

EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO HIDROLÓGICO DE REPRESAS PARA RIEGO DE ARROZ EN ENTRE RÍOS. ARGENTINA.

**Oscar C. Duarte⁽¹⁾; Eduardo L. Díaz⁽¹⁾; Emilia C. Romero⁽¹⁾, Ricardo A. Valenti⁽¹⁾
Gustavo Patriarca, Luis M. Lenzi⁽²⁾ y Alberto Hiltton⁽²⁾.**

⁽¹⁾Facultad de Ciencias Agropecuarias –

UNER. CC 24. Correo Central (3100) Paraná. Entre Ríos. email: oduarte@fca.uner.edu.ar.

⁽²⁾Instituto Nacional del Agua. Centro Regional Litoral. Patricio Cullen 6161. Santa Fe.

INTRODUCCIÓN

La producción arrocerá ocupa el primer lugar en el aporte de PBI de la Provincia de Entre Ríos. En el norte de la Provincia de Entre Ríos el reemplazo de áreas de bosque nativo por la agricultura ha tenido un fuerte incremento en los últimos años (Casermeiro et al, 2001), la mayoría de la superficie desmontada pasa a agricultura en secano y en menor medida, un 14 % de dicha superficie desmontada, Romero et al (2007), a áreas destinadas a inundar para la construcción de represas y sus áreas bajo riego.

En la actualidad existen 56 embalses de retención en operación y en proyecto varias más. Está demostrado que el uso del agua superficial garantiza la sustentabilidad de los sistemas acuíferos de la Provincia, y permite un adecuado crecimiento del área irrigada basado en recursos hídricos superficiales asociado a la toma a partir de los grandes ríos Paraná y Uruguay, como de los principales cursos interiores.

Un área históricamente arrocerá, lo fue el sur de la provincia, Duarte et al (2007), la que presenta disponibilidad hídrica, casi ilimitada, que no compite con otros usos consuntivos.

OBJETIVOS

Los objetivos del presente trabajo son el de reseñar las investigaciones realizadas en el área de los recursos hídricos superficiales a partir de embalses de retención, en las campañas financiadas por la Fundación Proarroz y por la UNER.

Asimismo se tuvieron en cuenta las investigaciones realizadas por otros investigadores de la UNER, del INA y del INTA, y asimismo los aportes de la experiencia de los proyectistas de obras privadas, las que fueron compiladas en un libro editado por la UNER en el año 2007 (Díaz et al 2007).

MATERIALES Y MÉTODOS

Para alcanzar los objetivos se implementaron embalses de monitoreo en los que se caracterizó el sistema de extracción, se midieron y estimaron los caudales de extracción, y determinaron las áreas irrigadas. Se caracterizaron en función de los antecedentes disponibles los suelos del área de represas. En campañas se recorrieron la totalidad de los embalses de la provincia, caracterizando su calidad físico – química y la aptitud del agua para riego. Se evaluaron los aspectos ambientales, a nivel de inventario, se estimaron los beneficios económicos del uso de agua superficial con respecto a las fuentes subterráneas. Se caracterizaron los métodos constructivos y se desarrollaron modelos matemáticos de simulación y predicción del riesgo hídrico en función de la variabilidad climática.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Características de los suelos de la zona de represas

Gran parte de los suelos del área de represas de la provincia de Entre Ríos, corresponde al Orden Vertisol y en menor medida a Alfisoles o Molisoles con características vérticas, denominados genéricamente vertisólicos o intergrados, Figura 1.

Los Vertisoles se encuentran en un paisaje de peniplanicie muy suavemente ondulada, con pendientes generalmente largas (0,5-2,5 %), aunque también se los puede hallar en peniplanicies onduladas de hasta 4 % de pendiente (Plan Mapa de Suelos de la Provincia de Entre Ríos, 1984).

Son suelos de textura fina, con un contenido de arcilla del 40-50%, sobre todo del tipo de las esmectitas (montmorillonita). Generalmente tienen textura franco-arcillo-limosa en los horizontes superficiales y arcillo-limosa en los subsuperficiales. Los intergrados a los suelos Molisoles, que son aquellos que han recibido el aporte de loes, presentan una textura más gruesa, con predominancia de arcilla illita, en el horizonte A.

Las características más importantes de los suelos Vertisoles son su color oscuro uniforme, elevado contenido de arcilla, formación de grietas profundas y anchas en la fase seca y sistemas de espejos de fricción (slickensides) intersectados. Las dos últimas características son resultado de los movimientos de expansión y contracción volumétrica, fenómenos debidos a las particularidades de las esmectitas, que pueden absorber y desorber importantes cantidades de agua entre sus capas cristalinas, según la humedad del medio.

Según el sistema de clasificación Soil Taxonomy, son considerados Vertisoles aquellos suelos que tienen al menos 30% o más de arcilla una vez mezclados los primeros 18 cm y en todos los demás horizontes, además de tener grietas de por lo menos 1 cm de ancho a una profundidad de 50 cm durante la mayoría de los años. Se añade una o más de las siguientes características: microrrelieve gilgai, caras de fricción intersectadas

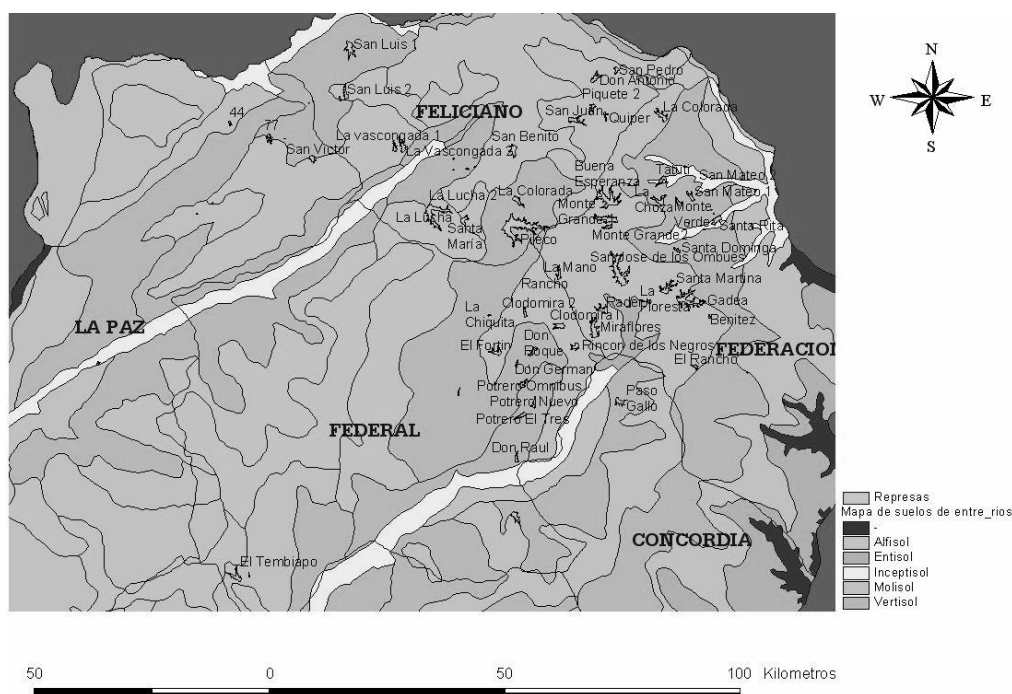
(slickensides) y agregados estructurales cuneiformes entre los 25 y 100 cm de profundidad (USDA, 1994).

Los otros tipos de suelos apropiados para represas, son los que poseen características vérticas y corresponden a los Ordenes Alfisoles o Molisoles. Los suelos pertenecientes al Orden Alfisol, son Ocracualfes vérticos y Natracualfes típicos. Los primeros, tienen un horizonte superficial ócrico, de colores claros, muy lixiviado y degradado, de textura franca-limosa a franco-arcillo-limosa y un horizonte B₂, con cromas oscuros y síntomas de hidromorfismo, expresados por las abundantes concreciones de hierro y manganeso que presentan. Los Natracualfes típicos tienen un horizonte subsuperficial altamente saturado con sodio en su complejo de cambio (> 15%), lo que da lugar a un horizonte nátrico, que influencia negativamente las características físicas de los suelos y el crecimiento de los vegetales.

Respecto a los Molisoles, los más usados en éste cultivo, son los Argiacuoles vérticos, que tienen un epipedón mólico, de color oscuro franco-limoso y un horizonte subsuperficial argílico, donde están mayormente expresadas las características vérticas. De textura franco-arcillo-limosa a arcillo-limosa, con drenaje deficiente y abundantes concreciones de hierro-manganeso de hasta 5 mm de diámetro (Tabla 1).

Tabla 1. Distribución (%) de los diferentes tipos de suelo en departamentos de la provincia de Entre Ríos (INTA - Atlas de Suelos de la Rep. Argentina, 1995)

Departamento	Clasificación taxonómica de los suelos arroceros	
1.- Villaguay	Peluderte argiacuólico (80%)	Peluderte argiudólico (20%)
2.- Federación	Argiacuol vértico (65%)	Peluderte argiacuólico (35 %)
3.- Concordia	Peluderte argiacuólico(45%) Ocracualfe vértico 10%)	Argiacuol vértico (45%)
4.- Federal	Peluderte argiacuólico(70%) Ocracualfe vértico (8%)	Argiacuol vértico (22%)
5.- Feliciano	Argiacuol vértico (41%) Ocracualfe vértico (27%)	Peluderte argiacuólico (32%)
6.- La Paz	Argiudol ácuico (50%)	Natracualfe típico (50%)



**Figura 1: Mapa de suelos georreferenciado del Norte de Entre Ríos
(Atlas de suelos de la Republica Argentina)**

CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DEL ÁREA

Según Rojas y Saluso (1987), la provincia de Entre Ríos se encuentra ubicada dentro de los climas de dominio atlántico, y se divide en dos regiones climáticas: una pequeña franja al Norte de la provincia que corresponde al clima subtropical húmedo de llanura y otra que cubre el resto de su territorio y corresponde al clima templado húmedo de llanura.

La región de clima subtropical húmedo de llanura, se caracteriza por inviernos suaves. La amplitud térmica no excede los 13 °C y el alto grado de humedad del aire reduce su oscilación diaria. La influencia constante de los vientos del noreste influye en las abundantes lluvias, con medias de 1200 mm. (Rojas y Saluso, op.cit.). Estas altas precipitaciones obedecen a la convergencia periódica de distintas masas de aire: una que ingresa como vientos del Noreste, mayor en verano por el desplazamiento hacia el sur del anticiclón del Atlántico Sur, y otras de origen continental (S.O.) o marítimo (S.O.) o polar (INTA, 1990).

La región de clima templado húmedo de llanura se caracteriza por su condición de planicie abierta, sin restricciones a la influencia de los vientos húmedos del noreste; al accionar de los vientos secos y refrigerantes del suroeste (causantes de los cambios repentinos en el estado del tiempo), y a los vientos del sureste, aire frío saturado de

humedad, que da lugar a semanas enteras de cielo cubierto, lluvias y temperaturas muy estables (Rojas y Saluso, op.cit.)

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS:

La técnica constructiva de las represas de almacenamiento ha sido desarrollado a un nivel satisfactorio, Irigoyen (2007) e Iturburu (2007), las actualmente en operación no han manifestado problemas constructivos graves, los inconvenientes más importantes están vinculados al manejo de los caudales de crecidas extraordinarias que generan en ocasiones erosiones localizadas en los vertederos laterales, por otra parte, debido al método constructivo, se presentan problemas de erosión en el paramento mojado (aguas arriba) cuando la dirección de los vientos predominantes son coincidentes con el mayor desarrollo del embalse. Este último aspecto ha sido controlado mediante dos alternativas:

- no eliminar la vegetación dentro del embalse, produciendo una rugosidad adicional que limita la altura y energía de las olas.
- Proteger el paramento mojado con restos de vegetación arbórea de la zona de desmonte.

Se han encontrado problemas en caso de descensos significativos de los niveles de los embalses con las cañerías de aspiración, las que en algunos casos llegan a tener problemas de rotura o de aplastamiento por succión. Estos problemas se resuelven modificando las características de las tomas de agua, construyendo obras civiles de hormigón armado y cañería de aspiración vertical.

ASPECTOS HIDROLÓGICOS.

Durante el período de riego las precipitaciones inferiores a 40 mm no generaran escurrimiento suficiente para recargar los volúmenes consumidos por el bombeo de los embalses con destino a riego, evaporación e infiltración en el mismo.

Es por ello que en suministro a la superficie irrigada en años secos se basa casi exclusivamente en los volúmenes almacenados previamente (precipitaciones en el período abril-octubre). Es por ello conveniente, para un manejo adecuado de los mismos, determinar la superficie bajo riego en función de los volúmenes almacenados y las predicciones a largo y/o mediano plazo de precipitaciones. El hecho de disponer de una curva altura volumen y curva altura superficie, adicionalmente con la instalación de una escala hidrométrica y su registro en el tiempo. Irigoyen (2007) aconseja una dotación volumétrica entre 10000 y 11500 m³/ha de agua almacenada al inicio del riego.

Brumatti (2002), utilizando un modelo de simulación, concluyen que en condiciones naturales los embalses no alcanzan a reponer las extracciones bajo riego y en años secos la superficie potencial a ser irrigada es menor al considerado en el proyecto para condiciones medias. Deberá por ello tenerse en cuenta los niveles en los embalses, la

curva altura volumen y la predicción climática, y en función de ello determinar la superficie a regar en cada campaña.

San Miguel et al (2007) utilizando el software de simulación de operación de embalses ARHIUNER relacionaron, la capacidad de cada embalse con la demanda de riego y la probabilidad de falla en la atención de la demanda. Este Software desarrollado en el ámbito de la UNER posibilita la detección clara de períodos críticos donde ocurren las fallas y aquellos, donde se producen excesos no-aprovechables que se derraman por vertedero utilizando diagramas de comportamiento.

El análisis de los resultados obtenidos evidencia la importancia de la utilización de series extensas de caudal. Esta situación se pone de manifiesto en los riesgos, fundamentalmente económicos, que se corren cuando el análisis de probabilidades de falla en atención de la demanda se lleva a cabo con registros de corta extensión.

APTITUD DE LAS AGUAS PARA RIEGO

En el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UNER se hicieron los análisis Físico - Químicos a las muestras recolectadas, para la determinación de su aptitud para riego. El método analítico empleado fue el de Técnicas Analíticas para las determinaciones físico-químicas y químicas en muestras de Suelo y Agua, Asensio (1976).

Se obtuvieron los siguientes parámetros indicadores de calidad de las aguas.

- pH,
- Conductividad Eléctrica,
- Cationes: Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+1}
- Aniones: Cl^{-1} , CO_3^{-2} , CO_3H^{-1} .

En el caso del pH se utilizó el Pehachímetro de precisión ($\pm$) 0.1 marca HANNA Instruments. Para la Conductividad Eléctrica: se usó el Conductivímetro marca HANNA Instruments.

Para la cuantificación de los cationes Ca^{+2} y Mg^{+2} , se empleo el Método de complejometría y la determinación del Na^{+1} se realizó por fotometría de llama, con un fotómetro marca Metrolab 315. Para la determinación de los aniones, CO_3^{-2} , CO_3H^{-1} y Cl^{-1} se utilizó el Método de Titulación.

De la caracterización de las aguas de las represas en el área en estudio, se obtuvo la distribución de frecuencias correspondiente a la conductividad eléctrica (Figura 2 y Tabla 2). Puede verse que el 98 % de las aguas de represas de la provincia son aptas para riego complementario, considerando que tienen conductividades eléctricas menores a 0.750 mS/cm (clases C1 y C2). De éstas, el 88 % son consideradas de excelente calidad (C1), por lo

tanto no presentan ninguna limitación para su uso. Por otra parte, el 2 % pertenecen a la clase C3.

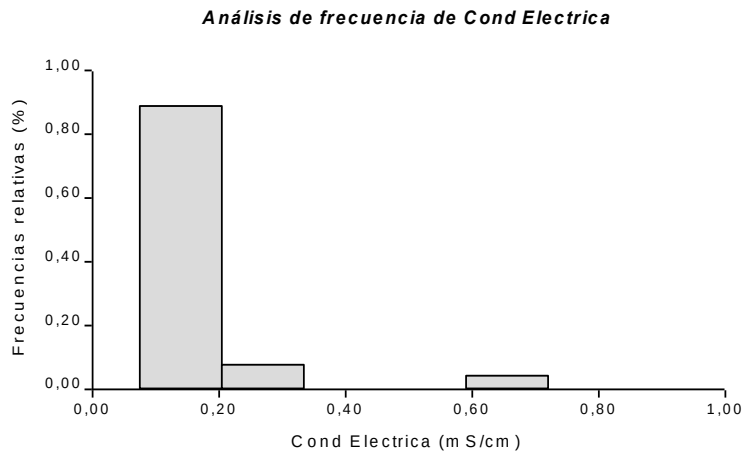


Figura 2. Análisis de Frecuencia de la CE

Tabla 2. Clasificación de las aguas para riego por Salinidad.

Clases	Clasificación	Cond. eléctrica (mS/cm)	% parcial	% acumulado
C1	Baja	< 0.25	88	88
C2	Moderada	0.25-0.75	10	98
C3	Media	0.75 - 2.25	2	100
C4	Alta	2.25 - 4.00	----	----
C5	Muy Alta	4.00 -6.00	----	----
C6	Excesiva	> 6.00	----	----

Currie (2001) en un estudio de calidad de agua de origen superficial para riego de arroz en Corrientes, sugiere adoptar las directrices de Grist, que considera como agua de buena calidad a aquella que presenta una RAS menor a 10 y una CE menor a 750 $\mu\text{S/cm}$; y considerar lo establecido por Urien en relación al valor máximo de carbonato + bicarbonato que no debe superar los 650 mg l^{-1} . Por ende, considerando que las aguas con una RAS < 10 no generan riesgos de sodificación de suelos, y a partir de lo observado en la Figura 3 y Tabla 3, donde se evidencia que el 100 % de las aguas superficiales poseen una RAS < 7, se considera que las mismas no presentan limitaciones para su uso en riego.

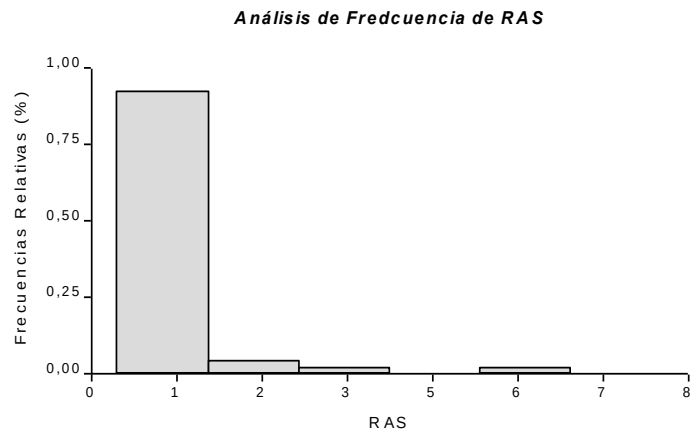


Figura 3. Análisis de Frecuencia del RAS

Tabla 3. Clasificación de las aguas para riego por RAS.

RAS ajustado	Clasificación	% parcial	% acumulado
<6	No hay problema	98	98
6 –9	Problema creciente	2	100
>9	Problema grave	---	---

En función de la escala propuesta por Ayers y Westcot (1976) y teniendo en cuenta que las aguas con una RAS ajust < 6 no generan riesgos de sodificación de suelos, los resultado obtenidos, permiten establecer que las aguas de las represas evaluadas no presentan limitaciones para su uso en riego (Tabla 4). En la Figura N° 4, puede observarse que el 98% de las aguas superficiales poseen una RAS < 6, y que solamente el 2% presentan problemas graves, si consideramos que tienen un RAS ajustado mayor a 10.

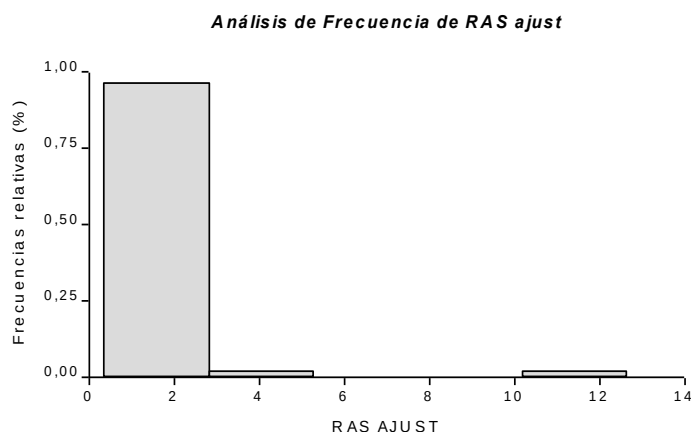


Figura 4. Análisis de Frecuencia del RAS ajust

Tabla 4. Clasificación de las aguas en función del RAS Ajust

RAS ajustado	Clasificación	% parcial	% acumulado
<6	No hay problema	98	98
6 –9	Problema creciente	0	98
>9	Problema grave	2	100

La Figura 5 presenta el Diagrama de Riverside de las 51 muestras analizadas, para pares de valores de CE - RAS y CE - Ras Ajustado. En la muestra de la represa Campo Benitez, que la ubica en la categoría C2-S2 para Ras Ajustado, es decir un agua que solamente puede usarse para riego siempre y cuando haya un grado moderado de lavado, que estaría dado en un suelo de buena permeabilidad, es producto de que la misma se la alimentaba además a partir de una perforación, lo que generaba niveles elevados de sales y de contenido de sodio.

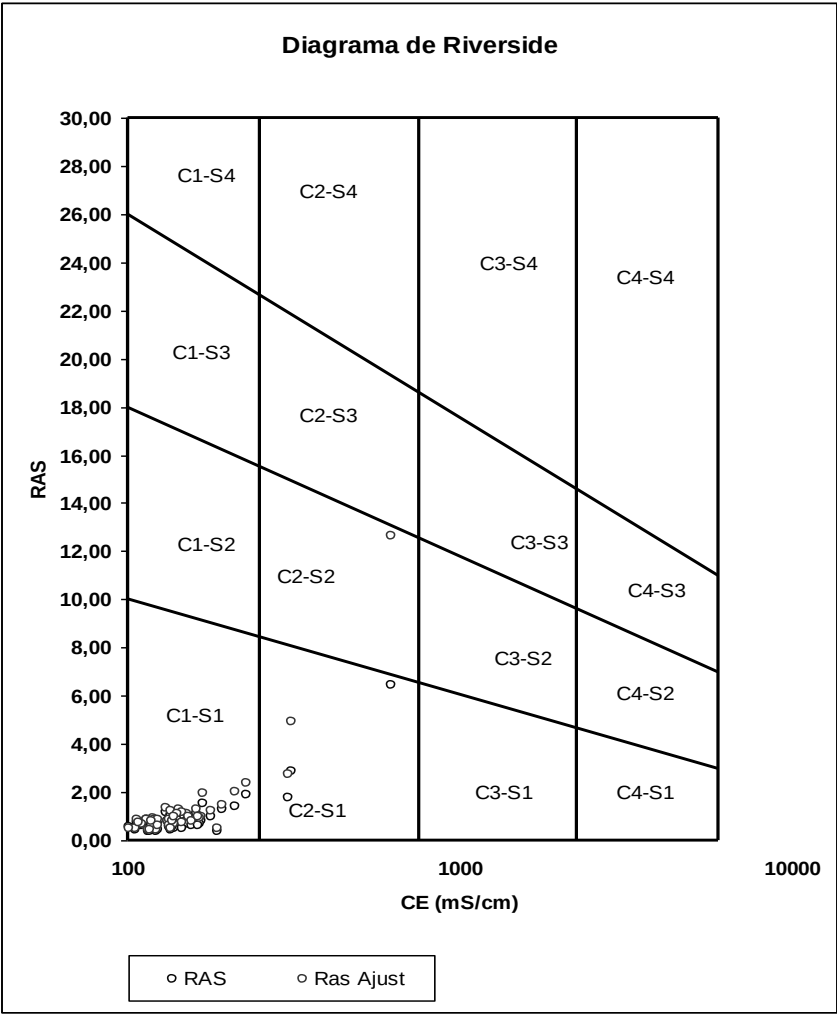


Figura 5. Diagrama de Riverside de las muestras de las represas analizadas

RELEVAMIENTO DE LAS REPRESAS CONSTRUIDAS

El número de represas, su superficie, cuenca de aporte y área irrigada fue determinada por Carñel et al (2002), indicando la existencia de 56 embalses, con superficies desde 80 hasta 1350 has. De la recorrida a campo del área en estudio, se obtuvo información que permitió generar Mapas temáticos que muestran: Ubicación de las represas, Nombre de la represa; Posición geográfica de los 52 embalses monitoreados en las campañas realizadas, Figura 6.

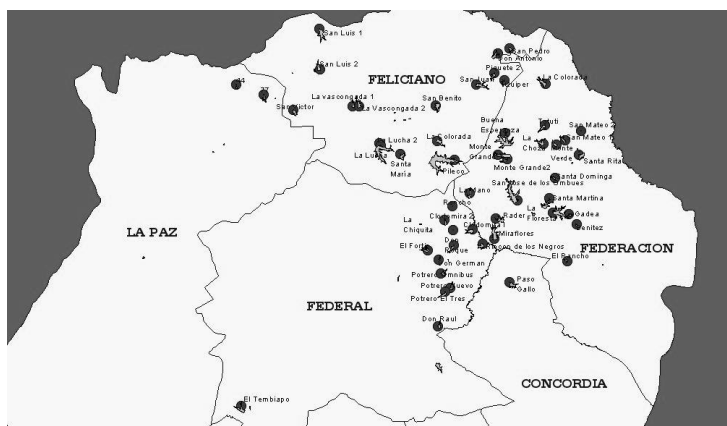


Figura 6 : Mapa de la ubicación de las represas relevadas.

ASPECTOS AMBIENTALES DEL SISTEMA ARROCERO BASADO EN REPRESAS

Es necesario incorporar a los Proyectos de construcción de Presas destinadas a riego, la Evaluación de Impacto Ambiental correspondiente que justifique en este aspecto la construcción de la obra. Si bien son obras consideradas “pequeñas” es necesario, al menos, realizar una evaluación cualitativa adaptada a proyectos pequeños, a efectos de detectar los impactos más significativos y tenerlos en cuenta tanto para la toma de decisiones, como para la implementación de medidas de mitigación o correctoras.

Como es sabido las evaluaciones de tipo cuantitativas exigen un análisis minucioso en el inventario, lo que requiere mayor tiempo y dinero. De ahí la importancia de realizar a priori, una evaluación cualitativa que permita la selección de los impactos más importantes, para su posterior análisis cuantitativo.

Arguello et al (2007), consideran que en función de los resultados obtenidos del análisis preliminar de los impactos generados por las obras construidas se puede concluir que, las mismas tienen importantes impactos positivos sobre el medio ambiente, generados por las ofertas de nuevos hábitat para los organismos asociados a estos ambientes, un uso más racional de los recursos, minimización de la explotación de las aguas subterráneas, reducción de las emisiones atmosféricas de CO₂, entre otros.

Unos de los impactos negativos importantes, es que los embalses se construyen considerando especialmente los intereses particulares de los propietarios, dado que la obra almacena las escorrentías generadas en la propiedad y riega las tierras de la misma. No están diseñadas en función de un planeamiento del uso racional de los recursos de la cuenca.

De acuerdo con Muzachiodi (2006), el aumento de la superficie de embalses asociados a las áreas arroceras produce modificaciones ambientales por las inundación de perdidas de hábitat y la formación de nuevos nichos que pueden afectar a la biodiversidad.

En la zona de arrozales se ha observado el 55 % de las especies de aves citadas para la provincia, además en estos ambientes se encuentran 42 especies de mamíferos del total de 77 registradas en la provincia, 29 especies (64%) de los anfibios y de las 74 especies de reptiles descriptos para la provincia se han observado en los arrozales 43 (58%).

A diferencia de los cultivos de otros cereales que ha generado la eliminación de numerosas especies, el del arroz, desarrollado en su forma tradicional, ha provisto de refugio a muchas especies propias de los humedales.

La pesca en los canales de riego y la producción de peces en los arrozales tiene gran potencial ofreciendo una valiosa fuente de alimentos. La presencia de algunas especies produce beneficios al reducir enfermedades que se transmiten a través del agua, ya que estos peces se alimentan de los agentes de esas enfermedades, como los caracoles y las larvas de insectos.

La cría de patos en los arrozales recién cosechados, es una práctica común en algunos países, lo que genera beneficios a los arroceros. Los patos se alimentan de caracoles e insectos, limpiando la zona productiva y aumentando la puesta de las patas en el arrozal.

En la actualidad estos ambientes presentan poblaciones de peces, las cuales están sometidas a capturas deportivas de lugareños, no conociéndose las especies y densidades presentes, que permitan una planificación de las actividades de pescas.

BIBLIOGRAFÍA

Ayers, R.S. y D. W. Westcot (1976). "La calidad del agua en la agricultura". Estudio FAO: Riego y drenaje. Pag 85.

Brumatti, C. (2002). "Caracterización hidrológica e hidráulica de una presa de retención con destino a riego en la Provincia de Entre Ríos". Trabajo Final de Graduación. Facultad de Ciencias Agropecuarias. UNER. 42 páginas y Anexos.

Carñel G., Díaz E., Duarte O., Wilson M. y L. Lenzi (2002). "Identificación y cuantificación de las presas para riego en la provincia de Entre Ríos". Congreso Argentino de presas y aprovechamientos hidroeléctricos. San Juan, Argentina. 8 p.

Díaz, E.; Duarte, O.; Zamanillo, E y L. Lenzi (2007). Libro: "Evaluación Agrohídrológica de represas para riego. Su estudio en Entre Ríos". Editado por la UNER. 211 páginas.

INTA. (1995). Atlas de Suelos de la República Argentina. Edición en disco compacto Atlas de Suelos, INTA- SAGPyA-PNUD. Arg. 85/019 -1990. Convenio INTA/Instituto de Suelos AEROTERRA. Bs. As.

Irigoyen, M. (2007). “Proyectos de represas destinadas al riego de arroz. Aspectos metodológicos”. En el libro: Evaluación Agrohídrológica de represas para riego. Su estudio en Entre Ríos. Editado por la UNER. Pp 21-34.

Iturburu, J. R. (2007). “Represas de riego en el norte entrerriano”. En el libro: Evaluación Agrohídrológica de represas para riego. Su estudio en Entre Ríos. Editado por la UNER. Pp 35-44

Lenzi, L., Duarte O., Díaz, E., Wilson, M. y Brumatti, C. (2002). “Primeras determinaciones del Balance Hídrico en un embalse de Retención con destino a Riego en la Provincia de Entre Ríos -Campana 2001-2002”. Resultados Experimentales 2001-2002. Vol XI. pp 71-79.

Lenzi, L.; Duarte, O. ; Dacunda, P.; Eclicia, P.;Garcia, L., Romero, C., Diaz, E. y H. Casas (2004). "Evaluación Agrohídrológica e Hidroquímica de Represas de Almacenamiento con destino a arroz. Resultados Experimentales 2003-2004". Vol XIII. pp 103-112.

Lenzi, L; Díaz, E y Duarte, O. (2005). “Recursos hídricos superficiales con destino a riego en una cuenca del centro-este de Entre Ríos”. CONAGUA 2005 XX. Mendoza-Argentina. Pp 303.

Muzachiodi, N. (2006). “La fauna silvestre en ecosistemas asociados a las arroceras de Entre Ríos”. En el libro: “El arroz. Su cultivo y sustentabilidad en Entre Ríos”. Editado por la UNER y la UNL. Director de Obra René Benavidez. Pp 269-294.

Plan Mapa de Suelos de la provincia de Entre Ríos. (1984). Suelos y erosión de la provincia de Entre Ríos. Serie Relevamiento de Recursos Naturales N° 1. Tomo 1. Convenio INTA-Gobierno de Entre Ríos. III Edición. 109 p.

Rojas y Saluso (1987). “Informe Climático de la Provincia de Entre Ríos”. INTA EEA Paraná, Publicación Técnica N° 14. Entre Ríos, Argentina

San Miguel, S.; Alvez, C.E.; Losco, F. y E. Zamanillo (2007). “Análisis de riesgo en el diseño de embalses para riego. Sistema ARHIUNER”. En el libro: Evaluación Agrohídrológica de represas para riego. Su estudio en Entre Ríos. Editado por la UNER. Pp 145-154.

Sanseverino, C. y M. Argüello (2007). “Evaluación ambiental de los humedales antrópicos”. En el libro: Evaluación Agrohídrológica de represas para riego. Su estudio en Entre Ríos. Editado por la UNER. Pp 193-202.

USDA. (1994). Key to Soil Taxonomy. Natural Resources Conservation Service. Unites States Department of Agriculture. Sixth Edition.