

RELACION PRECIPITACIONES-NIVELES PIEZOMETRICOS EN EL BORDE ORIENTAL DE LA PROVINCIA DE ENTRE RIOS. ARGENTINA

Eduardo Díaz¹ ; Oscar Duarte¹ ; Marcelo Wilson²; Ricardo Valenti ¹ & René Benavidez¹

Resumen - Desde comienzo de la década del '70, en que se produjo un incremento del área irrigada de arroz a partir de perforaciones que explotan el acuífero "Salto Chico" se planteó determinar el origen de la recarga del agua subterránea.

En 1992 se comenzó a estudiar los usos consuntivos del arroz en parcelas experimentales, la eficiencia de aplicación y conducción, y comenzó las primeras de medición de niveles piezométricos de agua subterránea.

El acuífero es actualmente explotado con perforaciones de entre 80 y 120 metros de profundidad que extraen caudales que oscilan entre los 200 y 450 m³/h con más de 2500 perforaciones.

Se ha procesado la información de la estación hidrométrica ubicada en el Río Gualeguaychú, sección de aforo de la Ruta Nacional N° 39. Asimismo se analizaron los datos climáticos de la EEA INTA Uruguay. Finalmente se procesaron los datos de niveles piezométricos diarios y su relación con las precipitaciones.

Se realizó una correlación de los niveles piezométricos con los desvios acumulados con respecto a las medias mensuales de las precipitaciones registradas en el período Enero de 1989-Noviembre de 1999. El grado de ajuste alcanzado es muy bueno con un $R^2 = 0.86$

Palabra claves - recarga, acuífero, precipitaciones

¹ Docentes del Departamento Ciencias de la Tierra - Facultad de Ciencias Agropecuarias - UNER C.C. N° 24 - (3100) Paraná - Entre Ríos - Argentina Tel/Fax +54-343-4975029. Email: ediaz@unl.edu.ar

² Becario del Proyecto "Sustentabilidad del cultivo de arroz en la provincia de Entre Ríos". Agencia Nacional de Ciencia y Técnica. Facultad de Ciencias Agropecuarias - UNER C.C.N24 - (3100)Paraná - Entre Ríos – Argentina Tel/Fax+54-343-4975029. Email:oduarte@fca.uner.edu.ar

INTRODUCCION

Dentro del área arrocera durante la campaña de riego que dura aproximadamente 100 días continuos, están funcionando alrededor de 2500 perforaciones, las cuales se construyen sin tener en cuenta pautas de diseños hidráulicos y constructivos.

Si se considera como única fuente para el riego del arroz el agua subterránea es poco razonable pensar en su expansión. Históricamente se ha comprobado que cuando las hectáreas sembradas superan las 50.000 y el año no es muy lluvioso se registran inconvenientes. En la campaña 1988/89 el 10% del área sembrada se perdió por esta causa (sequía y falta de capacidad de riego).

De acuerdo a los valores medidos a nivel parcelario por el Proyecto "Eficiencia y Rentabilidad del Riego en Cultivos Seleccionados", Benavidez et al, 1997a, la misma se riega con dotaciones de 13220 m³/ha, con consumos de combustible en el bombeo de 550 a 700 lts/ha.

OBJETIVOS

Los objetivos del presente trabajo son:

- Contribuir al conocimiento de la relación precipitación-recarga del sistema acuífero "Salto Chico".
- Determinar la sustentabilidad del uso del agua subterránea con destino al riego de arroz.

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO

El área arrocera tradicional de la Provincia de Entre Ríos se ubica en la zona centro-oeste de la provincia, entre los 31°30' y los 33°00' de Latitud Sur, y 58°15' y 59°20' de Longitud Oeste, abarcando parte de los Departamentos Villaguay, San Salvador, Colón, Concordia, Gualaguaychú y Uruguay, de la Provincia de Entre Ríos, en la República Argentina. El Gráfico N° 1 presenta su ubicación relativa.

De acuerdo a la clasificación de Thorntwaite el área en estudio tiene un clima de tipo subhúmedo-húmedo. La precipitación media anual es de 1154 mm, para el período 1965/99, Gráfico N° 2 . El trimestre menos lluvioso corresponde a los meses de junio, julio y agosto con valores del orden de los 180 mm, y el trimestre más lluvioso a los meses de enero, febrero y marzo, con valores cercanos a los 340 mm. La temperatura media anual

es de 18 °C, con valores medios mensuales que oscilan entre 12 y 25 °C (julio y enero, respectivamente).

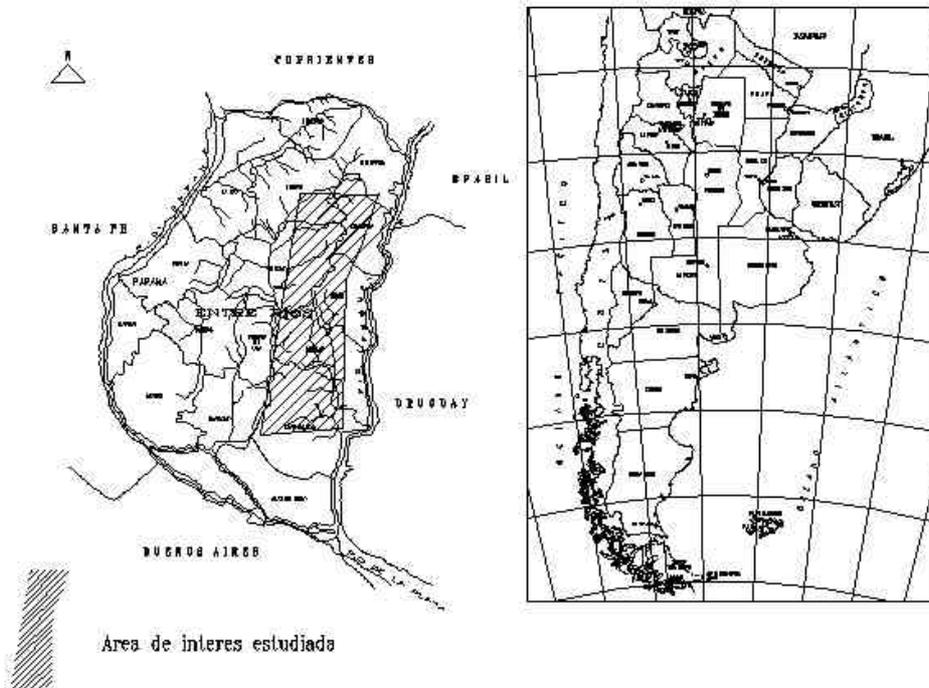


Gráfico N° 1. Ubicación relativa del área en estudio.

Existen en la cuenca arrocera 13 estaciones pluviométricas con registros que se extienden desde 1908. La Estación EEA-INTA de Concepción del Uruguay es una estación climática completa de primer nivel, y se encuentra ubicada en el borde este de la cuenca.

Pedraza, 1991, ha procesado con detalle los datos hidrométricos de la cuenca del Río Gualeguaychú, analizando las crecidas máximas probables del sistema mediante un modelo matemático de onda cinemática.

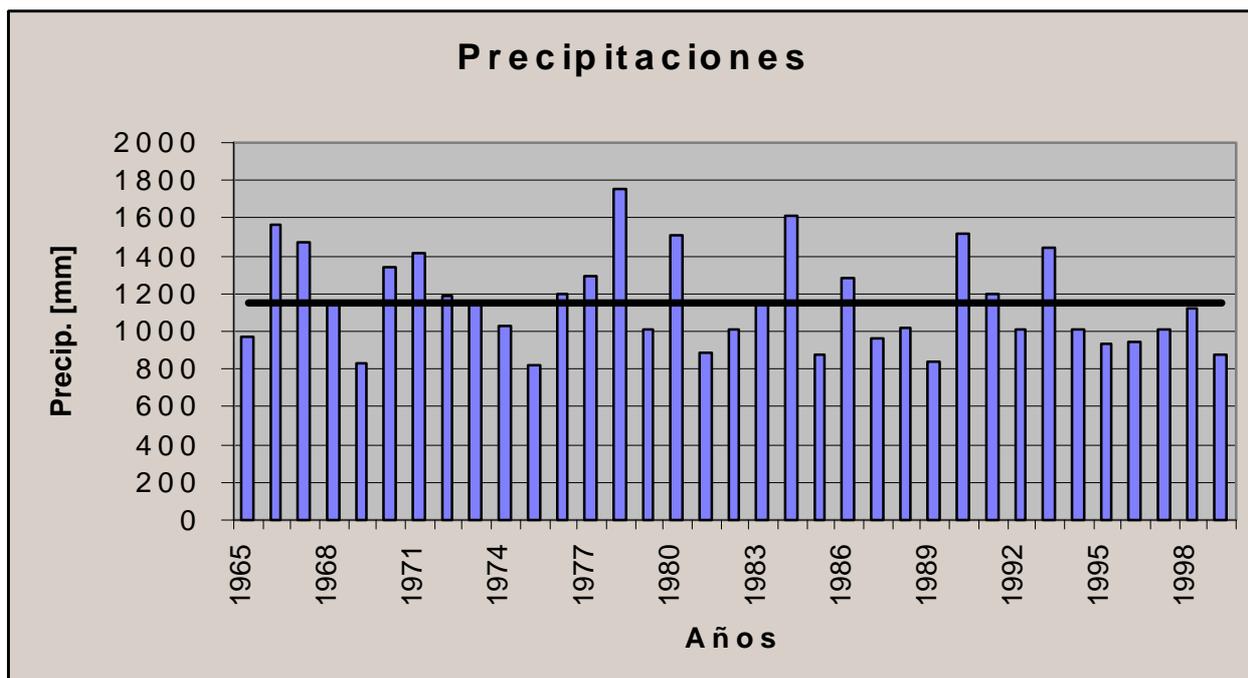


Gráfico N° 2. Evolución de la Precipitaciones Anuales y media de la serie.
EEA - INTA Uruguay

Los suelos se clasifican en dos grupos: vertisoles hidromórficos de permeabilidad muy lenta de los horizontes con declives muy suaves, asociado a la presencia de acuíferos de gran volumen y calidad, hace que estos reúnan las condiciones óptimas para el cultivo del arroz; y los suelos de los valles de los principales arroyos menores: los mismos varían en muy corta distancia según el área, el régimen hidrológico del arroyo y los materiales arrastrados, Tabla N° 1.

Tabla N° 1. Suelos del área de estudio

Porcentaje	Leyenda	Característica de los suelos
10%	PSG	Vertisoles con gilgai. Peludertes argiudólicos
30%	Psg	Vertisoles con gilgai asociados a Brunizems vertisólicos. Peludertes argiudólicos y Argiudoles vérticos.
30%	Pog	Vertisoles con gilgai asociados a Brunizems vertisólicos. Peludertes argílicos y Argiudoles vérticos.
10%	Pc	Brunizems hidromórficos. Argiudoles ácuicos y ácuicos cumúl.
10%	PhG	Vertisoles hidromórficos con gilgai. Peludertes argiacúlicos.
5%	TA	Suelos arenosos pardos sobre aluviales arcillosos
5%	An	Asociación de suelos aluviales, albardones y playas

En el área existen 4 estaciones hidrométricas y una estación de aforo de caudales (puente sobre la Ruta Nacional N° 39), que abarca una superficie de 1980 km². El caudal medio anual de la serie es de 6.51 m³/seg, con valores que oscilan entre 0.81 y 20.65 m³/seg. El caudal diario máximo registrado es de 376 m³/seg. Se destacan las variaciones significativas entre los años secos (88-89 y 96-97) y el último período asociado a la anomalía “Niño” correspondiente al año hidrológico 97-98, en el cual se han registrado los máximos caudales históricos de la serie, Tabla N° 2.

Tabla N° 2 . Caudales medios mensuales de la cuenca del Río Gualeguaychú en sección de aforo de la Ruta Nacional N° 39.

CAUDALES MEDIOS MENSUALES [m3/seg]												Vol. Anual	Q. Espe	Esc. cuenca	Qmax. Diario	Qmin. Diario	Q. Med	
AÑO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	hm3	l/s/km ²	mm	m3/s	m3/s	m3/s
88-89		2.32	0.82	1.81	0.47	0.46	0.60	0.65	0.62	0.60	0.63	0.65	25.5	0.41	12.9	301.0	0.927	0.81
89-90	0.65	0.65	29.20		0.66	80.70			0.66	0.62	0.64							
90-91							0.52											
91-92		0.96	0.96	9.23	0.96	1.03					10.30	0.60						
92-93	0.96			0.62	7.05	2.47	2.55	56.80	64.30	6.39	0.52	0.99						
93-94	1.04	7.93	39.10	11.10	2.63	1.65	3.40	3.31	2.49	0.96	0.97	1.45	199.4	3.19	100.7	301.0	0.927	6.32
94-95	0.92	12.30	3.35	1.72	1.33	0.96	2.60	1.99	15.60	1.03	1.02	0.93	116.3	1.86	58.7	86.5	0.913	3.68
95-96	0.85	7.67	2.18	0.91	1.00	1.11	8.93	49.50	5.05	0.98	0.96	0.96	209.6	3.36	105.9	176.0	0.844	6.64
96-97	0.85	0.87	0.76	0.92	0.67	0.77	2.15	0.76	1.41	0.84	0.72	0.81	30.4	0.49	15.3	6.7	0.597	0.96
97-98	0.75	0.70	0.76	12.08	78.70	25.10	21.86	0.84	19.06	29.51	50.38	6.88	651.3	10.4	328.9	376.0	0.756	20.65
98-99	2.77	0.78	1.14															
Medio	1.10	3.80	8.70	4.80	10.39	12.70	5.33	16.26	13.65	5.12	7.35	1.66	205.4	3.29	103.	207.9	0.83	6.51
Maximo	2.77	12.30	39.10	12.08	78.70	80.70	21.86	56.80	64.30	29.51	50.38	6.88	651.	10.4	328.	376.0	0.93	20.6
Minimo	0.65	0.65	0.76	0.62	0.47	0.46	0.52	0.65	0.62	0.60	0.52	0.60	25.50	0.41	12.9	6.8	0.60	0.81

Las aguas subterráneas desempeñan un papel preponderante en el abastecimiento para diferentes usos, aún en aquellas poblaciones asentadas a orillas del Paraná y el Uruguay. Inclusive gran parte de las 164.000 has. regadas de arroz utilizan aguas subterráneas (Benavidez, 1997b, 1998).

La presencia de acuíferos y la calidad de aguas sólo se conoce a través de un número relativamente reducido de perfiles de perforación. En la Tabla N° 3 se citan los grandes ambientes hidrogeológicos, y algunas de sus características (Fili et al , 1994).

Las aguas subterráneas son del tipo bicarbonatadas sódicas, de mediana salinidad, aptas para el consumo humano, ganadero y desde el punto de vista del riego son aguas de salinidad media de poco a mediano contenido de sodio.

La Fm. Salto Chico se encuentra en condición libre (arenas secas en su techo), indicativo del grave deterioro del sistema frente a la explotación. El mismo al comienzo de la década del 60 se encontraba a presión, con una carga entre 5 y 10 metros. El espesor medio del acuífero determinado a partir de geofísica y de registros de las perforaciones es de 66.7 m, variando entre 58 y 85 m, los espesores disminuyen de norte a sur, (Díaz et al, 1999).

Tabla N° 3. Ambientes Hidrogeológicos. (Tomado de Fili et al 1994)

Formación	Litología-Hidrogeología
HERNANDARIAS (Pleistoceno)	Limos calcáreos-arcillas arenosas. Acuitardo.
SALTO CHICO (Plioceno Superior)	Arenas medianas, gravas intercalaciones de arcillas. Acuífero de alto rendimiento. Agua de baja salinidad.
FRAY BENTO (Oligoceno Inferior a Medio)	Areniscas y limos calcáreos. Acuitardo con arenas acuíferas intercaladas de baja potencia y bajo rendimiento. Salinidad mediana.
PAY UBRE (Cretácico Superior)	Areniscas calcáreas y calcáreos-arenosas, parcialmente silicificadas. Acuitardo.
YERUA (Cretácico Superior)	Arenas y areniscas conglomerádicas. Acuífero.
SOLARI Miembro Serra Geral (Cretácico Inferior)	Basaltos en superficie. Acuíferos en fisuras. Acuífugo.
SOLARI Miembro Solari (Cretácico Inferior)	Areniscas rojas. No se han detectado directamente, profundidad a más de 1000 m. Acuíferas ?

METODOLOGIA

Se recopilaron antecedentes de perforaciones ejecutadas por ex - FFCC Línea Gral. Urquiza, de Obras Sanitarias de Entre Ríos, de Cooperativas de Agua potable, de las localidades ubicadas en la cuenca, realizadas desde principios de siglo hasta la fecha, de las que se dispone descripciones de perfiles de perforación, análisis químicos, niveles estáticos y en algunos casos caudales y niveles dinámicos.

Se dispuso de información adicional de niveles en perforaciones provenientes de productores arroceros.

Se procesó los datos estadísticos de la superficie bajo el cultivo de arroz por departamento en la serie 1979/80 a 1998/99, Tabla N° 4, los datos de precipitaciones de la EEA INTA de Concepción del Uruguay. El consumo de agua por parte del cultivo del arroz se adoptó a partir de los resultados obtenidos por el Proyecto Eficiencia y Rentabilidad del riego en Cultivos Seleccionados (arroz y cítricos), Benavidez et al. 1998.

Tabla N° 4 . Evolución del área sembrada con arroz en la Prov. de Entre Ríos

Campaña Agrícola [Años]	Area Sembrada [has]
1979/80	26.800
1980/81	21.350
1981/82	28.400
1982/83	33.650
1983/84	40.240
1984/85	40.550
1985/86	42.100
1986/87	37.120
1987/88	47.500
1988/89	48.450
1989/90	61.640
1990/91	52.200
1991/92	78.650
1992/93	75.800
1993/94	73.100
1994/95	104.000
1995/96	111.500
1996/97	123.300
1997/98	131.400
1998/99	164.000

Dado que a partir del año 1988, por iniciativa de la Dirección de Hidráulica de la Provincia de Entre Ríos, Duarte et al 1998, se estimuló el uso del agua superficial como fuente sustituta para el riego de arroz, se ha relevado la existencia de miniembalses o reservorios de agua superficial para el riego de arroz. En la actualidad, en la cuenca los mismos abastecen el 6 % de las demandas consuntivas del cultivo.

Se procesaron los caudales medios diarios mensuales de la Estación Hidrométrica ubicada en el puente sobre la Ruta Nacional N° 39, que registra los escurrimientos de la porción nor-oriental de la cuenca del río Gualeguaychú, en donde se concentra una elevada densidad de superficie destinada al cultivo del arroz.

Los parámetros hidráulicos formacionales, transmisividad y coeficiente de almacenamiento, fueron tomados de los ensayos de bombeo realizados por la DPH-ER en la Estancia El Tagué, Departamento Villaguay, ubicado al norte de la cuenca, Santi et al. 1987.

RESULTADOS

Se puede observar las variaciones de las condiciones de la piezometría, que en el período registrado presenta oscilaciones de los valores medios mensuales entre cotas IGM 16.84 y 17.88 metros. Los desvíos acumulados de las precipitaciones con respecto a las medias mensuales presentan un rango comprendido entre -567 y 292 mm, Gráfico N°3.

A partir de ello podemos determinar la relación:

$$\text{Rango de precipitaciones: } R_p = 292.3 \text{ mm} - (-567.4 \text{ mm}) = 859.7 \text{ mm}$$

$$\text{Rango de Niveles piezométricos: } R_{np} = 17.88 \text{ m} - 16.84 \text{ m} = 1.04 \text{ m} = 1040 \text{ mm}$$

$$\text{Relación: } R_{np} / R_p = 1.209$$

A partir de un valor de coeficiente de almacenamiento $S = 0.15$, se puede estimar una relación de recarga entre desvíos de precipitaciones acumuladas y niveles piezométricos de:

$$R_r = 0.18 \text{ mm} / 1.00 \text{ mm}$$

donde: R_r = relación de recarga

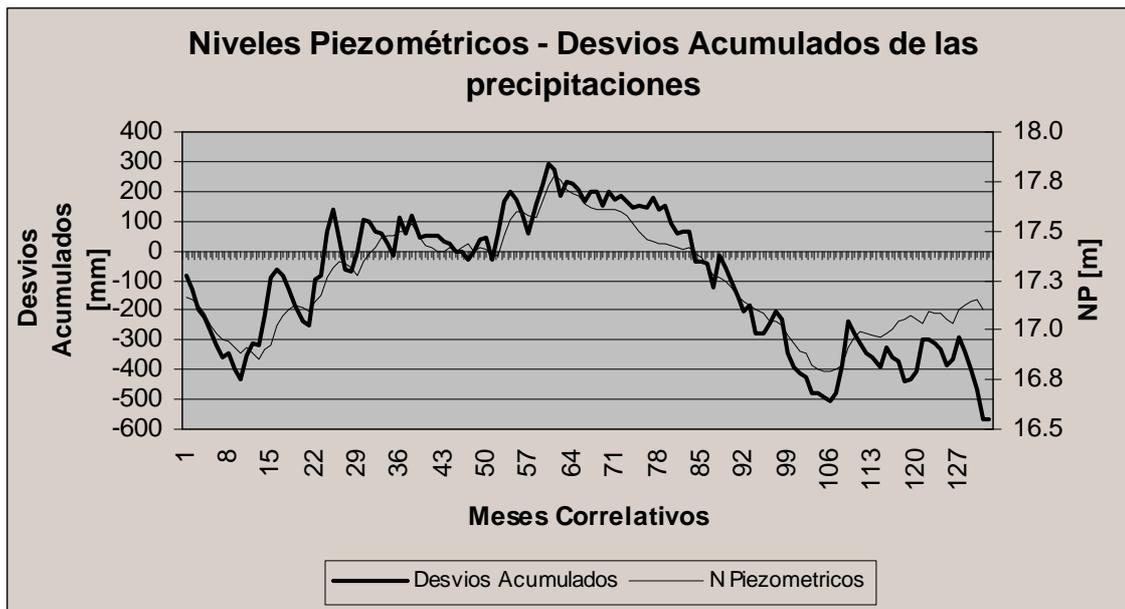


Gráfico N° 3. Relación desvíos acumulados de las precipitaciones y Niveles Piezométricos.

Asimismo la regresión simple entre los datos observados de niveles piezométricos y los desvíos acumulados con respecto a la precipitación media presento la siguiente ecuación de regresión:

$$NP_e = 17.36 \text{ m} + 0.00108 * \text{Desvíos Acumulados} \quad R^2 = 0.86$$

donde: NP_e es nivel piezométrico estimado

El Gráfico N°4 presenta los valores de los niveles piezométricos mensuales medidos y estimados por la regresión simple. Se observa un adecuado ajuste en todo el período, presentando en los últimos meses del ciclo una desviación de los valores medidos con respecto a los pronosticados por la regresión simple. Ello puede explicarse por la presencia de condiciones exógenas al sistema, asociado al último evento "Niño", que produjo excesos de precipitaciones al final del año 1997 y comienzos de 1998. Los efectos de la recarga en el borde superior de la cuenca, presentan un "lag" en el tiempo con respecto a las precipitaciones.

Asimismo debe señalarse la importancia de la disminución del área sembrada del arroz en la campaña presente (99/2000), que entendemos que deberá incorporarse como

un elemento adicional en la interpretación del sistema para poder explicar con mayor precisión la relación precipitación - niveles piezométricos.



Gráfico N° 4 . Niveles Piezométricos Observados y Estimados, mediante la regresión simple

CONCLUSIONES

Existe una elevada correlación entre las precipitaciones registradas y los niveles piezométricos medidos, en un período de medición lo suficientemente extenso involucrando condiciones de pluviometría extremas.

El modelo de regresión simple entre los desvíos acumulados de las precipitaciones mensuales con respecto a la media en función de los niveles piezométricos explican con una elevada correlación esta relación lineal

Queda por incorporar a este modelo de relación, el efecto de la superficie arrocera irrigada durante los meses de Octubre a Febrero, de manera de poder ajustar las condiciones como las que se presentan en el período 98/99, en donde se presenta una desviación de los niveles piezométricos con respecto a los desvíos acumulados luego de un período de alta pluviosidad asociado con una disminución sustancial de las extracciones a fines de ciclo 97/88 y del área irrigada en el período 99/2000.

De la información disponible simultáneamente de precipitaciones, caudales medios mensuales y niveles piezométricos, se puede deducir la relación existente entre estas tres

variables. La serie de caudales presenta discontinuidades en el período noviembre de 1989 a noviembre de 1992, lo que impide realizar correlaciones entre las posibles recargas en los suelos arenosos del valle de inundación y cauce principal de la densa red de drenaje de las diferentes cuencas hidrográficas superficiales, con los niveles piezométricos observados. La continuidad de las mediciones permitirá a corto plazo responder a estas hipótesis.

A pesar de que la cuenca se encuentra sobreexplotada, de que existen un sinnúmero de perforaciones destinadas al riego de arroz y otros cultivos, consumo humano, y el abrevado de animales, no existe un adecuado conocimiento del funcionamiento hidrogeológico del sistema, de las relaciones con el ciclo exógeno (precipitaciones y escurrimiento), y el grado de sustentabilidad que tiene el actual sistema productivo basado en el agua subterránea.

AGRADECIMIENTOS

Al Proyecto PICT '97 "Sustentabilidad del Cultivo de Arroz en la Provincia de Entre Ríos", de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UNER, que mediante un subsidio de la Agencia de Investigación de la República Argentina permitió la ejecución del presente trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Benavidez, R.; Díaz, E.; Duarte, O. y Valenti, R. (1997,a). Evaluaciones de Eficiencias y análisis de costos de riego a partir de agua subterránea en un cultivar de arroz. Provincia de Entre Ríos. Argentina. III Congreso Internacional sobre Ingeniería Hidráulica. Holguín. Cuba. Abril de 1997.
- Benavidez, R.; Díaz, E.; Duarte, O. y Lenzi, L. (1997,b) Aplicación de Técnicas radiactivas en la evaluación de la Eficiencia del Riego de Arroz. I International Symposium on Nuclear and Related Techniques in Agriculture. Havana. Cuba. 28 al 30 de Octubre de 1997.
- Benavidez, R.; Cerana J.; Rivarola, S. y Savio C. (1998). La rentabilidad de la producción de arroz bajo riego en un sistema mixto agrícola-ganadero. Congreso Latinoamericano de Ingeniería Agrícola. La Plata. Noviembre de 1998. La Plata. Argentina.

- Diaz, E.L. y Duarte, O.C. 1999. Estudio Hidrogeológico de la cuenca del Río Gualeguaychú con fines de Riego . República Argentina. Actualidad de las Técnicas Geofísicas Aplicadas en Hidrogeología. Granada . España.
- Fili, M.F.; Tujchneider, O.C.; Perez, M. y Paris, M. 1994. Investigaciones Geohidrológicas en la Provincia de Entre Ríos. Seminario Hispano-Argentino sobre Temas Actuales en Hidrología Subterránea. Universidad Politécnica de Cataluña y Universidad Nacional de Mar del Plata y Consejo Federal de Inversiones. E. Bocanegra y A. Rapaccioli Editores Responsables, Mar del Plata.
- Pedraza, R. 1991. Informe Parcial. Estudio Hidrológico Rural Cuenca Río Gualeguaychú, en Defensa contra inundaciones ciudad de Gualeguaychú. Convenio CFI-Provincia de Entre Ríos. 36 pág., 20 tablas, 7 Planos y 26 Figuras. Inédito.
- Santi, M. , Duarte, O.C. y Flesler, M. 1986. Ensayo de Bombeo Estancia El Tagué, Departamento Villaguay. DPH-ER. 40 pág. 5 Fig. 1 Plano. Inédito