

XXIV CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA
PUNTA DEL ESTE, URUGUAY, NOVIEMBRE 2010

SISTEMA REGIONAL DE RIEGO POR GRAVEDAD PARA LA
PRODUCCIÓN DE ARROZ-PASTURAS EN LA CUENCA DEL ARROYO
TRES CRUCES

Magdalena Crisci, Mariana Fernández, Patricia Trambauer y Rafael Terra

IMFIA - Facultad de Ingeniería - Udelar. Uruguay.

mcrisci@fing.edu.uy, mfernand@fing.edu.uy, ptrambauer@gmail.com, rterra@fing.edu.uy

RESUMEN:

La cuenca del arroyo Tres Cruces (afluente del Cuareim en el departamento de Artigas, Uruguay) cuenta con una importante área apta para el cultivo de arroz aún sin desarrollar. Por otro lado, la alta variabilidad climática y la escasa capacidad de almacenaje de agua en sus suelos superficiales es motivo de frecuentes crisis forrajeras con un alto impacto económico y social. En este trabajo se realizó un análisis de oferta y demanda de agua en la cuenca (relacionada con la capacidad de expansión del sistema arroz pasturas en la región). En función de eso se analizó la posibilidad de construir un sistema de riego a escala de subcuenca, como umbral de trabajo se tomó 1.000 ha de arroz como mínimo. Luego se realizó un análisis de alternativas de embalse donde se seleccionó la mejor según una serie de criterios (hidráulicos, hidrológicos, económicos) previamente definidos.

ABSTRACT:

The stream basin of Tres Cruces (tributary of the Cuareim River in the municipality of Artigas, Uruguay) has a large area suitable for the cultivation of rice which is currently underdeveloped. Moreover, the highly variable climate and the low water storage capacity of the superficial soils cause frequent fodder crisis with a high economic and social impact. In this project, an analysis of the water availability and demand in the basin (related to the ability of expanding the rice-pasture system in the region) was done. Based on this, the possibility of constructing a basin-scale irrigation system was analyzed, working with a 1000 ha of rice crop as a minimum threshold. Finally, an analysis of reservoir alternatives was carried out where the best option was selected according to certain defined criteria (hydraulic, hydrologic, and economic).

PALABRAS CLAVES:

Riego multipredial, crisis forrajera, oferta y demanda

INTRODUCCIÓN

La cuenca del arroyo Tres Cruces (afluente del Cuareim en el departamento de Artigas, Uruguay) cuenta con una importante área apta para el cultivo de arroz aún sin desarrollar. Por otro lado, la alta variabilidad climática y la escasa capacidad de almacenaje de agua en sus suelos superficiales es motivo de frecuentes crisis forrajeras con un alto impacto económico y social.

Hasta ahora el desarrollo del arroz ha ocurrido en base a presas a nivel predial. Existen varios elementos que sugieren que el riego puede ser resuelto de manera más eficiente a través de un sistema a nivel de cuenca que pueda impulsar la producción de arroz en la región y además reducir la vulnerabilidad climática mediante el riego de praderas, lo cual implicaría un cambio en el sistema productivo y no simplemente la expansión de un sistema existente.

OBJETIVOS

Los objetivos del presente trabajo son los siguientes:

- Desarrollar una metodología para la caracterización y análisis conjunto de la oferta y la demanda de agua a nivel de una cuenca y aplicarla a la cuenca del arroyo Tres Cruces.
- Analizar y seleccionar, en base a determinados criterios, alternativas de embalse y de conducción por gravedad a nivel de cuenca para la producción de arroz-pasturas.

DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CUENCA

El arroyo Tres Cruces es uno de los afluentes más importantes del río Cuareim de la margen uruguaya, el cual desemboca en el río Uruguay y es frontera entre Uruguay y Brasil. La cuenca del arroyo Tres Cruces posee una superficie de 1.466 km² y se encuentra totalmente comprendida en el departamento de Artigas (Figura 1).

En la Figura 2 se presenta la foto satelital de la cuenca del arroyo Tres Cruces en la que pueden observarse los embalses existentes dentro de la misma, siendo todos ellos iniciativas individuales.

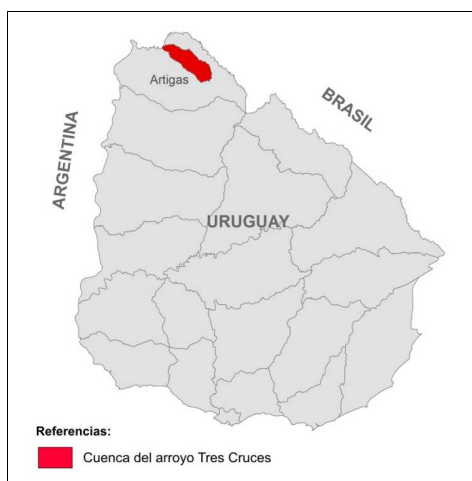


Figura 1.- Localización de la cuenca

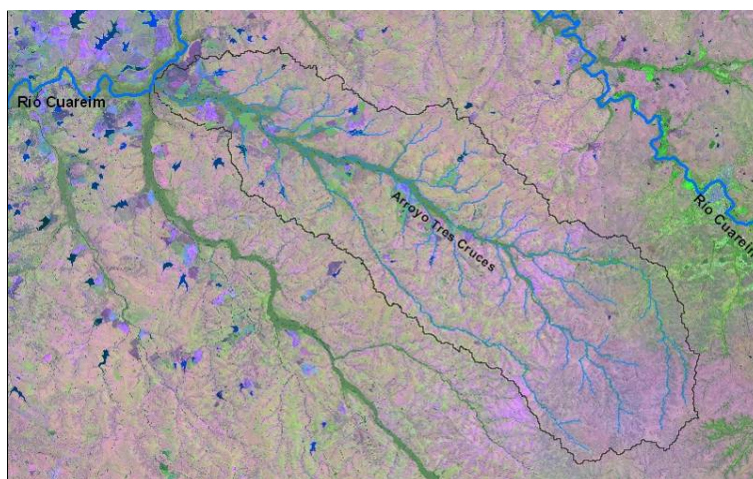


Figura 2.- Embalses existentes en la cuenca. Fuente: DNH.

El clima de la región se caracteriza por la existencia de precipitación en todos los meses del año aunque con la existencia de una alta variabilidad interanual de precipitaciones mensuales.

Respecto a los suelos presentes en la cuenca, la mayoría se desarrollan sobre roca basáltica (Formación Arapey) y pueden clasificarse en base a su profundidad en suelos muy superficiales (de menos de 40 cm de espesor) y en suelos de mayor profundidad (entre 40 y 120 cm de espesor). Los suelos de poca profundidad se encuentran principalmente en la zona alta de la cuenca y presentan serias limitaciones de arraigamiento de las pasturas, por lo cual poseen grandes dificultades para su explotación agrícola y ganadera. Los suelos de mayor profundidad presentan mejores condiciones para el desarrollo de pasturas y siembra de cultivos, entre los que se encuentra el arroz.

En la Figura 3 se presenta el área apta para el sistema arroz-pasturas con siembra directa y bajo riego en la cuenca del arroyo Tres Cruces de acuerdo al trabajo “Zonificación de tierras de la cuenca del Río Cuareim” (Molfino et al, 2000). Dicha área es de 39.300 ha y corresponde al 28% del área de la cuenca.

Se entiende por sistema de arroz-pasturas a un sistema de rotación de 2 años de cultivo de arroz y luego 4 años de praderas. De esta forma, en una zafra dada, solo un tercio del sistema estaría destinado al cultivo de arroz, destinándose los dos tercios restantes a las praderas para engorde de ganado.

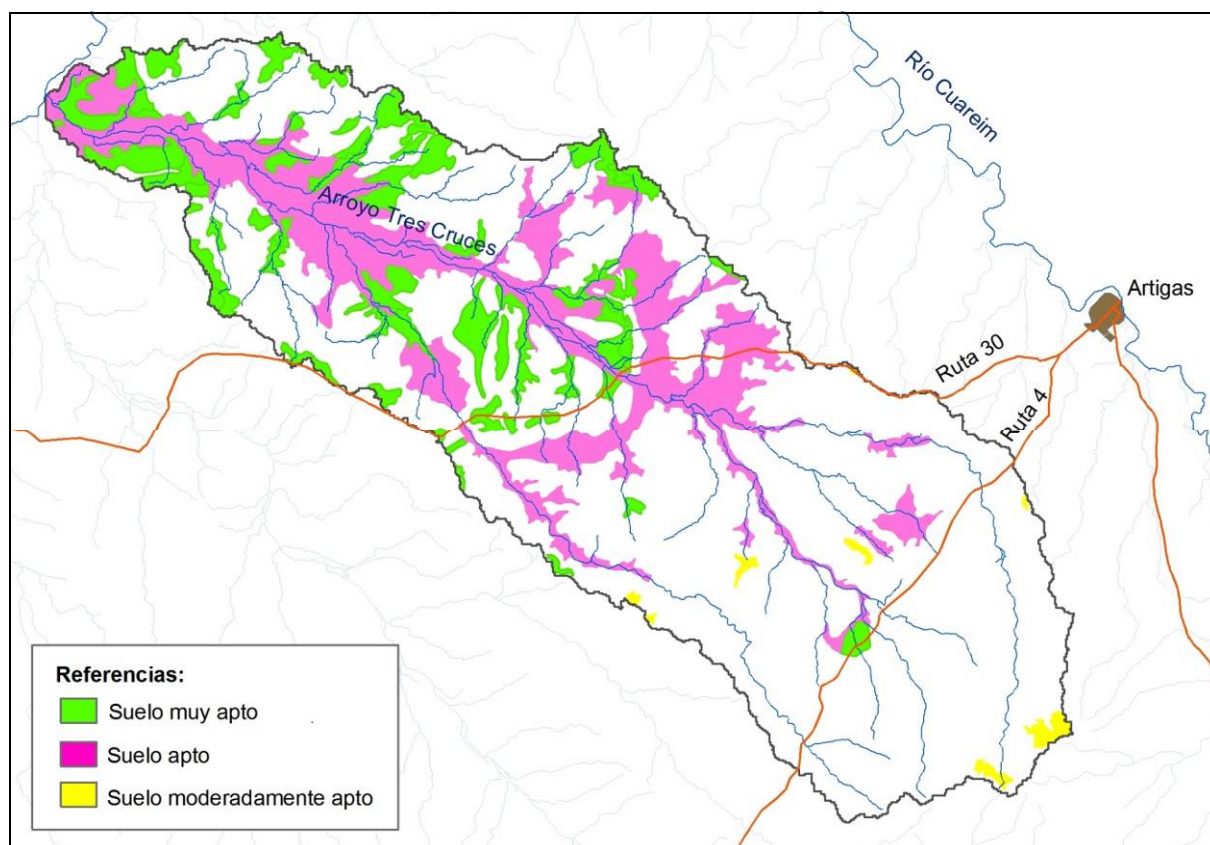


Figura 3.- Embalses existentes en la cuenca. Fuente: DNH.

Del área apta para el sistema arroz-pasturas únicamente un 24% está siendo utilizado para este propósito. Este dato fue obtenido a partir de la digitalización de la imagen satelital en la zafra 2005/06 por la Dirección Nacional de Hidrografía (DNH).

INFORMACIÓN DE BASE

Se trabajó en función de la siguiente información de base: precipitación mensual en 2 pluviómetros de la DNM; curvas de ETP media anual en Uruguay y coeficientes de distribución del ciclo anual; mapa de suelos del Uruguay; ciclo anual de evaporación en tanque A en Artigas, parámetros del modelo Temez (1997) calibrados para la cuenca del Río Cuareim (Genta et al. 2005); Modelo Digital de Elevaciones de la NASA; registro de la DNH (2006) de represas existentes en la cuenca, chacras de arroz existentes y superficie apta para el sistema arroz-pasturas en la cuenca (Molfino et al. 2000).

METODOLOGÍA

Caracterización de la oferta de agua

Se discretizó la cuenca del arroyo Tres Cruces en 12 subcuencas (Figura 4), para cada una de las cuales se realizó un balance hídrico durante el período Nov. 1972 – Oct. 2002 a partir del modelo precipitación – escorrentía de Temez de paso mensual (Temez, 1977).



Figura 4.- Subcuencas consideradas en el análisis

Obtenidos los valores mensuales de escorrentía, se realizaron balances hídricos de paso mensual a un embalse ubicado en el punto de cierre de cada subcuenca para un rango creciente de capacidad de almacenaje con el fin de determinar la oferta de agua dado un nivel de seguridad.

Primero se determinó el volumen máximo que es alcanzado con un nivel de confiabilidad del 100% (volumen seguro). Este criterio fue adoptado con el objetivo de identificar un volumen de agua seguro (independiente de la variabilidad interanual de las precipitaciones) con el cual se pueda

garantizar con preferencia el riego de praderas, evitando así las crisis forrajeras sufridas actualmente con regularidad en el departamento de Artigas.

Se determinó el volumen del embalse de forma que el promedio disponible en noviembre alcance el 90% del volumen total del embalse (Figura 5).

Se define volumen no seguro a la diferencia entre el volumen promedio disponible en noviembre y el volumen seguro.

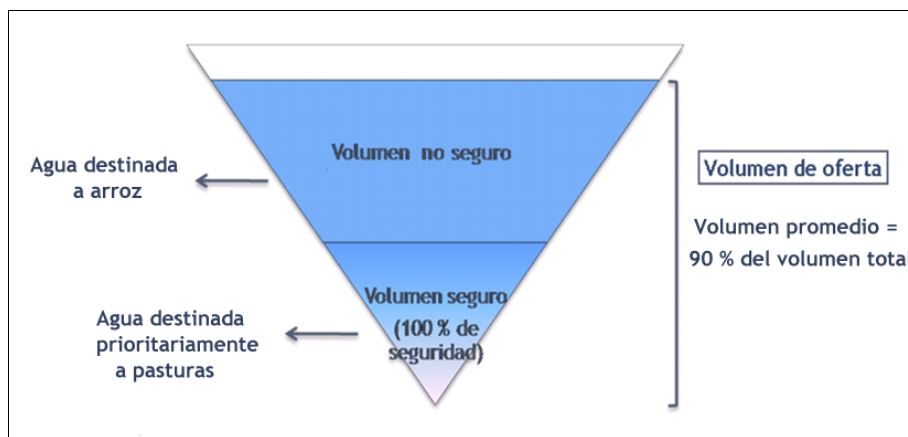


Figura 5.- Esquema del criterio de diseño del embalse

La distinción entre el volumen seguro y no seguro surge del énfasis en reducir la vulnerabilidad del sector ganadero en la región frente a las frecuentes crisis forrajeras. Para el cálculo que se presentó en esta sección se priorizó el riego de pradera frente al riego de arroz ya que si llegado el mes de noviembre el volumen embalsado es solamente el volumen seguro (sequía histórica), el agua se destinará en su totalidad al riego de pradera.

Caracterización de la demanda de agua

Para caracterizar la demanda de agua se define la zona regable de cada subcuenca como aquella zona ubicada a una cota accesible por gravedad desde el punto de cierre de la misma. A partir de esta definición, el volumen de demanda de cada subcuenca se considera como el necesario para regar toda el área potencialmente arrosable y las praderas en rotación con las chacras de arroz existentes, ubicadas dentro de la zona regable de la subcuenca (Ecuación 1).

$$V_{dem} = A_{pot\ arrozable} \times \left(\frac{1}{3} D_a + \frac{2}{3} D_{pr} \right) + A_{pr} \times D_{pr} \quad [1]$$

Siendo:

$A_{pot\ arrozable}$, el área potencialmente arrosable, es decir el área apta para el sistema arroz-pasturas dentro de la zona regable aún no incluida en la rotación;

D_a , la demanda de agua del arroz ($14.000 \text{ m}^3/\text{ha}$),

D_{pr} , la demanda de agua de la pradera ($3.000 \text{ m}^3/\text{ha}$)

A_{pr} , el área de pradera en rotación con el arroz ya existente dentro de la zona regable.

Definida la oferta y la demanda de agua, se determina la máxima área de arroz regable de cada subcuenca. La misma puede estar limitada por la demanda -en cuyo caso el área de arroz regable viene dada por un tercio del área potencialmente arrosable de la subcuenca-, o por la oferta de agua, en cuyo caso se prioriza el riego de las praderas existentes. En este último caso el área de arroz regable se calcula como:

$$A_{\text{arroz regable}} = \frac{(V_{\text{embalse}} - D_{\text{pr}} \times A_{\text{pr}})}{(2 D_{\text{pr}} + D_{\text{a}})} \quad [2]$$

A modo de ejemplo, en la Figura siguiente se presenta el área de arroz regable para las subcuencas ubicadas sobre el arroyo Tres Cruces Grande.

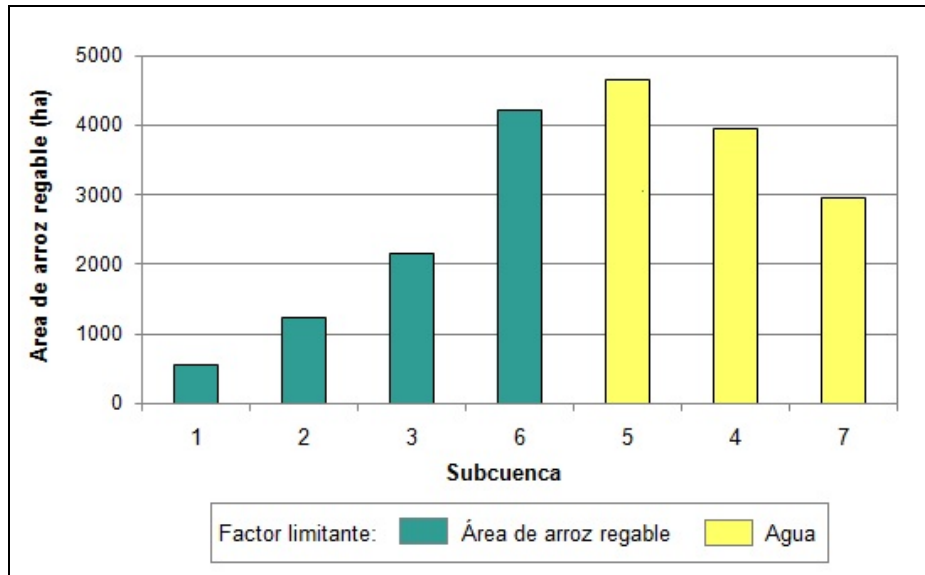


Figura 6.- Área de arroz regable y factor limitante en las 7 subcuencas del arroyo Tres Cruces Grande

En aquellas subcuencas en las que la oferta de agua no es suficiente para cubrir la demanda, se optó por analizar la demanda de agua restringiendo su zona regable a la margen del arroyo Tres Cruces Grande sobre la que se ubican (dichos embalses se encuentran fuera del curso principal, en el arroyo Tres Cruces Chico o el arroyo Pelado).

Alternativas de embalses

La elección de alternativas de embalses se realizó considerando los siguientes criterios:

- Que el lago del embalse preferentemente no inunde tierras aptas para el cultivo de arroz ni áreas considerables de monte nativo y que no afecte rutas nacionales.
- Que sean embalses de cierta envergadura capaz de atender por gravedad un área significativa de arroz, mayor a 1.000 ha, que justifique el enfoque regional. Queda así determinada una cota superior y una cota inferior para la localización del punto de cierre, de forma de acceder a una área de arroz regable mínima de 1.000 ha y de tener una oferta suficiente de agua.
- Aptitud del cierre (convergencia de las curvas de nivel) para elegir una sección eficiente para ubicar el cuerpo de la presa.

Considerando estos criterios se procedió a descartar algunas de las alternativas utilizadas para caracterizar la oferta y demanda. Además, para tener mayor precisión en la elección de la mejor alternativa se plantearon alternativas adicionales siguiendo los criterios establecidos. En la Figura 7 se presentan todas las alternativas consideradas en el análisis.

En función de la ubicación de las alternativas analizadas y del volumen de oferta de agua, se optó por restringir la zona regable a una o ambas márgenes del arroyo Tres Cruces Grande. En la siguiente Tabla se presenta las opciones de riego consideradas para cada alternativa.

Tabla 1.- Opciones de riego consideradas para cada alternativa

Subcuenca	Margen de riego	
4	Izquierda	Ambas
5	Izquierda	Ambas
6	Izquierda	Ambas
8	Derecha	
9	Derecha	Ambas
10	Derecha	
12	Izquierda	
13	Derecha	Ambas
15	Izquierda	
16	Izquierda	
17	Derecha	Ambas

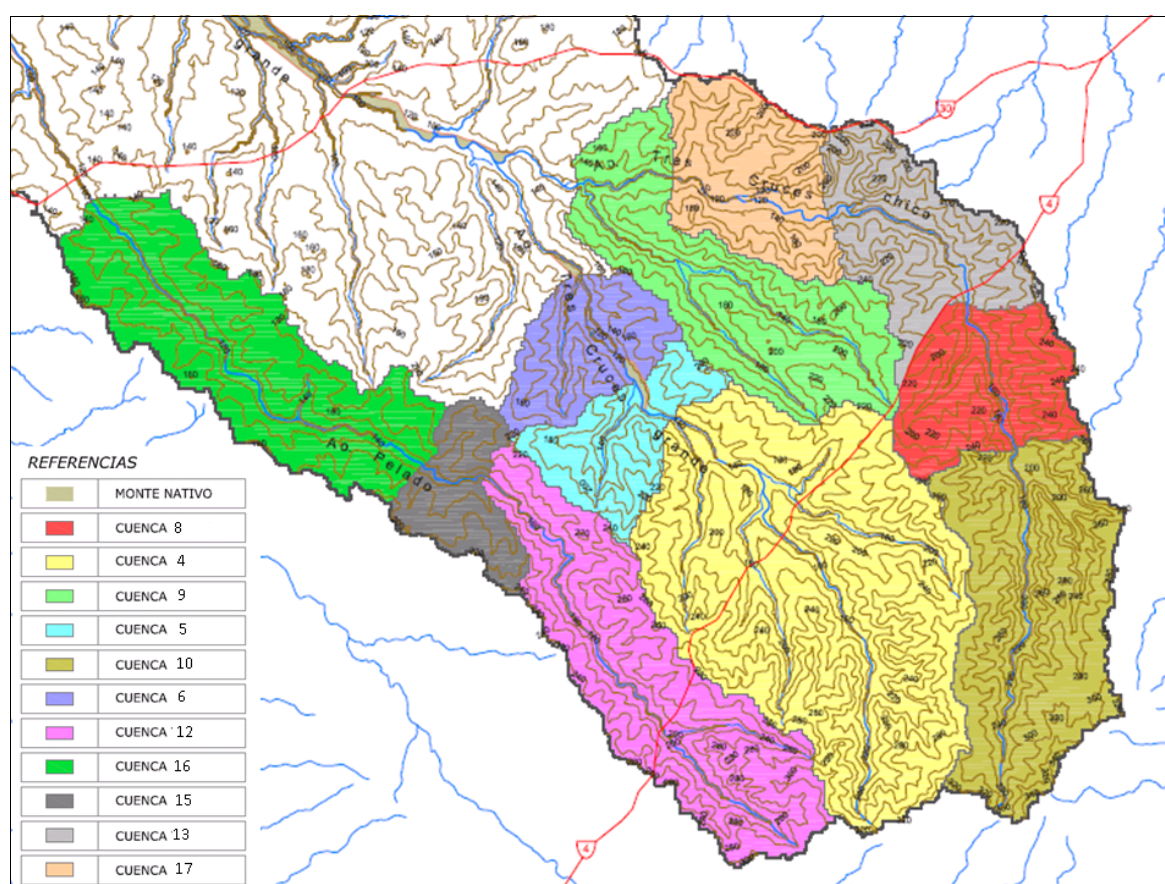


Figura 7.- Alternativas de embalse analizadas

Para comparar las diferentes alternativas, se calcula para cada una de ellas un costo por hectárea equivalente, siendo éste la relación entre el costo de inversión y el área equivalente de arroz a regar por la misma.

El costo de inversión de cada alternativa se calcula como la suma de los costos de construcción de la presa, de los canales de riego y de la tierra que inunda el embalse, obtenidos en base a prediseños de las presas y sistemas de conducción.

El área equivalente de arroz de cada subcuenca se define como el área de arroz regable (ya determinada anteriormente) modificada por un factor de equivalencia que incorpora la ganancia incremental del sistema arroz-pasturas debido a la incorporación del riego de praderas. El mismo se determina como la relación entre la utilidad del sistema arroz-pasturas bajo riego respecto del actual con pasturas en secano en base a una estimación de costos y ganancias diferenciales. En el sistema de rotación propuesto se obtuvo un factor de equivalencia de 1,2. Es decir que el riego de pasturas aumenta las ganancias del sistema arroz-pasturas en un 20%.

Calculados los costos por hectárea equivalente de las alternativas analizadas, se comparan en primer lugar, y en forma independiente, aquellas que riegan una sola margen del arroyo Tres Cruces Grande y se selecciona, para cada margen, la alternativa más eficiente. Se compara luego el costo por hectárea equivalente de las alternativas que riegan ambos márgenes del arroyo Tres Cruces Grande, incluyendo la compuesta por los dos embalses que resultaron del análisis en cada margen. Se selecciona como mejor alternativa de embalse para un sistema regional de riego por gravedad a la alternativa de menor costo por hectárea equivalente y mayor área de arroz regable posible.

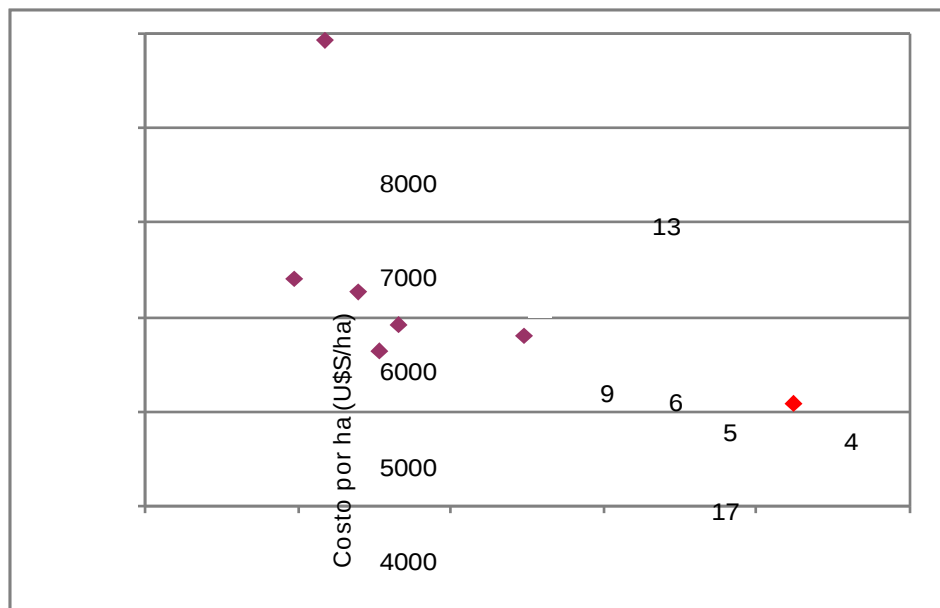
RESULTADOS

Del análisis independiente de la margen izquierda del arroyo Tres Cruces Grande, se obtiene que la subcuenca 15 es la alternativa que tiene la mayor área de arroz regable y el menor costo por hectárea equivalente, siendo estos valores de 2.389 ha y U\$S 4.709/ha equivalente respectivamente. Por lo tanto, de todas las alternativas de embalse consideradas para regar la margen izquierda del arroyo Tres Cruces, se selecciona la 15.

Del análisis independiente de la margen derecha del arroyo Tres Cruces Grande, se obtiene que la subcuenca 8 es la alternativa que tiene la mayor área de arroz regable y el menor costo por hectárea, siendo estos valores de 2.855 ha y U\$S 3.575/ha equivalente respectivamente. Por lo tanto, de todas las alternativas de embalse consideradas para regar la margen derecha del arroyo Tres Cruces, se selecciona la 8.

En la Figura 8 se presenta el costo por hectárea equivalente de las alternativas que riegan ambos márgenes del arroyo Tres Cruces Grande incluyendo la alternativa compuesta por las alternativas 15 y 8. Se desprende claramente que la alternativa más conveniente (de menor costo por hectárea equivalente, y mayor área de arroz regable) corresponde a la alternativa compuesta (8+15).

Con esta solución se alcanza un área de arroz regable de 5.244 ha con un costo por hectárea equivalente de 4.091 dólares. Cabe destacar que esta solución tiene la ventaja de que no es necesario atravesar con los canales de riego ningún curso importante. Otra ventaja que presenta esta solución combinada es que la construcción de las mismas puede realizarse en dos etapas, distribuyendo el costo de inversión inicial en dichas etapas.



8+15

Figura 8.- Costo por hectárea equivalente de las alternativas de embalse analizadas

Una vez elegida la mejor alternativa de embalse, las presas fueron prediseñadas y los canales de riego fueron trazados y dimensionados. En los canales de riego se definieron los puntos en los cuales se considera una descarga puntual de caudal. Para ello se determinaron “franjas de riego” en función de la distribución espacial del área a regar y se localizaron las descargas puntuales de caudal. En las Figuras 9 y 10 se muestran las franjas de riego determinadas para los canales de las alternativas finales 8 y 15 así como los puntos en los cuales se descarga el caudal necesario para el riego de cada franja.

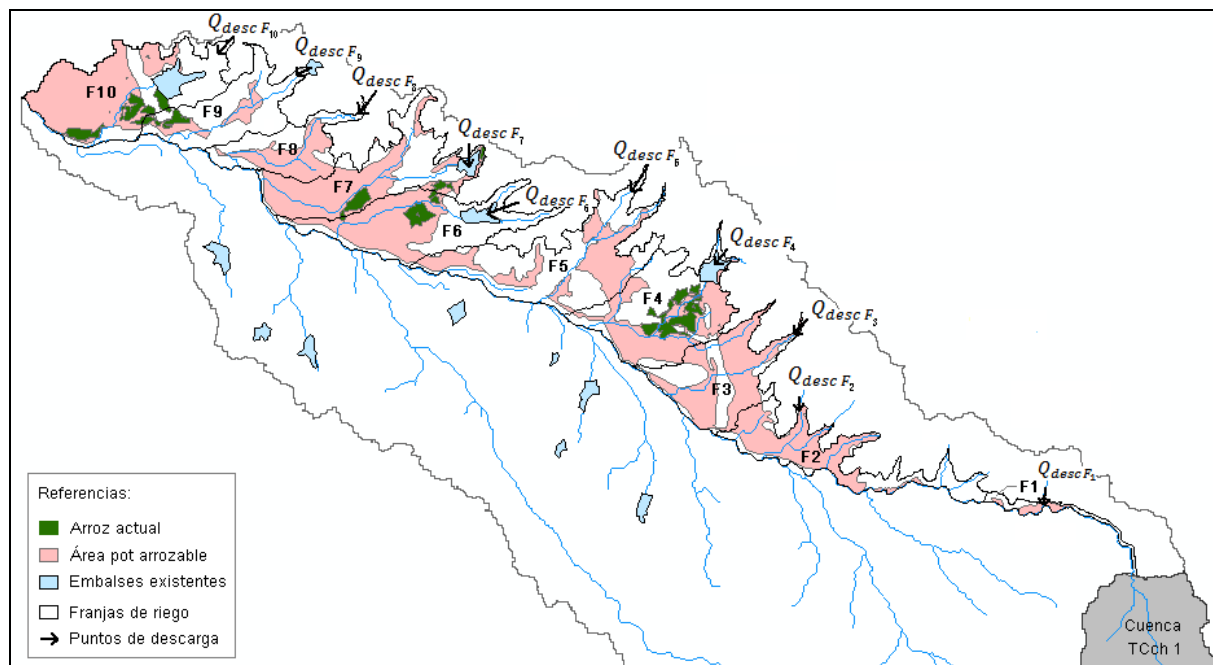


Figura 9.- Franjas de riego definidas para el canal de la alternativa 8

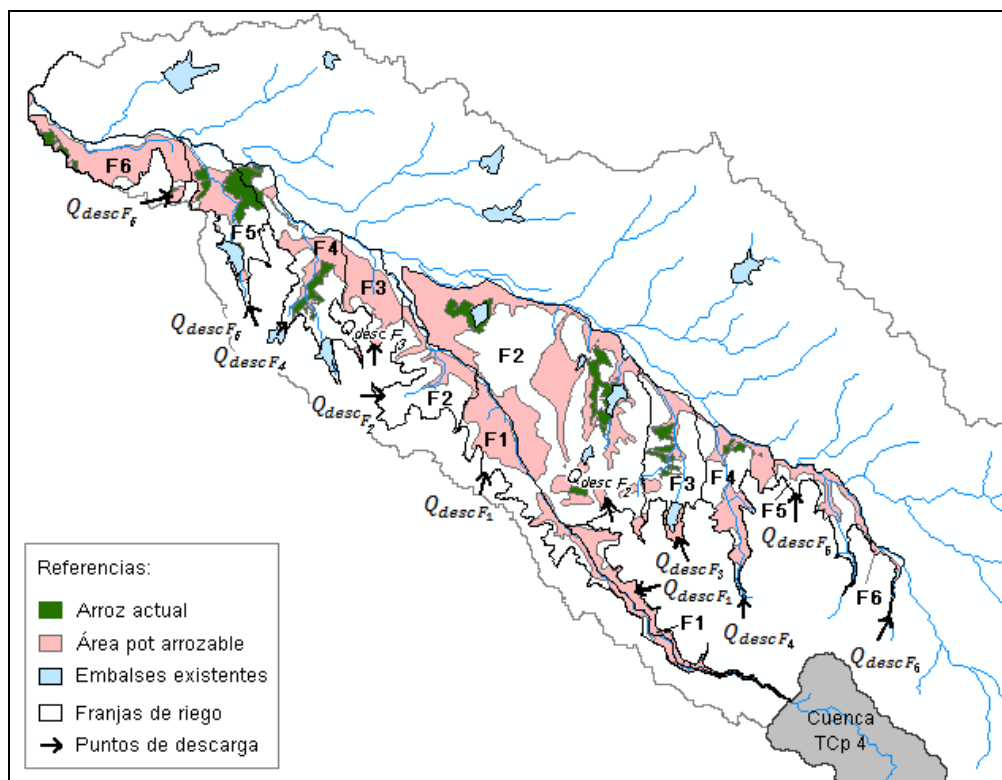


Figura 10.- Franjas de riego definidas para el canal de la alternativa 15

De esta forma, se prevé que los embalses proyectados abastezcan a los embalses existentes incorporándolos a la red de riego global. Una gestión integrada de todos los recursos hídricos en la cuenca resulta, por lo tanto, inevitable.

CONCLUSIONES

Se presentó una metodología para el análisis conjunto de la oferta y demanda de agua a nivel de cuenca para el riego de un sistema de arroz-pasturas y se evaluó, en base al costo por hectárea equivalente, las alternativas de embalse analizadas.

La alternativa más eficiente resulta de dos embalses en afluentes del curso principal en la parte alta de la cuenca, sobre suelos superficiales y con una muy buena relación costo por hectárea equivalente. Vale señalar que el sistema de conducción desde dichos embalses (que no se muestra en este resumen) pasa aguas arriba de la totalidad de los embalses individuales existentes posibilitando una gestión en red.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Crisci M.; Fernandez M.; Trambauer P. (2007). "Viabilidad económico-ambiental de um sistema regional de riego por gravedad en la cuenca del Río Cuareim para la producción de arroz-pasturas". Proyecto Hidráulico-ambiental. IMFIA, FING, UdelaR.
- DNH (2006). "Aprovechamiento de los recursos hídricos superficiales". Inventario Nacional.
- Genta J.L. et al. (2005). "Balances Hídricos superficiales en la cuenca del Río Cuareim con fines de gestión del recurso agua y el impacto en las crecientes".
- Molfino J.H. & Califra A. (2001). "Agua Disponible de las Tierras del Uruguay".
- Molfino J.H; Morelli C; Califra A; Clerici C; Petraglia C. (2000). Zonificación de Tierras de la cuenca del Río Cuareim - Evaluación de dos sistemas de producción bajo riego-Aportes a su regulación hídrica.
- Temez J.R. (1997). "Modelo matemático de transferencia precipitación aportación".