

INTERRELACIÓN EMBALSE YACYRETÁ – SISTEMA DEL IBERÁ EVALUACION DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE Y PROPUESTA DE NUEVAS INVESTIGACIONES

Dr. Miguel Auge

INTRODUCCIÓN

Se proponen los estudios adicionales que, en el entendimiento del suscrito, resultan necesarios para mejorar el conocimiento hidrogeológico y para alimentar con datos representativos al modelo tridimensional de flujo, que deberá implementarse para predecir los caudales de trasvase y los cambios en la profundidad de la superficie freática, en el ámbito del albardón costero, para cotas del lago mayores a la actual. También se realiza una síntesis de los trabajos consultados, evaluándose el detalle, la profundidad, la calidad y la representatividad de cada uno, especialmente en relación a la posibilidad de fugas subterráneas en la margen izquierda del Embalse Yacyretá.

CONCLUSIONES

Con la información disponible actualmente no se puede establecer con adecuada representatividad la cota del Embalse Yacyretá, a partir de la cual se producirá transferencia de agua hacia el acuífero y a través de éste, trasvase hacia los Esteros del Iberá. Tampoco la magnitud de dicho trasvase, ni la incidencia que el aporte tendrá en la disminución de la profundidad del agua freática en el albardón costero. Para dilucidar estos puntos, además de los 9 pozos de estudio previstos por EBY, deberían realizarse los estudios adicionales propuestos en **recomendaciones**.

Se menciona seguidamente la información existente de mayor relevancia sobre el tema y su grado de representatividad.

a) Modelos. Se han desarrollado 2 modelos numéricos pero ninguno ha resuelto de manera aceptable, ni la condición de flujo subterráneo actual ni la prevista para diferentes cotas del Embalse.

Al modelo tridimensional (modflow) empleado por Lotti, no se lo alimentó con mediciones de niveles hidráulicos subterráneos efectuadas in situ, y dado que los potenciales hidráulicos constituyen el elemento básico para la calibración, ajuste que a su vez resulta imprescindible realizar con anterioridad a cualquier simulación, las predicciones de flujo subterráneo realizadas por dicha consultora para diferentes cotas de agua embalsada, carecen de sustento y por ende de valor.

El modelo empleado por Harza es de tipo bidimensional y por lo tanto simplifica las condiciones de flujo espaciales, además de ser operativo sólo para regímenes estacionarios. Por otra parte existen dudas respecto a la representatividad de los valores de permeabilidad y espesor de las unidades hidrogeológicas conductivas, empleados en la predicción de la magnitud del trasvase desde el lago de Yacyretá hacia los Esteros del Iberá, para la cota de embalse considerada (83 msm – metros sobre el mar).

De lo expuesto se desprende que ni los 12,7 m³/s asumidos por Lotti ni los 0,6 m³/s previstos por Harza, poseen sustento suficiente para adoptarlos como indicativos del proceso de trasvase desde el Embalse hacia los Esteros, para una cota del primero de 83 msm.

b) Permeabilidad. En el ámbito del albardón costero se ha realizado hasta el momento, un solo ensayo de bombeo con 3 pozos de observación, en la cercanía de Puerto Valle. Esta técnica brinda resultados mucho más representativos de los parámetros hidráulicos subterráneos transmisividad (T) y permeabilidad (K), que los derivados de ensayos puntuales de absorción tipo Lefranc. En el sitio ensayado se obtuvieron valores de K del orden de 10^{-1} cm/s para las areniscas de la Formación Ituzaingó, que aparecen como la unidad más favorable para la circulación subterránea y por ende para el trasvase.

Es necesario disponer de valores adicionales de permeabilidad en otras ubicaciones del albardón, a fin de verificar su variabilidad espacial; para ello será necesario realizar nuevos ensayos de bombeo, tal como se cita en **recomendaciones**.

c) Geometría. También es poco lo que se conoce respecto a la distribución espacial (extensión y espesor) de las unidades hidrogeológicas y su comportamiento hidráulico (acuíferos, acuitardos, acuífugos). En relación a este punto, serán de gran utilidad los resultados de los 9 pozos de estudio en vías de realización, particularmente en lo referente a la posición del techo y comportamiento hidráulico del basalto, distribución, espesor y características de la Formación Ituzaingó y los estratos de grava asociados, así como de las capas arcillosas que la limitan. Además resulta trascendente determinar la permeabilidad del estrato de grava que subyace a las Areniscas de Ituzaingó y que registró 3,7 m de espesor en Puerto Valle, así como establecer si el mismo es continuo o discontinuo en el ámbito del albardón.

d) Monitoreo. Existe una red de monitoreo, integrada por un número variable de pozos ejecutados durante las diferentes etapas de desarrollo del proyecto Yacyretá y otros de particulares, que se empezó a medir en 1997, con una frecuencia cambiante, oscilante en un mes.

Los niveles hidráulicos monitoreados resultan de significativa importancia para cotejarlos con: las variaciones de nivel del Embalse; la lluvia; el balance hídrico a nivel edáfico; y para calibrar el modelo de flujo tanto en régimen estacionario como de variación.

En la condición hidráulica actual (Embalse a cota 75 msm) no hay trasvase desde el Embalse hacia los Esteros del Iberá, debido a que la cota del agua subterránea correspondiente al Acuífero Ituzaingó en el albardón costero, oscila entre 76 y 78 m. Dichos valores surgen de los datos de monitoreo existentes y de la verificación realizada in situ por el suscrito, durante la visita a la zona del proyecto entre el 13 y 15/9/01.

RECOMENDACIONES

a) Ensayos de bombeo. Realizar 2 ensayos de bombeo adicionales, con 3 pozos de observación cada uno, dispuestos en forma radial respecto al de extracción, cuyas posiciones se indican en el mapa adjunto (E2 y E3). La finalidad de los ensayos será disponer de más valores de permeabilidad, tanto en la arenisca como en la grava de la Fm Ituzaingó. Además se podrá determinar la permeabilidad vertical de la arcilla que conforma su techo, a fin de estimar la transferencia vertical descendente desde el acuífero colgado. Si en los sitios a ensayar no se presentara el estrato de grava reconocido en Puerto Valle, se considera conveniente realizar un tercer ensayo en dicha localización (P4 del mapa), dado que el ya fue ejecutado se hizo con pozos terminados en la arenisca sobrepuesta a la grava y por lo tanto, no pudo obtenerse la permeabilidad de esta última.

La ubicación cercana al Embalse (E2) se eligió a fin de verificar el posible aporte de éste hacia el acuífero, por la incidencia del cono de depresión generado durante el bombeo. La ubicación definitiva de las baterías de ensayo se ajustará en función de los resultados que se obtengan en los 9 pozos de estudio, cuyo emplazamiento se indica en el mapa adjunto elaborado por Harza.

b) Líneas sísmicas. Efectuar 2 líneas geosísmicas para establecer la forma y orientación de la depresión del techo basáltico, reconocida en Puerto Valle. Dicha depresión fue identificada mediante una sola línea sísmica, por lo que sólo se puede conocer su forma a lo largo de la transecta. Por lo tanto para definir su geometría (subcircular o elongada), orientación y extensión (llega hasta los Esteros?), es necesario disponer de perfiles geosísmicos adicionales, cuya ubicación se indica en el mapa adjunto (S1 y S2). Tal como se mencionó para los ensayos, en este caso la ubicación definitiva de las transectas geosísmicas dependerá de los resultados que brinden los 9 pozos de estudio.

c) Red de flujo. Elaborar mapas con curvas de potencial hidráulico, a partir de los datos obtenidos con el monitoreo, a fin de disponer de una caracterización tridimensional respecto al flujo subterráneo (potenciales, direcciones y gradientes). La información disponible es suficiente para realizar esta tarea, que mejoraría sensiblemente el conocimiento sobre el comportamiento hidrodinámico subterráneo, respecto al panorama que brindan las secciones bidimensionales elaboradas por Harza hasta el presente.

d) Balance hídrico. Efectuar un balance hídrico a nivel edáfico, mediante el empleo de la metodología de Thornthwaite u otra similar, con el objeto de establecer los excesos y déficit, para compararlos con los ascensos y descensos medidos en la superficie freática. Esta comparación resulta trascendente para estimar el tiempo empleado por la infiltración efectiva (recorrido del agua entre la superficie del suelo y la freática). También se considera conveniente cotejar los niveles freáticos con los registros de lluvia.

e) Monitoreo. Continuar con el monitoreo de la red actual, pero extendiéndola aguas abajo del cierre, particularmente en el ámbito comprendido entre Rincón Santa María e Ituzaingó, para verificar posibles aportes del Embalse en dicho ámbito.

f) Pozos de estudio. En los 9 pozos previstos, además de los registros geotécnicos de rutina (toma de muestras, absorción, recuperación de testigos, etc) se considera necesario penetrar en el basalto hasta lograr un índice de recuperación del orden del 90% y ensayar mediante el método de presiones variables (Lugeon) la sección atravesada, para contar con órdenes de magnitud respecto a la capacidad de la unidad basáltica para admitir y transmitir agua, dado que en los modelos se la considera impermeable.

g) Modelo. Para la simulación de flujos y niveles hidráulicos, será necesario implementar un modelo tridimensional del tipo del empleado por Lotti (modflow), pero que deberá ser previamente calibrado mediante el cotejo de los niveles brindados por el modelo, respecto de los monitoreados. Una vez logrado un buen ajuste en régimen estacionario, recién se podrá pasar a la etapa de simulación en régimen de variación, a fin de predecir las magnitudes de los flujos de trasvase para diferentes cotas del Embalse y los cambios en la profundidad del agua freática en la región comprendida entre el lago y los Esteros (albardón costero).

h) Escala. Se considera conveniente instalar una escala limnimétrica en el Embalse, en la zona de Puerto Valle, a fin de disponer de niveles del lago más cercanos a los pozos monitoreados.

Otras recomendaciones como instalación de pluviógrafos y limnígrafos en los Esteros y la realización de aforos en el Río Corrientes y A° Aguapey, ya se concretaron o están en vías de concreción, por lo que no se las detalla en este punto.

Se analiza seguidamente la información consultada que permitió la elaboración del presente informe:

C. LOTTI & ASOCIATI S.p.A 14/9/99

“ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO MACROREGIONAL DEL AREA COSTANERA DEL RÍO PARANÁ EN EL TRAMO ENTRE PRESA YACYRETÁ Y EL A° YABEBIRY. INFORME FINAL” (pág. 1-72).

Conclusión. El suscrito entiende que el estudio debió focalizarse solamente en el punto 8.2. “Estudios e investigaciones a realizarse” (pág. 69-72), a fin de identificar la información necesaria para iniciar la operación de un modelo futuro, dado que la existente, al momento de efectuarse el estudio, era claramente insuficiente para desarrollar un modelo hidrodinámico aceptable. Por lo tanto el modelo propuesto en el trabajo evaluado, carece del sustento mínimo y elemental que acredite la veracidad de sus resultados.

Desarrollo del informe

El capítulo 1 (pág. 1-3), trata sobre las **Premisas y Antecedentes** y en el mismo se propone la realización del estudio hidrogeológico de unos 150 km a lo largo del curso del Río Paraná, desde 5 km aguas abajo de la presa hasta la desembocadura del A° Yabebiry. Lateralmente el área se extiende hasta unos 10 km de la ribera en el ámbito de la presa.

2. Análisis de la Información Básica (pág. 4-10), se refiere a la recopilación y el análisis de estudios e informes geológicos, hidrogeológicos e hidrológicos existentes y cita a los fundamentales.

3. Estudio Geomorfológico (pág. 11-24), se basa en la interpretación de imágenes satelitales en forma digital con SOFTWARE ERDAS y a la vista directa. La finalidad es comprender la evolución geomorfológica de la región influenciada por el Embalse Yacyretá, para contribuir al entendimiento de la incidencia del mismo en ámbitos naturales próximos, especialmente los Esteros del Iberá.

4. Hidrogeología (pág. 25-41). Sobre la base de los caracteres geológicos subdivide a la región en 2 sectores: **Oriental y Occidental.** En el **Oriental** se presentan basaltos cubiertos por suelos residuales y sedimentos aluviales y en el **Occidental** por depósitos aluviales del Oligoceno, del Pleistoceno (formaciones Ituzaingó, Toropí y Yupoi) y del Holoceno (depósitos lacustres y fluviales, recientes y actuales).

4.2. Sistema Hidrogeológico pág. (32-36). Como al geológico lo subdivide en 2 regiones: la Oriental, al este del meridiano 56° (20 km aguas abajo de Posadas-Encarnación), se inicia en un escalón morfológico de unos 50 m, recto, de rumbo NNE – SSO en margen derecha (MD) y más irregular en margen izquierda (MI). En esta zona, más elevada y morfológicamente erosiva, domina el basalto aflorante o subaflorante, cubierto por sus productos de alteración (suelos residuales). En la región Occidental, donde prevalece la deposición, el basalto subyace a mayor profundidad y está cubierto por sedimentos clásticos.

“En ambas zonas el basalto constituye el nivel impermeable que rige la circulación hídrica subterránea”?

Para la **Zona Este** menciona la existencia de 2 acuíferos; uno superficial contenido en los sedimentos limo – arcillosos residuales (Fm Apóstoles) y en los conglomerados poco cementados (Fm Ubajay) y el otro, más profundo, en los **tramos fracturados del basalto?** y en las areniscas de la Fm Misiones (esto hace incomprendible el párrafo anterior donde se cita al basalto como base impermeable del sistema hidrológico subterráneo).

Zona Oeste. Predominan los afloramientos de sedimentos terciarios y cuaternarios, predominantemente aluviales (Fm Reciente y Actual, Toropí – Yupofí, Ituzaingó y Fray Bentos), constituidos por conglomerados, areniscas, areniscas – limosas y limolitas, con estratificación entrecruzada. El sustrato impermeable (basalto?) se ubica a unos 40 – 50 m de profundidad y buza hacia el SO aproximadamente 0,1%. En Ituzaingó los basaltos se emplazan a pocos metros de profundidad y en otros sitios se profundizan a más de 100 m (**paleocauces sepultados**).

En MI el cauce del Paraná está separado de los Esteros del Iberá por un albardón que alcanza cota 90 m aproximada, mientras que los Esteros se emplazan a cota 72 m. La pendiente topográfica es hacia el SO. A lo largo de la costa el nivel impermeable (basalto) se ubica promedio a 50 msm y está cubierto por sedimentos permeables. No hay datos sobre la inclinación del techo del basalto; se supone que mantiene 0,1% hacia el SO. En Ituzaingó el basalto alcanza cota 80 m y en Puerto Valle -20 m (paleocauce del Río Paraná).

Cita un primer acuífero colgado desde poca profundidad hasta 10 - 11 m, con flujo hacia el Paraná por un lado y hacia los Esteros por el otro. Por debajo se ubica un segundo acuífero de gran capacidad, a profundidad entre 12 y 15 m, con un espesor medio de 20 m.

Menciona que mediciones con el río a tirante normal (cota 66 m) ubicaron el nivel freático a cota 80 m (acuífero colgado).

“En la situación actual, con el lago a cota 76 m la capa freática es seguramente alimentada permanente por las aguas del Paraná”? (se contradice con el párrafo anterior).

4.3. Piezometría (pág. 36-38)

Zona Este. Cita a la fig. 6.2.4.1. que reproduce la piezometría en régimen estacionario y dice que el agua subterránea escurre en el acuífero superficial, siguiendo aproximadamente la morfología del terreno. Las pendientes se mantienen bastante constantes variando entre 0,03 y 0,005. No menciona la cantidad de pozos censados ni su ubicación, en los que debería basarse el modelo. También dice que no hay red de pozos para monitoreo en ninguna de las 2 zonas y por lo tanto no se dispone de datos ciertos sobre fluctuaciones de la superficie freática. Por dichos de terceros asume fluctuaciones reducidas (algunas decenas de cm).

Zona Oeste. Dice que la reconstrucción de las curvas piezométricas en esta zona ha sido más difícil que en la Este. Finalmente agrega que la piezometría para ambos márgenes se reconstruyó sobre la base de **deducciones**, considerando como punto de medición del techo de la capa: las zonas húmedas, las lagunas, el cauce de los arroyos; etc (pág. 37 2do. párrafo), lo que demuestra que el modelo resultante no sirve. Por lo tanto las interpretaciones sobre direcciones de flujo y gradientes carecen de sustento y validez.

4.6. Relaciones entre aguas subterráneas y aguas superficiales (pág. 39-41)

Zona Este. La recarga se produce exclusivamente a partir de la infiltración de la lluvia. Del análisis detallado de los mapas piezométricos elaborados, surge que los acuíferos superficiales descargan sus aguas en los arroyos y el Río Paraná que constituye el nivel de base principal. "No hay evidencia de recarga de los acuíferos superficiales por parte de los arroyos y el Río Paraná por lo menos para un nivel de base a cota 78 msnm y precipitaciones medias". Para crecidas del río hasta cota 83 m, en las zonas ribereñas y en las cercanas a las desembocaduras de los arroyos, habrá una remonta del nivel de las aguas subterráneas, de muy difícil determinación por simples cálculos hidráulicos ni por la operación de modelos matemáticos. **Por lo tanto solamente es posible afirmar que será muy reducida y afectará una franja muy marginal?** No se entiende cómo si es de muy difícil o imposible determinación por métodos hidráulicos y aún con modelos, puede asumir que será muy reducida.

Zona Oeste. Inmediatamente aguas arriba de la obra, el techo impermeable del basalto se ubica en promedio a cota 50 m, manteniéndose en este nivel a lo largo de 35-40 km, vecinos a la costa. En Puerto Valle la geofísica detectó varios paleocauces que se profundizan hasta cota 20 m. En la pág. 21 cita para los mismos paleocauces (-20 msm).

El basalto está cubierto por sedimentos arenosos y permeables de 20 a 30 m de espesor, lo que apunta hacia un intercambio entre las subterráneas y las aguas del Paraná. Mediciones en la zona del albardón costero, antes de la construcción de la presa, detectaron la superficie freática aproximadamente a cota 72 m, con el tirante del Río Paraná a cota 66 m y el agua subterránea en la parte norte de los Esteros del Iberá y del A° Aguapey, a cota 70 m. En las condiciones actuales, con el lago a cota 76 m, existe drenaje subterráneo desde el Paraná hacia los Esteros y con el lago a cota definitiva (83,50 m), la cantidad de agua trasvasada aumentará.

5.4. Balance hidrológico (pág. 44-45)

Con insuficientes datos básicos propone el siguiente balance para el acuífero superficial de la Zona Este:

	Entradas	Salidas
	(10 ⁶ m ³ /a)	
Recarga por infiltración eficaz	140	
Descarga natural en arroyos y el Paraná		130

Y para la Zona Oeste:

	Entradas	Salidas
	(10 ⁶ m ³ /a)	
Recarga por infiltración eficaz	10	
Recarga desde el lago de Yacyretá	240	
Descarga hacia el sur		200
Total	250	200?

6. Modelo matemático hidrológico - Modflow (pág. 46-63). Le asigna los siguientes objetivos:

- Realizar un balance hidrogeológico general con enfoque particular en las zonas protegidas de ambas márgenes.
- Evaluar la relación agua superficial – subterránea.
- Identificar zonas con poca información para mejorarla en el futuro.
- Definir las variaciones piezométricas de los gradientes hidráulicos, por la elevación del lago desde cota 75 a 83 m, para un caudal medio del Paraná de 15.000 m³/s.

Expresa que el modelo debe considerarse preliminar debido a la escasez y poca representatividad de los datos básicos (niveles hidráulicos, profundidad del piso de los acuíferos, permeabilidad, transmisividad y almacenamiento).

Código de cálculo Modflow. Describe aspectos básicos del funcionamiento del modelo.

Modelo Hidrogeológico Macrorregional

Modelo conceptual de la circulación hídrica subterránea. La zona utilizada para la modelación abarca unos 5.200 km², comprendiendo el ámbito afectado por el embalse y varios cursos de agua como los arroyos Aguapey, San Martín, Garupá y Yabebiry.

Zona Este. El acuífero está constituido (a excepción de San Ignacio, donde prevalecen las areniscas) por suelos residuales arcillosos (Fm Apóstoles), con espesores variables desde unos pocos hasta 25 m, con un promedio de 8 a 10 m, constituyendo el basalto la base impermeable. **Dice que la morfología del basalto condiciona las direcciones del flujo freático. Sin embargo la morfología de la piezometría es la misma que la del territorio?** El acuífero es alimentado exclusivamente por la lluvia. No toma en cuenta el volumen extraído.

Zona Oeste. El acuífero está integrado en depósitos aluviales (conglomerados, areniscas y areniscas limosas, terciarias y cuaternarias) apoyados sobre el sustrato basáltico impermeable a 30-40 m de profundidad media con espesores máximos de 110 m (Puerto Valle). Señala un flujo desde el Embalse (cota actual 76 m) hacia los Esteros (cota 70 a 72 m). A la permeabilidad le asigna un valor de hasta 10 m³/s (85 m/d).

Construcción del modelo. La grilla del modelo consta de 9.301 celdas cuadradas de 1 km de lado compuesta por 71 líneas y 131 columnas. Evidentemente la enorme cantidad de celdas no se sustenta en información de base suficiente ni confiable. Al respecto, el Consultor ni siquiera elaboró una red de flujo subterráneo con niveles medidos en el campo, sino que dejó que la piezometría fuera calculada directamente por el modelo, obviando el principio básico y elemental para el ajuste que es comparar la piezometría medida con la prevista en la etapa de simulación.

Datos utilizados para la construcción del modelo:

Caudal medio del Paraná 15.000 m³/s

Lluvia media anual 1968/97 Posadas-Encarnación.

La permeabilidad se empleó como variable de ajuste para calibrar el modelo (ajuste de la piezometría calculada, a la medida), pero esta última no se midió en forma directa.

Cita que los valores de K se obtuvieron de datos bibliográficos referidos a terrenos de similares características hidrogeológicas al estudiado, pero no indica la fuente. Le asigna una K entre 0,04 y 0,6 m/d para la Zona Este y entre 43 y 865 m/d para la Zona Oeste.

La infiltración eficaz considera que varía entre 15 y 148 mm/año en la zona Este y entre nula para la región de los Esteros y 40 mm/a en la zona ubicada al oeste de Ituzaingó.

Cargas hidráulicas iniciales las refiere al estudio hidrogeológico de base (4.2), pero en dicho punto sólo hace consideraciones generales sobre potenciales hidráulicos y caracteres hidrogeológicos de las regiones oriental y occidental y no cita ningún relevamiento de campo con medición directa de niveles.

Calibración del modelo en régimen estacionario

Luego de aplicar el método trial and error (prueba y error) sostiene un buen ajuste debido a la correspondencia entre la forma de la superficie piezométrica reconstituía con

los datos de campo existentes y la calculada. Sin embargo, sólo adjunta un mapa con las curvas equipotenciales calculadas por el modelo pero no con las medidas.

En condiciones estacionarias, o sea sin considerar variaciones de agua almacenada, el modelo brinda para la **Zona Este** recarga por infiltración de la lluvia **137 hm³/a**, **descarga hacia los arroyos y Río Paraná 130 hm³/a**. En la **Zona Oeste** la recarga se produce desde el lago de Yacyretá (**7,7 m³/s = 243 hm³/a**) y la salida es hacia el sur con flujo hacia los ríos Corrientes y Uruguay.

Calibración del modelo en régimen transitorio

No utiliza las variaciones en los niveles hidráulicos (variación en la reserva) pues no los midió y sólo asume un almacenamiento $S = 7,5 \cdot 10^{-3}$, en la zona este y $1,75 \cdot 10^{-2}$ en la zona oeste, que dice obtener de datos bibliográficos de terrenos similares pero que no cita. **Evidentemente, dado las falencias mencionadas, el modelo carece de validez.**

Hipótesis sobre el comportamiento futuro de las aguas subterráneas

Considera 8 escenarios de simulación en régimen transitorio para una elevación del lago de Yacyretá desde cota 75 a 83 msm para un caudal medio del Paraná de 15.000 m³/s.

Los 8 escenarios están definidos por diferentes cotas del agua embalsada y por ende por diferentes tiempos de llenado y de operación del embalse, alcanzando hasta un máximo de 5 años de operación.

Concluye en que: en la zona este no se aprecian cambios sustanciales en la forma y distribución de las isopiezas entre el escenario inicial (embalse a cota 75 m) y el final (escenario 8 embalse a cota 83 m).

En la zona oeste la piezometría está más influenciada por las variaciones del agua embalsada.

En relación a los trasvases desde el embalse hacia “los acuíferos de los esteros” dice que el modelo calcula para el 1er escenario (cota de embalse 75 m) 7,9 m³/s 249 hm³/a.

2°	cota embalse	75,7 m	8,4 m ³ /s	265 hm ³ /a
3°	cota embalse	76,4 m	8,8 m ³ /s	277 hm ³ /a
4° y 7°	cota embalse	79,4 m	11,0 m ³ /s	347 hm ³ /a
5°, 6° y 8°	cota embalse	82,9 m	12,7 m ³ /s	400 hm ³ /a

Respecto a las variaciones de los niveles hidráulicos menciona para los piezómetros 1 y 2, vecinos a la margen sur del embalse, un aumento desde 61,7 m (escenario 1) hasta 63,3 m (escenario 8) y para el 5, ubicado en los Esteros del Iberá desde 61,4 (escenario 1) hasta 62,2 m (escenario 8).

Conclusiones de Lotti & Asociatti

“El grado de calibración es bueno ya que el modelo proporciona una **superficie piezométrica parecida a la obtenida mediante el uso de cotas piezométricas recopiladas de los datos existentes en el curso del presente estudio**”

Cita el capítulo 4.3. donde dice “Debido a la mala distribución de los datos disponibles, la piezometría del área para ambas márgenes ha sido recopilada en base a deducciones, considerando como punto de medición del techo de la capa: las zonas húmedas, las lagunas, el cauce de los arroyos, etc”.

Lo antedicho no deja duda de que el Consultor no realizó un relevamiento de campo con mediciones directas de niveles hidráulicos y por lo tanto, no dispone de un mapa con curvas equipotenciales reales, base indispensable para intentar la calibración del modelo, por comparación entre los niveles medidos y los simulados. En definitiva, el modelo carece del sustento necesario para establecer el grado de representatividad de la simulación.

8. Conclusiones y Recomendaciones

Dice que el “estudio, realizado sobre la base de la documentación disponible, ha aclarado en forma exhaustiva los mecanismos que regulan la circulación hídrica subterránea en el área de estudio”.

Con la información disponible creo que dicho objetivo no se ha cumplido y menos en forma exhaustiva.

8.2. Estudios e Investigaciones a realizarse (pág. 69-72)

Propone una serie de tareas e investigaciones para las zonas críticas.

Zona Este – Esteros del Iberá

Cita que deben comprobarse las hipótesis asumidas para desarrollar el modelo matemático:

- Morfología del techo del basalto
- Dirección de los paleocauces
- Niveles freáticos y permeabilidades en una franja del albardón costero
- Caudales de los ríos y arroyos que se originan en los Esteros.
- Datos climáticos en el interior de los Esteros
- Niveles del lago a lo largo de la costa

Propone la ejecución de:

- 12 perfiles sísmicos (84 km)
- Perforación de 24 pozos de monitoreo hasta el techo del basalto con ensayos de bombeo escalonados y a caudal constante para determinar los parámetros hidráulicos del acuífero. En los pozos se medirán los niveles cada 15 días. Longitud total a perforar estimada 1.200m.

Censo de fuentes: pozos, manantiales, lagunas, cualquier otro tipo de afloramiento de aguas subterráneas. Para las lagunas propone una medición mensual de sus niveles.

Datos climatológicos: instalar al menos 2 estaciones meteorológicas automáticas en el interior de los Esteros.

Medición de caudales: aforos mensuales en las cabeceras del Río Corrientes y arroyos Miriñay y Aguapey.

Nivel del Paraná: registro quincenal del tirante del río en Puerto Valle. Además de los estudios recomendados, será oportuno ampliar el modelo hacia el S, hacia la zona de descarga de la capa freática y ampliar su escala a 1:25.000 en una franja de 50 x 20 km, a lo largo de la costa, al E de Ituzaingó.

Piezómetros de monitoreo del modelo matemático

Propone, tanto para margen izquierda como para margen derecha la construcción de 6 piezómetros (3 por cada margen) estimando 250 m de perforación.

Tanto las líneas sísmicas como las perforaciones propuestas están ubicadas en un mapa que no tiene escala.

HARZA Y CONSORCIADOS. PROYECTO YACYRETA 11247 - I - 31.3.00

“PLAN DE INVESTIGACIÓN Y MONITOREO. INTERRELACIÓN ENTRE EL EMBALSE DE YACYRETÁ Y LOS ESTEROS DEL IBERÁ”. MARZO/01

Conclusión

Cita la información existente y se propone la ejecución de 9 perforaciones exploratorias, la realización de prospección geosísmica y la instalación de pluviógrafos, evaporímetros y la medición de niveles superficiales en sitios lindantes con los Esteros, a fin de precisar el conocimiento de la relación entre el agua embalsada y la subterránea.

Del trabajo surge la necesidad de incorporar nueva información debido a que la existente resulta insuficiente para la definición de: cantidad, distribución y comportamiento de las unidades hidrogeológicas (acuíferos y acuitardos), litologías, espesores, permeabilidades, porosidades; ubicación, orientación y geometría de los paleocauces; comportamiento de la roca basáltica en relación a su capacidad para transmitir agua; potenciales hidráulicos a diferentes profundidades (piezómetros); oscilación de la superficie freática y su relación con la infiltración y el ascenso del nivel embalsado.

De lo antedicho surge claramente la ineficacia de la información disponible, como base para establecer el flujo subterráneo actual hacia el embalse y predecir la magnitud del futuro, desde el embalse hacia el acuífero, cuando el primero alcance cota 83 m y que fue estimado por Harza en $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$, sobre la base de un modelo muy elemental (bidimensional), que por ello y por lo expresado respecto a la información disponible, carece de representatividad.

Objeto (pág. 1)

Señala como objetivo la presentación del plan de investigación destinado a ampliar la información disponible y la red de monitoreo, actualmente en operación, para estudiar la evolución de la superficie freática y la ocurrencia de eventuales filtraciones desde el Embalse Yacretá hacia los Esteros del Iberá.

Antecedentes (pág. 1)

Cita los antecedentes más trascendentes vinculados a relevamientos geológicos, perforaciones de estudio, ensayos in situ y de laboratorio, prospección geosísmica, relevamientos hidrogeológicos, etc, realizados para definir la factibilidad geológico-geotécnica del emplazamiento y durante las distintas fases del proyecto.

De los antecedentes y estudios disponibles Harza concluye que:

- 1- existe una voluminosa documentación que define las características geológico-geotécnicas particularmente en la MI del embalse desde Rincón Santa María hasta más allá de Puerto Valle.
- 2- Con el embalse a cota 76 m no se producen filtraciones hacia los Esteros; esto por el resultado obtenido en los registros freaticométricos.
- 3- Para la etapa de operación a cota definitiva de 83 m, el trasvase se cuantificó entre $0,1$ y $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$. Finalmente adopta un valor de $0,57 \text{ m}^3/\text{s}$, que resulta insignificante comparado con los aportes al Iberá, que descarga por el Río Corrientes con un módulo de $172 \text{ m}^3/\text{s}$ en Paso Lucero.

Informe del Panel de expertos (agosto/00) (pág. 4)

De acuerdo a Harza, el panel formado por Ing. Oscar Vardé, Ing. Eliseo Popolizio, Ing. Luis Amabile, Dr. Ing. Víctor De Bello, Dr. Jorge Santa Cruz y Dr. Hidrog. José Armayor, concluye que: de la información analizada surge que en la actualidad las filtraciones, en caso de existir, tendrían efectos muy poco significativos sobre los Esteros del Iberá y que de producirse, podrían ser rápida y efectivamente mitigados o eliminados mediante tecnología convencional y en corto plazo.

No obstante, a fin de complementar la información disponible, el Panel recomendó un plan de investigación y la implementación de una red de monitoreo continuo para

registrar la evolución de los niveles freáticos hasta el llenado del embalse a cota definitiva.

Características de la zona de estudio (pág. 5)

Topografía y estratigrafía

Dice que la MI es elevada y por ello sólo en sectores limitados requiere la construcción de una presa lateral para evitar fugas superficiales.

Respecto a la estratigrafía cita para el albardón costero:

- Terreno natural de 88 a 90 msm
- Manto superior de arcilla de 5 a 9 m de espesor.
- Arena fina a media con gravilla silícea, de 9 a 35 m de profundidad.
- Techo de roca (basalto) aproximadamente 50 msm, determinado por sísmica. El basalto emerge hacia el E aflorando en Rincón Ombú y hacia el O en Rincón Santa María. Otra secuencia para el paleocauce, ubicado en la cercanía del cruce de las rutas 12 y 41 (con un ancho de 1,5 km), es:
 - terreno natural de 88 a 90 msm
 - de 0,0 a 0,55 m (89,45 msm): suelo vegetal
 - de 0,55 a 7,5 m (81,5 msm): arcilla limosa gris con bajo % de arena, muy plástica y blanda.
 - de 7,5 a 43,5 m (46,5 msm): arena media a fina, gris blanquecina; en algunas secciones hay arenas más gruesas hasta gravillas.
 - de 43,5 a 47,0 (43,0 msm): grava y gravilla silícea, con arena gruesa y niveles de arenisca conglomerádica.
 - de 47,0 a 100 m (-10 msm): arcilla limosa rojiza, muy compacta.
 - de 100 a ? m (-10 a ? msm): techo de basalto por sísmica.

3.2. Niveles freáticos (pág. 6-7)

Presenta un gráfico con niveles de 4 pozos de exploración, construidos en etapas anteriores, siguiendo el albardón costero. El más bajo registra 75 y el más alto 80,2 msm de nivel hidráulico. Cita que en esa época el tirante del Río Paraná fluctuaba por debajo de 68 msm; por lo tanto actuaba como efluente.

En otra sección transversal al albardón (Crouset, DNGM), se aprecia una divisoria de agua subterránea coincidente con la culminación del albardón, que parte el flujo hacia el río por un lado y hacia los esteros por el otro (distancia entre el río y los esteros aproximadamente 4 km).

En otras figuras compara los niveles de 3 freáticos con el de llenado del embalse 1998/2000 (cota actual 76 m), concluyendo en que los niveles medidos en los pozos son mayores que los del embalse y por lo tanto el flujo subterráneo continúa siendo hacia el mismo y hacia los esteros.

4. Plan de Investigación y Monitoreo (pág. 7-10)

El objeto es obtener información adicional para complementar la base de datos y la red de monitoreo actual. El monitoreo tiene como finalidad controlar el comportamiento hidrodinámico subterráneo en esta y en las futuras etapas de llenado del embalse.

• Pozos de exploración

Propone la ejecución de 9 pozos de exploración convencionales dispuestos en 3 secciones, dos de ellas transversales al albardón y la restante, en el ámbito del paleocauce (Puerto Valle). Describe la técnica para perforar y cita la realización de ensayos Lefranc en tramos de 5 m y la penetración en el basalto fresco (RQD entre 80 y 90 %) o hasta un máximo de 10 m y ensayos de presión de agua en roca (Lugeon) en tramos de 5 m.

Menciona la instalación de freáticos y 3 piezómetros en cámaras de captación a diferentes niveles. Adjunta un anexo con las especificaciones técnicas para la ejecución de los pozos, entubamientos y ensayos. También propone la instalación de pluviógrafos, evaporímetros y medición de niveles superficiales en sitios lindantes con los esteros.

Recomienda la integración de las nuevas perforaciones exploratorias a la red de monitoreo que se opera actualmente.

- **Modelación matemática**

En una primera etapa propone la aplicación de un modelo bidimensional, similar al que adjunta, sobre la base de los registros y parámetros correspondientes a los pozos P9, P7 y P10. Posteriormente, recomienda el desarrollo de otro modelo tridimensional para simular el flujo subterráneo en la región comprendida entre el Embalse Yacyretá y los Esteros del Iberá.

JOSÉ L. ANGELERI

“DOCUMENTACIÓN REFERIDA A LA INTERRELACIÓN ENTRE EL LAGO DE YACYRETÁ Y LOS ESTEROS DEL IBERÁ”. ITUZAINGÓ 11/00

Conclusión

En el informe el Lic. Angeleri cuestiona la falta de una pantalla impermeable en margen izquierda, que posee condiciones más favorables para la fuga subterránea del embalse que la margen derecha; sin embargo esta última posee pantalla impermeable.

La documentación elevada por el Lic. Angeleri al BID consiste en:

- 1- Propuesta elaborada por el citado para el Instituto Correntino del Agua, presentada al Panel de Expertos reunido en Ituzaingó del 1 al 3/8/00. La misma obra en poder de la EBY y se refiere a las metodologías y estudios que deberían realizarse para verificar o no la existencia del trasvase.
- 2- Copia del informe reservado elaborado por el Panel de Expertos proponiendo la ejecución de una red de monitoreo.
- 3- Reporte sobre la base del informe reservado del Panel de Expertos, proponiendo investigaciones hidrogeológicas en la zona del posible trasvase y monitoreo del agua subterránea.
- 4- Síntesis de la exposición del Lic. Angeleri en el Taller sobre Impacto Ambiental de la Presa Yacyretá - Ministerio de Desarrollo Social y Medio Ambiente. Buenos Aires, octubre/00.
- 5- Síntesis de las conclusiones del taller citado en 4.

A continuación se analizan los puntos citados, siguiendo su ordenamiento:

1- Margen sur del Lago Yacyretá; área de supuesto trasvase a los Esteros del Iberá.

- a- Detección de los paleocauces, a través de los cuales se comunicarían el Embalse y los Esteros.
- b- Propuesta de los estudios necesarios para evaluar la magnitud de los trasvases.
- c- Identificación de los sitios que podrían afectarse por el ascenso freático y del espejo de agua de los Esteros, por el presunto trasvase.
- d- Esbozo de posibles soluciones.

Propuesta de trabajos referidos a los puntos a – c

Este punto se inicia con una crítica a la EBY con relación a la escasa información aportada sobre trabajos y estudios anteriores (Herbst - Santa Cruz, De Alba, Crouset, LITSA). También cuestiona la no construcción de una pantalla impermeable en la margen argentina, mientras que existe una de cemento – bentonita en la paraguayana, pese a que presenta mejores condiciones geotécnicas en la roca de base (basalto).

Respecto a los informes de CIDY y LOTTI, los critica por carecer de los datos necesarios para desarrollar modelos representativos como: geometría de las unidades productivas y de las de baja permeabilidad; parámetros hidráulicos; cantidad y comportamiento de los acuíferos; ámbito de validez geográfica de las variables; etc.

Propone la realización de perfiles sísmicos entre Villa Olivari y Ea. Santa Tecla o Rincón Ombú, de traza subparalela a la ruta 12 y espaciados 10 o 20 km; podrían agregarse perfiles transversales en función de los resultados de los anteriores.

Tomando en consideración los resultados geosísmicos, las evidencias de hundimiento del terreno y la insinuación de paleocauces en las imágenes satelitales de Puerto Valle, se elegirán los sitios para ejecutar perforaciones de reconocimiento. Estas, además de los registros de rutina (muestreo litológico, ensayos de absorción) servirán para ubicar los pozos de estudio y de observación que se emplearán para realizar ensayos de bombeo a fin de determinar los parámetros hidráulicos del o los acuíferos (transmisividad, almacenamiento) y de los pozos (caudal específico y eficiencia). Conjuntamente con estos estudios propone completar la red de monitoreo, particularmente aguas abajo del cierre, para verificar la posible incidencia del proceso de vasos comunicantes que podría afectar los niveles subterráneos en Ituzaingó y Villa Olivari.

Recomienda el uso de trazadores y la recopilación de mediciones limnimétricas en los Esteros y el Río Corrientes.

Propuesta de plan de vigilancia de las aguas subterráneas. Investigación hidrogeológica (Panel de Expertos).

Propone:

- Análisis detallado de la información geológica, geofísica, hidrológica e hidrogeológica.
- Realización de un estudio hidrogeológico de detalle entre el lago de Yacyretá y los Esteros, abarcando el área comprendida entre Villa Olivari y Puerto Valle y monitoreo permanente de una red, que consistirá en:
 - Implementación y gestión de una base de datos existentes y a recoger, compatible con un sistema GIS.
 - Diseño y ejecución de una red piezométrica acotada y georeferenciada.
 - Ubicación de las zonas más favorables para la perforación de los sondeos de observación.
 - Realización de sondeos de pequeño diámetro totalmente penetrantes, con muestreo litológico, ensayos de absorción y encamisado de los mismos.
 - Operación de la red durante un año al menos, con registros mensuales.
 - Elaboración de un informe interno semestral y otro final donde se identifique a los piezómetros que pasarán a integrar la red de control permanente.
 - Realización de ensayos de bombeo con pozos únicos y de observación.
 - Elaboración de un mapa con la distribución de los parámetros hidráulicos.
 - Seguimiento de la evolución del nivel de los Esteros durante 1 año, con instalación de escalas en diferentes lugares del Iberá, pluviógrafos y limnógrafos.
 - Ejecución de piezómetros totalmente penetrantes, dentro de los Esteros, en una línea N-S.
- Comparación entre niveles superficiales y registros de lluvia.

Plan de investigación hidrogeológica de la zona de posible trasvase y propuesta de monitoreo de aguas subterráneas. Informe basado en el reservado producido por el Panel de Expertos mayo/00)

Menciona los estudios que considera necesarios para estimar el posible trasvase de alcanzar el lago la cota 83 m. La mayoría ya fueron citados en el capítulo **Propuesta de trabajos**. Estima una duración de 18 meses y aporta como novedoso la existencia en Ituzaingó y zonas vecinas de pozos que extraen agua del basalto con altos rendimientos (más de 25 m² “debería ser 25 m³/h”). Esta condición no condice con la asumida por Lotti que considera al techo del basalto como sustrato impermeable.

Nota del Lic. Angeleri al Subsecretario de Ordenamiento y Política Ambiental de la Nación

Remite una síntesis de su exposición en el Taller sobre Impacto Ambiental de la Represa Yacyretá. Menciona que el área problema se sitúa al E de Ituzaingó, sobre todo entre Loma Irala (Irala Cué), Puerto Valle, empalme ruta 41 y empalme a Virasoro. Refiere 3 factores que pueden incidir en el probable trasvase desde el embalse hacia los esteros:

1. Un gran paleocauce de unos 100 m de profundidad, excavado en el basalto, que cruzaría entre la Isla Talavera y Ruta 41 a Mercedes.
2. La cobertura sobre el basalto de arenas saturadas, en el albardón, con espesores de hasta 30 m, que podrían constituir vías de conexión entre el lago y los esteros.
3. El basalto, que fue considerado como sustrato impermeable para la definición conceptual de los modelos numéricos (Lotti y Harza), mostró altas productividades en los pozos de la obra utilizados para la fabricación de cemento y es la unidad hidrogeológica empleada para el abastecimiento a Ituzaingó y alrededores.

Taller sobre Impacto Ambiental de la Represa Yacyretá. Efecto de la Elevación de Cota del Embalse sobre el Sistema Iberá. Ministerio de Desarrollo Social y Medio Ambiente. Buenos Aires, octubre/00.

El Subsecretario de Ordenamiento y Política Ambiental de la Nación (Lic. Patrouilleau) precisó que en ejercicio de las funciones que le competen al organismo ambiental, el objetivo de la convocatoria es contribuir a la adopción de una posición acerca de las interacciones entre la presa y el ambiente circundante, sobre cuya base pueden lograrse alternativas de gestión compatibles con el desarrollo sustentable.

En el taller expusieron expertos de universidades y organismos nacionales y uno de la Universidad de Carolina del Este, sobre los siguientes temas:

- Conservación y gestión de humedales
- Ecología fluvial y dinámica de las especies migratorias en la cuenca del Plata
- Manejo sustentable de los humedales del Mercosur
- Interrelación entre el Embalse Yacyretá y los Esteros del Iberá
- Esteros del Iberá, ámbito de descarga regional del agua subterránea
- Experiencias en la ecología y manejo de humedales en Estados Unidos de América

Conclusiones

Alteraciones en el macrosistema del Iberá

Si bien todavía no se conoce con certeza el grado de influencia del Embalse sobre los Esteros, el ascenso del espejo de agua en estos, hecho que la mayoría de los disertantes atribuyó al llenado del Embalse, ha producido múltiples alteraciones en el ecosistema del humedal, que se reflejan en daños a componentes de la flora y la fauna silvestres, actividades productivas (arrocera, forestación, ganadería, turismo, etc). Teniendo en cuenta que tales impactos se detectan con la actual cota de operación (76 m) el escenario que se presume para la elevación a cota 83 m, se estima sumamente comprometido.

Interrelación entre la represa y el cambio en el régimen hidrogeológico de las áreas aledañas

Al modificar la cota del Río Paraná que en condiciones naturales oscilaba entre 65 y 70 m a 75 m (actual) y a 83 m que es la prevista para la operación definitiva del embalse, el río se transformará de efluente (recibe aporte subterráneo) a influente (el embalse cederá agua al acuífero) a través de sus márgenes y por el fondo del mismo. **“Esta condición de nuevo equilibrio hidráulico e inversión del flujo es irrefutable, por lo tanto los estudios deben apuntar a establecer: la magnitud que tendrá dicho flujo para diferentes cotas de agua embalsada; la incidencia que ejercerá en la posición del agua freática, particularmente en relación a la posibilidad de alforamientos en zonas bajas; cuanto tiempo insumirá alcanzar el nuevo equilibrio; que influencia tendrá en el espejo de agua de los Esteros y en los niveles piezométricos aguas abajo del cierre (Ituzaingó y alrededores)”**.

“La dilucidación de estos puntos resulta imprescindible para lograr un aprovechamiento sustentable del recurso hídrico de la región (embalse, esteros, agua subterránea), al que están íntimamente asociados el resto de los recursos naturales (suelo, biota, aire). La información disponible para esta acción resulta claramente insuficiente, por lo que debería generarse la que sea necesaria mediante estudios y tareas adicionales”.

Ineficiencia de información básica para la toma de decisiones

Existe un elevado nivel de incertidumbre sobre el fenómeno en cuestión producto de:

- a) debilidad de la información de base (insuficiente red hidrométrica, ausencia de mediciones freáticas, insuficiente registro de lluvias, de agua subterránea y de caudales).
- b) Inadecuación de la calidad de la información (escasa densidad y geometría deficiente de la red hidrométrica).
- c) Inadecuación de los datos geológicos e hidrogeológicos
- d) Deficiente información sobre el comportamiento hidrogeológico en la zona de influencia del embalse.
- e) Reducido período de registros.

Un estudio realizado por la UNCPBA en el marco del Congreso Humedales del GEF concluye en que el egreso de agua superficial de los Esteros es mayor que el esperado en función del ingreso por precipitación y por ende el aporte de agua subterránea es muy importante. Las primeras conclusiones indican que mientras en la década del 70, el 20% de los ingresos salían por el Río Corrientes, en el período 89/98 este egreso representó el 44% de los aportes provenientes de la lluvia. Todo ello en el marco de inexistencia de un incremento excepcional en el régimen de la precipitación.

Conclusión

En el informe el Lic. Angeleri cuestiona la falta de una pantalla impermeable en la margen argentina, que posee peores condiciones geotécnicas en la roca de base que la paraguaya, donde si se construyó una pantalla de bentonita-cemento.

- Critica los informes de CIDY y LOTTI por carecer de los datos necesarios para desarrollar modelos representativos.
- Propone la realización de perfiles sísmicos entre Villa Olivari y Rincón Ombú para establecer las características y orientación de probables paleocauces.

- Recomienda la ejecución de perforaciones de reconocimiento, ensayo y observación para precisar las características litológicas del subsuelo y su comportamiento hidrogeológico.
- Sugiere completar la red de monitoreo hidrogeológico, particularmente aguas abajo del cierre, para controlar la posible incidencia en los niveles subterráneos como consecuencia del proceso de vasos comunicantes.
- Recomienda el uso de trazadores radiactivos para verificar las direcciones y velocidades de flujo subterráneo.

El trabajo de Angeleri es concreto y del mismo se desprende el conocimiento que posee sobre la zona en conflicto y sobre el comportamiento y los procesos cualitativos que se producen o que podrían producirse para diferentes escenarios de cota de agua embalsada. A fin de cuantificar en forma representativa dichos procesos, propone la ejecución de estudios y mediciones hidrométricas específicas.

HARZA Y COSORCIADOS. JUNIO/2000

“INFORME SOBRE LA INTERRELACIÓN DEL EMBALSE YACYRETÁ Y LOS ESTEROS DEL IBERÁ. INFORME EJECUTIVO”. Vol. 1, pág. 1-10.

Conclusiones. Este informe es una síntesis del que con el mismo título, se identificó como volumen 2 y por lo tanto lo suple en lo referente al desarrollo analítico realizado por el suscrito.

- El modelo bidimensional en régimen estacionario, empleado para la estimación del trasvase desde el Embalse a los Esteros para cota 83 m del primero, es simplista pues no considera la variación en el volumen de agua almacenada. De cualquier manera, es válido como herramienta preliminar a fin de obtener órdenes de magnitud del flujo subterráneo.
- En relación a los parámetros utilizados en el modelo, a la fecha existen serias dudas respecto a: la posición y características hidráulicas del sustrato basáltico. El primer punto se refiere a la morfología del techo del basalto, que se profundiza marcadamente en Puerto Valle. El comportamiento hidráulico se refiere a la capacidad potencial de transmitir agua, que pareciera tener la sección superior alterada de la secuencia basáltica.
- Espesor y permeabilidad de las unidades sobrepuestas al basalto. En este aspecto se destacan el paquete de grava identificado en Puerto Valle y las areniscas de la Formación Ituzaingó. En el ensayo de bombeo realizado en Puerto Valle, el pozo de extracción y los de observación se terminaron con sus filtros dentro de las Areniscas de Ituzaingó, (a 35 m de profundidad) unos 8 m por encima del paquete de grava que se desarrolla entre unos 43 y 47 m de profundidad. Por ende, el valor de permeabilidad obtenido en dicho ensayo corresponde a las areniscas y no a la grava, cuya permeabilidad es desconocida hasta el momento. En el modelo, sin embargo, se le asigna a la grava la permeabilidad calculada en el ensayo (10^{-1} cm/s), situación que deberá ajustarse cuando se disponga de la información adicional, derivada de los 9 pozos de estudio ya aprobados por EBY y en vías de adjudicación, y de otras investigaciones que el suscrito entiende imprescindibles, para sustentar con solidez la predicción respecto al flujo y a la posición de la superficie freática en el albardón, para una cota de operación del Embalse de 83 msm. Para la simulación antedicha, deberá

recurrirse a un modelo tridimensional, que resuelva la condición de flujo en régimen estacionario pero también variable.

En forma sintética los estudios adicionales necesarios, para mejorar el conocimiento hidrogeológico son:

- Ejecución de 2 ensayos de bombeo con 3 pozos de observación cada uno, dispuestos en forma radial alrededor del pozo de extracción. La ubicación preliminar de las baterías de ensayo se indica en el mapa adjunto, mientras que el diseño y terminación de los pozos se realizarán cuando se disponga de la información que brinden los 9 pozos de estudio ya citados.

- Realización de 2 líneas geosísmica para precisar la posición del techo del basalto y establecer la existencia o no, del supuesto paleocauce en Puerto Valle, identificado hasta el presente como una depresión pero en una sola sección, lo que impide definir la forma y orientación de la misma. Además de las mencionadas el suscrito considera conveniente realizar otras tareas, cuyo detalle se cita en el punto 1 del presente informe (Recomendaciones).

2. Objeto (pág. 1)

Presenta los resultados de una evaluación actualizada de la interrelación del Embalse Yacyretá con los Esteros del Iberá. Se cuantifica la magnitud de los caudales que se podría esperar que trasvasen desde el Embalse hacia los Esteros, debido a filtraciones en la MI.

4. Antecedentes (pág. 2-4)

Menciona los títulos de los informes analizados para desarrollar el presente de Harza y Consorciados-CIDY sobre estudios de: geología de detalle, sismicidad, materiales pétreos para la construcción, geología regional, censo de pozos, geotecnia de diseño, niveles freáticos, calicatas, obras civiles, sistemas de auscultación, pozos de observación y de ensayos de bombeo.

6. Estudios actualizados a junio/2000 (pág. 4-6)

“El análisis de los niveles freáticos permitió concluir que no existe un caudal de trasvase desde el Embalse hacia los Esteros para la cota actual de operación”. Por tal motivo se evaluó solamente la situación para la operación a cota definitiva (83 m en el eje Posadas-Encarnación) y se cuantificó la magnitud del trasvase esperable. Para ello se utilizó un modelo computacional matemático bidimensional, en diferencias finitas que permite el trazado de la red de flujo y la determinación del caudal.

6.1 Ecuaciones del problema (pág. 5)

Desarrolla la Ley de Darcy y la ecuación de continuidad de Laplace.

6.2 Selección del modelo (pág. 5-6)

Se empleó el programa ELF desarrollado en la Universidad de Illinois, que se basa en la representación bidimensional de las líneas de flujo y equipotenciales, para determinar el caudal en régimen estacionario.

7.1 Albardón costero (pág. 6-7)

El primer análisis se realiza para un espesor de grava de 11,5 m, que arroja un caudal de pasaje por debajo del albardón, desde el Embalse hacia los Esteros, de 0,37 m³/s de los cuales 0,31 m³/s fluyen por la grava y el resto por la arena superpuesta (20 m), para una longitud expuesta a la filtración de 12 km. Arriba de la arena se emplaza una capa de arcilla de unos 9 m de espesor. Luego realiza otra estimación para un

espesor de arena y obtiene 0,61 m³/s. Finalmente le asigna a la grava 23 m de potencia y obtiene para una sección de 10 km de largo un caudal trasvasado de 0,62 m³/s.

7.2 Paleocauce (pág. 7)

En la condición más favorable para el trasvase (paleocauce ocupado totalmente por grava) el caudal es de sólo 0,195 m³/s para una sección de 1,5 km de longitud.

7.3 Resumen (pág. 7-8)

Adopta para el trasvase la suma de los caudales del albardón y del paleocauce obteniendo 0,57 m³/s.

Agrega una tabla y en su fila inferior reproduce las condiciones de máxima para el trasvase.

Albardón	Paleocauce	Total
18 km 0,56 m ³ /s	3 km 0,39 m ³ /s	0,95 m ³ /s

7.4 Impacto del trasvase sobre los Esteros (pág. 8-9)

Compara el caudal estimado con los aportes hídricos a la cuenca de los Esteros del Iberá (59 m³/s en la región deprimida) y 172 m³/s en el Río Corrientes (Paso Lucero). El mayor caudal adoptado para el trasvase (1 m³/s) sólo representa el 1,7% del aporte menor (59 m³/s).

8. Conclusiones de Harza (pág. 9-10)

- Los niveles freáticos no han sufrido variaciones en MI como consecuencia del llenado del Embalse y la recarga se produce por infiltración de la lluvia.
- Los niveles freáticos medios en la zona del albardón (75 a 78 msm) indican que una faja del acuífero drena hacia el Embalse y la otra hacia los Esteros. Por lo tanto en la condición actual no hay pasaje del Embalse hacia el acuífero.
- Las hipótesis sustentable de cálculo, indican que le caudal total de trasvase para la cota definitiva del Embalse (83 msm) se ubicaría entre 0,1 y 0,6 m³/s.
- La escasa magnitud del trasvase, frente a los aportes que reciben los Esteros, no afectará el nivel en la depresión del Iberá ni al ecosistema asociado.
- La lluvia es el principal factor de aporte a la depresión del Iberá, que drena por el Río Corrientes con un módulo de 172 m³/s en Paso Lucero, para una cuenca de 13.877 km².
- A la depresión del Iberá, hasta la formación del Río Corrientes, le asigna un área del orden de 5.300 km².
- Aún asignándole un caudal de 10 m³/s al trasvase desde el Embalse a los Esteros (caso hipotético extremo) y considerando que dicho caudal (300 hm³/año) no tuviera descarga, el incremento en el nivel de los Esteros sería de sólo 57 mm/a en los 5.300 km².

Consecuentemente el aporte hipotético de máxima, carece de significación respecto a los derivados de: escorrentía, lluvia y flujo subterráneo que alimentan a la depresión del Iberá.

PANEL DE EXPERTOS. ITUZAINGÓ 1 al 3/8/00

“Interrelación entre el Embalse de Yacyretá y el Sistema del Iberá” (pág. 1-10)

1. Introducción

“Los expertos fueron convocados por la EBY para someter sus conclusiones y recomendaciones con respecto a la eventual interrelación del Embalse Yacyretá y los Esteros del Iberá”.

2. Evaluación de datos empleados y presentados

A los datos empleados los subdivide en 3 partes:

- a) Aportes de datos, informaciones e inquietudes de las diferentes organizaciones e instituciones invitadas.
- b) Aportes de datos empleados por Lotti.
- c) Aportes de datos empleados por Harza 2000.

Respecto al punto a) el informe señala que existe una generalizada convergencia de opiniones y preocupación de las diferentes instituciones relacionadas a la posible interconexión del Embalse Yacyretá con los Esteros del Iberá y que los representantes en general manifiestan preocupación por la falta de información o conocimiento pormenorizado de la problemática ambiental y probable trasvase de agua del sistema Yacyretá a los Esteros del Iberá. También se manifiesta preocupación con relación al súbito aumento del nivel de los Esteros (alrededor de 80 cm) a partir de 1989, pero no existe sustento técnico que relacione el evento al llenado del Embalse.

En relación al punto b) cita que Lotti asumiendo una serie de hipótesis hidrológicas, hidrogeotécnicas y topográficas llega a los siguientes resultados:

- permeabilidad media	10^{-1} cm/s
- carga hidráulica	23 m
- ancho sección de trasvase	50 km
- profundidad sección de trasvase	20 m
- caudal determinado	12,7 m ³ /s

Para procesar los datos utilizó el modelo modflow, intentando simular el flujo desde el Embalse al Sistema Iberá. “El procedimiento utilizado no presenta confiabilidad de resultados debido a que el modelaje ha sido alimentado con datos insuficientes e informaciones no válidas, que puedan evaluar y respaldar técnica y convenientemente los resultados”

Respecto al punto c) menciona que Harza llega a los siguientes resultados:

- permeabilidad media	10^{-2} cm/s
- carga hidráulica	11 m
- ancho sección de trasvase	15 km
- profundidad sección de trasvase	20 m
- caudal determinado	0,45 m ³ /s

La metodología de cálculo adoptada se basa en el modelo bidimensional ELF.

Luego de analizar los resultados, el Panel concluyó en que: “este Panel de Expertos considera que de la información analizada puede inferirse que en la actualidad la transfluencia en el caso de existir, tendría efectos muy poco significativos sobre los Esteros del Iberá y que de producirse podría ser rápida y efectivamente mitigados, o eliminados mediante tecnología convencional y en el corto plazo. Consecuentemente el Panel considera indispensable implementar de manera inmediata una red de monitoreo y complementación de datos hidrogeológicos, necesarios para dilucidar eventuales transfluencias entre el Embalse de Yacyretá y los Esteros del Iberá, su cuantificación y efectos”.

Finalmente se presenta una tabla con el balance hídrico de los Esteros del Iberá basada en datos de EVARSA (caudales en Paso Lucero 1968/84 y 1987/98). De la

misma se desprende que en Paso Lucero la cuenca tiene 13.877 km² y que el caudal medio del Río Corrientes es de 172 m³/s de los cuales 59 m³/s los aporta la depresión del Iberá y 113 m³/s las terrazas aledañas.

Dr. Miguel Auge
Geólogo
auge@way.com.ar

La Plata, 20 de setiembre del 2001