

NOTA DE INVESTIGACIÓN**EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS ARROCEROS A TRAVÉS DE
INDICADORES DE EFICIENCIA**

CURRIE, Héctor M.

Cátedra de Hidrología Agrícola – Facultad de Ciencias Agrarias - UNNE. Sgto. Cabral 2131
TE / FAX (03783) 427589-427131 (3400) Corrientes. hectorcurrie@ciudad.com.ar**RESUMEN**

El objetivo del trabajo consistió en caracterizar las arroceras ubicadas en el Litoral Argentino por la eficiencia en el uso del recurso hídrico y el consumo de combustible a través de indicadores de eficiencia. El mismo se efectuó durante las campañas agrícolas '94/'95 hasta '98/'99 inclusive. Con la información de campo se calculó el Balance Hídrico Bruto, que evaluó los aportes por precipitaciones más los directos por bombeo, (cuyo valor promedio fue $1,90 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ ciclo}^{-1}$); en tal sentido se consideran aceptables, valores normales entre $1,3$ a $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ ciclo}^{-1}$; el Balance Hídrico Neto por su parte, cuantificó los mismos aportes directos, pero descontándose las pérdidas del sistema y que alcanzaron a $1,124 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ ciclo}^{-1}$; la Eficiencia Final es la relación entre ambos Balances y fue del 62,10%. La Relación de Eficiencia Final de Conversión Agua - Grano, junto a la Relación de Eficiencia Final de Conversión Combustible – Grano son otros dos indicadores que caracterizaron al sistema arrocero. Para la primera el valor alcanzó de $2,79 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$, la segunda expresa que fueron necesarios 38,62 litros de gas - oíl Tn para producir una tonelada de grano seco⁻¹ de arroz. Estos valores mostraron una baja eficiencia de conversión de las arroceras estudiadas en el Litoral Argentino.

Palabras clave: Arroz, Conversión, Recursos Hídricos.

SUMMARY

The aim of this work was characterization rice plantations placed in the NE of Argentina by using hydric resource efficiency and gasoline consumption trough efficiency indicators. This was done from '94/'95 to '98/'99 harvests. Based on field information the Hydric Balance was calculated evaluating rain contribution plus direct pumping ones (which average value was $1,90 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ cycle}^{-1}$); thus are considered acceptable, current values between $1,3$ and $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ cycle}^{-1}$. On the other hand the Hydric Balance, quantified those direct contributions, but took away systems losses, which rose $1142 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ cycle}^{-1}$. A division among both balances is Final Efficiency and this was 62,10%. Final efficiency of water conversion into grain, together with Final Efficiency of gasoline conversion into grain is two other indicators that characterized rice systems. For the first one the value was $2,79 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$, the last needed 38.62 l of gasoline per ton of dried rice grain. These values showed low conversion efficiency in rice plantations studied in the Argentine North East.

Key words: rice, conversion, hydric resource

INTRODUCCIÓN

La necesidad de encontrar parámetros o indicadores que permitan evaluar integralmente la utilización racional del agua en el cultivo del arroz motivó la realización de este trabajo.

La eficiencia en el uso del agua puede ser definida de varias maneras; entre los autores que propusieron definiciones en tal sentido se encontró a Roel (2000) quien expresa que el cultivo más eficiente – en este caso el arroz - es aquel cuya relación en kg producido por mm^{-1} de agua es el más alto.

En este sentido el objetivo general del presente trabajo fue el de evaluar los sistemas arroceros a través de indicadores de eficiencia; como objetivo operacional a su vez se consideró como elementos claves – agua, combustible y rendimientos – los cuales fueron evaluados y medidos lo largo de cinco campañas agrícolas.

La evaluación de los sistemas arroceros a través de indicadores que manifiesten el manejo eficiente de los recursos hídricos, no sólo importa en términos económicos; sino que se halla relacionado y optimiza aspectos tales como la fertilización, la susceptibilidad a las enfermedades, el estrés ambiental, y las plagas tienen relación con la dosis correcta de riego.

La relación entre metabolismo y morfología de la planta permite fijar períodos importantes respecto a la absorción de nutrientes y eficiencia fotosintética, que son la base del manejo preciso del paquete tecnológico disponible, todo ello asociado al uso eficiente del agua. Por lo tanto la expansión arroceros y el uso racional de los insumos y los recursos suelo y agua obligó a la búsqueda de indicadores que permitan evaluar el recurso más importante en cualquier cultivo, es decir, el consumo de agua, optimizando el uso de la misma y atenuando los costos.

En el Litoral Argentino, el cultivo del arroz tiene en el agua de riego uno de sus principales insumos y costos, por lo tanto toda estrategia tendiente a hacer un uso más eficiente del riego tendrá un impacto significativo en el costo del cultivo. Por ello se realizaron mediciones a los fines de establecer indicadores fijos que reflejen cuantitativamente el uso correcto del agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo forma parte de un proyecto denominado Administración y Economía del Agua en el Cultivo del Arroz, y fijó sus escenarios de trabajos en dos áreas arroceras del Litoral Argentino; una en Santa Fe sobre la cuenca arroceros del Río San Javier, a 14 km al norte de la Localidad de Alejandra sobre la Ruta

Provincial 1, y la otra en Provincia de Corrientes, a su vez en cuatro escenarios. En el centro sur de la misma (Departamento Mercedes) en dos arroceras situadas sobre la Ruta Provincial 123 en los km 128 y 148 respectivamente (**Ctes 1 y 2**), en el Sistema Hídrico del Batel- Batelito conocida en la zona como Rincón de Corrientes (**Ctes 3**) y la última ubicada sobre la costa del Río Paraná a unos 21 km al Norte de la Localidad de Empedrado, en el km 1009 de la Ruta Nacional 12 (**Ctes 4**).

En la **TABLA 1** fueron identificadas las variables medidas a lo largo de la experiencia, para cada uno de los sitios escogidos, elementos con los cuales luego se procedió a plantear los indicadores. La **fecha de siembra** fue el promedio probable de las cinco campañas analizadas; la variación fue en mas o menos cinco días. La **fecha de inicio de riego** más probable por lo general, es entre los 25 a 35 días de implantado el cultivo, salvo en los casos que las precipitaciones de los meses de octubre y noviembre se hallen sobre la media, con lo cual el comienzo del riego puede atrasarse hasta los 60 días. El **número de días de riego** efectivos fueron de alrededor de 100. Los **caudales promedios** de los **canales** (conductores) **primarios** y **secundarios** resultaron de aforos rutinarios en sitios preestablecidos, en los que se determina la sección de operación y la velocidad por medio de Molinete Hidrométrico con Hélice N° 1, con estas mediciones se estableció el caudal exacto de entrada en cada chacra; con lo cual luego se procedió a calcular la dosis de riego.

Las pérdidas tuvieron tres orígenes, y fueron: *percolación* que se midió a través de la conductividad hidráulica y se obtuvo en forma directa por el procedimiento de De Wickman, (citado por De Datta, 1986), denominado Método del Cilindro; la *Evapotranspiración* se valoró de manera indirecta por los Métodos de Blaney y Criddle expresado como Uso Consuntivo y en los casos de disponer de información agrometeorológica por Penman (Doorenbos y Pruitt, 1990) y las *pérdidas laterales*, se obtuvieron por medio de la Ecuación de Davis y Wilson (citado por Valdeverde y Siurana 1995). Los datos de superficie y rendimiento por hectárea fueron obtenidos del registro de los productores; para el cálculo de consumo de gas-oil se adoptó $0,17 \text{ la hora}^{-1} \text{ HP}^{-1}$ (Gamarra, 1996); el caudal de erogación de las bombas surgió de caudalímetros adosados al caño de salida, u obtenidos por el método del Yacuzzi Engineering Information (citado por De Datta, 1986).

En cuanto a las precipitaciones se consignan las **medias en las áreas de cultivo**, y que constituyeron eventos acaecidos desde el momento de preparación del suelo hasta cosecha; y las correspondientes al **período comprendido entre siembra y cosecha**; este último valor se utilizó a los fines de establecer los balances de consumo bruto y neto.

RESULTADOS y DISCUSIÓN

Atento al objetivo planteado se calculó el (Balance Hídrico Bruto de Arrocera) **BHBA**, mencionado en la **Ecuación 1** en $m^3 m^{-2} ciclo^{-1}$, y constituido por aportes de precipitaciones y bombeo equivalentes en mm; el **BHBA** es un valor que según la bibliografía consultada (Gamarra, 1996; Blanco, 1988; Roel, 2000) estaría en el orden de los 1,3 a 1,5 $m^3 m^{-2} ciclo^{-1}$. El **BHNA**, (Balance Hídrico Neto de Arrocera) en la **Ecuación 2**, es aquel que a los parámetros anteriores se descontaron pérdidas parcelarias y percolación (Expresado como Conductividad Hidráulica diaria), el Balance Hídrico Neto se expresó también $m^3 m^{-2} ciclo^{-1}$; las dos últimas variables son sustraendos considerando que las prácticas de manejo durante el cultivo no contribuyeron a disminuirlos. En particular la percolación, que es un atributo específico relacionado a la naturaleza física del suelo. Para este índice los valores de confrontación son discutibles. Blanco (1988) en estudios realizados durante la década del ochenta concluyó que los valores por percolación aceptables alcanzan 1 $mm día^{-1}$, Topolanski (1975) demostró aspectos favorables en la percolación, concluyendo que valores de hasta 5 $mm día^{-1}$ serían razonables; y sostuvo que en suelos aluviales alcanzó a 1,3 $mm día^{-1}$ cuando el nivel hidrostático se hallaba entre 0,5 y 2 m; por su parte Kampen, (1970) estableció que cuando dicho nivel supera los 2 metros la percolación alcanzaba hasta 2,6 $mm día^{-1}$.

Ecuación 1: Balance Hídrico Bruto Arrocera

<p>BHBA = ApPp + Ap. Bombeo CONSUMO BRUTO = $m^3 m^{-2} ciclo^{-1}$ BHBA = Balance Hídrico Bruto Arrocera; ApPp = Aportes por Precipitaciones; Ap. Bombeo = Aportes por Bombeo</p>
--

Ecuación 2: Balance Hídrico Neto Arrocera

<p>BHNA = ApPp + Ap. Bombeo - (PCH +PS) CONSUMO NETO = $m^3 m^{-2} ciclo^{-1}$ BHNA = Balance Hídrico Neto Arrocera; ApPp = Aportes por Precipitaciones; Ap. Bombeo = Aportes por Bombeo; PCH = Pérdidas Por Conductividad Hidráulica; PS = Pérdidas Superficiales</p>
--

Con los valores hallados se estableció la **Eficiencia Final de Consumo de Agua (EFCA) Ecuación 3**, este valor presenta aspectos contradictorios en términos comparativos; pero en arroceras comerciales del centro Sur de la provincia de Corrientes (Currie; 1996, 1998; Currie y Ruberto, 1999) se encontraron valores de eficiencia de hasta el 92% en condiciones controladas de campo; otras referencias consignan que eficiencias del 75% serían las deseables. (Gamarra, 1996)

La **EFCAG (Eficiencia de Conversión Agua a Grano), Ecuación 4**, refleja el consumo de agua para producir un kg de arroz. El consumo de las arroceras fue por lo general alto, es habitual el consumo de 15.000 $m^3 ha^{-1} ciclo^{-1}$, menos frecuente, aunque generalizando en sectores con escaso aporte tecnológico consumos de 20.000 $m^3 ha^{-1} ciclo^{-1}$. En Uruguay (Gamarra, 1996) indica que la dotación de 10.000 $m^3 ha^{-1}$ en el ciclo es compatible con una alta eficiencia. Cuando más estrecha es la relación consumo de agua grano⁻¹ ha⁻¹ esta eficiencia tiende a la relación 1:1. De modo que el valor patrón con la actual tecnología, es no superar 1.600 litros de agua para producir un kg de arroz seco (Roel, 2000).

A la **EFCCG (Eficiencia Final de Conversión Combustible a Grano), Ecuación 5**, le comprenden las mismas consideraciones a las efectuadas para la Eficiencia de Conversión de Agua en Grano, aquella relación de eficiencia se expresa en litros de Gas – Oíl para producir Tonelada⁻¹ de arroz cáscara. A la disminución del consumo de agua, supone menor tiempo de bombeo que implica a su vez reducción en el consumo de combustible. Referencias bibliográficas indirectas a este aspecto sitúan dicho gasto en alrededor de 18 litros de combustible Tn⁻¹ arroz seco (Bryce, 1986; Gamarra, 1996).

Ecuación 3: Eficiencia Final Consumo de Agua de la Arrocera

<p>EFCA = BHNA X 100% BHBA⁻¹ EFCA = % EFCA = Eficiencia Final de Consumo Arrocera</p>

Ecuación 4: Relación de Eficiencia Final de Conversión Agua – Grano Arrocera

<p>REFCAG = CBA RTOP⁻¹ REFCAG = $m^3 kg^{-1}$ REFCAG = Relación de Eficiencia Final Conversión Agua - Grano Arrocera; CBA = Consumo Bruto Agua en metros cúbicos por Hectárea ciclo; RTOP Kg x Ha. = Rendimiento Promedio en Kilogramos por Hectárea</p>

(Tabla N° 1; anexo)

Ecuación 5: Relación de Eficiencia Final de Conversión Combustible - Grano Arroceras

REFCCGA = CBA RTOP⁻¹
REFCCGA = Gas-Oil Tn⁻¹.
REFCCAG = Relación de Eficiencia Final
Conversión Combustible - Grano Arroceras; CC =
consumo Combustible en litros por Hectárea ciclo⁻¹.
RTOP Tn x Ha = Rendimiento Promedio en
Toneladas por Hectárea

(Tabla N° 2, anexo)

Del análisis de la **Tabla 2** y **Figura 1** es posible asegurar que en general el *consumo bruto* de las arroceras estudiadas se hallaba por encima de los valores considerados como óptimos según (Blanco, 1988); otros autores (De Datta, 1986), sostienen que valores promedio a 1,4 m³ m⁻² ciclo⁻¹ de grano son los adecuados.

Para el Litoral Argentino, en Santa Fe (Alejandra), y en suelos arenosos de Corrientes (Ctes 3) el exceso con respecto al parámetro aludido es superior en 1,3 y 1,14 m³ m⁻² ciclo⁻¹ respectivamente; con respecto a la media de la región éstos dos sitios superan 1,42 y 1,33 veces respectivamente. Sin embargo en los restantes sitios lugares los valores estuvieron por debajo del patrón de comparación (Ctes 1 y 2).

Con respecto al *consumo neto*, (**Tabla 2** y **Figura 1**), en la bibliografía consultada respecto al valor patrón no aporta coincidencias específicas al respecto. No obstante, en general los valores hallados no son compatibles con una alta eficiencia y no se contraponen con el

consumo bruto; sólo en dos de los cinco sitios los valores se hallan por debajo de 1; y estos valores son cercanos con la asignación de 0,75 aludidos para los casos de sistemas cerrados de USA (Arkansas), citada en Rice Production Handbook (1990) y Beltrame y Louzada (1990).

La Eficiencia Final del Consumo de Agua (EFCA), (**Tabla 2** y **Figura 2**) de la Arroceras permitió afirmar a través de este indicador, que la eficiencia de consumo es de alrededor del 62,10% para los sitios estudiados en el Litoral, llegando en dos oportunidades a eficiencias ligeramente superiores al 75. Distintos tipos de pérdidas determinan los bajos valores hallados, pero las parcelarias, las relacionadas con evapotranspiración y las pérdidas en profundidad son las más importantes.

Los valores hallados para la Relación de Eficiencia de Conversión Agua Grano⁻¹ (**Tabla 2** y **Figura 3**), en general fueron altos; destacando que en promedio resultaron necesarios 2.790 litros de agua para producir un kilogramo de arroz seco; cuando lo aconsejado según distintas experiencias sería no más de 1.600 lts kg⁻¹ (Roel, 2000).

La Relación de Eficiencia Conversión Combustible Grano (REFCCGA) (**Tabla 2** y **Figura 4**); hallada por lo común fueron altos con respecto al patrón, que establece unos 18 litros de gas – oil tn⁻¹ de Grano Seco (Gamarra 1996, Blanco 1988); dado que en promedio se consumen 38,62 lts tn⁻¹; encontrando valores extremos de 62,36 lts tn⁻¹.

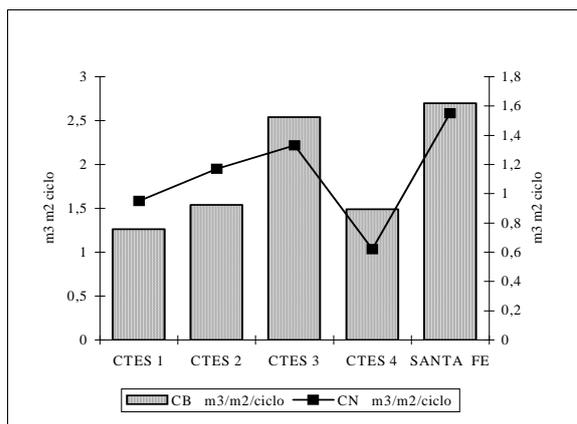


Figura 1: Consumo Bruto y Neto en Cinco Arroceras del Litoral Argentino

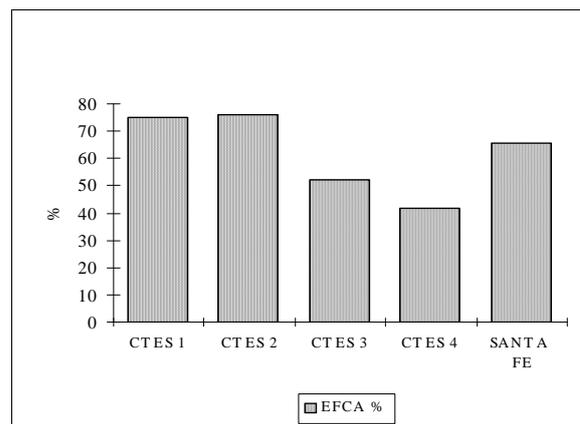


Figura 2: Eficiencia Final de Consumo de la arrocera para cinco sitios en %.

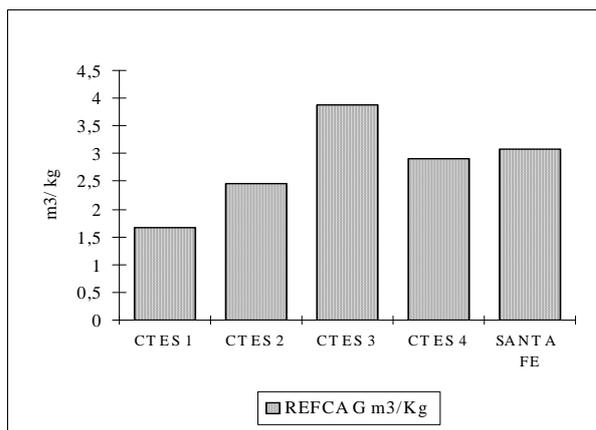


Figura 3: Relación Final de Conversión Agua – Grano para cinco sitios en $\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$.

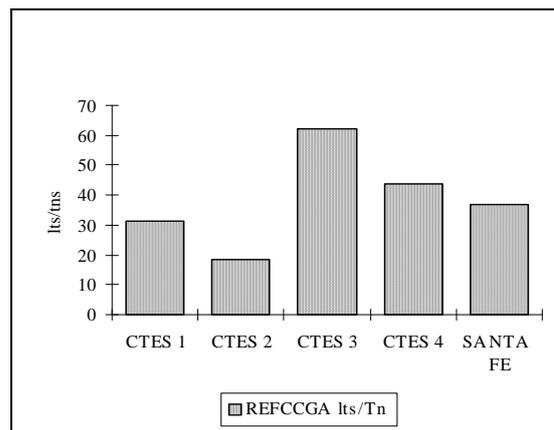


Figura 4: Relación de Eficiencia Final Conversión Combustible – Grano en lts tn^{-1}

CONCLUSIONES:

Los indicadores propuestos (EFCA, REFCAG y REFCCGA) permitieron establecer la eficiencia con que operan las arroceras estudiadas en el período '94/'95 a '98/'99 del Litoral Argentino, sobre todo en aquellos casos en donde el riego se efectúa a través de estaciones de bombeo, circunstancia que determina que el cultivo resulte más oneroso. Los valores hallados resultan determinantes para demostrar que de la eficiencia de conducción y distribución depende la obtención de mayores beneficios económicos.

Se proponen por lo tanto indicadores como elementos que faculten jerarquizar cuantitativamente la conversión del agua en grano, sabiendo que aquella es el elemento más importante para el cultivo del arroz. Estos indicadores discrepan a su vez con los propuestos por otros autores, debido a que en general fueron obtenidos en condiciones controladas de ensayo. Los señalados en este trabajo precisan de variables sencillas y mediciones que no requieren sofisticados equipos (excepto tal vez la conductividad hidráulica) y pueden ser obtenidos con solo consultar los registros de los arroceros.

REFERENCIAS:

- Beltrame, L y Louzada, J.** 1990. Water Use Rationalization in Rice Irrigation by Flooding. Mimeo. 9 Págs. Porto Alegre. RS. Brasil
- Blanco, F.** 1988. Riego Resultados Experimentales, N° 21 E.E.E., CIABB, Treinta y Tres. Uruguay.
- Bryce, L.** 1986. Consideraciones para un bombeo económico. Revista Arroz. A.C.A. Pág. 25, año 5; No. 13.
- Currie, H.** 1996. Determinación de la Eficiencia de Conducción y Distribución en Conductores Primarios y Secundarios respectivamente en Arroceras del Centro-Sur de la Provincia de

Corrientes. 7ma. Reunión de Comunicaciones Científicas y Técnicas. Fac. de Ciencias Agrarias. UNNE.: 96.

- Currie, Héctor.** 1998. Algunos indicadores de Eficiencia en el Consumo del Agua en Arroceras del Área de Influencia del R° San Javier (Prov. de Sta. Fe). Secretaría General de Ciencia y Técnica. Actas. Tomo III.: 63 a 67.
- Currie, Héctor; Ruberto, Alejandro.** 1999. Caracterización de Arroceras del Centro Sur de la Provincia de Corrientes por Medio de Indicadores de Eficiencia. 10 Reunión de Comunicaciones Científicas y Técnicas y 2da. Jornada de Extensión Agropecuaria. Fac. de Ciencias Agrarias. UNNE.
- De Datta S.K.** 1986. Producción de Arroz. Fundamentos y Prácticas. Cap. 9. Editorial Limusa, 1ra. ed.: 341 – 394.
- Doorenbos, J; Pruitt, W.O.** 1990. Las Necesidades de agua de los cultivos. FAO N° 24. Roma, Italia. 194 Págs.
- Gamarra Santa Cruz, G.** 1996 Arroz. Manual de Producción. Editorial Hemisferio Sur. 440 Págs.
- Huey, B.A.** 1994. Water management for rice production. Cooperative Extensions Service, University of Arkansas, Division of Agriculture and U.S. Department of Agriculture, folleto EL 566.
- Rice Production Handbook.** 1990. Cooperative Extension Service, University of Arkansas, USDA, MP 192, 59 Págs.
- Roel, A.** 2000. Riego en Arroz : Manejo Eficiente de la Inundación. INIA Treinta y Tres. IICA. Boletín de Divulgación INIA Treinta y Tres. Riego en Arroz, No 92.
- Topolansky, E.** 1975. El arroz. Su cultivo y su producción. Editorial Hemisferio Sur. Cáp. VII. Pag. 181-196.
- Valdeverde, J. y Santamarina Siurana, C.** 1995. Ingeniería Rural: Hidráulica. Departamento de Ingeniería Rural. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Valencia. Universidad Politécnica de Valencia. .

TABLA 1: Datos Básicos de Arroceras (Promedios continuos entre las campañas agrícolas '94/'95 a '98/'99)

CONCEPTO	Corrientes 1 (Km 128, Ruta Prov. 123)	Corrientes 2 (Km 148, Ruta Prov. 123)	Corrientes 3 (Sist. Batel / Batelito, Rincón de Ctes.)	Corrientes 4 (Km 1009, Ruta Nac. 12)	Santa Fé (Ruta Prov. 1; altura Pájaro Blanco) ¹
Fecha de siembra - Promedio más probable	05/09	01/09	28/11	18/08	05/09
Fecha Inicio Riego - Promedio más probable	15/10	15/10	20/12	15/10	15/10
Número Total de Días Con Riego Promedio:	100	110	81	114	110
Caudal Promedio de las Pérdidas(lts seg ⁻¹):	0,36	0,25	0,57	0,629	0,20
Conductividad Hidráulica Promedio(mm día ⁻¹):	3,91	3,11	9,81	2,51	5,70
Rendimiento Promedio (Kg ha ⁻¹)	7.601,60	6.261,00	6.580,80	5.158	7.700,00
Precipitación Media del Período del cultivo (mm)	650	1143	829,03	805,5	957
Precipitación Siembra – Cosecha (mm)	462,5	428,32	701,5	430,0	913
Evapotranspiración (Setiembre – Febrero) mm	948,5 ²	941,7 ³	1122,8 ³	1048 ²	1077 ³
Tiempo Operación Bombeo / Promedio (Horas)	2.640	2.400	1.944	4.555	2.153
Consumo Total Combustible (lts ha ⁻¹)	239,72	115,69	410,34	219,51	284,24

Referencias en pie de página

TABLA 2: Resultados Finales por sus Indicadores de Eficiencia cinco arroceras del Litoral Argentino (Promedios no continuos entre las campañas '94/'95 a '98/'99)

VARIABLES	CORRIENTES 1 (Km 128, Ruta Prov. 123)	CORRIENTES 2 (Km 148, Ruta Prov. 123)	CORRIENTES 3 (Sist. Batel / Batelito, Rincón de Ctes.)	CORRIENTES 4 (Km 1009, Ruta Nac. 12)	SANTA FE (Ruta Prov. 1; altura Pájaro Blanco)	Valores Promedios
CB	1,26	1,54	2,54	1,49	2,7	1,90
CN	0,95	1,17	1,33	0,62	1,55	1,124
EFCA	75,20	75,97	52,36	41,61	65,40	62,10
REFCAG	1,67	2,45	3,89	2,90	3,08	2,79
REFCCGA	31,5	18,47	62,36	43,91	36,9	38,62
CONSUMO BRUTO (CB): m ³ m ⁻² ciclo ⁻¹ CONSUMO NETO(CN): m ³ m ⁻² ciclo ⁻¹ EFICIENCIA CONSUMO FINAL DE AGUA DE LA ARROCIERA (EFCA): % RELACIÓN FINAL CONVERSIÓN AGUA GRANO (REFCAG): m ³ Kg ⁻¹ RELACIÓN FINAL CONVERSIÓN COMBUSTIBLE - GRANO ARROZ (REFCCGA): Gas-Ofi Tn ⁻¹ .						

¹ Corresponde Campañas Agrícolas '94/'95-'96/'97

³ Método de Blaney y Criddle

² Método de Penman