

## RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES CON DESTINO A RIEGO EN UNA CUENCA DEL CENTRO-ESTE DE ENTRE RÍOS

Luis M. Lenzi<sup>(1)</sup>, Eduardo L. Díaz<sup>(2)</sup> y Oscar Duarte<sup>(2)</sup>.

<sup>(1)</sup> Instituto Nacional del Agua- Centro Regional Litoral

Patricio Cullen 6161 (3000) Santa Fe – Argentina

Tel : (54) 342-4605910 Fax: (54) 342-4604540 Email: [llenzi@arnet.com.ar](mailto:llenzi@arnet.com.ar)

<sup>(2)</sup> Universidad Nacional de E. Ríos- Facultad de Ciencias Agropecuarias  
Oro Verde E. Ríos – Argentina

Tel: (54) 343- 4975083 E-mail: [ediaz@fca.uner.edu.ar](mailto:ediaz@fca.uner.edu.ar), [oduarte@fca.uner.edu.ar](mailto:oduarte@fca.uner.edu.ar)

### RESUMEN

En la Provincia de Entre Ríos el arroz, que ocupa el primer lugar en el aporte al PBI de la misma, es el principal demandante de agua de riego, incorporándose, en los últimos años, el citrus, el maíz y, en menor grado, la soja. Hasta mediados de la década pasada la fuente de provisión de agua para riego casi excluyente era la subterránea. El incremento constante del precio de los combustibles, a partir de 1995, hizo elevar notablemente los costos del riego a partir de perforaciones profundas. La consecuencia ha sido una notable disminución, en los últimos años, del área arrocería Provincial, creciendo, sin embargo, la utilización de agua de fuentes superficiales en importancia relativa.

Como el conocimiento de la oferta de este recurso está circunscripto a algunos de sus grandes ríos y en su desembocadura, fue necesario incrementar el mismo, sobre todo a nivel de cursos de agua de menor tamaño y con pequeñas áreas de aportes, seleccionándose, para ello, un área de estudio en la zona tradicional de cobertura de este cultivo, la cuenca superior del río Gualeguaychú. El estado de la información pluviométrica recopilada, con frecuentes interrupciones y contrastes a nivel anual con una apreciable dispersión en sus valores, determinó la conveniencia de implementar la zona con instrumental pluviométrico e hidrométrico. Con sus nuevos registros, aforos, correlaciones y una modelación matemática-hidrológica, se pudo transformar y ajustar la serie de niveles disponibles en caudales diarios. Los resultados de su análisis muestran una gran variabilidad en su distribución temporal, con coeficientes de dispersión y rangos extremadamente amplios que hacen que los caudales medios y módulos determinados sean prácticamente una abstracción numérica, debiéndose considerar como mucho más representativos a los caudales característicos mínimos o medios.

En síntesis, los recursos hídricos superficiales del área de estudio son abundantes y de buena calidad, pero de muy irregular distribución, por lo que las mejores condiciones para su uso posterior, sólo se podrán lograr con pequeñas represas de almacenamiento a emplazarse en los diversos afluentes de menor orden del río, en sitios más alejados del cauce principal.

**Palabras clave:** recursos hídricos superficiales, riego, arroz.

## INTRODUCCIÓN

La Provincia de Entre Ríos, debido a una combinación favorable de clima y relieve, posee una importante y vasta red hidrográfica en todo su espacio territorial. Considerando su balance hídrico a nivel anual ofrece, a nivel promedio, una situación de equilibrio relativo entre las precipitaciones y los requerimientos evapo-transpirativos de los cultivos, pudiéndose presentar, no obstante, déficits hídricos importantes en momentos puntuales y claves de los mismos. Esta situación se ha dado más frecuentemente en los últimos años, en donde se ha podido observar una mayor variabilidad del régimen pluviométrico y con una distribución mucho más irregular, dando lugar a sequías estacionales a veces muy importantes (en primavera y verano). Estos déficits deberían ser cubiertos en forma artificial, mediante el riego, para poder asegurar un resultado económico positivo, en atención a los costos crecientes de los distintos paquetes tecnológicos que en la actualidad se están aplicando.

El arroz, que ocupa el primer lugar en el aporte al PBI de la Provincia, requiere de la presencia de una lámina de agua continua para alcanzar una producción eficiente, la que es provista mediante una dotación de agua de riego importante. El citrus y el maíz y, en menor grado la soja, son cultivos que en los últimos años están incorporando el uso del agua de riego.

Hasta mediados de la década pasada la fuente de provisión de agua para riego casi excluyente era la subterránea, en cuyo uso la Provincia tiene una larga tradición, dado que los inicios de su producción arroceras se remontan al año 1940. El incremento constante del precio de los combustibles a partir de 1995, unido a una baja en el precio del cereal hizo elevar notablemente los costos del riego a partir de perforaciones profundas, llegando a significar, aproximadamente, el 30 % del costo de implantación del cultivo (del orden de los 450 a 700 lts de gas-oil /Ha). La consecuencia ha sido una notable disminución, en los últimos años, del área arroceras Provincial, creciendo, sin embargo, la utilización de agua de fuentes superficiales en importancia relativa, ya que en 1994/95 ocupó un 6 % del área total, estimándose, para la campaña 2003/04, una cobertura del orden del 33%, Weinbaur et al (2004).

En el período 1983-87 la Dirección de Hidráulica de la Provincia llevó a cabo algunos estudios para la promoción de la construcción de pequeñas represas en cauces de diferentes arroyos para el almacenamiento de los excedentes del escurrimiento superficial. Estas tareas fueron discontinuas y actualmente, el diseño de las mismas se encuentra reglamentado sólo en parte. El conocimiento de la oferta del recurso se halla circunscripto a algunos de sus grandes ríos y en su desembocadura, haciéndose necesario, por lo tanto, incrementar el mismo sobre todo a nivel de cursos de agua de menor tamaño y con pequeñas áreas de aportes.

El cultivo de arroz es el mayor demandante de agua de riego en la Provincia de E. Ríos. En el centro-norte de la misma y por las razones expuestas, en los últimos años se está desarrollando un modelo de producción arroceras basado en el uso del agua superficial mediante la construcción de pequeñas represas. La selección del área, por lo tanto, se realizó en la zona tradicional de cobertura de este cultivo, es decir en los departamentos Villaguay, Colón, San Salvador y, en menor grado en las nacientes de los ríos Gualeguay y Feliciano. Se tuvieron presente, además, otras consideraciones:

- la existencia de estaciones de medición de parámetros meteorológicos en lugares no muy alejados;
- curso de agua con algún tipo de medición hidrométrica;

- facilidades de acceso (fundamentalmente para realizar aforos en aguas altas, y para la operación del instrumental registrador a instalar);
- interés de la Provincia.

En función de lo expuesto la cuenca piloto seleccionada fue la superior del río Gualeguaychú, enmarcada en el área conocida como el triángulo arrocero de la Provincia, definido por sus vértices en las ciudades de Villaguay, San Salvador y Villa Elisa (Figura 1):



Figura 1: Ubicación de la zona de estudio

## DESCRIPCIÓN DEL ÁREA

La cuenca superior del río Gualeguaychú tiene una superficie de unos 470 km<sup>2</sup>, presentando una orientación general Norte - Sur. Su curso principal, que se extiende desde sus nacientes hasta su intersección con el puente de la Ruta Nacional N° 130, tiene una longitud aproximada de 43 km y una pendiente media de 0.00061. Sus afluentes, constituidos por cañadas y arroyos, en su casi totalidad, presentan una típica morfología arborescente, con patrones integrados de drenaje. Los anchos del cauce principal y del valle de inundación varían entre 8 y 40 m y de 200 a 800 m., respectivamente (Pedraza, R. 1991). El valle de inundación presenta pendientes transversales suaves, con un importante grado de ocupación agrícola-ganadera. Los cauces son, generalmente, bien definidos, pero, debido fundamentalmente, a la acción antrópica, se transforman en inestables, provocando fenómenos erosivos en regresión. Esto se evidencia en una transformación progresiva de la relación caudales- formas.

En general la cuenca presenta suelos con muy baja capacidad de infiltración, lo que unido a su geomorfología y al buen régimen de lluvias (más de 1000 mm anuales) origina períodos con altos volúmenes de escorrentía superficial seguido de otros muy escasos, que se tornan casi nulos en épocas de estiaje prolongado. La densidad de drenaje del área puede estimarse en  $0,47 \text{ km} / \text{km}^2$ .

## RÉGIMEN DE PRECIPITACIONES

La información pluviométrica disponible de las localidades más importantes ubicadas dentro del área de estudio, en su mayor parte pertenece a la Dirección de Hidráulica de la Provincia de Entre Ríos. En la misma se ha podido recopilar información de las localidades de A° Barú, Colonia Baylina, Jubileo, Pronunciamiento, San Salvador, Villa Clara y Villa Elisa. De las recorridas e inspecciones realizadas se pudo conseguir, además, la pluviometría diaria de un establecimiento ubicado en la cañada López, muy próximo al puente de la R.N. N° 130.

De las estaciones Concepción del Uruguay y Concordia, pertenecientes al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) también pudo recopilarse información pluviométrica diaria, aunque estas ciudades se encuentran un poco alejadas de la zona de estudio. En la Tabla 1 se presenta el listado de las estaciones de la cuenca con el año de inicio de los registros y la cantidad de años completos con valores mensuales.

**Tabla 1: Estaciones pluviométricas en el área de estudio del río Gualeguaychú**

Estación	Período de registro	Años completos
San Salvador	1959 / 2000 (42 años)	32
Colonia Baylina	1969/ 2000 (32 años)	17
Pronunciamiento	1980/ 2000 (21 años)	14
Villa Elisa	1983/2000 (17 años)	11
Arroyo Barú	1962/2000 (39 años)	13
Villa Clara	1958/2000 (43 años)	10
Cañada López	1984/ 2000 (16 años)	15
Jubileo (Ea.)	1930/2000 (70 años)	70

En general, las series cronológicas de los registros presentan muchas interrupciones, con extensos períodos sin observaciones, que pueden variar entre uno y seis meses. En varios casos (A° Barú, Cnia. Baylina, Villa Clara) dichas interrupciones se extienden a varios años. En cambio, merece destacarse la pluviometría mensual de la Estancia Jubileo, muy próxima a la localidad del mismo nombre, que presenta el período recopilado más extenso y más completo del área de trabajo. En cambio en la ciudad de Villaguay, aunque los registros se hayan iniciado aún varios años antes que en la estación Jubileo-Ea no se ha podido acceder a ellos porque, como pertenecen al Servicio Meteorológico Nacional, no existe libre disponibilidad de los mismos.

A efectos de verificar la consistencia de la información pluviométrica fueron correlacionadas varias estaciones, a nivel anual, pudiéndose comprobar en algunas de ellas una apreciable dispersión en los valores, evidenciada en los coeficientes de regresión determinados. En la Tabla 2 se presentan los valores determinados.

Las dos primeras filas muestran los resultados de los contrastes de la estación climática INTA-Concepción del Uruguay con los dos puestos pluviométricos de la cuenca más cercanos a ella: Villa Elisa y Cañada López, siendo evidente únicamente el buen contraste entre las dos últimas, producto de su proximidad geográfica.

Los registros pluviométricos anuales de la estación “Jubileo-Ea” han sido contrastados con el puesto vecino, San Salvador, con las dos estaciones climáticas del INTA, y con Cañada López. Los resultados aparecen en las filas cuarta, quinta y sexta de la Tabla 2. Puede apreciarse una mejor correlación (quinta fila), producto –tal vez- de la proximidad existente entre ambas estaciones.

Por último, fueron contrastadas las dos estaciones climáticas pertenecientes al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Si bien las mismas están bastante alejadas (unos 128 km en sentido Norte-Sur) es notable el bajo contraste obtenido, tratándose sólo de totales precipitados anuales.

**Tabla 2: Correlaciones de totales precipitados anuales entre estaciones**

<b>Estaciones contrastadas</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
INTA- C del Uruguay vs. Villa Elisa	0,578
INTA- C del Uruguay vs. Cda. López	0,672
Villa Elisa vs. Cda. López	0,841
INTA –C del Uruguay vs. Jubileo (Ea.)	0,454
Jubileo (Ea.) vs. San Salvador	0,722
Jubileo (Ea.) vs Cda. López	0,683
Jubileo (Ea.) vs. INTA- Concordia	0,648
INTA –C del Uruguay vs. INTA- Concordia	0,357

Para los análisis posteriores entonces, fueron considerados los valores pluviométricos de Jubileo-Ea y, en menor grado por tener períodos de registros más cortos, los de San Salvador e INTA- C del Uruguay. Considerando que la primera de ellas es la serie más extensa disponible, la determinación de los distintos coeficientes e índices pluviométricos fue realizada con los datos de esta estación. Presenta un promedio anual (serie 1930-2003) de 1194 mm., con un coeficiente de variación (o de Pearson)  $Cv = 28.7 \%$ . El máximo valor anual precipitado corresponde al año 2002 con 2548 mm y el mínimo al año 1933 con solamente 661 mm.

En la representación cronológica de los valores anuales se puede apreciar que, a partir de 1983, dichos montos, en general, se ubican por encima de la media de todo período analizado, Figura 2.

Entre 1984 y 2003 la lluvia anual promedio fue de 1392 mm, o sea un 16 % mayor que la del período completo. Si se considerase, en cambio, los últimos trece años, el promedio anual seguiría incrementándose (1452 mm.), siendo, en este caso, un 22 % mayor. Es muy importante resaltar estas diferencias por cuanto en este último período, más húmedo, se dispone de una serie de niveles en el tramo superior del río Gualaguaychú, cuyo régimen, entonces, no será totalmente representativo de los períodos de déficits.

La distribución de las precipitaciones mensuales, para el período 1930-03, presenta un máximo en marzo- abril de 142 y 132 mm respectivamente, y un mínimo en agosto de 57 mm, Figura 3, se han representado, además, las distribuciones mensuales que surgen de considerar la serie de años a partir de 1990.

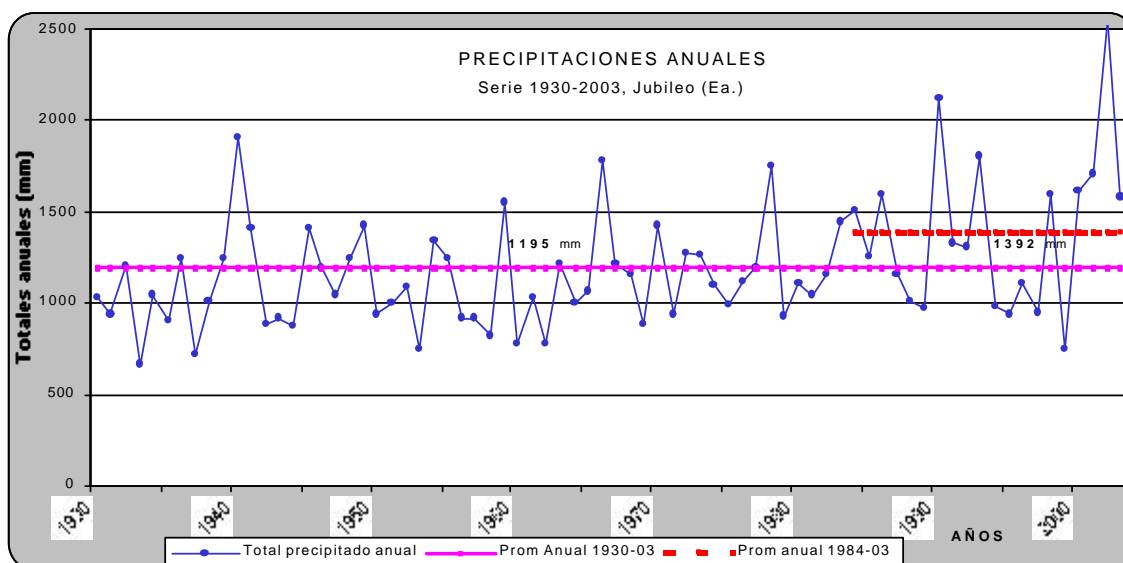


Figura 2: precipitaciones anuales, Estancia Jubileo, serie 1930-2003

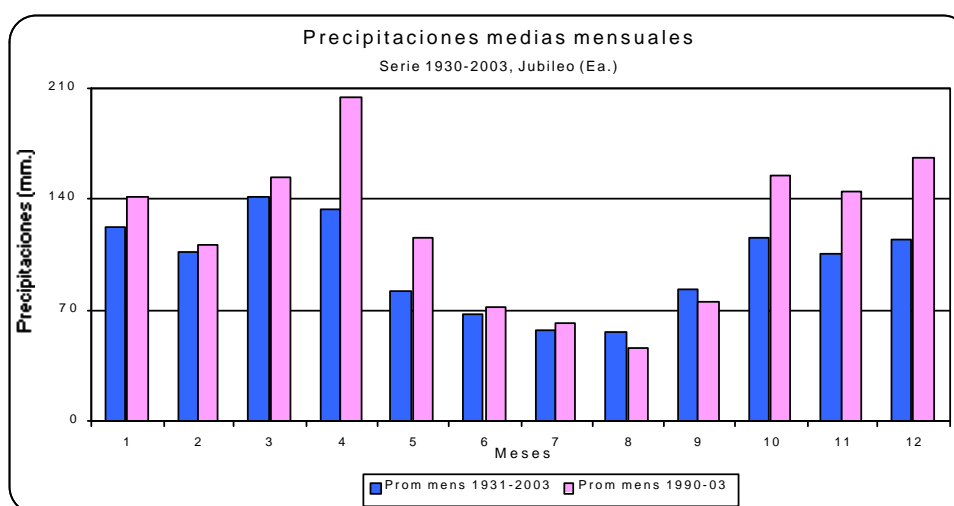


Figura 3: Distribución mensual de precipitaciones, Jubileo-Ea

Las sumas relativas muestran que el 61 % del total anual ocurre entre los meses de octubre y abril, representado el período invernal sólo el 16 % de dicho total. Si bien el período de bajas precipitaciones está concentrado entre los meses de junio a agosto, los períodos críticos de déficits estarán dados en los meses de verano, al aumentar la evaporación y, por lo tanto, la demanda de agua por parte de los cultivos.

### Información pluviométrica generada

Los análisis de consistencia han sido realizados a nivel de totales precipitados anuales. A nivel mensual y diario se pudo verificar que la dispersión de valores aumentaba notoriamente. Además, otro hecho observado, muy frecuente, ha sido el agrupamiento, en un solo día, del total precipitado en varios días seguidos; hecho éste que no afecta tanto a los totales mensuales o anuales, pero que sí complica la constitución de los archivos de entrada cuando hubo que realizar una modelación matemática del comportamiento de la cuenca. Por lo tanto, se decidió instalar en el

área de estudio una estación pluviográfica y 3 estaciones pluviométricas adicionales, con indicaciones a los observadores de que tratasen de registrar también las horas de inicio y fin de las tormentas.

## **RÉGIMEN DE EVAPORACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN**

Para el cálculo de la evaporación sobre agua libre pudo disponerse de observaciones directas en Tanque tipo A realizadas en el INTA- Concepción del Uruguay, entre los años 1987 y 2002. Se efectuaron los promedios mensuales y a cada uno de ellos se los afectó con un factor de corrección de 0.70. Como de la misma estación también se disponían de valores mensuales de temperatura media, humedad relativa, velocidad del viento y heliofanía efectiva, se estimó la evapotranspiración potencial (ETP) mensual según el método de Penman- Monteith.

La evaporación anual media determinada por observación directa en tanque fue 1364 mm. y, al ser afectada por el factor de corrección 0.70, disminuyó a 955mm; mientras que la ETP media anual según Penman-Monteith fue de 1230 mm, Cacik, (2003).

La distribución a lo largo del año es de forma sinusoidal, con máximos de evapotranspiración potencial en los meses de diciembre-enero (183 y 174 mm) y mínimos en junio (38 mm).

## **RÉGIMEN DE ESCURRIMIENTO**

### **Información hidrométrica disponible**

De la recopilación de antecedentes pudo saberse que la Sub-Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación registraba los niveles del río Gualedaychú en su intersección con la Ruta N° 130 con una frecuencia diaria, desde mediados del año 1987. Está identificada con el código 3131-H y el lugar como RN N°130. Después de determinada el área de aportes a ese punto, se efectuó un viaje de reconocimiento a la zona, en donde se pudo comprobar la instalación de tramos de escalas hidrométricas unos 500 m. aguas arriba del puente de la mencionada ruta, aldeaña a la casa del observador. Los registros diarios recopilados datan de agosto de 1987.

### **Información hidrométrica generada**

Con el objeto de validar si con una única medición diaria del nivel del río se podía obtener una buena caracterización de las variaciones del mismo durante las 24 horas, fue implementado un modelo matemático de transformación lluvia-caudal a esa cuenca de aportes, utilizando el Modelo AR-HYMO, (Maza et al, 1996). Los hidrogramas obtenidos, con rápidos e importantes incrementos de los caudales debido al pequeño tiempo de concentración de la cuenca modelada, permitieron establecer la necesidad de disponer de registros continuos de los mismos, para así poder caracterizar con mejor detalle las variaciones temporales horarias de ese recurso hídrico superficial.

A partir de ello, en Febrero del 2000, el Centro Regional Litoral (CRL) del Instituto Nacional del Agua (INA) construyó una estación hidrométrica aguas abajo y aldeaña al puente de la R.N N°130, la que fue implementada y operada en forma conjunta con la Facultad de Ciencias

Agropecuarias de la Universidad Nacional de Entre Ríos (FCA-UNER) y la Dirección de Hidráulica de esa Provincia.

### **Medición de caudales y curva de descarga**

Con el objeto de poder cuantificar los diferentes volúmenes de escurrimiento, a partir de agosto del 2001 fueron realizados aforos (13 en total) para diferentes estados del río, y así poder luego establecer una curva de calibración para dicha estación hidrométrica que vincule esos niveles con las descargas.

Los aforos efectuados después de las grandes crecientes ocurridas durante los primeros cinco meses del 2002 determinaban que el nivel del río para un caudal igual a cero había pasado de 0.50m a 0.22m. Las consultas hechas en el lugar permitieron establecer que la razón del descenso había sido la rotura de un tajamar realizado en el cauce del río a aproximadamente 500 m. aguas abajo del puente. Considerando esta circunstancia, con los pares de valores de niveles y caudales medidos antes y después de la misma, se establecieron las ecuaciones de las curvas de descarga y rangos de aplicación. El trazado de las mismas fue efectuado por los métodos analíticos, potencial, exponencial y cuadrático, seleccionándose las de mejor ajuste para los niveles registrados antes y después de mayo del 2002.

Las ecuaciones de la curva de descarga obtenidas para niveles (h) del río registrados antes de mayo-2002, han sido:

$$Q = 2.2944 * (h - 0.48)^{2.0759}, p / h \leq 2.48 \text{ m.}, \quad (1)$$

$$Q = 0.0588 * e^{(2.07 * h)}, p / h > 2.48 \text{ m.}; \quad (2)$$

Las ecuaciones para los niveles registrados después de mayo 2002 fueron:

$$Q = 0.1393 * e^{(1.75 * h)}, p / h \leq 2.69 \text{ m.}, \quad (3)$$

$$Q = 0.0588 * e^{(2.07 * h)}, p / h > 2.69 \text{ m.} \quad (4)$$

Las escalas, instaladas unos 600 m. aguas arriba del puente, en donde realizaba las lecturas diarias de los niveles la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación fueron vinculadas mediante nivelación geométrica. Posteriormente se efectuaron lecturas simultáneas de los niveles del río en ambas secciones de escalas. Se contrastaron los pares de valores así obtenidos, con los resultados que se muestran en la Figura 4.

La ecuación de correlación del gráfico fue aplicada a la serie de registros diarios de niveles recopilados desde 1987 y hasta el 10 de febrero del 2002, con el objeto de disponer de una nueva serie, corregida, de niveles diarios a la cual poder aplicar las ecuaciones de descarga.

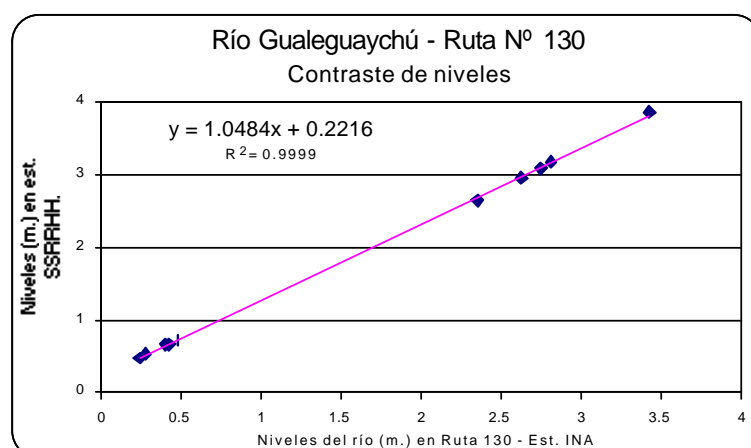


Figura 4: Contraste de niveles entre escalas

### Determinación de caudales medios diarios

Con la nueva serie de niveles corregidos, obtenida según se explicitó en el apartado anterior, se generó una serie de caudales medios diarios a través de la aplicación de las ecuaciones h-Q, conformándose una serie de aproximadamente 15 años.

La serie de caudales medios diarios de este curso ha sido sintetizada en la Tabla 3, en donde se presentan, para cada mes y año de la serie, el caudal diario promedio

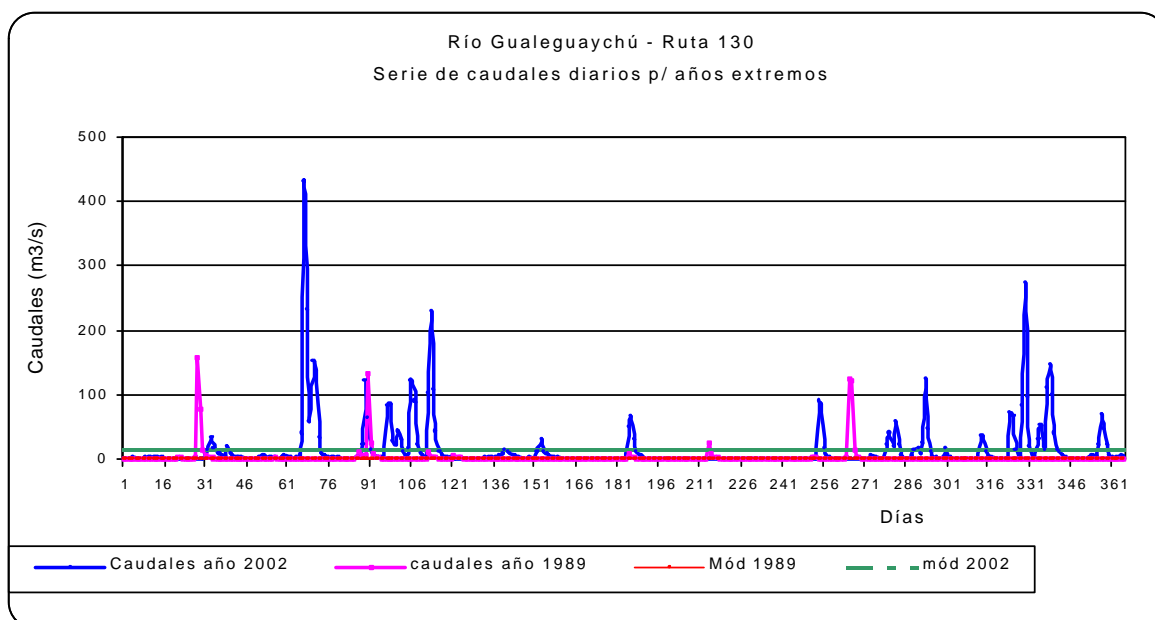
Tabla 3: Caudales medios mensuales del río Gualeguaychú en RN N°130

Río Gualeguaychú - Ruta Nac N°130 Sup Cca (hasta Ruta 130)= 470.3 km <sup>2</sup>												
Caudales medios mensuales (m <sup>3</sup> /seg.), serie 1987-2003												
Año\ Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
1987							0.05	0.44	0.27	0.04	3.92	1.70
1988	8.86	0.65	5.46	2.35	0.69	0.00	0.67	1.79	9.46	0.21	0.13	0.20
1989	0.10	0.09	0.38	0.33	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	5.03	0.20
1990	0.41	12.29	26.93	17.73	0.42	2.64	0.03	0.00	0.44	6.47	0.75	25.15
1991	3.02	0.51	0.41		5.45	6.50	0.74	0.23	1.95	0.04	0.02	0.82
1992	0.28	0.47	0.54	16.67	6.75	2.70	2.95	0.12	0.69	0.95	0.21	0.24
1993	5.03	0.87	0.57	18.61	27.10	1.35	0.27	0.23	0.08	24.96	16.58	7.20
1994	0.60	0.46	0.58	0.36	0.90	0.29	0.24	0.31	0.72	4.43	1.64	2.64
1995	1.68	1.86	1.84	1.25	8.12	0.32	1.32	1.12	1.04	4.54	5.99	0.70
1996	2.05	4.50	2.87	13.81	0.85	0.57	0.44	0.32	0.15	0.10	1.77	0.93
1997	0.88	2.17	1.08	0.78	1.09	0.56	0.16	0.84	0.12	1.07	3.09	11.59
1998	39.89	4.71	4.29	3.39	11.83	4.92	10.71	3.71	3.51	2.76	2.82	3.07
1999	3.51	4.40	3.92	4.66	2.83	6.86	12.00	1.33	0.60	0.09	0.00	0.00
2000	1.74	7.21	4.82	26.24	32.32	3.30	11.41	5.73	23.82	5.93	1.43	0.97
2001	1.82	13.71	16.74	4.16	0.52	9.84	7.33	3.71	3.34	34.41	10.01	0.61
2002	1.11	5.90	44.01	37.87	2.88	2.82	5.77	0.23	7.26	15.68	25.82	22.74
2003	0.40	3.74	3.53	22.52	33.38	7.50	0.06	12.13				
<b>Mín</b>	0.10	0.09	0.38	0.33	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
<b>PROM.</b>	<b>4.73</b>	<b>3.99</b>	<b>7.63</b>	<b>10.59</b>	<b>6.79</b>	<b>2.84</b>	<b>3.60</b>	<b>1.31</b>	<b>3.54</b>	<b>6.78</b>	<b>5.02</b>	<b>5.14</b>
<b>Máx.</b>	39.89	13.71	44.01	37.87	33.38	9.84	12.00	12.13	23.82	34.41	25.82	25.15

## Caracterización del escurrimiento

La serie de caudales medios diarios de este curso, si bien es de corta duración (15 años) se caracteriza por su gran variabilidad en magnitud y distribución en el tiempo.

El rango de caudales, según Giacosa et al, 1987, definido como la diferencia entre el caudal diario máximo ( $432\text{m}^3/\text{seg}$ ) y mínimo ( $0.0\text{ m}^3/\text{seg}$ ) = 432, la relación (r) entre el caudal máximo medio diario y el módulo del período, “r”= ( $433\text{ m}^3/\text{seg} / 5.13\text{m}^3/\text{s}$ ) = 84.2, y el coeficiente de variabilidad (o de Pearson)  $C_v = 462\%$ , ponen de manifiesto el enorme grado de dispersión que presentan los valores respecto a la media y la magnitud de tales variaciones. Esa dispersión se evidencia aún más si se consideran dos años extremos del período 87-2002, y se representan (en la Figura 5) los valores cronológicos de caudales medios diarios para 1989 (año seco) y 2002 (año húmedo). En el mismo puede apreciarse que los módulos ( $5.14\text{ m}^3/\text{s}$  para el período,  $14.4\text{ m}^3/\text{seg}$  para el año 2002 y  $0.52\text{ m}^3/\text{s}$  para el 1989) son solamente valores numéricos que no reflejan el comportamiento real del río.

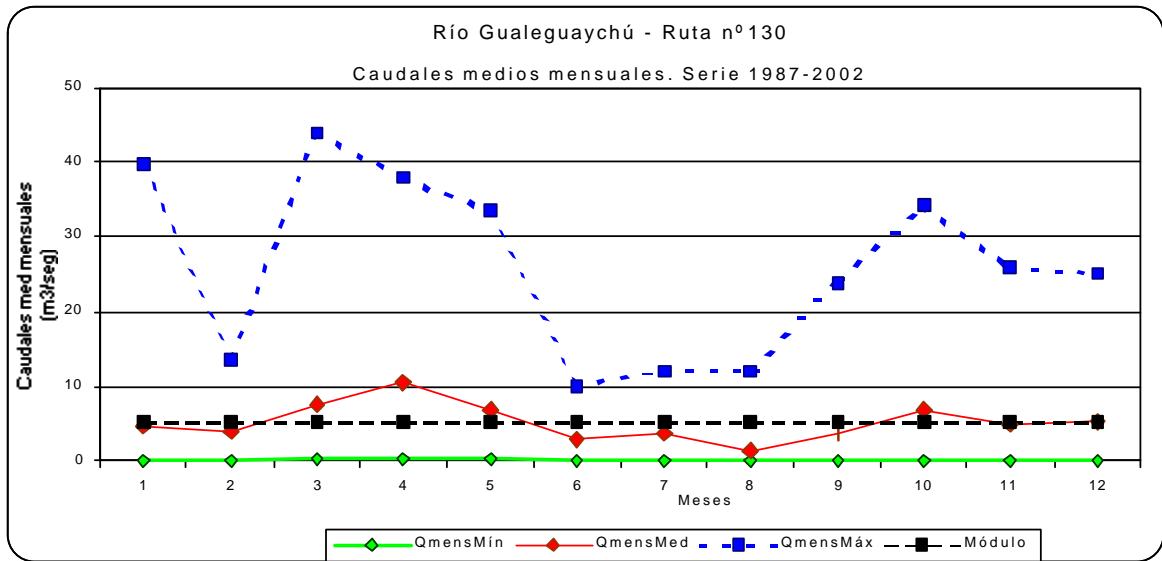


**Figura 5: Caudales medios diarios para años seco y húmedo**

En la figura 6 se presentan los caudales medios mensuales, máximos y mínimos de la serie 1987-2002, correspondiendo un valor muy próximo a cero a la mayoría de los mínimos.

La distribución mensual de caudales medios presenta valores máximos en marzo, abril y mayo, y octubre, ( $7.6$ ,  $10.6$  y  $6.8\text{ m}^3/\text{seg}$ ), en tanto el mínimo corresponde al mes de agosto ( $1.31\text{ m}^3/\text{seg}$ ). Para el período considerado, el módulo anual es de  $5.13\text{ m}^3/\text{seg}$ , con un valor máximo de  $44\text{ m}^3/\text{seg}$  y un mínimo de  $0.0\text{ m}^3/\text{seg}$ .

El rango ( $Q_{\text{máx}} - Q_{\text{mín}}$ ) de la serie de caudales medios mensuales, en este caso ( $44.01 - 0.00$ ) =  $44.01\text{ m}^3/\text{s}$ , la relación (r) entre el caudal y el módulo igual a 8.54 y el coeficiente de variación  $C_v = 164.4\%$  siguen mostrando, aún a nivel de promedios mensuales, el grado de irregularidad de los valores de dicha serie.



**Figura 6: Río Gualeguaychú-en Ruta Nac 130**

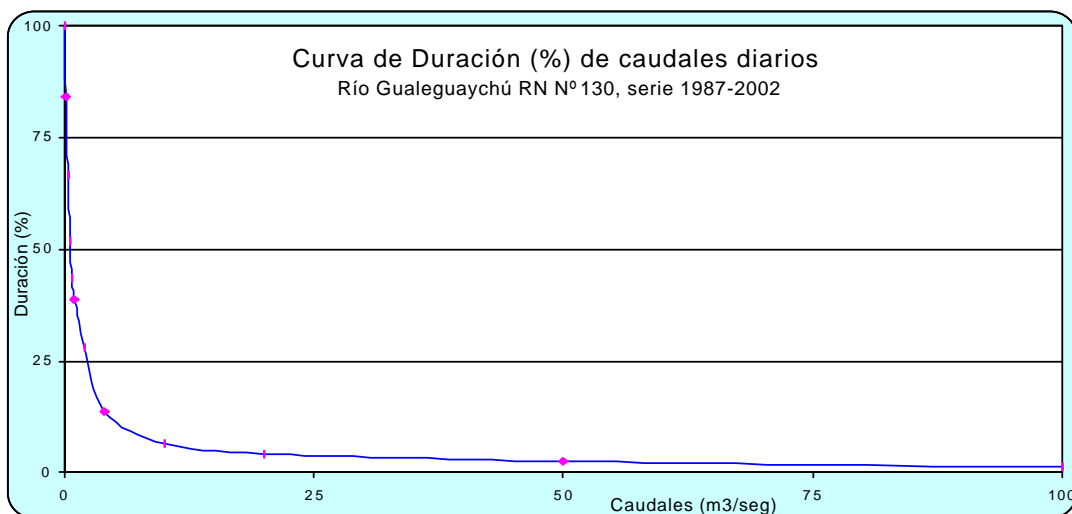
### Curva de duración y frecuencia de caudales

Los caudales medios mensuales de la serie 87-2002 ordenados en forma decreciente, Figura 7, expresan el valor de caudal que es sobrepasado para un número de días, a partir de la misma, se pueden definir algunos caudales característicos:

- caudal característico máximo: es el caudal sobrepasado diez días al año;
- caudal característico medio: es el caudal sobrepasado ciento ochenta días al año;
- caudal característico mínimo: es el caudal que es sobrepasado 355 días al año.

Los valores obtenidos han sido:

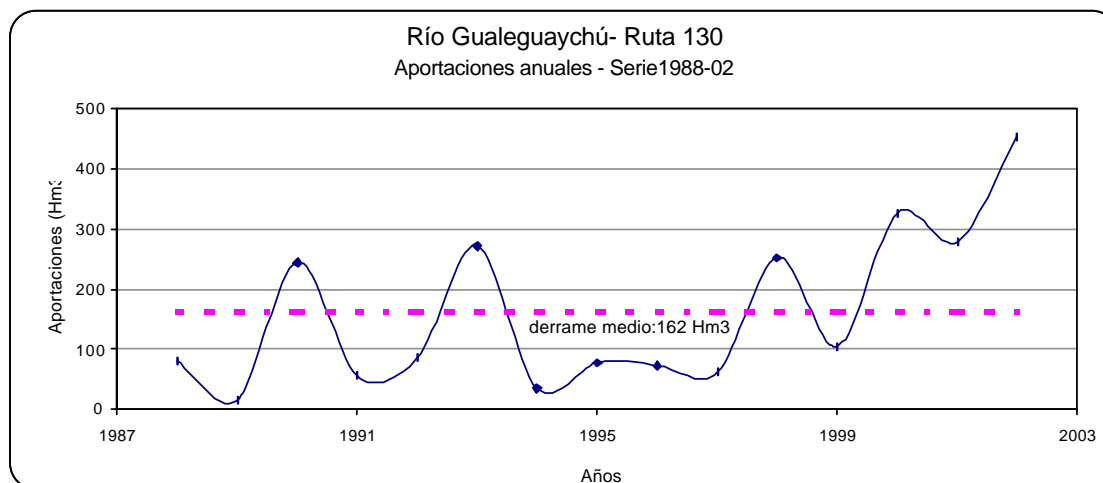
Q caract mín.:  $< 0.01 \text{ m}^3/\text{seg.}$ , Q caract medio:  $1.75 \text{ m}^3/\text{seg.}$ , Q caract máx.:  $33 \text{ m}^3/\text{seg.}$



**Figura 7: Curva de Duración (en %) de Caudales Medios Mensuales**

Si se tiene en cuenta que en ríos con un régimen permanente y regular el valor del módulo del período se aproxima al valor de caudal que es sobrepasado 180 días al año ( $Q_{50\%}$ ) y que se corresponde con la mediana en términos estadísticos, las determinaciones efectuadas en el Gualeguaychú (módulo= 5,14 y  $Q_{50\%}=1,75 \text{ m}^3/\text{seg}$ ) caracterizan la dispersión de los valores como la irregularidad e intermitencia de su régimen.

En términos de volúmenes, los derrames anuales estimados de la serie considerada fluctúan entre  $16.3 \text{ Hm}^3$  (año 89) y  $453 \text{ Hm}^3$  (año 2002), correspondiéndole una media de  $162 \text{ Hm}^3$  para todo el período, Figura 8.



**Figura 8: Aportaciones anuales ( $\text{Hm}^3$ ) del río Gualeguaychú en RN N°130**

Se pone en evidencia los elevados derrames anuales de los últimos tres años, fundamentalmente el del fin del período analizado, que triplica al valor medio y que se corresponde con una lámina de escorrentía de unos 960 mm, valor éste que, en muchos casos y para series muy extensas de lluvias anuales de estaciones del SW de la Provincia, podría aproximarse a su promedio histórico.

Como resumen, en la Tabla 4 se presentan algunos valores característicos del régimen de escorrentía para la serie 1988-2002:

**Tabla 4: Valores característicos del escurrimiento del río Gualeguaychú.**

Valores Característicos	Medio	Máximo	Mínimo
Módulo Anual ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	5.13	14.37	0.52
Derrame Anual ( $\text{Hm}^3$ )	162	453	16.3
Caudal Específico ( $\text{lt/s/km}^2$ )	10.9	30.6	1.10
Lámina de Escorrentía (mm/año)	345	963	34.8

La gran amplitud entre los valores máximos y mínimos de la lámina escurrida (963 y 35 mm) es claramente indicativa de la gran aleatoriedad de la oferta del recurso hídrico superficial según sea el año seco o muy húmedo.

Los valores precedentes deberían ser considerados con suma prudencia porque derivan de una serie corta de años en donde tiene una gran importancia relativa los tres últimos, que han sido muy lluviosos. Si éstos, por ejemplo, no fuesen tenidos en cuenta, la lámina de escurrimiento

promedio sería de 243 mm/año y el valor máximo de 578 mm anuales, mientras que el derrame medio descendería a 113 Hm<sup>3</sup>/año y el máximo a 272 Hm<sup>3</sup>.

### **Disponibilidad del recurso hídrico superficial**

En general, la potencialidad del recurso hídrico superficial está expresada en los derrames anuales que, para el río Gualeguaychú y durante el período 1987-2002, se han determinado en la sección de control Ruta 130, y cuyas características más importantes se han expresado en el cuadro precedente. La disponibilidad, en cambio, estará dada por la regulación que se pueda llegar a realizar de esos derrames anuales, o sea, por la adaptación de los caudales de escorrentía a las necesidades de la demanda de agua. Para efectuar la regulación lo que se necesita es almacenar agua cuando las aportaciones son superiores a la demanda y verterla cuando ocurre el fenómeno contrario. Implica, por lo tanto la construcción de embalses superficiales que, para el caso de Entre Ríos deberían permitir la regulación de los derrames en forma anual al menos, dado que los mayores volúmenes de escorrentía, en general, se producen durante los meses de marzo y abril, mientras que las demandas se concentran en los meses de diciembre, enero y febrero.

La importancia de esa regulación se puede poner de manifiesto estableciendo los siguientes supuestos: si en el área de estudio se pudiera alcanzar una capacidad anual de regulación del 50 %, considerando que los volúmenes de riego para el caso del cultivo de arroz (el mayor demandante de agua de riego en la Provincia) oscilan entre 10000 y 13000 m<sup>3</sup> por campaña (Blanco, F. (1998); Benavídez, R. Et al (1997)), y que la oferta del recurso superficial, desde un punto de vista conservador, en condiciones medias sería de 113 Hm<sup>3</sup>/año, entonces se podrían regar unas 4900 Has.; mientras que si se considerasen los aportes mínimos el área descendería a sólo 700 Has.

## **CONCLUSIONES**

Pudo disponerse de información pluviométrica de varias estaciones correspondiente al área de estudio, pero su análisis posterior determinó que parte de las mismas presentaban interrupciones frecuentes o no eran muy consistentes. Con entrevistas a sus observadores, y con la instalación de tres pluviómetros y un pluviógrafo se ha mejorado el conocimiento de la distribución espacial y particularmente, temporal de las precipitaciones, de suma utilidad en la modelación matemática-hidrológica realizada.

La construcción, implementación y operación de una estación hidrométrica con un registrador continuo de los niveles del río permitió, no solamente determinar con mayor precisión los caudales medios diarios, sino también estimar las fechas probables de modificación de los niveles para los caudales nulos, por construcción o rotura de tajamares en su curso.

La ejecución de varias campañas de aforos permitió determinar el caudal (223 m<sup>3</sup>/seg) para uno de los niveles hidrométricos más altos ocurrido durante el desarrollo de este proyecto (3.98 m) y estimar los caudales diarios para la serie de observaciones de niveles (16 años) realizadas por la SubSecretaría de Recursos Hídricos de la Nación.

Las ecuaciones de la curva de descarga, sobre todo las correspondientes a los primeros tramos de escalas, tienen validez mientras no se construyan obras aguas debajo de la sección de control.

El análisis de la serie de caudales diarios estimados muestra una gran variabilidad en su distribución temporal, con coeficientes de dispersión y rango de caudales ( $Q_{\text{máx}} - Q_{\text{mín}}$ ) muy elevados que hacen que los caudales medios y módulos determinados sean prácticamente una abstracción numérica. En estas situaciones resultan más representativos los diferentes parámetros obtenidos a partir de la curva de duración de caudales.

Como los recursos hídricos superficiales del área de estudio son abundantes, pero de muy irregular distribución, es de presuponer que las mejores condiciones para su almacenamiento, y uso posterior, se pueden lograr con pequeñas represas a emplazarse en los diversos afluentes de menor orden del río. Para una mejor disponibilidad del recurso será necesario, entonces, realizar una regulación interanual del mismo, la que estará condicionada, principalmente, por la morfología del área.

## BIBLIOGRAFÍA

- Benavídez, R.; Díaz, E.; Duarte, O.; Valenti, R. y L. M. Lenzi** (1997): “*Aplicación de técnicas radiactivas en la evaluación de la eficiencia del riego de arroz*”. Iº International Symposium on Nuclear Related Techniques in Agriculture, Industry, Health and Environment. La Habana, Cuba. Octubre 1997.
- Blanco, F.** (1998): “*Riego, resultados experimentales*”, nº 21, EEE, CIABB, Treinta y Tres, República Oriental del Uruguay.
- Cacik, Pablo** (2002): *Red Hidrológica e Hidro-meteorológica de la Provincia de Entre Ríos (área centro-norte)*. Consejo Federal de Inversiones – Dirección de Hidráulica de E. Ríos.
- Giacosa R. H., Bernal, G. L.** (1987): “*Caracterización Hidrológica de la cuenca del Aº Riachuelo*”. INA-CRL, Santa Fe.
- INTA** (2003): *Carta de Suelos de la República Argentina-Dpto. Uruguay. Plan Mapa de Suelos*. Convenio INTA-Gobierno de Entre Ríos. Estación Experimental Agropecuaria Paraná, Serie de Relevamiento de Recursos Naturales Nº 22, Cap.: Recursos Hídricos Superficiales.
- Maza, J.; Fornero, L.; Litwin, C. y P. Fernández** (1996). “*ARHYMO. Versión 2.0*”. Editado por INCyTH-CRA. 71. páginas.
- Pedraza, Raúl** (1991): *Defensa contra inundaciones de la ciudad de Gualeguaychú - Estudio hidrológico- rural*. CFI- Prov. E. Ríos
- Weinbaur, G.; Díaz, E.; Romero, C y G. Villanova** (2004). “*Prefactibilidad económica de la conversión del riego de arroz utilizando energía eléctrica. Area Cooperativa Eléctrica Villaguay*”. Resultados Experimentales 2003-2004. Volumen XIII. Fundación Proarroz – INTA. Página 113-123.