

CARACTERIZACIÓN DE ACUÍFEROS EN EL ÁREA DE LA PRESA DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO ANGOSTURA, TURRIALBA, COSTA RICA

Asdrúbal Vargas¹ & Francisco Cervantes²

1) Escuela de Geología, Universidad de Costa Rica

E-mail. avargas@cariari.ucr.ac.cr

2) Instituto Costarricense de Electricidad

(Recibido 10/8/1998; Aceptado 13/8/1999)

ABSTRACT: In this paper has been investigated the geometrical and hydraulic features of the main aquifers in the dam area of the Angostura Hydroelectrical Project. The boreholes indicate the subsurface is made up to the depth of 80 m of a sequence of low permeable and high permeable layers, where the last once are the main aquifers. The aquifers are various in extension and thickness. There are four aquifers, but three aquifers are confined which are influencing through the structures of the dam side. This study is the first attempt to create a conceptual model of the groundwater behavior of aquifer system in the dam area and it can supports future investigations with the mathematic simulation of pumping well group.

RESUMEN: En este trabajo se han investigado las características geométricas e hidráulicas y se ha definido la superficie piezométrica de los acuíferos principales en el área de la presa del proyecto hidroeléctrico Angostura. Las perforaciones realizadas por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) muestran que el subsuelo hasta una profundidad de 80 m está constituido de una secuencia de materiales poco permeables a muy permeables determinándose la existencia de cuatro acuíferos. En tres de estos dominan condiciones confinadas, con un nivel piezométrico sobre el nivel de construcción de las obras, lo cual podría generar problemas de estabilidad debido a las cargas piezométricas e implica consideraciones especiales a la hora del diseño y construcción de las estructuras. Este estudio se presenta como una primera aproximación para diseñar un modelo conceptual de aguas subterráneas, a partir del cual se simulen las condiciones hidrogeológicas del área. Además simular el comportamiento de los acuíferos considerando una batería de pozos que contribuya a disminuir el nivel piezométrico y así conocer el número de pozos y el volumen de extracción que se requiere.

INTRODUCCIÓN

El proyecto hidroeléctrico Angostura está concebido para la generación de 177 MW de energía utilizando las aguas del río Reventazón, Turrialba y Tuis. El diseño y parte de la construcción se encuentran en manos del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). Investigaciones geológicas y geotécnicas en el área de estudio han sido llevadas a cabo por ICE (1977); Granados & Morera (1980); Morera (1983); Avilés (1994); Piedra (1994); Piedra et.al (1994); Piedra et. al (1995). Luego de varios años de planeación se inició en el año de 1994 la construcción del proyecto, el cual se ubica a 7 km al este de la ciudad de Turrialba (Fig. 1).

En el sector del proyecto, el río Reventazón fluye en dirección norte y presenta varios meandros de fuerte concavidad. Este río será represado a corta distancia aguas arriba de su confluencia con el río Tuis por medio de una presa de enrocamiento. El embalse generado tiene una longitud de aproximadamente 3 km y una área de inundación de 256 hectáreas.

La casa de máquinas se construirá aguas abajo de la confluencia del río Turrialba con el río Reventazón. La conducción del agua desde el embalse hasta la casa de máquinas se logra a través de una obra de toma, al cual se acopla un túnel de 6,2 km de largo. A estas obras se suman canales de derivación desde el río Turrialba (4,8 km) y desde el río Tuis (2,5 km), que culminan

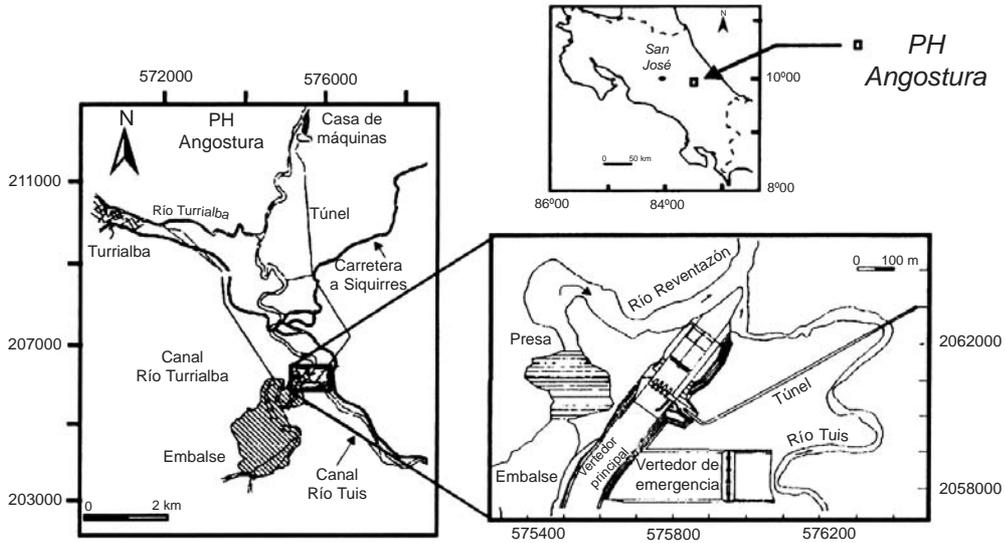
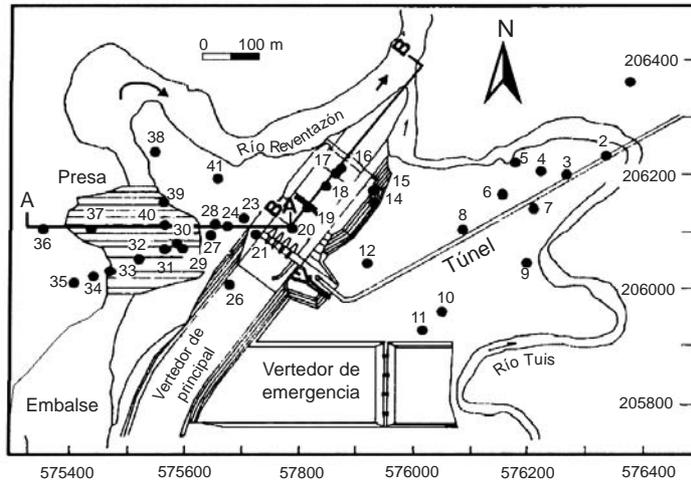


Fig. 1: Ubicación geográfica del proyecto hidroeléctrico Angostura.

en el embalse y aportando un volumen de agua hacia este. En el sector comprendido por los vertedores principal y de emergencia y el túnel, se

han llevado a cabo gran cantidad de perforaciones que permiten investigar la condiciones geológicas e hidrogeológicas del área (Fig. 2).

- 1. Pan 63 LT
- 2. Pan 54 LT
- 3. Pan 56 LT
- 4. Pan 47 LT
- 5. Pan 59 LT
- 6. PZ 11
- 7. Pan 4 LT
- 8. Pan 49 LT
- 9. Pan REC 61
- 10. PZ 10
- 11. Pan 48 LT
- 12. PZ 9
- 13. Pan 55 TA
- 14. Pan 37 E
- 15. Pan 64 C
- 16. Pan 32 SP
- 17. Pan 33 ASP
- 18. Pan 37 SP
- 19. Pan 37 D
- 20. Pan 36 SP
- 21. PAN 46 SP



- 22. Pan 23 SP
- 23. Pan 24 SP
- 24. Pan 20 SP
- 25. Pan 21 SP
- 26. Pan 27 SP
- 27. Pan 45 SP
- 28. Pan 12 SP
- 29. Pan 31 SP
- 30. Pan 22 SP
- 31. Pan 14 SP
- 32. Pan REC 9
- 33. Pan 26 SP
- 34. Pan 19 SP
- 35. Pan 16 SP
- 36. Pan 60 SP
- 37. Pan 57 SP
- 38. Pan 13 SP
- 39. Pan 18 SP
- 40. Pan 66 SP
- 41. Pan 25 SP

Fig. 2: Ubicación de las perforaciones en el sitio de presa y del vertedor principal.

La metodología empleada en este trabajo ha sido la recopilación bibliográfica y la interpretación de los resultados obtenidos por el ICE, a partir de los diferentes trabajos de campo realizados durante la fase de factibilidad y de construcción de varias obras. Esta labor previa permitió llevar a cabo los objetivos planteados, es decir definir las características geométricas e hidráulicas y la distribución de la superficie piezométrica de los acuíferos principales en el área de la presa. Esto es la base para diseñar un modelo conceptual y llevar a cabo estudios de modelaje del funcionamiento de los acuíferos, lo que permitiría a su vez pronosticar el comportamiento de los mismos ante esfuerzos de bombeo y la influencia sobre los niveles piezométricos. Este trabajo forma parte del proyecto de investigación de la Escuela de Geología denominado " Manejo adecuado de los recursos hídricos subterráneos en Costa Rica", dentro del cual se pretende identificar y caracterizar los acuíferos de Costa Rica.

CONDICIONES GEOLÓGICAS EN EL SECTOR DE LA PRESA Y LOS CANALES DE DERIVACIÓN

Para investigar las condiciones geológicas del sitio se cuenta con la información brindada por diferentes perforaciones, las cuales, en la mayoría de los casos, individualmente alcanzan poco menos de 100 m. La superficie del terreno se ubica a una altura que varía entre 550 y 600 m.s.n.m. Entre el río Reventazón y el río Tuis las perforaciones alcanzan la cota en profundidad de 475 m.s.n.m. Sin embargo, esta cota es superada solo por algunas perforaciones. El área de estudio es una depresión, que en el sitio de construcción tiene un ancho de 1 km y se extiende hacia el sur por varios kilómetros. Esta depresión alcanza la cota de aproximadamente 580 m.s.n.m, mientras que el río Reventazón y el río Tuis han construido una terraza la cual alcanza una cota de entre 540 hasta 560 m.s.n.m.

Los perfiles de perforación demuestran que el sector estudiado presenta diferencias en la distribución vertical y horizontal de los materiales en una distancia muy corta. Como ejemplo se

presentan dos perforaciones (Fig.3). La perforación 48 LT ubicada cerca del canal de derivación de emergencia y la perforación PAN 54 LT ubicada 500 m al este de la perforación PAN 48LT, cercano al río Tuis.

ACUÍFEROS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Los perfiles de perforación obtenidos del área de la presa y de los vertederos permiten diferenciar 4 horizontes aluvionales, los cuales se encuentran separados por medio de flujos laháricos. De igual manera que el horizonte aluvional más profundo se pueden reconocer los otros tres por medio de la elevación del límite inferior o superior. El límite inferior del horizonte intermedio se ubica en 520 m.s.n.m y en el caso del horizonte superior, el límite inferior se encuentra a una elevación de 530 m.s.n.m. Siguiendo a estos niveles se encuentra un horizonte aluvional superficial con un límite inferior de 550 m.s.n.m. De los cuatro horizontes en orden ascendente que aparecen en las perforaciones, aquí se ha detallado en el acuífero inferior (Qal 3), en el acuífero intermedio (Qal 2) y el acuífero superior (Qal 1), (Fig. 4), ya que se dispone de más información. Se ha comprobado que existe una extensión simultánea en sección cortical de Qal 3 y Qal 1, así como Qal 3 y Qal 2, sin embargo no de Qal 2 y Qal 1.

ACUÍFERO INFERIOR

A partir de la información extraída de las perforaciones, se deduce que el acuífero inferior presenta la mayor extensión. Se extiende en dirección este a partir de la presa, pasando por el río Tuis y se extiende parcialmente por el valle del río Reventazón con un ancho aproximado de 200 m. Se supone además una extensión de este horizonte en dirección norte, la cual debe ser comprobada. En su conjunto se considera este horizonte aluvional como un sistema antiguo del río Reventazón (Fig. 5).

Sobre el acuífero existen datos provenientes de 10 perforaciones. Al sur del sitio de presa

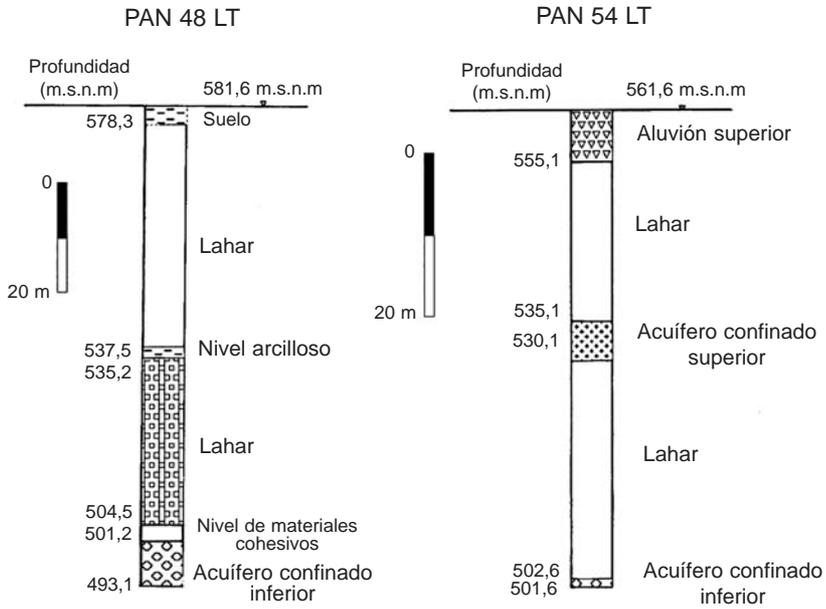


Fig. 3: Perfiles estratigráficos de las perforaciones Pan 48 LT y Pan 54 LT.

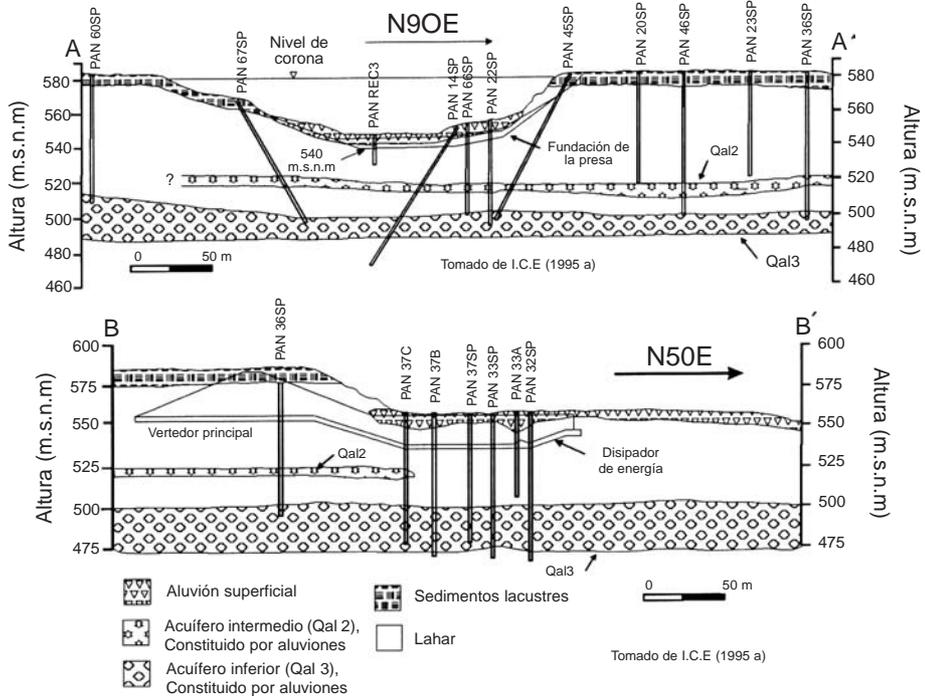


Fig. 4: Perfiles hidrogeológicos A-A' y B-B' mostrando las perforaciones y las obras principales.

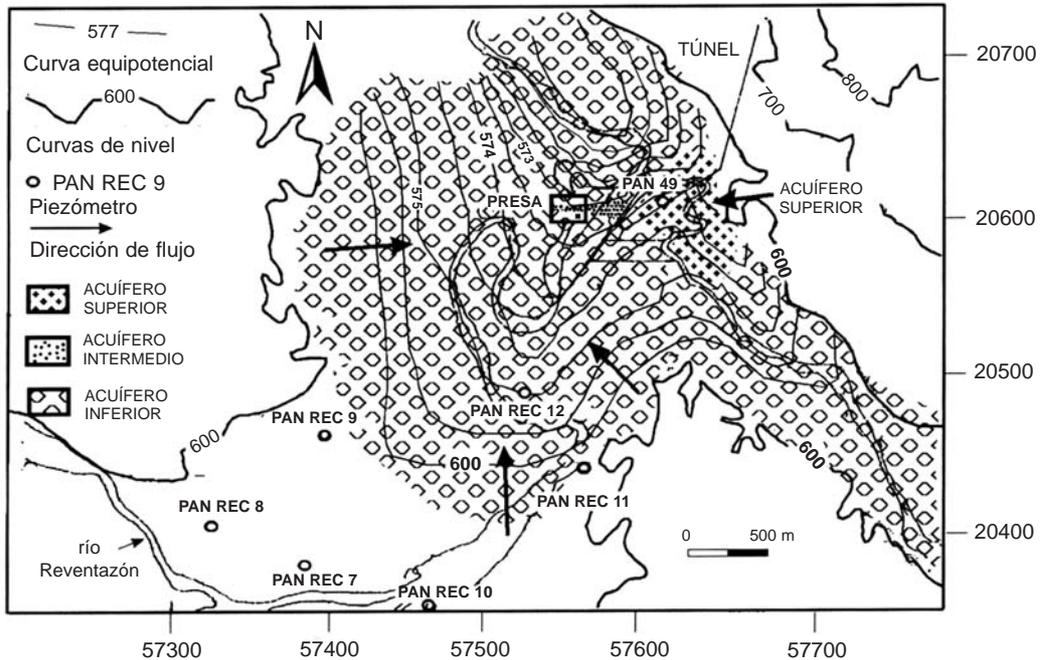


Fig. 5: Extensión probable del acuífero inferior en relación con el acuífero intermedio y superior y líneas equipotenciales de la superficie piezométrica.

se encuentra la perforación PAN REC 12. Esta muestra que el acuífero tiene cierta extensión a lo largo del valle del río Reventazón. La extensión en el valle del río Tuis no está definida aún. El espesor de este acuífero alcanza entre 10,0 y 27,5 m (Cuadro 1). El límite superior alcanza la cota de 500 m.s.n.m en el área de la presa y en el sector del embalse y el límite inferior entre 475-480 m.s.n.m.

En el cuadro 2 se muestran los niveles piezométricos medidos por el I.C.E en ocho piezómetros al comienzo de una prueba de bombeo en octubre de 1994. Los valores piezométricos mencionados se ubican muy por encima del río Reventazón, el cual alcanza en el sitio de presa una cota de 548,0 m.s.n.m., estimándose por lo tanto diferencias de más de 15 m. Considerando los valores piezométricos existentes, se estimó la superficie piezométrica sobre el área total del

Cuadro 1
Espesor del acuífero inferior (Qal3)

Perforación	Espesor (m)
PAN 32 SP	27,5
PAN 33 SP	22,5
PAN 37 A	26,5
PAN 37 B	27,0
PAN 37 SP	>23,5
PAN REC 12	>12,4
PAN 14 SP	>23,0
PMDC	10,0
Promedio	23,2

PMDC: Perforación margen derecha del cuenco

Cuadro 2
Nivel piezométrico del acuífero inferior en octubre de 1994

Piezómetro	Ubicación	Nivel piezométrico (m.s.n.m)
PAN REC 12	Embalse	575,00
PAN 37	Vertedor principal	571,00
PAN 45	Vertedor principal	573,63
PAN 48	Vertedor emergencia	575,10
PAN 49	Túnel	575,00
PAN 55 TA	Toma de agua	574,80

acuífero con base en puntos discretos y por medio del programa SURFER (GOLDEN SOFTWARE). En la figura 5 se presentan las líneas del nivel piezométrico interpoladas para la extensión completa del acuífero. A partir de ellas se determina una dirección principal de flujo del agua subterránea N-NE, la cual coincide con la dirección de flujo del río Reventazón.

Sobre el motivo del elevado nivel piezométrico y sobre la ubicación de las áreas de recarga existen aún dudas. Es probable que la recarga al acuífero esté ocurriendo en los bordes laterales o en el sector meridional a través de zonas de debilidad de origen tectónico. Se asume la existencia de zonas de debilidad paralelas al valle del río Reventazón, sin embargo se requieren más datos para comprobar dicha hipótesis. Durante el año 1995, el ICE registró niveles piezométricos en cinco piezómetros ubicados en el sector de los vertedores (Fig. 6), los cuales podrían dar una idea sobre la variación de la recar-

ga y la descarga, sin embargo los registros muestran oscilaciones, en ocasiones mayores a 1 m, resultado de la conducción de pruebas de bombeo, lo cual dificulta la estimación de valores probables de recarga.

Los parámetros hidráulicos, transmisividad y coeficiente de almacenamiento, del acuífero fueron calculados por medio de métodos matemáticos de tipo analítico. Los datos empleados provienen de una prueba de bombeo, la cual se ejecutó desde el 4 hasta el 8 de Octubre de 1994 (ICE,1994a). Durante la prueba de bombeo, la cual tuvo una duración de 5195 min, la perforación PAN 37SP, que se encuentra en el área del canal de derivación principal fue utilizado como pozo de bombeo extrayéndose un caudal constante de 90 l/s (7776 m³/día). El ensayo tenía como objetivos medir el abatimiento y la influencia sobre los acuíferos intermedio y sobre el coluvio así como el cálculo de los parámetros hidráulicos del acuífero inferior. Para la evaluación

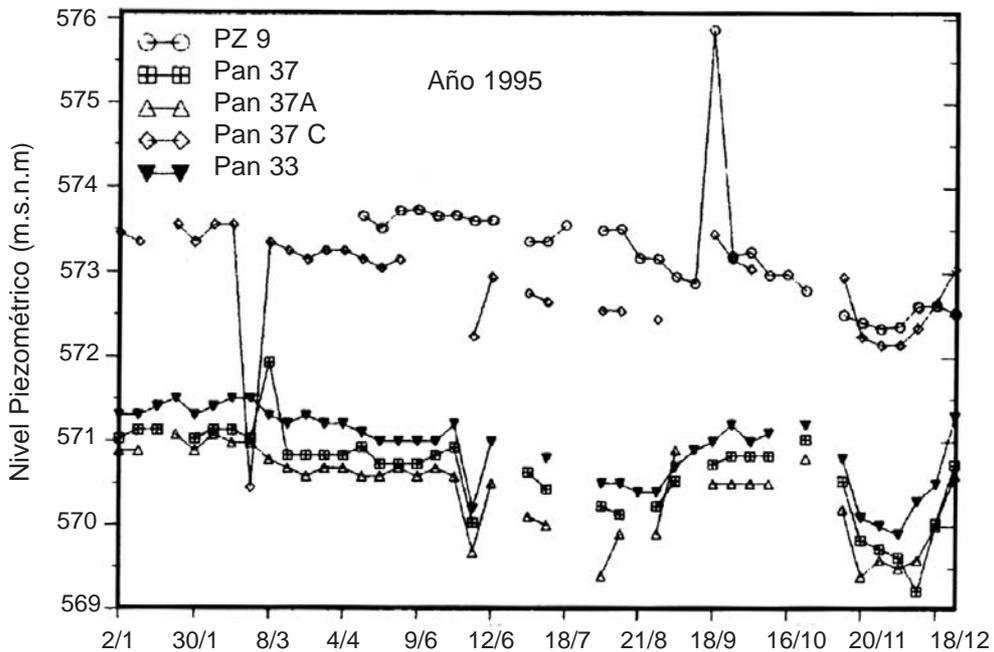


Fig. 6: Niveles piezométricos en los piezómetros PZ-9, PAN 37, PAN 37 A, PAN 37 C y PAN 33 durante el año 1995.

del ensayo se midió el abatimiento en 13 piezómetros (Cuadro 3). En el pozo de bombeo se midió un abatimiento de 8,9 m al final de la prueba de bombeo. El nivel de agua en el lahar fue medido por medio de 3 piezómetros, los cuales no mostraron abatimiento. También en las perforaciones PAN REC 10 y PAN 36 SP, las cuales captan el acuífero intermedio no mostraron abatimiento.

Cuadro 3
Abatimiento medido en el acuífero inferior

Piezómetro	Distancia al pozo (m)	Abatimiento después de 5195 Min. (m)
PAN REC 12	1233,1	3,7
PAN 45 SP	226,1	5,2
PAN 55 TA	163,7	5,9
PAN 48 LT	636,5	5,6
PAN 49 LT	611,6	6,0
PAN 37 A	3,6	7,6
PAN 37 B	19,8	6,9
PAN 37 C	38,6	6,7
PAN 32 SP	43,6	6,7
PAN 33 SP	21,3	7,3
PAN 37 CH	26,4	6,4

La transmisividad y el coeficiente de almacenamiento se estimaron por medio del método de Cooper & Jacob (Cooper & JACOB, 1946 en Langguth & Voigt, 1980; Kruseman & DeRidder; 1994). Los valores de transmisividad son de alrededor de 500 m²/día y coeficientes de almacenamiento alrededor de 10⁻⁴ (Cuadro 4).

Cuadro 4

Parámetros hidráulicos en el acuífero inferior determinados según el método de Cooper & Jacob (1946)

Sondeo de observación	T (m ² /día)	K (m/día)	S (sin unidades)
PAN REC 12	657		7 E-5
PAN 32 SP	553	20*	7 E-3
PAN 33 SP	536	24**	2 E-2
PAN 45 SP	542		8 E-4
PAN 48 SP	546		4 E-4
PAN 55 SP	605		6 E-4

*Espesor : 27,5 m ** Espesor : 22,5 m

ACUÍFERO INTERMEDIO

El acuífero intermedio (Qal 2) tiene una extensión y un espesor comparativamente menor que la de Qal 3 y aparece como banda delgada, perpendicular al río Reventazón con un ancho que alcanza menos de 100 m y se comprobó que en un gran número de perforaciones en el área del túnel y del embalse no aparece dicho acuífero (Fig. 7). Para lograr una visión más clara sobre la extensión del acuífero son necesarias otras perforaciones al norte y al sur del sitio de presa. A partir de las perforaciones existentes se estima que el espesor varía entre 0,6 (PAN 55TA) y 7,0 m (PAN 37 CH) tal como se muestra en el cuadro 5. El límite inferior varía entre los 520-525 m.s.n.m. Existen pocos datos para determinar la dirección de flujo del agua subterránea, para estimar la recarga y parámetros hidráulicos.

Cuadro 5
Espesor del acuífero intermedio

Perforación	Espesor (m)
PAN 37 CH	7,0
PAN 14 SP	6,0
PAN 22 SP	5,1
PAN 31 SP	5,2
PAN 36 SP	4,8
PAN 37 D	4,6
PAN 45 SP	2,6
PAN 46 SP	6,2
PAN 57 SP	2,8
PAN 66 SP	5,6
PAN 70 SP	6,7
PAN 55 TA	0,6
PZ 9	4,7
Promedio	4,7

ACUÍFERO SUPERIOR

El acuífero superior se presenta en el sector cercano al cauce del río Tuis (Fig. 8). Sin embargo existen aún dudas sobre la extensión real. El espesor del acuífero oscila entre 1,9 y 5,0 m (Cuadro 6).

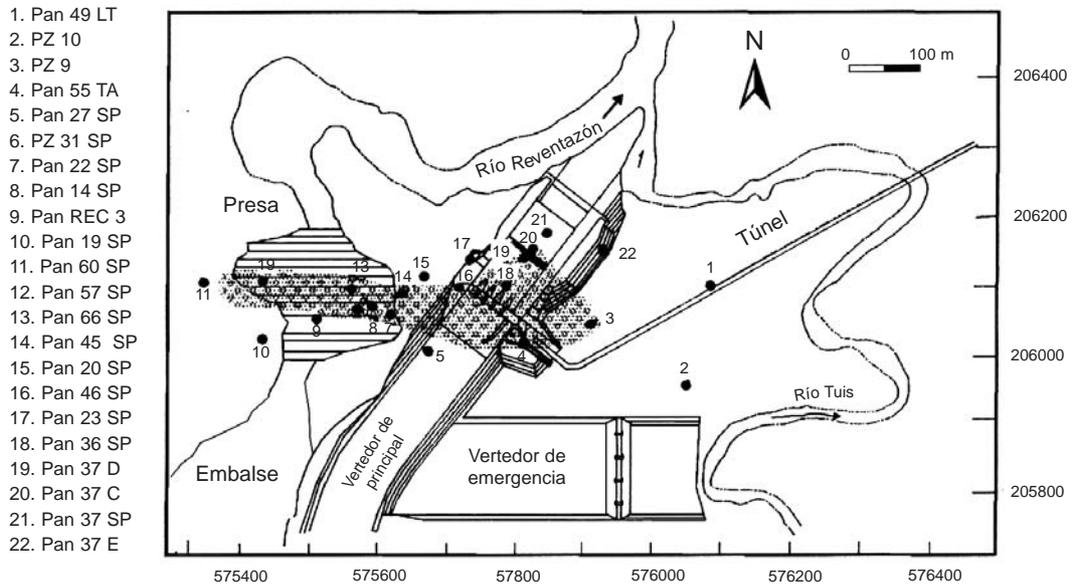


Fig. 7: Extensión probable del acuífero intermedio y ubicación de las perforaciones en el área de la presa y del vertedor principal.

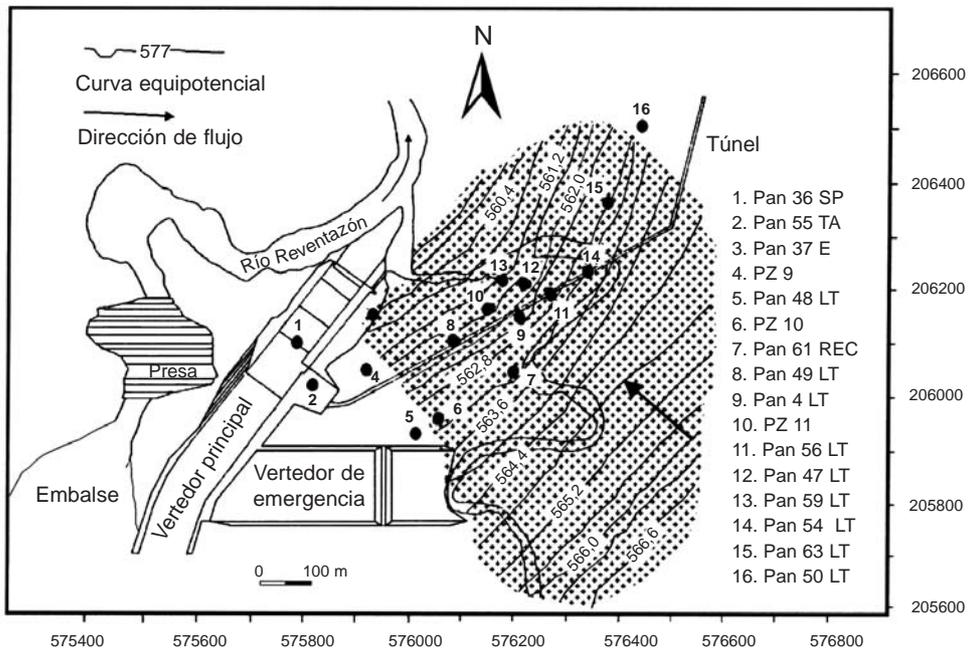


Fig. 8: Extensión probable del acuífero superior, líneas equipotenciales y ubicación de las perforaciones en el área de la presa y de los vertedores.

Cuadro 6
Espesor del acuífero superior

Perforación	Espesor (m)
PAN 37 E	4,6
PAN 47 LT	1,9
PAN 49 LT	4,1
PAN 54 LT	5,0
PAN 56 LT	4,2
PAN 59 LT	3,7
PAN 61 REC	1,9
PAN 63 LT	4,5
PZ-10	1,9
PZ-11	3,8
Promedio	3,6

El límite inferior oscila entre las cotas 530 y 535 m.s.n.m. Al comienzo de una prueba de bombeo, en octubre de 1995, el nivel piezométrico se ubicó entre 561,1 y 563,2 m.s.n.m, colocándose dicho nivel sobre el nivel del terreno, (Cuadro 7).

Cuadro 7
Nivel piezométrico en el acuífero superior

Piezómetro	Nivel de agua subterránea (m s.n.m))
Pozo Tuis	563,1
PAN61	563,1
PAN59	561,1
PZ 10	563,2

La altura piezométrica sobre el acuífero se logró interpolar a partir de varios puntos por medio del programa SURFER de manera similar que para el acuífero inferior. La interpolación fue sin embargo crítica en el sector sur pues existen pocos datos de niveles piezométricos. A partir de la orientación de las líneas equipotenciales se puede señalar una dirección de flujo del agua subterránea N-NW (Fig. 8). Esta dirección concuerda con la dirección del río Tuis. El elevado nivel piezométrico existente se debe muy probablemente a las condiciones geoestructurales ya señaladas para el acuífero inferior.

A partir del 18 de octubre de 1994 y a partir del 30 de octubre de 1995 se ejecutaron pruebas de bombeo en el acuífero superior (ICE,

1994b; ICE, 1995b). Los objetivos de las pruebas de bombeo fueron analizar la estabilidad del túnel al ejecutar perforaciones de alivio. No obstante aquí se han utilizado para la determinación de parámetros hidráulicos. La primera prueba de bombeo tuvo una duración de 2880 minutos con un caudal de bombeo de 7,0 l/s (604,8 m³/día). Como pozo de bombeo fue utilizada la perforación PAN 56A y como piezómetros de observación las perforaciones PAN 47LT y PAN 56LT. En dichos piezómetros fueron observados abatimientos de 14,2 ; 6,5 y 6,2 m respectivamente. La segunda prueba de bombeo tuvo una duración de 1620 minutos. Siete perforaciones fueron utilizadas como piezómetros (Cuadro 8). En el pozo de bombeo Tuis se midió un abatimiento de 19,5 m. Los piezómetros en el acuífero inferior, en el coluvio y en el acuífero intermedio no mostraron abatimiento alguno.

Cuadro 8
Abatimiento en los piezómetros de observación colocados en el acuífero superior

Perforación	Distancia al Pozo (m)	Abatimiento después de 1620 Min. (m)
PAN 56 LT	59,0	3,4
PAN 47 LT	105,1	2,0
PAN 61 REC	205,1	1,6
PAN 59 LT	153,8	1,2
PAN 63 LT	128,6	0,0
PZ 10	374,4	0,6
PZ 9	400,0	-0,2*

* Aumento del nivel piezométrico

La transmisividad y el coeficiente de almacenamiento se estimaron por medio del método de Cooper & Jacob (Cooper & Jacob, 1946 en Langguth & Voigt, 1986). Para tal efecto se utilizaron los datos de los piezómetros PAN 47LT y PAN 56 LT medidos en noviembre de 1995, además se consideraron los valores estimados por ICE (1995 b) por medio del método de Theis. La transmisividad y el coeficiente de almacenamiento se encuentran respectivamente entre 21 y 82 m²/día y entre 6 E-13 y 2 E- 2 (Cuadro 9).

Cuadro 9

Parámetros hidráulicos del acuífero superior según aplicación de métodos analíticos

Perforación	Espesor (m)	T (m ² /día)	K (m/día)	S	Ss
PAN 56 LT	4,2	69*	17	3 E-5	7 E-6
PAN 47 LT	1,9	40*	21	2 E-2	8 E-3
PAN 47 LT	1,9	80**	43	2 E-8	9 E-9
PAN 56 LT	4,2	47**	11	1 E-7	3 E-8
PAN 61	1,9	82**	43	6 E-13	3 E-13
PAN 59 LT	3,7	37**	10	8 E-4	2 E-4
PZs 10	1,9	21**	11	1 E-12	5 E-13

*Prueba de bombeo: 18/10/1994; Evaluación según COOPER & JACOB.

**Prueba de bombeo: 30/11/1995, Evaluación según THEIS; realizó ICE, 1995b

ACUITARDO

El espesor del acuitardo ubicado entre el acuífero inferior y el acuífero superior se encuentra entre 11,3 y 19,2 m (Cuadro 10). Se trata de limo, limos arcillosos y arcillas, en los cuales fragmentos de lava de variado tamaño se encuentran dispersos. Los limos y arcillas provienen probablemente de la meteorización de tobas. Una parte del material coluvial se podría considerar al menos como lahar, el cual está compuesto por cantos y bloques envueltos en una matriz arcillosa, con lentes de arenas finas dejando el material deja la impresión de una alta densidad y baja permeabilidad.

Cuadro 10

Espesor del acuitardo en las perforaciones

Perforación	Espesor (m)
PAN 22 SP	12,1
PAN 31 SP	11,3
PAN 45 SP	13,2
PAN 46 SP	11,5
PAN 55 TA	16,4
PZ-9	19,2
PAN 66 SP	12,0
PAN 14 SP	14,8
PAN 57 SP	17,6
PAN 36 SP	16,0
PAN 37 CH	15,0
Promedio	14,7

CONCLUSIONES

En el área de estudio se encuentran cuatro horizontes aluvionales de variada extensión y espesor. Tres de estos horizontes, considerando la información existente y sus características de almacenamiento y transmisión de agua se consideran como acuíferos de tipo confinado. Además presentan un nivel de artesianismo que supera en algunos sectores los 10 m. A estos acuíferos se les ha asignado una nomenclatura de acuerdo a su elevación topográfica. El acuífero inferior tiene la mayor extensión y espesor. Con ayuda de los datos de pruebas de bombeo obtenidos del acuífero inferior y superior se calcularon la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento por medio de métodos analíticos.

Se requieren más datos de pruebas de bombeo para definir las propiedades hidráulicas del acuífero intermedio. Es probable que la recarga de los acuíferos esté ocurriendo en los bordes laterales o en el sector meridional a través de zonas de debilidad de origen tectónico. Existe la posibilidad de zonas de debilidad paralelas al valle del río Reventazón, sin embargo se requieren más datos para comprobar dicha propuesta. La dirección de flujo del agua subterránea en el acuífero inferior es N-NE, la cual coincide con la dirección de flujo del río Reventazón, por su parte para el acuífero superior se determinó una dirección N-NW la cual concuerda con la dirección del río Tuis.

La investigación de las características geométricas y de los parámetros hidráulicos de los acuíferos es fundamental para construir modelos conceptuales y para llevar a cabo estudios posteriores de modelaje de aguas subterráneas, así como para realizar predicciones sobre el comportamiento del nivel piezométrico bajo condiciones de bombeo. La información utilizada para este trabajo representa un período en las labores de investigación del Instituto Costarricense de Electricidad y al presente se ha generado nueva información que ha permitido mejorar el modelo conceptual de funcionamiento del sistema acuífero.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la valiosa colaboración brindada por los geólogos Jorge Chávez y Carlos Madrigal del Departamento de Geología del Instituto Costarricense de Electricidad para la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

- AVILÉS, E., 1994: Resultado de las Investigaciones Geológicas y Geotécnicas del Túnel de Conducción. Anexo B. Características geotécnicas de los materiales.- 40 págs.; ICE, San José (Informe Interno).
- COOPER, H. & JACOB, C., 1946: A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well-fiel history. - Trans. Am. Geoph. Union, 27: 526-534.
- GRANADOS, R. & MORERA, J.F., 1980: Informe Geológico Preliminar a la fase de Viabilidad. proyecto hidroeléctrico Angostura.- 60 págs.; ICE, San José (Informe Interno).
- ICE; 1977: Estudio geológico preliminar de parte del proyecto hidroeléctrico Angostura. - 52 págs.; ICE, San José (Informe Interno).
- ICE; 1994a: Prueba de bombeo (04/10-08/10/1994). - 31 págs.; ICE, Oficina de perforación e inyección, proyecto hidroeléctrico Angostura, San José (Informe Interno).
- ICE; 1994b: Prueba de bombeo (18/10-21/10/1994). - 8 págs.:ICE, Oficina de perforación e inyección, proyecto hidroeléctrico Angostura, San José (Informe Interno).
- ICE; 1995a: Informe para el VI Panel de Consultores. - DIC. P.H. Angostura. 53 págs. San José.
- ICE; 1995b: Ensayo de bombeo en acuífero superior. - 42 págs.;Oficina de perforación e inyección Noviembre de 1995. Proyecto Hidroeléctrico Angostura, San José (Informe Interno).
- ICE; 1996a: Estado de avance del proyecto para el VII panel de consultores. - 140 págs.; DIC ICE, proyecto hidroeléctrico Angostura, San José (Informe Interno).
- ICE; 1996b: Información relacionada con el acuífero intermedio. - 38 págs.; ICE, Oficina de perforación e inyección. proyecto hidroeléctrico Angostura, San José (Informe Interno).
- KRUSEMAN, G.P. & DE RIDDER N.A., 1994 (2 ed.): Analysis and Evaluation of Pumping Test Data. - 377 págs. ILRI; Wageningen- Holanda.
- LANGGUTH, H. R & VOIGT. R., 1980: Hydrogeologische Methoden.- 486 págs.; Springer Verlag, Berlin.
- MORERA, J.F., 1983: Informe Geológico a la Fase de Viabilidad Proyecto Angostura. - 159 págs.; ICE. Proyecto Hidroeléctrico Hidroeléctrico Angostura, San José (Informe Interno).
- PIEDRA P. J., 1994: Resultado de las Investigaciones Geológicas y Geotécnicas del Túnel de Conducción. Anexo A. Campaña 1994- Gráficos Geológicos de Perforación. - 30 págs.; ICE Proyecto Hidroeléctrico Angostura. 30 págs, San José (Informe Interno).
- PIEDRA P. J., AVILÉS E., LEANDRO, C., 1994: Resultado de las Investigaciones Geológicas y Geotécnicas del Tunel de Conducción. Campaña 1994. - 64 págs. DIC. ICE. Proyecto Hidroeléctrico Angostura, San José (Informe Interno).
- PIEDRA, P. J., CHÁVEZ,C. J., BARRANTES, P. LUIS F., AYALA, A., 1995: Resultado de la investigacion geológica adicional en

el primer tramo del túnel de conducción. -
20 págs.;V Panel de Consultores, ICE.

Proyecto Hidroeléctrico Angostura, San
José (Informe Interno).