

LA INFLUENCIA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS EN EL ANEGAMIENTO DE UN SECTOR DE LA LLANURA PAMPENA EN LA REPUBLICA ARGENTINA

Mario Fili ¹; Ofelia Tujchneider^{1,2}; Mónica D'Elia ¹; Marta Paris ¹ & Marcela Pérez ¹

Resumen - En este trabajo se analiza la influencia de las aguas subterráneas en un problema de anegamiento regional que comprende a un sector de la "llanura pampeana" argentina.

Las condiciones hidrogeológicas extremas, prolongadas en el tiempo, que padece la región han derivado en graves afectaciones a la infraestructura urbana y rural y en la generación de conflictos entre estados provinciales y la comunidad involucrada.

El área objeto de este estudio hidrogeológico cubre una superficie de aproximadamente 20.000km², abarcando sectores de las provincias de Córdoba, Santa Fe y Buenos Aires.

Dentro de la región afectada, se ha estudiado en particular la cuenca de la laguna La Picasa por su incidencia en el funcionamiento del sistema hidrológico y por tratarse del área con mayor nivel de conflictividad.

Palabras claves - variaciones freáticas, anegamiento, llanura.

¹ Grupo de Investigaciones Geohidrológicas – Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas – Universidad Nacional del Litoral

Ciudad Universitaria – Paraje “El Pozo”- Casilla de Correo 217 - CP 3000 – Santa Fe – ARGENTINA
TE/FAX: 54-342-4575244

e-mail: mfili@fich.unl.edu.ar, pichy@fich.unl.edu.ar, mdelia@fich.unl.edu.ar,
mparis@fich.unl.edu.ar, maperez@fich.unl.edu.ar

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área objeto de estudio cubre una superficie de aproximadamente 20.000km² abarcando los sectores suroriental de la provincia de Córdoba, sudoccidental de la de Santa Fé, y noroccidental de la de Buenos Aires, en la República Argentina y forma parte de un gran ambiente fisiográfico denominado llanura pampeana. Está comprendida entre los 34° y 35° de Latitud Sur y entre los 62° y 64° de Longitud Oeste (Figura 1).





Figura 1

La llanura pampeana es una extensa planicie herbácea que se extiende por casi toda la provincia de Buenos Aires, Este de la provincia de La Pampa, y centro y Sur de las provincias de Córdoba y Santa Fe. Está limitada al Oeste por el sistema de las Sierras Pampeanas y al Este por el litoral marítimo de la provincia de Buenos Aires y el valle inferior del río Paraná.

El relieve topográfico es suavemente ondulado y decrece de Oeste a Este con muy bajo gradiente, desde aproximadamente la isohipsa de cota 100m hasta cotas muy próximas al nivel del mar.

En el área de estudio el paisaje está integrado por un extenso campo de paleodunas longitudinales aplanadas con orientación predominante SO-NE, separadas por bajos de anegamiento temporario y lagunas permanentes. La disposición transversal de estas geofomas, en relación con la pendiente topográfica regional, constituye el mayor impedimento al escurrimiento superficial dado que no existe una red de drenaje natural jerarquizada, ya sea de cursos de agua permanentes o temporarios. En la imagen Landsat, reproducida en la Figura 2, se destacan los rasgos morfológicos descriptos.

El clima es de tipo templado húmedo, con temperaturas medias anuales del orden de 16°C, y precipitaciones anuales medias que decrecen de Este a Oeste entre 1000mm y 500mm.

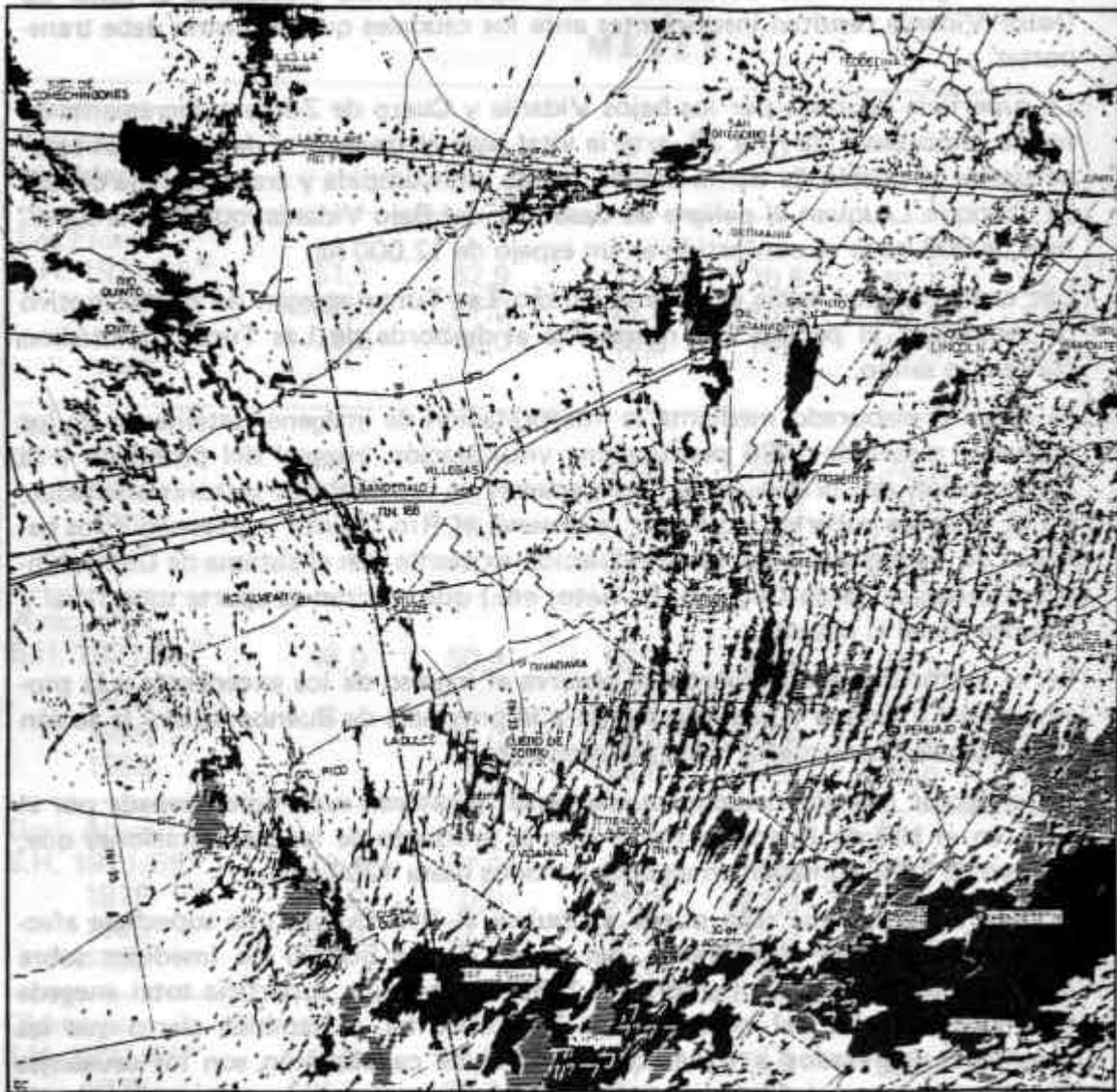


Figura 2

ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA HIDROLÓGICO

En el área de estudio, la construcción de cunetas, canales y terraplenes ha tenido una influencia significativa sobre la dinámica hídrica en estado natural, debido a las bajas pendientes del sistema. Por otra parte, la degradación de los suelos en la región es el resultado, principalmente, de la modificación de las prácticas agronómicas ocurrida en gran parte de la pampa húmeda desde comienzos de la década del '70. Esta modificación consiste, básicamente, en un crecimiento de la superficie agrícola en detrimento de la ganadera y en una sobreexplotación del suelo con prácticas intensivas de dobles cultivos

anuales.

Con anterioridad a estas modificaciones, la dinámica hídrica del sistema era la siguiente: durante lluvias de baja a mediana magnitud, los bajos y lagunas recibían el escurrimiento proveniente de las áreas adyacentes y luego el agua se evaporaba y/o infiltraba desde las zonas deprimidas. Para estas condiciones, predominaban las transferencias verticales de agua (por precipitación, evaporación e infiltración) sobre el escurrimiento. En casos de períodos húmedos prolongados con lluvias de gran magnitud, los bajos y lagunas satisfacían su capacidad de almacenamiento, se producían desbordes y se originaban líneas de escurrimiento relativamente concentrado hacia aguas abajo hasta la laguna La Picasa, cuerpo de agua receptor final.

En los últimos años, el estado hidrológico de la región se fue tornando cada vez más crítico, con mayores extensiones inundadas y períodos más prolongados de anegamiento.

OBJETIVOS DEL ESTUDIO

En el contexto ambiental descripto precedentemente, este estudio tuvo por finalidad: conocer las condiciones geohidrológicas regionales, analizar la evolución de la superficie freática en función de las precipitaciones y evaluar los condicionantes geomorfológicos a posibles soluciones mediante drenajes artificiales, determinando la real incidencia actual de las aguas subterráneas en el anegamiento de un sector de la llanura pampeana argentina. Para ello se tomó como área representativa a la laguna La Picasa, localizada en el epicentro de la zona más afectada.

GEOHIDROLOGÍA

La parte superior de la columna estratigráfica de interés para este estudio comprende Formaciones geológicas del Cuaternario.

En la base de la secuencia se presentan sedimentos limosos, arcillosos y arenosos, con delgadas intercalaciones calcáreas; el conjunto tiene tonalidad pardo verdosa y fue depositado bajo condiciones climáticas húmedas y semiáridas alternadas.

La parte superior está integrada por sedimentos predominantemente arenosos. Estos sedimentos corresponden a lo que se conoce como "gran mar de arena", un paleodesierto originado durante el Pleistoceno Superior que cubrió una superficie de aproximadamente 300.000km² (Iriondo y Krohling, 1995).

La secuencia descripta permite diferenciar a un subsistema hidrogeológico "basal", constituido por limos y a otro "cuspidal", integrado por depósitos de arena eólica fina. Las

arenas tienen espesores variables entre pocos metros hasta algo más de 10m en la gran loma de "Diego de Alvear", emplazada como cerramiento oriental de la Laguna La Picasa.

Ensayos por bombeo realizados en algunas localidades de la región, proporcionaron valores de transmisividad (T) de 80 a 220m²/día y de coeficiente de almacenamiento (S) que varían entre $1,3 \cdot 10^{-2}$ y $2,4 \cdot 10^{-3}$ (Díaz, 1997 a, b y c).

El acuífero contenido en el subsistema basal es de carácter regional y portador de aguas cloruradas sódicas de mediana a elevada salinidad.

En cambio, las paleodunas del "mar de arena", constituyen reservorios con agua dulce, predominantemente bicarbonatadas cálcicas y sódicas. En algunos casos, como ocurre en Diego de Alvear, estos acuíferos son de alto rendimiento y constituyen las fuentes para la provisión de agua potable, un bien escaso en la región.

La morfología de la superficie potenciométrica es de tipo radial divergente, acompañando a la topografía del cuerpo. El sentido general del escurrimiento subterráneo es de Oeste a Este.

ANALISIS DE LAS FLUCTUACIONES DE LA SUPERFICIE FREATICA EN FUNCION DE LAS PRECIPITACIONES

Dos de las autoras de este trabajo, D'Elía y Tujchneider, realizaron en 1994 el estudio "Variación de una serie de niveles freáticos y su relación con las variables climáticas". En el mismo utilizaron la serie de precipitaciones mensuales para el período 1903-1994 y los registros de profundidad del nivel freático para el período 1913-1989 (con interrupciones) de la estación Laboulaye, ambos parámetros registrados por la agencia de extensión del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Además, utilizaron la serie de temperaturas proporcionada por el Departamento de Climatología del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) para el período 1941-1989, para realizar el balance hídrico seriado.

Los resultados obtenidos en ese estudio permiten establecer las siguientes consideraciones:

- La *precipitación media* anual es de 783,8mm; la anual mínima se registró en 1929 con 376mm y la máxima en 1976 con 1287mm. La Figura 3 muestra la variación anual de las precipitaciones en la estación Laboulaye para el período considerado. En ella se puede apreciar que en la primera mitad del siglo veinte las precipitaciones fluctuaron

entre 400 y 1000 mm y que a partir del inicio de la década del '50, las mismas varían entre 600 y 1200mm, evidenciando un incremento en los extremos de aproximadamente 200mm. Del mismo modo se puede apreciar que en el lapso de los 90 años analizados se pasa de un período predominantemente seco a un período hiperhúmedo, tal como se observa en la Figura 4 que representa los desvíos acumulados de las precipitaciones anuales respecto de la precipitación media para todo el período.

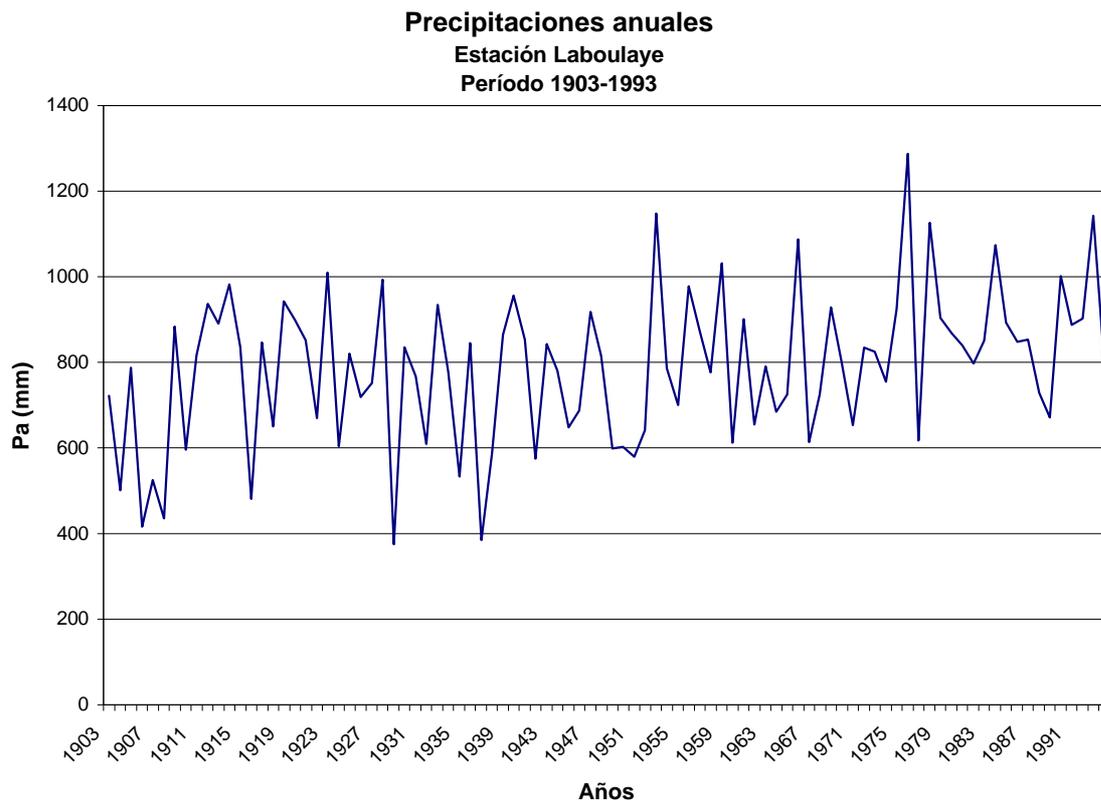


Figura 3

Desvíos acumulados de las precipitaciones anuales

Estación Laboulaye

Período 1903-1993

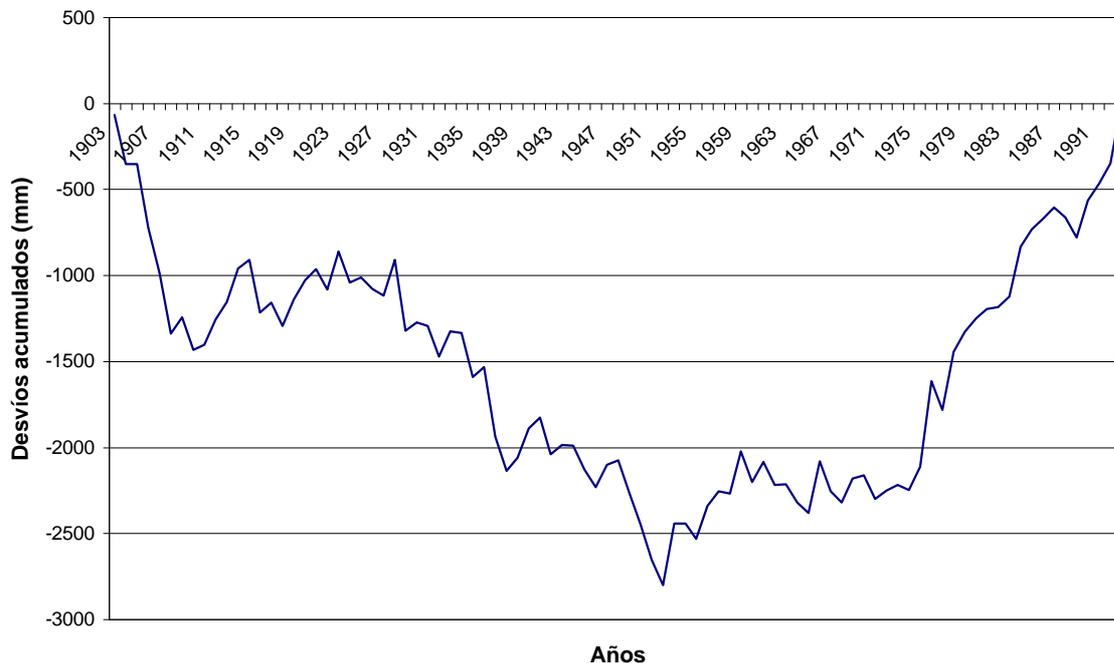


Figura 4

- La Figura 5 muestra la profundidad del nivel freático en función del tiempo. En ella se puede observar una serie de picos y valles, con la particularidad que la tendencia general del registro es ascendente. En efecto cada uno de los períodos graficados se distingue del anterior por una ubicación cada vez más elevada en la vertical. Por ejemplo, para el período 1916-1926, los niveles freáticos se encontraban a una profundidad promedio de 5,23m; entre 1930 y 1950 a 5,91m; durante 1959-1969 a 4,22m y por último, entre 1980 y 1989, los niveles ascendieron a una profundidad media de 2,25m. En la serie analizada la profundidad del nivel freático más baja fue de 7,34m en agosto de 1984 y la más alta, 1,26m en mayo de 1980.

Profundidad del nivel freático
Estación Laboulaye
Período 1913-1989

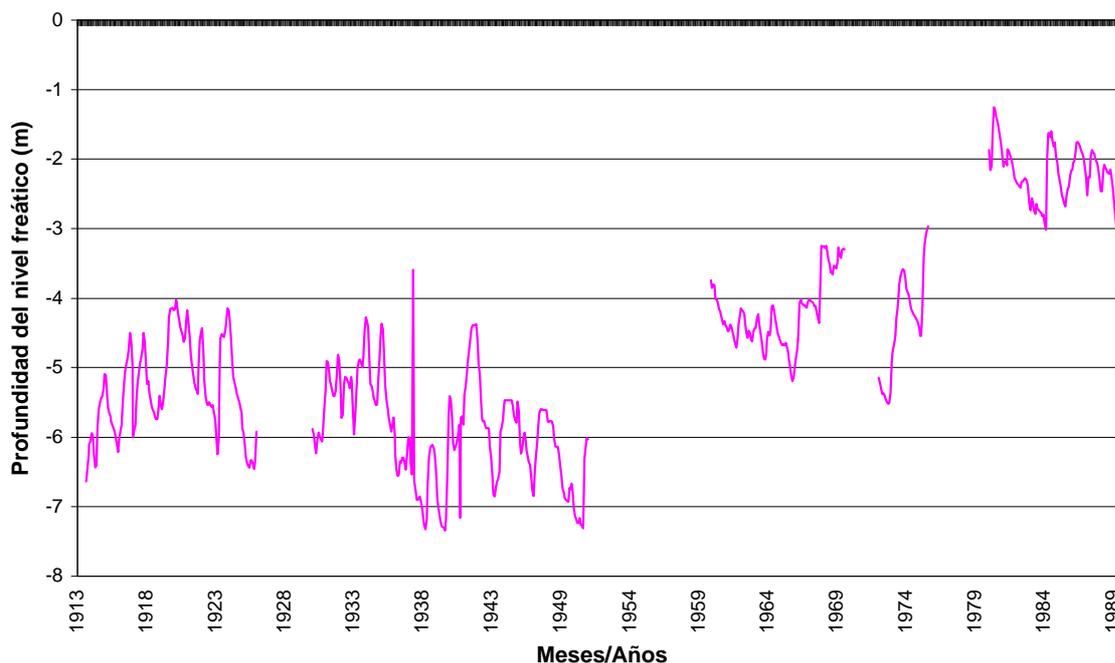


Figura 5

- Del análisis del balance hídrico seriado, se pueden distinguir 4 períodos: los períodos 1941-1952 y 1962-1974 presentan una alternancia entre años con déficits y excesos; los períodos 1952-1962 y 1974-1988 corresponden a series de años con excesos, en correspondencia con la variación temporal de los niveles freáticos.
- Asimismo se realizó una correlación entre la profundidad del nivel freático y los desvíos acumulados de la precipitación respecto de la precipitación media a paso mensual. Esta correlación arrojó buenos resultados. Por otra parte la correlación entre la profundidad del nivel freático y las diferencias acumuladas entre la precipitación y la evapotranspiración potencial a paso trimestral fue muy buena, evidenciando una relación directa entre las variaciones de los niveles freáticos y el arco atmosférico del ciclo hidrológico.

Cabe destacar que las causas de muchos de los cambios que han afectado a una amplia superficie de la región pampeana, han sido estudiados ampliamente por varios especialistas en climatología (Burgos; Canziani y Forte Lay, entre otros).

ANÁLISIS DE LOS CONDICIONANTES GEOMORFOLÓGICOS Y LA RELACIÓN ENTRE EL AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

Como se ha descrito precedentemente y puede apreciarse en la imagen Landsat reproducida en la Figura 2, la superposición de geformas relictuales de un ambiente desértico sobre una gran red de paleodrenaje integrado, determina que el drenaje superficial encauzado sólo se comience a percibir cuando asciende la capa freática. Esto ocurre por el crecimiento y unión de pequeñas lagunas alojadas en antiguos valles semidescubiertos por la erosión eólica, tal como se percibe claramente en el sector NE cubierto por la imagen. Además, en mapas isopiécicos regionales las líneas equipotenciales insinúan un comportamiento efluente de la superficie freática en coincidencia con los paleocauces.

CASO DE ESTUDIO: LAGUNA LA PICASA

Con el propósito de analizar con mayor detalle la problemática hídrica descrita anteriormente, se tomó a la laguna La Picasa como área representativa para evaluar las entradas y salidas de agua a este cuerpo. Esta laguna se encuentra situada pocos kilómetros al Este de la ciudad de Rufino y está limitada en su margen oriental por el gran cuerpo de arena Diego de Alvear y constituye la zona de mayor conflicto ya que su expansión ha producido numerosas externalidades económicas.

Se determinaron entonces la magnitud de los volúmenes aportados por *vía subterránea*, por la principal *vía superficial*, según el mayor volumen aforado y por las *precipitaciones* en el transcurso de los años hidrológicos: setiembre 1997-agosto 1998 y setiembre 1998 - agosto 1999.

ENTRADA POR VÍA SUBTERRÁNEA

Sobre la base de un mapa equipotencial a escala regional y de las características hidrogeológicas e hidráulicas formacionales, se efectuó la cuantificación estimativa de los aportes subterráneos a la laguna La Picasa provenientes desde el Oeste, sudoeste y noreste, a través de la capa freática.

No se dispone de información como para efectuar una estimación del aporte subterráneo a la laguna proveniente del gran médano de Diego de Alvear. Posiblemente el aporte de esta procedencia sea mayor que el anterior pero de gran irregularidad temporal, especialmente en períodos de lluvias importantes.

De este modo, adoptando un valor de conductividad hidráulica media de 5m/día (Diaz, op.cit.), un gradiente medio calculado de 0,45m/km, una sección de entrada de 15m de potencia y una longitud de 45000m, medidos sobre la equipotencial de 105m que bordea a la laguna, se tiene:

$$T = 75\text{m}^2/\text{día}$$

$$i = 0,00045$$

$$l = 45000\text{m}$$

$$Q (\text{m}^3/\text{día}) = T \cdot i \cdot l = 1519\text{m}^3/\text{día} = 0.02\text{m}^3/\text{seg}$$

ENTRADAS POR VÍA SUPERFICIAL

Aforos realizados en mayo de 1999, registraron caudales de aportes superficiales, provenientes desde Rufino hacia La Picasa, de 50m³/seg.

ENTRADAS POR PRECIPITACIÓN

Para el cálculo de los volúmenes de agua ingresados a la laguna por las diferentes vías fueron realizados midiendo la cota de la curva topográfica que definía su borde, al comienzo y al final de cada año hidrológico,

La precipitación media de los últimos años en la región es de 1000mm y se midieron 1240mm de evaporación en tanque.

Al inicio del año hidrológico 1997/1998, el borde de la laguna se registró a cota 99,2m, con un volumen de 52,7Hm³. Al finalizar este año hidrológico, en agosto de 1998, la cota fue de 101,8m y el volumen de 318,5Hm³, es decir, que el incremento durante el año hidrológico fué de 265,8Hm³. En este período se registraron lluvias de 1600mm en Laboulaye, en el extremo Oeste del área bajo consideración y 1300mm en Lazzarino, una localidad ubicada pocos kilómetros al NE de Rufino.

Durante el año hidrológico 1998/1999, llovieron 1200mm en Laboulaye y 1170mm en Rufino. Las mayores lluvias se registraron durante los meses de marzo y abril y la superficie freática se encontraba muy próxima a la superficie.

En agosto de 1999 el volumen de agua en la laguna era de 780,3Hm³, es decir, un incremento anual de 461,8Hm³ y en el transcurso de los dos años hidrológicos, de 727,6Hm³.

BALANCE HÍDRICO PARA LA LAGUNA LA PICASA

Los valores obtenidos indican claramente que: las entradas y salidas verticales de agua por precipitación y evaporación son las que determinan el estado hidrológico de la

región; el escurrimiento superficial, cuando y donde puede concretarse, es muy poco significativo; y que la afluencia y efluencia subterránea no tienen ninguna incidencia. Este neto predominio de los movimientos verticales del agua sobre los horizontales, es lo que normalmente ocurre en la hidrología de las grandes llanuras.

MODELO CONCEPTUAL DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA HIDROLÓGICO

Se presenta aquí una síntesis sobre el estado actual de situación; la importancia de las aguas subterráneas en la región y su incidencia en el funcionamiento conceptual del sistema.

- El área problema es arreica. Esto determina que en la transferencia de agua entre los arcos del ciclo hidrológico: meteórico, superficial y subterráneo, predomine el movimiento vertical (infiltración- evaporación) sobre el horizontal (escurrimiento superficial y subterráneo regional).
- La columna hidrogeológica presenta en algunos sectores espesores importantes de sedimentos permeables sobre un sustrato de baja permeabilidad. Esto determina que el sistema hidrológico subterráneo tenga una componente hidrogeológica regional y otras sobrepuestas coincidentes con geformas positivas.
- Las acumulaciones de arena de mayor expresión topográfica, como el gran médano de Diego de Alvear, constituyen zonas de recarga importantes y conforman cuerpos lenticulares de agua dulce sobreyaciendo por diferencias de densidad a aguas de mayor salinidad.
- Por otra parte, los bajos y lagunas constituyen niveles de base para la descarga de las aguas subterráneas por evaporación.
- La afluencia y efluencia subterránea son comparativamente irrelevantes, como se ha comprobado en el área representativa de la laguna La Picasa, donde la afluencia subterránea estimada es del orden de $0,02\text{m}^3/\text{seg}$.
- A partir de la segunda mitad del siglo pasado, y más acentuadamente a partir de la década del 70, se ha producido una recarga permanente de los sistemas acuíferos, como lo atestigua el ascenso del nivel freático, en muchos lugares hasta la superficie del suelo. En este estado, años con lluvias por encima de los 1000mm generan excesos que producen anegamientos e inundaciones de grandes superficies.
- Cuando la capacidad de almacenamiento del sistema subterráneo se ha colmado, muchas lagunas aumentan su tamaño, se interconectan y reactivan a la red de paleocauces pertenecientes a la cuenca del río Salado. Antes de que esto ocurra, a través de ellos, el escurrimiento subterráneo puede ser relativamente más importante

que el que se materializa regionalmente a través de los limos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los estudios realizados han permitido conocer las condiciones geohidrológicas y geomorfológicas regionales y corroborar la relación entre las precipitaciones y la variación de los niveles freáticos, estableciendo la influencia de las aguas subterráneas en el anegamiento de la región.

De acuerdo a ello en la región de estudio sólo sería posible evacuar aguas excedentes mediante obras de canalización en coincidencia con la red de paleodrenaje exhumada.

Por otra parte, cabe advertir que estas obras son de costo generalmente elevado, y de baja eficiencia porque solamente permiten movilizar volúmenes de agua poco significativos con relación al estado hídrico regional. Además, suelen ser de alto impacto ambiental y fuente de conflictos entre los estados provinciales y las comunidades de las áreas receptoras.

Por ello la solución a esta problemática hídrica regional debería ser encarada con un enfoque sistémico que permita cuantificar diferentes aspectos del sistema ambiental.

TRABAJOS CITADOS

- D'Elía, M.P. y O.C. Tujchneider (1994). Variación de una serie de niveles freáticos y su relación con las variaciones climáticas. Trabajo final del Curso de Posgrado "El Calentamiento Global", dictado por el Dr. Vicente Barros. Departamento de Hidrología de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (U.N.L.) y Departamento de Ciencias de la Atmósfera, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (UBA).
- Díaz, E. (1997a). Estudio de fuentes para la provisión de agua potable a la localidad de Christophersen, Departamento General López. Consejo Federal de Inversiones.
- Díaz, E. (1997b). Estudio de fuentes para la provisión de agua potable a la localidad de Lazzarino, Departamento General López. Consejo Federal de Inversiones.
- Díaz, E. (1997c). Estudio de fuentes para la provisión de agua potable a la localidad de Chapuy, Departamento General López. Consejo Federal de Inversiones.
- Iriondo, M. y D.Krohling (1995) El sistema eólico Pampeano. Com. Museo Provincial de Ciencias. Naturales de Santa Fe, V 5 n° 1:1-68