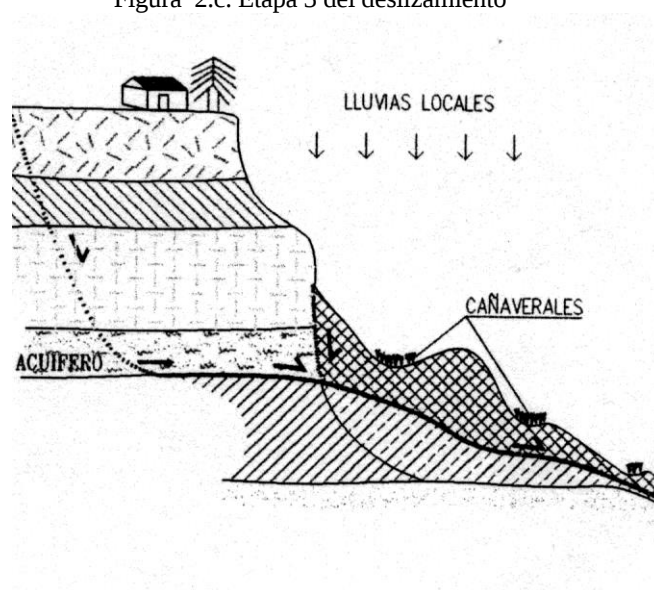


Figura 2.d. Etapa 4 del deslizamiento

La segunda capa acuífera se encuentra por lo general inmediatamente por debajo de los calcáreos tabicados. También en este caso el escurrimiento subterráneo está influenciado por la topografía y

los valles de algunos arroyos, como el Marincho, son las áreas de descarga de este nivel.

La captación de esta capa acuífera se hace normalmente mediante molinos o bombeadores eléctricos pequeños. Dado que las alturas topográficas varían mucho en cortas distancias, la profundidad a la zona de saturación lo hace consecuentemente; en las lomas están los niveles más elevados pero, dada la heterogeneidad del medio, no hay una correspondencia proporcional entre la superficie topográfica y la piezométrica.

La tercera capa corresponde al acuífero principal al que solamente han accedido las perforaciones más profundas realizadas para abastecimiento de agua a Diamante y Strobel.

El techo del acuífero profundo se encuentra aproximadamente a cota 10 y está directamente vinculado al río. Si bien el sentido regional del escurrimiento subterráneo tiene como área de descarga al valle del Paraná, la explotación concentrada en la ciudad de Diamante, con 6 pozos en producción y un caudal de extracción del orden de los 520 m³/h, hace que los niveles dinámicos lleguen a invertir localmente el flujo induciendo el ingreso de agua desde el río.

Características Hidroquímicas

Todas las aguas son de salinidad media a baja, y de tipo bicarbonatado sódico.

Estudios hidrogeológicos.

Perforaciones de Estudio

Las perforaciones de estudio realizadas permiten determinar con precisión la conformación de la columna hidrogeológica que se describió precedentemente sobre la base de la perforación realizada por la ex Dirección Nacional de Minería, cuya ubicación no se conoce con precisión pero que, de acuerdo a las coincidencias con estas, debe haberse hecho en las proximidades.

La parte superior de la columna (UG3) aloja una capa acuífera libre con 10,5 metros de espesor saturado. La parte intermedia (UG4) contiene el acuífero semiconfinado y la parte inferior al acuífero confinado (UG6).

Perfilaje Múltiple de Pozos

Los resultados obtenidos en el pozo de estudio para el DREN prototipo a partir de los registros de Potencial Espontáneo, Neutrónica, y las resistivas normales de corto y largo espaciado permiten alcanzar las siguientes conclusiones:

- Las curvas resistivas y potencial espontáneo permiten determinar la secuencia litológica a lo largo del perfil hasta los 56.50 metros de profundidad. La secuencia determinada es la siguiente:

- La curva neutrónica permite determinar un índice relativo de la porosidad de la formación (dado que el sondeo se encontraba lleno de líquido de inyección desde los 1.60 metros de profundidad).

- Los resultados obtenidos en el piezómetro a la UG6 a partir de los registros de Potencial Espontáneo, Neutrónica, Gamma Natural y las resistivas normales de corto y largo espaciado permiten alcanzar las siguientes conclusiones:

- La curva neutrónica fue corrida en el Piezómetro de la UG4 ubicado a menos de 4 metros del piezómetro a la UG6, permite determinar un índice relativo de la porosidad de la formación (dado que el sondeo se encontraba lleno de líquido de inyección desde los 1.60 metros de profundidad).

Características Texturales de las UG4 y UG6

*** Unidad Geotécnica 4**

A pesar de tener un elevado pasante de Tamiz #200 (hasta del 90%) el correspondiente el Tamiz #230, en algunos casos retiene hasta un 60%. Ello implica la existencia de una importante fracción muy fina (pulvulentas), que le confieren una particular estratificación con características permeables a pesar de poseer cierto grado de plasticidad.

*** Unidad Geotécnica 6**

El análisis granulométrico de la perforación DPE-107 para los primeros 8-10 metros investigados indican que corresponden a arenas medianas a gruesas limpias a medianamente

limpias clasificando como SP ó SM-SP (entre 0.5 y 9.3 % de pasante Tamiz #200)

Características Hidráulicas de las unidades geotécnicas UG4 y UG6

Para la determinación de las características hidráulicas de la UG4 se realizaron ensayos de infiltración por el Método del Sondeo, y ensayos de bombeo registrándose la recuperación. Para la determinación de la conductividad hidráulica de la UG6 se hicieron ensayos de infiltración por el Método del Sondeo, Van Beers (1958).

Se efectuaron 13 análisis del Ensayo de Infiltración realizado en el Piezómetro a la UG4 próximo al Dren N° 7. La Tabla N° 2 resume los resultados obtenidos del parámetro para diferentes cargas.

Tabla N° 2. Resumen de las determinaciones UG4

Ensayo	Tramo [m]	Cond. Hidráulica	
		[m/día]	[cm/seg]
1	0.76 - 7.60	6.03	6.95x10 ⁻³
2	0.80 - 9.28	4.773	5.52 “
3	0.97 - 10.52	3.813	4.41 “
4	1.30 - 11.87	2.975	3.44 “
5	1.95 - 12.55	2.306	2.67 “
6	2.64 - 13.25	1.927	2.23 “
7	4.36 - 14.38	1.287	1.49 “
8	5.70 - 15.39	0.762	8.82 x 10 ⁻⁴
9	7.60 - 16.22	0.561	6.49 “
10	9.28 - 16.90	0.535	6.19 “
11	10.05 - 17.52	0.429	4.97 “
12	11.86 - 17.98	0.339	3.92 “
13	12.54 - 17.98	0.083	9.60 X 10 ⁻⁵

El ensayo se realizó en el tramo comprendido entre 36.05 y 38.68 metros de profundidad, dentro de la Unidad UG4. La conductividad hidráulica determinada es de 0.407 m/día ó 4.72E-04 cm/seg, mediante el método de Schafer.

Por este método para el mismo tramo los resultados obtenidos utilizando el ajuste de Theis-Jacob son:

$$T = 2.91 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{seg}$$

$$k = 7.87 \times 10^{-5} \text{ cm/seg}$$

Los resultados obtenidos de aplicar el método del sondeo (Van Beers op cit) en el

piezómetro a la UG6 próximo al Dren N° 7 se presentan en la Tabla N° 3.

CONSTRUCCIÓN Y ENSAYO DE DRENES

Diseño constructivo de un dren vertical

Teniendo en cuenta las características constitutivas de la columna hidrogeológica, las características hidráulicas de las formaciones y el comportamiento de los drenes existentes, se ha efectuado el diseño de un dren prototipo y su construcción. El dren se perforó en diámetro de 17” con aditivo biodegradable a los efectos de no alterar las características hidráulicas de las unidades atravesadas, alcanzando una profundidad de 54 metros, penetrando desde los 48 metros en arenas de la Formación Paraná.

Tabla N° 3. Resumen de las determinaciones UG6

Ensayo	Tramo [m]	Cond. Hidráulica	
		[m/día]	[cm/seg]
1	12.00-29.10	0.982	1.14 x10 ⁻³
2	26.90-32.30	0.145	1.68 x 10 ⁻⁴
3	27.42-33.70	0.107	1.24 x 10 ⁻⁴

Con el propósito de que el sistema funcione en forma eficiente drenando el agua contenida en las formaciones UG3 y UG4 hacia la UG6, se consideró que la captación debía estar constituida por dos elementos: un elemento filtrante principal constituido por un anillo de prefiltro relleno de canto rodado, con pared de 6”, un núcleo tubular compuesto por cañería de hierro de 5” de diámetro hasta la profundidad de 48 metros y un filtro galvanizado de 3 metros, tipo Johnson, de 4” con ranura continua y abertura 0,5 mm. La cañería de hierro tiene secciones filtrantes por perforación con diámetro de 5 mm, en coincidencia con la capa freática de la UG3 y con la UG4. La función del núcleo, además de su capacidad drenante, es de monitoreo y limpieza.

El prefiltro de material grueso permite que el agua circule por el espacio anular sin dificultades y no exista el problema de obstrucción con material fino. El núcleo con cañería metálica evita los problemas de aplastamiento, rotura o torcedura como ha ocurrido con los caños de PVC de los drenes existentes.

En la Figura N° 3 puede observarse la

variación en el tiempo de los Niveles Piezométricos y su relación con el techo y la base de la UG4. El acuífero, que trabaja en condiciones naturales como semiconfinado, tiene presión y el nivel piezométrico se encuentra, en este sitio, a 5.75 metros por encima del techo de la unidad UG4. Cuando comienza a funcionar el dren, se produce una rápida depresión (35 minutos) hasta alcanzar el techo de la unidad. A partir de allí el acuífero comienza a funcionar como “libre” en las proximidades del dren (1.98 metros); el gradiente de depresión en el tiempo disminuye significativamente y a los 390 minutos alcanza los 0.775 metros por debajo del techo del acuífero. El lento descenso es congruente con la muy baja conductividad hidráulica de la formación.

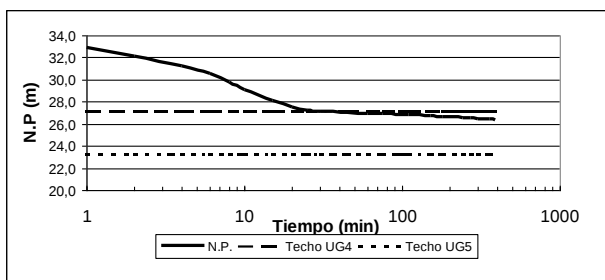


Figura 3. Funcionamiento Dren Vertical

Diseño constructivo de un sistema de drenes horizontales

Con el fin de monitorear el sistema propuesto se ejecutaron 4 piezómetros sobre barranca, denominados P1, P2, P3 y P4; 3 piezómetros de media ladera denominados PML1, PML2 y PML 3, respectivamente; 2 piezómetros a la UG6 denominados P30' y P31', y las perforaciones de drenaje vertical P30 y P31., Figura N° 4.

Las perforaciones ejecutadas fueron entubadas con cañería de PVC de 115 mm de diámetro y filtro de hierro galvanizado de una abertura de 0.5 mm y colocándole un prefiltro de grava seleccionada de 1 a 3 mm en el espacio anular entre el filtro y la pared de la perforación.

Para la construcción del sistema de drenes horizontales se utilizó una perforadora y se ejecutaron cuatro drenes horizontales desde media barranca, controlando que la perforación se desarrollara en el manto de la UG 4. Se instalaron 4 tipos constructivos de sistemas de filtro a los

efectos de comparar y seleccionar el método constructivo para el sistema definitivo-operativo a construir.

A medida de que las perforaciones se terminaban de construir y se colocaba el entubamiento definitivo comenzaron a medirse diariamente mediante la medición de la profundidad del nivel estático con respecto a la boca de pozo y las precipitaciones en un pluviómetro instalado al efecto en el área, la Figura 5 presenta los niveles potenciométricos de los piezómetros instalados y en diagrama de barras las precipitaciones. A partir de los 70 días de instalados los niveles se estabilizan y solo se ven afectados por lluvias locales intensas que rápidamente son drenadas.

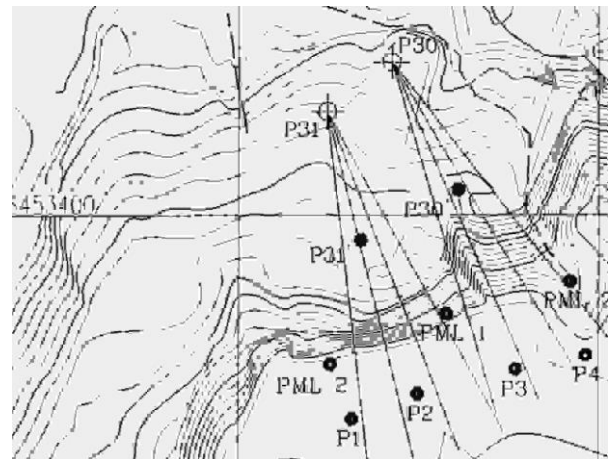


Figura 4. Configuración del sistema de drenes horizontales

A la salida de los drenes horizontales se controló los caudales mediante el aforo volumétrico a lo largo de seis meses, la Figura 6 presenta los resultados de dichas mediciones, los mismos comenzaron con valores entre 700 y 800 lt/hs para los drenes 6 y 7, para estabilizarse por sobre los 1000 lt/hs. En el caso del dren 5, los caudales se estabilizaron desde el comienzo entre 250 y 450 lt/hs.

CONCLUSIONES

Los estudios hidrogeológicos programados y ejecutados para develar los interrogantes que se planteaban sobre las características acuíferas de la UG4, la posibilidad de interceptar el flujo subterráneo y su descarga en la zona de barrancas mediante drenes verticales y horizontales, permiten

arribar a las siguientes conclusiones.

- Tanto los estudios resultantes del censo de pozos y perforaciones como las perforaciones de estudio comprueban el comportamiento, como capa acuífera, de la UG4.

Este acuífero funciona como semiconfinado, recibiendo recarga por percolación desde la capa freática contenida en los sedimentos loésicos y limosos que le suprayacen. En las perforaciones realizadas se observa presión con ascensos de algo más de 5 metros por encima del techo del acuífero.

La capa acuífera está constituida por una alternancia tipo foliar de capas milimétricas de arena pulverulenta y arcilla, que en la zona próxima a la barranca no superan a los 5 metros de potencia. La conductividad hidráulica de la formación es muy baja, del orden de 10^{-4} cm/seg.

También se ha comprobado el funcionamiento eficiente de los sistemas de drenes propuesto, tanto verticales como horizontales. Se propone la ejecución de drenes horizontales que intercepten el flujo subterráneo de la UG4 de acuerdo a los objetivos del Proyecto de descomprimir y deprimir a la UG 4, responsable de los fenómenos de deslizamientos de masa en el área de la ciudad de Diamante.

Este sistema permite un monitoreo adecuado del funcionamiento de los mismos mediante la medición de los caudales erogados por cada uno de ellos a lo largo del tiempo, y efectuar, si fuese necesario las reparaciones o acciones para mantener su adecuado funcionamiento.

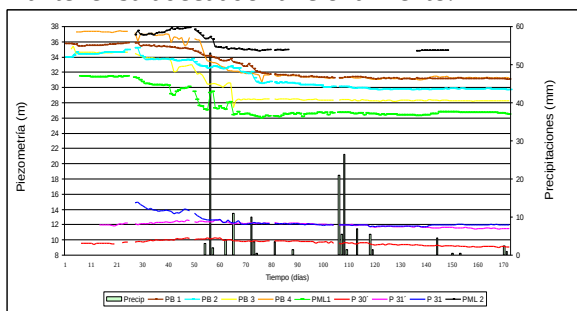


Figura 5. Evolución de los piezómetros medidos

AGRADECIMIENTOS

A las empresas PROINSA y PROTUNEL que autorizaron la presentación del presente trabajo, el que se realiza en memoria del Lic.

Mario F. Fili. Estas investigaciones se llevaron a cabo dentro de un programa de investigaciones financiado por el Banco Mundial a través de la Sub Unidad Ejecutora Provincial de la provincia de Entre Ríos.

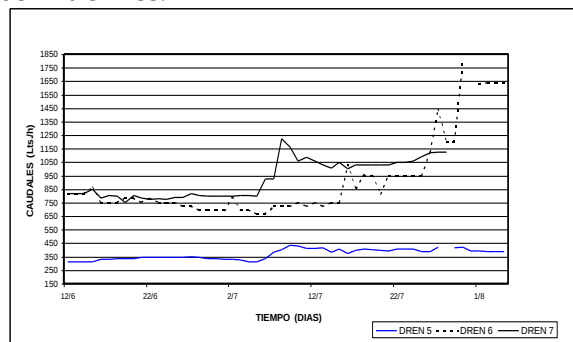


Figura 6. Caudales de los drenes horizontales

BIBLIOGRAFÍA

Edward E. Johnson, Inc. (1966). "Ground Water and Wells" 440 p.

Fili, M.; Tujchneider, O.; Perez, M.; Paris, M. y D'Elia, M. (1995). "Ground Water Researches in the Entre Ríos Province. Argentina". XXVI Congress of the International Association of Hydrogeologist. Edmonton. Canada.

PROINSA (1999). "Proyecto Ejecutivo de Estabilización de Barrancas en la ciudad de Diamante"(Diamante City Landslides Stabilization Executive Project) . SUPCE Entre Ríos.Tomo I. Inédito.

Sanguinetti, J.A. (1995). "Anteproyecto de Estabilización de Barrancas de la Ciudad de Diamante"(Diamante City Landslides Stabilization Executive Pre Project). SUPCE Entre Ríos. 2 Tomos. Inédito.

TECSOFT Inc.(1997). PLOTCHER-WIN. User's Manual. 21 p.

Theis, C.V. (1935). Relation between the powering of the phiezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. Am. Geoph. Union Trans. p 519-524.

Vaan Beers, W.F.J. (1958). The auger hole method. Bull. N° 1. International Inst. for Land Reclamation and Improvement. Wageningen, 32 p.

Waterloo Hydrogeologic (1996). AQUITEST.
The Intuitive Aquifer Test Analysis Package.
Ontario, Canada. 158 p.