

# **ANÁLISIS MULTICRITERIO Y SELECCIÓN INTERACTIVA DEL USO AGRARIO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS, ADELIA MARÍA, CÓRDOBA, ARGENTINA**

*Jorge D. de Prada, PhD*  
*Américo J. Degioanni, PhD*  
*José M. Cisneros, PhD*  
*Horacio A. Gil, MA*  
*Omar J. Plevich, MSc*  
*Yanina Chilano, MSc*  
*Cecilia I. Pereyra, MSc*  
*Alberto Cantero, MSc*

Facultad de Agronomía y Veterinaria,  
Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina

---

## **Abstract**

We present a method for ranking agricultural alternatives of using treated wastewater, and interacting with decision makers of the cooperative Adelia Maria, Cordoba, Argentina for choosing the best alternative. Five alternatives (Eucalyptus, Poplar, Alfalfa, Wheat-Corn and Pinus with alfalfa) for using future 251.000m<sup>3</sup> year<sup>-1</sup> of treated wastewater are valued. CROPWAT is used to estimate evapotranspiration. The PROMETHEE model was used with five criteria: land acquisition; annuity of net present value; management effort, market uncertainty and environmental impact. In order to taking into account the preferences (weights assigned to each criterion on a scale 0-10) of decision-makers, a workshop was performed with systematized technical information. The results show conflicts between alternatives. Eucalyptus is the best alternative and alfalfa is the worst (33ha versus 75 ha) for the land acquisition criterion. Moreover, Alfalfa is the best and Poplar is the worst alternative (versus \$ \$ 11mil versus -193mil) for the economic criterion. For the criteria: management effort and environmental impacts, Eucalyptus and Poplar are better while Wheat - corn is the worst alternative. For market uncertainty, wheat-corn are the best alternative while Eucalyptus the worst. In the interaction with the decision makers, they take

into account the five criteria. They give highest weight to land acquisition criterion ( $\mu=8.75$  and  $\sigma=1.83$ ) and the lowest weight to environmental impact ( $\mu=5.75$  and  $\sigma=1.98$ ). The selected alternative is Eucalyptus. Only two of eight decisionmakers show some conflict, competing Eucalyptus with Poplar, or Alfalfa in the ranking.

---

**Keywords:** Multi-criteria analysis, wastewater reuse, surveyed preferences, economy, environment, participation

---

### **Resumen:**

Se presenta un método para evaluar alternativas agrarias de uso de efluentes cloacales tratados, interactuando con los decisores, Adelia María, Córdoba, Argentina. A partir de la disponibilidad futura (año 2020) de  $251.000\text{m}^3 \text{ año}^{-1}$  de efluentes tratados, se evalúan cinco alternativas de uso: *Eucalipto*, *Álamo*, *Alfalfa*, *Trigo-maíz* y *Pinos más alfalfa*. Para estimar el consumo vegetal de efluentes se usa el modelo CROPWAT. Para ordenar las Alternativas se usó el modelo PROMETHEE con cinco criterios: *adquisición de tierras*; *equivalente anual del valor actual neto*, *EAVAN*, con un costo de oportunidad del 6% y precios constantes diciembre de 2012); *Esfuerzo de gestión*; *Incertidumbre de mercado* e *Impacto ambiental*. La interacción con los decisores para relevar las preferencias (pesos asignado a cada criterio en una escala 0-10) se realizó mediante un taller, con la información técnica sistematizada. Los resultados muestran conflictos entre las alternativas. En la *Adquisición de tierras*, *Eucaliptos* es la mejor alternativa y la peor es la *Alfalfa* (33ha versus 75 ha). Por otra parte, *Alfalfa* tiene el mejor comportamiento económico versus *Álamo* que es la peor alternativa (\$11mil versus \$-193mil). En los criterios: *Esfuerzo de gestión e Impacto ambiental*, la mejor es *Eucalipto* y *Álamo* y la peor es *trigo - maíz*. En cuanto a *Incertidumbre de mercado* la mejor alternativa es *Trigo-maíz* y la peor *Eucalipto*. Los decisores consideran importante los cinco criterios, asignando mayor preferencias al criterio *Adquisición de tierras* ( $\mu=8,75$  y  $\sigma=1.83$ ) y menor preferencia a *impacto ambiental* ( $\mu=5,75$  y  $\sigma=1,98$ ). La alternativa seleccionada en primer lugar es *Eucaliptos*. Solo dos (de 8) decisores muestran algún conflicto, donde compite *Eucaliptos* con *Álamo*, o *Alfalfa*.

---

**Keywords:** Análisis multicriterio, uso efluentes\_tratados, preferencias relevadas, economía, ambiente, participación

---

### **Introducción**

La contaminación del agua ha sido y es uno de los problemas más importante de la sociedad por sus efectos sobre la salud humana y el ambiente. Según Ongley (1997) cinco millones de personas mueren por año

debido a enfermedades transmisibles por agua contaminadas además de los daños sobre el propio recurso hídrico, eutrofización, pérdida de biodiversidad, entre otros problemas mencionados. Las aguas residuales urbanas constituyen una de las principales causa de contaminación y afectación de la salud pública.

En Argentina, la contaminación del recurso hídrico por aguas residuales urbanas es un problema de larga data. El mismo fue incluido en la legislación a finales del siglo XIX, Ley 2797 sancionada en 1891 (Canevari et al., 1998). Particularmente, en Córdoba, el Código de Agua fue sancionado por Ley 5589 en 1973 (actualizado en 1996, 2000 y 2001). En su artículo 183 considera: “aguas contaminadas las que por cualquier causa son peligrosas para la salud, ineptas para el uso que se les dé, perniciosas para el medio ambiente o la vida que se desarrolla en el agua o álveos o que por su olor, sabor, temperatura o color causen molestias o daños.”

Las cloacas para la recolección de las aguas residuales urbanas con los sistemas de tratamientos, que reducen su carga orgánica, han sido las formas convencionales de purificar el agua. El agua residual tratada puede ser descargada en el ambiente si cumple con ciertos estándares de calidad. Por ejemplo, en la provincia de Córdoba el Decreto 415/99 establece que el agua residual tratada no puede contener más de:  $30\text{mg l}^{-1}$  de DBO<sub>5</sub>,  $0,5\text{mg l}^{-1}$  de fosforo total,  $0,10\text{ mg l}^{-1}$  de nitrógeno total para la descarga en curso de agua superficial.

Más recientemente, han aparecido tecnologías que reutilizan el agua tratada para generar productos útiles para la sociedad (e.g. Chu et al., 2004, Bixio et al., 2006). En Argentina, existe un creciente número de proyectos desarrollados y en desarrollo, en especial en las ciudades de Mendoza, San Rafael y en localidades de La Pampa, que utilizan aguas residuales urbanas tratadas para la producción forestal, agrícola, y hortícola (Fasciolo et al., 2002, Gil et al., 2005). Existe una rama importante de la ciencia que estudian cómo mejorar la reutilización de las aguas tratadas, los potenciales de producción, calidad de productos, efectos fertilizantes, (Crespi et al., 2012, Crespi et al., 2007, Chu et al., 2004, Bixio et al., 2006) considerando la condiciones sanitarias, productivas y ambientales. En tanto, otros autores han estudiado las características del servicio ambiental que brinda la reutilización del agua tratada, que además de producir un producto comercial (p.e. madera), reducen el nivel de contaminación del agua descargada al ambiente. De hecho, la reutilización del agua tratada y su utilización en el sistema suelo-biota-cultivo es equivalente a un tratamiento terciario que permite la depuración del agua (e.g. Gil et al., 2005, Ko et al., 2004).

Sin embargo, son escasos los autores que han investigado directamente la naturaleza de los emprendimientos de uso de agua cloacales y la toma de decisiones. Las decisiones de usar el agua tratada constituyen

inversiones donde compiten varias alternativas (p.e. agricultura, forestación) y los tomadores de decisión buscan satisfacer diferentes fines (p.e. sostenibilidad económica, menor impacto ambiental, reducir la complejidad del negocio) que son prácticamente imposible de evaluar con un solo criterio. Por ejemplo, la Cooperativa Telefónica de Adelia María (CTAM) gestiona el sistema de cloaca y ha sido pionera en la provincia de Córdoba en adoptar un sistema de uso de aguas tratadas para la producción forestal (Gil et al., 2005).

La reutilización del agua por CTAM constituye un ejemplo de responsabilidad pública y ambiental. De hecho, la CTAM va más allá de lo exigido por Ley en la provincia de Córdoba. Sin embargo, la ampliación del sistema de uso de efluente para atender a la población futura demanda de recursos económicos adicionales que ponen en duda la posibilidad de realización. De hecho, Gil *et al.*, (2005) ponen de manifiesto que la reutilización de agua tratada promovida como un negocio forestal es muy limitada y altamente dependiente del valor de la tierra, y que el principal valor es el servicio público de la depuración del agua, escasamente considerado en la comunidad. Por ello, los tomadores de decisiones necesitan más sistematizado el conocimiento para poder explicitar sus preferencias y adoptar decisiones sobre las posibilidades de reutilización del agua tratada considerando las diferentes implicancias económicas, ambientales y administrativas de este tipo de decisiones.

Los métodos multicriterios discretos (e.g. ELECTRE, PROMEHEE) permiten ordenar y comparar alternativas competitivas y diferenciar roles entre profesionales y tomadores de decisiones. Por ejemplo, el método PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) I y II, ranking parciales y completos respectivamente introducido por Brans en 1982, y en 1986 por Brans y Marescha (2005) permite evaluar y ordenar de mejor a peor las alternativas técnicas por su propio mérito comparando en forma relativa con las otras. En este sentido, este trabajo pretende realizar una contribución mediante un estudio de caso, realizado con la CTAM, en el cual se diseña, cuantifica y valoran alternativas de uso de efluentes en interacción con los tomadores de decisiones, quienes establecieron las preferencias y las ponderaciones de los diferentes criterios.

El objetivo del presente trabajo es evaluar y seleccionar interactivamente alternativas agrarias de uso de efluentes tratados considerando las preferencias explicitadas por el Consejo de Administración de la CTAM, Córdoba, Argentina. Las contribuciones del trabajo son varias: en primer lugar, se muestra un procedimiento general que permite diferenciar el rol profesional y político institucional para la toma de decisiones, mostrando el grado de libertad que en la práctica tienen los decisores. El trabajo muestra también para este nivel de estudio como puede utilizarse

información cualitativa, o costosa de cuantificar por ejemplo, incertidumbre del mercado, o complejidad de la gestión. Ambos criterios constituyen elementos valiosos para los tomadores de decisiones. Además, el trabajo aporta información empírica sistematizada de aprovechamiento de efluentes tratados y rentabilidad económica para diferentes alternativas productivas (agrícolas, forestales y Agroforestales). Finalmente, el trabajo pone en contexto algunas dificultades o barreras que se pueden presentar para el uso de efluentes tratados sino se considera el servicio de depuración de agua, como así también la implicancia económica para el usuario de esta actividad en el caso estudiado.

## **I. Materiales y métodos**

### ***1.1. Área de estudio***

Este trabajo se llevó a cabo en el predio de la Planta de Saneamiento de Efluentes Cloacales de la CTAM (33°38'12'' S – 63°59'10'' O) que funciona desde el año 2001. El predio tiene 37 ha, con suelos Haplustoles típicos, y se realiza riego con efluentes tratados a 23,5 ha plantadas con Álamos, Sauces, Eucaliptos, Pinos y Cipreses. El sistema de cloacas colecta efluente crudo alrededor de 190.000 m<sup>3</sup> año<sup>-1</sup>, a través de 1.398 conexiones. Los efluentes son tratado en la Planta por un sistema de lagunas semifacultativas alcanzando los siguientes parámetros analíticos: entre 75 y 210 mg l<sup>-1</sup> de Demanda Biológica de Oxígeno; entre 1.800 y 1200 mg l<sup>-1</sup> de Solidos Totales; entre 8 y 52 mg l<sup>-1</sup> de nitratos y 6,3 mg l<sup>-1</sup> de fosfatos.

Un parámetro relacionado con la calidad del agua de riego es el elevado contenido de sodio en relación al contenido de calcio y magnesio. Esta relación adquiere valores altos (RAS = 13) que califican el agua de riego como de alto riesgo de sodificación del suelo, proceso que se ha constatado su existencia en un tercio de la superficie regada (valores de PSI > 15%). Este proceso a largo plazo colapsa la entrada de agua al suelo, complica el manejo del riego y afecta negativamente la capacidad de depuración de la misma. En consecuencia, dicho parámetro requiere ser tratado mediante la aplicación de enmiendas cálcicas aplicadas al suelo o al agua de riego.

El actual sistema de depuración posee una tasa de transferencia de agua a la atmosfera (evaporación y transpiración) equivalente al 30% del agua que ingresa al sistema vía efluentes y lluvia. El excedente, aproximadamente 400 mm año<sup>-1</sup> son transferidos a la napa freática razón por la cual esta se aproxima a la superficie del suelo en el orden de 30 cm año<sup>-1</sup>. De persistir esta tendencia se llegaría al colapso total del sistema en el mediano plazo ya que la napa freática anegaría permanentemente el perfil enraizable del suelo (Datos propios).

Para el cálculo del consumo de agua por parte de las alternativas de uso de efluentes tratados se utilizó el modelo CROPWAT (Smith, 1992) con datos climáticos locales. Para remediar el problema de sodificación de suelo, y mantener el sistema de reutilización de efluentes tratados, se utiliza un horizonte de planificación de largo plazo, año 2020, estimando un excedente de efluentes tratados del predio actual será de 251.000 m<sup>3</sup> año<sup>-1</sup> contabilizando las nuevas conexiones y la utilización optimizada del predio actual. Para la reutilización de estos efluentes la cooperativa deberá adquirir otro predio.

### ***1.2. Alternativas técnicas de uso de efluente tratado***

Se diseñaron y analizaron seis alternativas técnicas con diferente consumo anual de efluentes tratados: Eucaliptos (8.000m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), Pinos, Álamos (7.000m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), Alfalfa (3.500m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), Trigo maíz (4.000m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) y Pinos más alfalfa (6.000m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>). El efluente tratado es distribuido mediante riego por inundación de forma similar en todas las alternativas.

### ***1.3. Criterios de selección***

Los criterios utilizados para comparar las alternativas son cinco: El *Adquisición de tierras*, el *Impacto ambiental*, el beneficio neto económico, *Incertidumbre de mercado*, y los *Esfuerzos de gestión*.

La *Adquisición de tierras*, mide la cantidad de tierra necesaria de incorporar al sistema de depuración para reutilizar todo el efluente tratado en el 2020, de acuerdo al consumo de cada cultivo más un adicional de 5% para infraestructura del predio. El objetivo en este atributo es minimizar, menos tierras utilizadas para depuración mejor.

El *Impacto ambiental*, refleja cualitativamente la emisión de gases efectos invernadero y la dependencia energética de las alternativas mediante un índice, valorado en una escala de 1 a 5, asignado a la alternativa de menor a mayor impacto ambiental respectivamente. El objetivo del atributo es minimizar el impacto ambiental, menos impacto mejor.

El análisis beneficios costos se realiza mediante la estimación del *Equivalente Anual del Valor Actual Neto* (EAVAN), de acuerdo a la siguiente expresión:

$$EAVAN = VAN \frac{(1+r)^T r}{(1+r)^T - 1}$$

donde, VAN es el valor actual neto del flujo económico del proyecto, en pesos,  $T$  es el periodo de análisis, medido en años, y  $r$  es el costo de oportunidad del capital, medido en tanto por uno.

El VAN se estima siguiendo el enfoque privado (Penna et al., 2011), considerando los ingresos económicos derivados de los productos

comercializados por la alternativa técnica sin valorar la depuración de agua como servicio ecosistémico. Dentro de los gastos de inversión consideramos la adquisición de la tierra, la adquisición e instalación del equipo de riego y las plantaciones. Las plantaciones y gastos de raleo de Eucaliptos, Álamos, y Pinos se utilizó los datos del MAGYP (2010) llevados a diciembre del 2012 con IPIM (Serie de Precios AACREA) y los rendimientos fueron tomados para *Eucaliptos* de Prado y Barros, (1989) y *Álamos* Plá y Caro, (2006) . El sistema de riego se diseñó para el riego de 37 ha, con gastos de inversión y operación se transformó en unitario y fue utilizado para todas las alternativas. El valor de inversión por hectárea se utiliza posteriormente para las diferentes alternativas técnicas. En tanto, en los gastos de operación se consideran: gastos de riego, gastos de aplicación de sulfato de calcio al agua ( $40\text{ton año}^{-1}$ ) para mitigar el alto contenido de sodio, gastos de producción, mantenimiento y reparaciones. Los gastos de cosecha se consideran en el caso de la Alfalfa y Trigo-Maíz de segunda, mientras que en los cultivos forestales se consideran que se venden en pie, puestos en el predio. El periodo de análisis para la estimación del VAN fue de 17, 25, 12, 10, 10, y 25 años para Eucaliptos, Pinos, Álamos, Alfalfa, Trigo-maíz y Pinos más alfalfa respectivamente. El costo de oportunidad (tasa de descuento real) utilizada es del 6%. El objetivo del atributo es maximizar, más EAVAN mejor. Los parámetros técnicos para realizar las estimaciones se adjunta en el Anexo 1.

El criterio *Incertidumbre de mercado* reconoce que hoy no existe mercado desarrollado en la región del proyecto para algunas alternativas forestales, por ejemplo, eucaliptos. Es difícil inferir si en el período de cosecha esta realidad se habrá modificado. Por ello, el índice de incertidumbre captura esta dificultad del comercial utilizando una escala de 1 a 5 para indicar el grado de incertidumbre de menor a mayor. El objetivo del atributo es minimizar la incertidumbre de mercado, menos incertidumbre mejor.

Por último, el criterio *Esfuerzo de gestión* es un indicador relativo para representar la naturaleza y complejidad de la administración que hay que realizar para alcanzar las metas productivas propuestas. La escala del índice es de uno para representar el menor esfuerzo y cinco el mayor esfuerzo, y el objetivo es minimizar, menos mejor.

#### ***1.4. Procedimiento PROMETHEE***

Siguiendo a Brans y Marescha (2005) y Behzadian et al., (2010), se aplicó el siguiente procedimiento: Denotamos:  $a_i$  para las alternativas técnicas,  $i= 1,2,\dots,$  y 6; y  $g_j(a_i)$ , se utiliza para identificar el valor de los criterios en unidades de medida original,  $j =1,2,\dots$  y 5. Multiplicamos por (-

1) a aquellos  $g_j$  que son minimizados y tratamos todos los criterios, a más mejor (maximización).

**Paso 1. Calcular las diferencias por criterio  $j^{\text{ésimo}}$**

$$d_j(a_i, a_k) = g_j(a_i) - g_j(a_k),$$

donde  $d_j(a_i, a_k)$  representa la diferencia entre la alternativa  $a_i$  y  $a_k$  en el atributo  $j$  para el valor de la alternativa  $i$  distinto de  $k$ .

**Paso 2. Aplicar la función de preferencias**

$$P_j(a_i, a_k) = F[d_j(a_i, a_k)], \quad 0 \leq P_j(a_i, a_k) \leq 1$$

donde  $P_j$  es la función de preferencias en el criterio  $j^{\text{ésimo}}$  de la alternativa  $a_i$  con respecto a la  $a_k$ , transformando la diferencia  $d_j$  en una escala entre 0-1.

**Paso 3. Calcular el índice multicriterio**

$$\pi(a_i, a_k) = \sum_j w_j P_j(a_i, a_k), \quad w_j = \frac{w_j}{W} = 1$$

donde  $\pi(a_i, a_k)$  es el índice multicriterio que mide cuanto  $a_i$  es preferida a  $a_k$  considerando todos los criterios,  $w_j$  es el peso o ponderador para las preferencias  $P_j(a_i, a_k)$  para el criterio  $j^{\text{ésimo}}$ , con los valores normalizados de  $w_j$  (mayor  $w_j$  más peso toma el criterio en el índice multicriterio).

**Paso 4. Calcular las fortalezas y debilidades**

$$\phi+(a_i) = \frac{1}{n-1} \sum_{a_i \neq a_k} \pi(a_i, a_k), \quad \phi-(a_i) = \frac{1}{n-1} \sum_{a_k \neq a_i} \pi(a_k, a_i)$$

donde,  $\phi+(a_i)$ : representa la fortaleza, mide cuanto la alternativa  $a_i$  es preferida comparada contra las otras de pares en todos los criterios, más grande es el valor mejor, en contraste,  $\phi-(a_i)$  representa la debilidad, mide cuanto las otras alternativas son preferidas comparadas con la alternativa  $a_i$ , más chico es el valor de  $\phi-(a_i)$  mejor es la alternativa.



## Paso 5. Calcular el flujo neto

$$\phi(a_i) = \phi+(a_i) - \phi-(a_i)$$

$\phi(a_i)$  el flujo neto, es la diferencia entre fortalezas y debilidades de cada alternativa. Puede tomar valores positivos o negativos, más grande es el valor de  $\phi(a_i)$ , mejor será la alternativa.

## Interpretación de los resultados

Tres posibilidades existen para  $a_i$  comparada con las otras alternativas,  $a_k$ : En general,  $a_i$  es preferida a  $a_k$  si:

$$\phi+(a_i) > \phi+(a_k) \text{ y } \phi-(a_i) \leq \phi-(a_k), \text{ o } \phi+(a_i) \geq \phi+(a_k) \text{ y } \phi-(a_i) < \phi-(a_k).$$

En tanto,  $a_i$  es *indiferente* a  $a_k$  si:

$$\phi+(a_i) = \phi+(a_k) \text{ y } \phi-(a_i) = \phi-(a_k).$$

En tanto,  $a_i$  es *incomparable* con  $a_k$  si:

$$\phi+(a_i) > \phi+(a_k) \text{ y } \phi-(a_i) > \phi-(a_k). \text{ o } \phi+(a_i) < \phi+(a_k) \text{ y } \phi-(a_i) < \phi-(a_k).$$

Finalmente, el ranking total puede ser construido ordenando de mayor a menor las  $\phi(a_i)$ , reflejando el orden de las alternativas preferidas (sin son comparables).

## Función de preferencia

La función de preferencia para cada criterio asigna un valor a la diferencia entre  $a_i$  y  $a_k$ , para el criterio,  $j^{\text{ésimo}}$ . El método originalmente propone seis funciones de preferencia (ver más detalles en Behzadian et al., 2010, Bransy Mareschal, 2005) pero en este trabajo comentamos solo las dos utilizadas: Usual y lineal.

**Tipo I. usual** Utilizamos para criterio cualitativo:

Si  $a_i$  es mayor que  $b$ , para el criterio  $j^{\text{ésimo}}$  se le asigna 1; de otro modo 0.

**Tipo V. Función lineal**, para los criterios cuantitativos.

$$d_j(a_i, a_k) \leq q_j; \quad P_j = 0$$

$$q_j \leq d_j(a_i, a_k) < p_j; \quad P_j = \frac{d_j(a_i, a_k) - q_j}{p_j - q_j};$$

$$d_j(a_i, a_k) > p_j; \quad P_j = 1$$

donde  $q_j$  y  $p_j$  representan los umbrales de indiferencias y fuerte preferencia para las  $d_j(a_i, a_k)$ . En este trabajo utilizamos 10% y 90% del rango de cantidad de tierra EAVAN  $q_j$  y  $p_j$  respectivamente, y en los criterios cualitativos 0 y 1 respectivamente. Posteriormente, se realiza el análisis de sensibilidad de estos parámetros.

### ***1.5. Interacción con los tomadores de decisión***

Con el modelo elaborado se desarrolló un taller para interactuar con el Consejo de Administración y la Gerencia de la CTAM. Se presentó el trabajo, las alternativas y los criterios y se mostró la naturaleza de los conflictos, contrastando los resultados con tres políticas extremas sobre las visiones económica, ecológica y administrativa. Posteriormente, los miembros trabajaron identificando las alternativas y el orden para cada criterio. Finalmente, explicitan el peso asignado a cada atributo,  $w_j$ , y se comprueba el resultado.

## **II. Resultados y discusión**

Los resultados muestran contrastes importantes entre las alternativas de acuerdo al criterio utilizado. En primer lugar, mostramos el orden establecido cuando se consideran los criterios individualmente. Posteriormente, mostramos la matriz de pago y los conflictos. Finalmente se muestra la ponderación asignada por los tomadores de decisiones y el ranking obtenido de las alternativas.

### ***II.1. Valoración y orden de alternativa por criterio***

En la dimensión ecológica, la forestación resulta en las mejores alternativas (ver Tabla 1). Las alternativas que menos tierras usan para depurar el agua y menos impactan son la implantación de Eucaliptos, Pinos y Álamos. La cantidad de tierra utilizada varía entre 33ha Eucaliptos y 75ha alfalfa, mostrando una diferencia importante en la cantidad de recursos necesarios para aprovechar todo el efluente tratado. La producción forestal requiere menos tierra que las producciones agrícolas. El *impacto ambiental* también muestra la forestación como la alternativa de menor impacto dado que emite menos gases efecto invernadero y además captura carbono en la biomasa. En contraste, las alternativas con mayor emisión de gases y dependencia de energía son las alternativas *Maíz-trigo* y *Alfalfa*. La alternativa: *Pinos más alfalfa* tiene un comportamiento intermedio en ambas dimensiones.

**Tabla 1. Adquisición de tierras - PAM por tipo de uso y consumo de efluente**

Alternativas	Impacto ambiental Índice	Adquisición de tierra(*) Ha
Eucaliptos	1 (1er)	33 (1er)
Pinos, álamos	1(1er)	38 (2da)
Alfalfa	4 (3er)	75 (5ta)
Trigo maíz	5 (4to)	66 (4ta)
Pinos más alfalfa	3 (2do)	44 (3er)

Nota: (\*) Estimado a partir de un caudal anual de efluentes consumidos en los cultivos equivalente a 251 mil m<sup>3</sup> año<sup>-1</sup> más un 5% para caminos, cortinas, galpón y otras infraestructura.

Para considerar la dimensión económica y comercial se consideran dos indicadores: EAVAN y *Incertidumbre de mercado*. Para mayores detalles del flujo económico de las seis alternativas ver Anexo 2. Prácticamente no existen alternativas que puedan sostenerse económicamente sin aportes externos (ver columna de EAVAN Tabla 2). De hecho, solamente la implantación de *alfalfa* es viable económicamente, EAVAN<sub>6%</sub> de \$11mil, seguida por la alternativa *Trigo-maíz*. En contraste, las alternativas forestales son las que mayores dificultades económicas tienen para sortear este criterio. Por ejemplo, la forestación con *Pinos* y *Álamos* tiene un EAVAN negativo \$217mil y \$193mil respectivamente.

**Tabla 2. Indicadores económicos, incertidumbre y esfuerzo de gestión por alternativa**

Alternativas	EAVAN <sub>6%</sub> \$ año <sup>-1</sup>	Incertidumbre de Mercado (Escala 1 a 5)	Esfuerzo de gestión Índice
Eucaliptos	-76.073	5	1
Pinos	-217.433	3	1
Álamo	-193.130	3	1
Alfalfa	11.413	1	3
Trigo maíz	-29.333	1	5
Pinos más alfalfa	-125.677	2	5

El *Esfuerzo de gestión* es menor en las alternativas forestales (ver detalle Tabla 2). La alternativa de *Eucaliptos*, *Pinos* y *Álamos* requieren de un *Esfuerzo de gestión* mínimo aunque considerable en el primer año de plantación. En tanto, las alternativas Trigo – Maíz y Pinos más alfalfa requieren un esfuerzo importante de gestión para desarrollar los itinerarios técnicos (labranzas presiembra, siembra, labores culturales y cosecha) bastante ajustados todos los años, gestión comercial, gestión de contratos de labores, siembra y cosecha. El Pinos más alfalfa al combinar dos cultivos – arbóreo y herbáceo también hace complejo el sistema tratamiento de malezas, plagas, operaciones con maquinarias, protección de las especies arbóreas y o herbácea. En tanto, la realización de alfalfa aparece a un nivel intermedio.

El análisis de sensibilidad del EAVAN se realizó a algunas variables asumidas como parámetros en este trabajo, se reportan, al costo de oportunidad y el encalado. Por ejemplo, el costo de oportunidad o el encalado que es una práctica necesaria. En la práctica, si el costo de oportunidad del capital es del 12% no existe ninguna alternativa viable. De todos modos, la magnitud entre alternativas se mantiene como puede apreciarse en la Tabla 1 Tabla 3. En tanto, si la calidad de agua permitiese riego sin encalado las alternativas mejoran su performance económica significativamente. De hecho, la agricultura se hace viable y Eucaliptos.

**Tabla 3. Análisis de sensibilidad del EAVAN: Costo de oportunidad de capital y encalado**

Alternativas	EAVAN6% \$ año-1	EAVAN12% \$ año-1	Sin encalado EAVAN6% \$ año-1
Eucaliptos	-76.073	-235.371	-6.579
Pinos	-217.433	-346.349	-147.940
Álamo	-193.130	-318.544	-123.636
Alfalfa	11.413	-189.126	80.906
Trigo maíz	-29.333	-217.641	40.160
Pinos más alfalfa	-125.677	-263.951	-56.183

Es importante notar que de las alternativas diseñadas Pinos y Álamo tiene un comportamiento similar en todos los criterios. Solamente, Álamos supera a Pinos en términos económicos y en valores absolutos. A los fines prácticos Pinos aparece como una alternativa dominada, por ello se eliminó para el ejercicio multicriterio.

### 1.1. Matriz de decisión y conflictos

La adquisición del campo y establecimiento de un sistema de cultivo con riego para depurar los efluentes tratados muestra conflictos para decidir por la mejor alternativa cuando se consideran diferentes criterios de decisión. Si solo nos basamos en criterio económico, la alternativa seleccionada es comprar 75ha de campo para realizar alfalfa de corte. Sin embargo, esta alternativa tiene muy pobre performance ecológica y de gestión. De hecho, es superada por Eucaliptos que tiene menor emisión de gases efecto invernadero, demanda menos cantidad de energía fósil y requiere adquirir menor cantidad de campo para cumplir la función. Debido a este conflicto, se propone a los tomadores de decisiones establecer sus preferencias ponderando cada criterio y así poder seleccionar la mejor alternativa. De hecho, si algún criterio (económico, ecológico, gestión no es compartido se explicita como cero su preferencia.

**Tabla 4. Matriz de decisión adquisición de campos para diferentes alternativa de cultivo.**

Alternativas	Adquisición de tierra Ha	EAVAN <sub>6%</sub> \$ año <sup>-1</sup>	Esfuerzo de gestión	Incertidumbre mercado	Impacto ambiental
Eucaliptos	33	-76.073	1	5	1
Álamos	38	-193.130	1	3	1
Alfalfa	75	11.413	3	1	5
Trigo maíz	66	-29.333	5	1	5
Pinos más alfalfa	44	-125.677	4	3	3
Rango	42	204.543	4	4	4
Objetivo	Min	max	Min	Min	Min
Preferencia	Lineal	lineal	Común	Común	Común

Qj	4	20.454	0	0	0
Pj	38	184.089	1	1	1
p-q	34	163.634	1	1	1

Nota: Los índices: Esfuerzo de gestión, Incertidumbre de mercado, e impacto ambiental:  
Valor 1 peor y 5 mejor.

### 1.2. Ponderación de los criterios y evaluación de las alternativas

Considerando los matriz de decisiones y la metodología citada se relevó en una reunión de trabajo el peso asignado por los miembros de la Comisión Directiva de CTAM a cada criterio. Para ello se utilizó una escala de 0 a 10. El decisor asigna cero si considera que el criterio no debe ser considerando, 1 si es de baja importancia y 10 si es muy importante. Posteriormente, los pesos asignados se normalizan.

Es importante marcar elementos interesantes de la interacción con los tomadores de decisión. Los miembros del consejo de administración de la CTAM manifestaron cierto asombro por la naturaleza de la decisión y los conflictos que emergen. Aparentemente, esperaba tener una sola alternativa y no tener que dilucidar en términos prácticos que criterio ponderan más. En este sentido, permitirles tener más conciencia de su rol y la posibilidad de tener más completa la información fue bien valorado. Uno de los miembros manifestó, que la experiencia previa (13 años atrás cuando CTAM inicio el aprovechamiento de efluente fue muy diferente. De hecho reflexiona:

*“la forestación fue presentada como un gran negocio para aprovechar el efluente en todo sentido... Después nos dimos cuenta que hay que gastar y esperar demasiado tiempo para obtener el resultado. Ahora no podemos vender los rollizos de Eucaliptos, nos cobran para sacarlos o tenemos que invertir más para obtener algo. En aquel momento el Municipio y casi todos pensamos que tomamos un buen negocio para la Cooperativa. Y ahora modificar esa percepción no es fácil... pero hay que seguir porque estamos en el baile.”*

En el taller, prácticamente, todos los miembros reconocieron como importante los criterios utilizados. Un Consejero realizó el ejercicio en voz alta para ver si la comprensión era adecuada. Hacemos notar que los criterios habían sido elaborados considerando las conversaciones y encuentros previos y específicamente cuando discutían el aprovechamiento de la forestación tal como se encuentra actualmente.

El primer miembro del Consejo en explicitar los pesos asignados a cada criterio y darle igual ponderación a todos los criterios posiblemente fue para iniciar el ejercicio, romper el hielo. De todos modos, después que vio el resultado quedo conforme con la asignación de peso que había realizado. En general, todos los miembros han dado alto peso al tema de *adquisición de tierras* independiente del valor económico (capturado en el EAVAN debido

a que manifiestan pocas posibilidades para la Cooperativa de adquirir tierras en proximidades de la Planta. La incertidumbre del mercado fue otro criterio que algunos miembros consideran muy importante porque estas alternativas técnicas de aprovechar el agua tratada han sido promovidas como de alta rentabilidad y poca gente manifiesta la incertidumbre de colocar ciertos productos, como por ejemplo los rollizos de Eucaliptos.

**Tabla 5. Ponderación de los diferentes criterios asignado por consejeros de la cooperativa**

	Pesos asignados a los criterios de decisión: Escala 0 a 10 ( $w_j$ )				
Comisión y Gerencia	Adquisición tierra	EAVAN <sub>6%</sub>	Esfuerzo de gestión	Incertidumbre mercado	Impacto ambiental
Miembro 1	5	5	5	5	5
Miembro 2	10	3	8	5	9
Miembro 3	7	10	8	10	2
Miembro 4	9	10	3	5	1
Miembro 5	10	3	4	6	8
Miembro 6	10	8	5	5	9
Miembro 7	9	5	8	10	10
Miembro 8	10	8	5	3	8
Promedio de pesos	8,75	6,5	5,75	6,125	6,5
Desvío estándar	1,83	2,88	1,98	2,53	3,42
Coefficiente de variación	21%	44%	34%	41%	53%

Nota: Escala 0 y 10, 0 el criterio no debe ser considerado e incrementa gradualmente hasta 10 muy importante.

Los consejeros de CTAM consideraron que los cinco criterios son importantes. En la Tabla 5, se muestra los pesos asignados por cada miembro del Consejo de Administración y la gerencia a cada criterio. Los cinco criterios en promedio, tienen valores medios a altos de importancia. El criterio más ponderado es la *adquisición de tierra*, cuyo promedio fue 8.75 y el coeficiente de variación del 21%, en tanto el criterio *Esfuerzo de gestión* ha sido el menos ponderado 5,75 con coeficiente de variación del 34%. El criterio con mayor variabilidad fue el *impacto ambiental* con un coeficiente de variación del 53%, dos miembros (3 y 4 le han otorgado muy poca importancia.

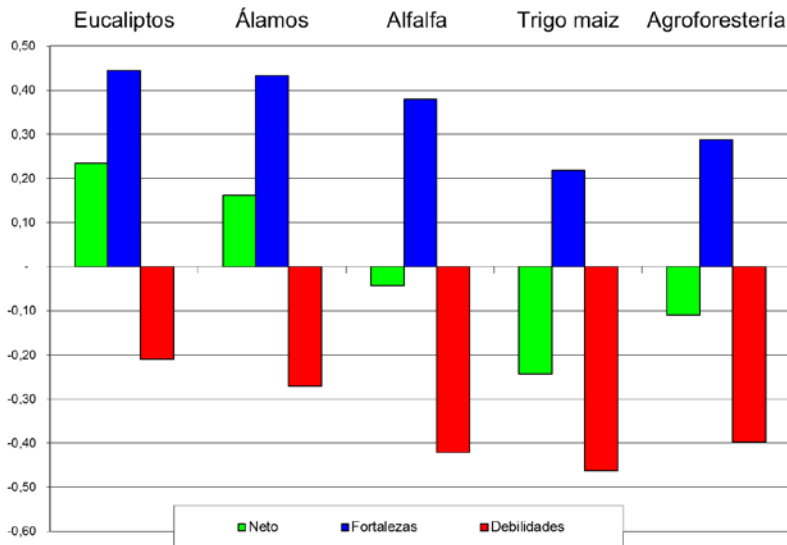
Con la preferencia explicitada de cada *Consejero* se mostraba el resultado y se discutía brevemente si representaba su preferencia. Los resultados muestran una preferencia marcada por la alternativa: *Eucaliptos*. En la Tabla 6, se muestran las alternativas seleccionadas de acuerdo a los valores obtenidos en términos de fortalezas, debilidades y el valor neto considerando el peso asignado por cada *Consejero* y el promedio de pesos asignados por el conjunto de miembros.

Por un lado, se puede apreciar que si utilizamos el promedio de pesos asignados por los diferentes *Consejeros Eucaliptos* aparece como la propuesta con mayor fortaleza, menor debilidad y mejor valor neto. Por otro lado, si observamos los resultados individuales también esta alternativa aparece como la más satisfactoria. De hecho, la alternativa aparece seleccionada en 5 *Consejeros* como la mejor tanto en fortalezas como debilidades mientras que solamente el miembro 3 ha tenido como resultado mejor valorado la implantación del cultivo de Alfalfa. En tanto, hay dos miembros que muestran necesidad de mayor información para establecer claramente el orden de preferencias (miembros 4 y 7. En estos casos, Eucaliptos aparece como la alternativa con menor debilidades y mejor resultado neto en ambos (miembros 4 y 7. En tanto, Alfalfa o Álamo aparecen con más fortalezas para estos miembros. Por lo expuesto, la alternativa seleccionada para sugerir la adquisición de un nuevo predio que permita realizar el tratamiento de depuración de los efluentes tratados es *Eucaliptos*.

**Tabla 6. Mejor alternativa de acuerdo a la ponderación asignada por los decisores**

Miembros	Neto	Fortaleza	Debilidad
1	Eucaliptos	Eucaliptos y álamos	Eucaliptos
2	Eucaliptos	Eucaliptos y álamos	Eucaliptos
3	Alfalfa	Alfalfa	Alfalfa
4	Eucaliptos	Alfalfa	Eucaliptos
5	Eucaliptos y álamos	Eucaliptos y álamos	Eucaliptos y álamos
6	Eucaliptos	Eucaliptos	Eucaliptos
7	Eucaliptos	Álamos	Eucaliptos y álamos
8	Eucaliptos	Eucaliptos	Eucaliptos
Promedio de pesos	Eucaliptos	Eucaliptos	Eucaliptos

A los fines ilustrativos se muestra el resultado obtenido con los pesos promedios de los *Consejeros* de la cooperativa en el Gráfico 1. Se puede apreciar que las alternativas ordenadas por mayores fortalezas son: Eucaliptos, Álamos, Alfalfa, Pinos más alfalfa y Trigo-maíz. En tanto, el orden para menores debilidades también los dos primeros puestos son para Eucaliptos y Álamo seguido de Pinos más alfalfa, Alfalfa y Trigo maíz. Por lo tanto, con los pesos promedios de los *Decisores* el resultado neto es comparable y permite ordenar las alternativas de mejor a peor de la siguiente manera: Eucaliptos, Álamos, Alfalfa, Pinos más alfalfa y Trigo-maíz.



**Gráfico 1. Fortalezas, debilidades y resultado neto usando el promedio de pesos asignados.**

### II.3. Análisis de sensibilidad e implicancia económica de la elección

Posterior de realizado el ejercicio también se evaluó la sensibilidad del resultado para las preferencias lineales considerando un cambios en el umbral de indiferencia  $q_j$  (de 10% a 40%, y el valor de preferencia absoluta,  $p_j$  (de 90% a 60%. El resultado se muestra estable y el orden establecido se mantiene.

**Tabla 7. Análisis de sensibilidad del flujo neto ante cambios del umbral de indiferencia,  $q_j$  y de preferencias absolutas,  $p_j$ .**

Alternativas	Neto (20%,80%	Neto (30%,70%	Neto (40%,60%
Eucaliptos	0,24	0,24	0,26
Álamos	0,16	0,17	0,17
Alfalfa	-0,05	-0,05	-0,05
Trigo maíz	-0,26	-0,28	-0,29
Pinos más alfalfa	-0,09	-0,09	-0,09

Nota: entre paréntesis representa el valor de  $q_j$  y  $p_j$ .

La decisión de forestar con Eucaliptos para depurar todo el volumen de efluentes tratado hacia 2020, en términos económicos requiere considerar el beneficio que la comunidad percibe. De hecho, la alternativa elegida requiere un cargo adicional en la tarifa de las 1851 conexiones servidas para el año 2020 debido a que el EAVAN es negativo \$76mil, lo que alcanza a \$41 por conexión y representa el 9% de la tarifa anual del servicio de cloacas vigente. En tanto, si el costo de oportunidad del capital es del 15% la tarifa alcanza un valor de \$95 por año (equivalente al 20% del actual servicio de



cloacas). Esto pone en evidencia cuál debería ser el beneficio mínimo que cada hogar debe percibir por este servicio de depuración de agua, independiente del servicio de recolección y tratamiento del efluente.

## Conclusión

En este artículo, hemos presentado un procedimiento para relevar preferencias de los *decisores* que permite ordenar las alternativas agrarias de uso de efluentes tratados con un modelo de análisis multicriterio (PROMETHEE) mediante el desarrollo de un estudio concreto con la CTAM. El modelo integra seis alternativas de uso de efluentes tratados (Eucaliptos, Álamos, Pinos, Trigo-maíz, alfalfa y agroforestería de pinos más alfalfa) y cinco criterios de decisión (Adquisición de tierras, EAVAN, Incertidumbre de mercado, Dificultad de gestión e Impacto ambiental).

El modelo desarrollado muestra conflictos que emergen cuando se consideran diferentes criterios derivados de la dimensión ecológica, económica y administrativas para las alternativas analizadas. De las seis alternativas diseñadas, solamente una fue eliminada, forestación con pinos, debido a ser dominadas por las otras. La información sistematizada en la matriz de pago, permite observar que las alternativas forestales tienen en general buena performance en los criterios ambientales y menor complejidad administrativa, en contraste son superados por las alternativas agrícolas (Trigo maíz y alfalfa para henos) en la dimensión económica. De hecho, la implantación de alfalfa para henos es la única alternativa que se muestra viable económicamente para este nivel de estudio. En tanto, la *Pinos más alfalfa* logra un comportamiento intermedio en la dimensión ambiental y económica.

También mostramos algunos atajos para ilustrar apropiadamente a los *decisores* sobre la naturaleza del problema de inversión, utilizando criterios cualitativos en caso que por naturaleza del criterio corresponde, como así también, en el caso donde elaborar la información cuantitativa sería muy costoso. En este sentido, el criterio *Incertidumbre de mercado* que complementa el análisis económico fue mostrado cualitativamente. Este criterio es utilizado para comparar alternativas con posibilidades diferentes de colocación de productos en el mercado local. De hecho, las alternativas agrícolas son productos con mercados desarrollados y por lo tanto, el precio utilizado para valorar estos productos tiene mayor grado de certeza que aquellos precios utilizados en los productores forestales. Por ejemplo, los rollizos de Eucaliptos prácticamente no se comercializan localmente y la pequeña escala de este emprendimiento pone en duda las posibilidades de colocación comercial de los rollizos en el periodo de cosecha. Por ello, este indicador ilustra a los *decisores* el nivel de incertidumbre de esta alternativa en relación a las otras, facilitando ponderar su importancia.

La información sistematizada para este tipo de decisiones es valiosa considerando la dispersión de datos existentes para actividades de naturaleza muy diferente. Encontramos pocos autores que trabajen y muestren resultados empíricos de valoración de información para este tipo de decisiones. La experiencia previa en el estudio de caso, muestra que los profesionales sugirieron una alternativa y la fundamentaron como la mejor en todas las dimensiones económicas, ambientales y sociales. Algo difícilmente alcanzable en problemas complejos como el abordado. Por ello, disponer de información sistematizada muestra la necesidad de desarrollo de alternativas técnicas ajustadas a condiciones locales. En nuestro caso, el solo hecho de trabajar con agua de alto contenido de sodio y mitigar su efecto en el suelo para el futuro incorpora un gasto adicional importante y valoriza la necesidad de profundizar en estudios de esta naturaleza para ganar precisiones en la parte técnica. Por ello, los datos sistematizados agregan valor a mucha información dispersa y además detectan huecos información importante.

Posiblemente, la contribución más importante del artículo es la interacción y participación de los *decisores* en el establecimiento de las preferencias. Presentar la información a los miembros de la cooperativa, trabajar en forma directa considerando la importancia de cada criterio y la ponderación de los mismos muestra un camino prometedor en términos de comunicación de información sistematizada y jerarquiza el rol del tomador de decisiones. La obtención de resultado de ordenamiento de acuerdo a las preferencias explícitas muestran como de un problema de varias dimensiones diferentes se resuelve, poniendo de manifiesto el potencial del modelo de análisis multicriterio. La profundización de estudios para llegar a los detalles se reduce significativamente una vez identificados las preferencias de los decisores y establecida la imagen objetiva de futuro.

Si bien los resultados son robustos queremos alertar al lector sobre algunas limitaciones del estudio. En primer lugar, hemos utilizado modelación y los mejores datos accesibles utilizándolo como parámetros de: consumo de efluente tratado, la producción de las especies forestales y agrícolas, y la estimación de la cantidad de sulfato de calcio para la enmienda. En este sentido será muy importante ajustar estos valores con estudios empíricos que midan estos valores regionalmente. En segundo lugar, hemos utilizados una variable cualitativa para dimensionar el impacto ambiental de las alternativas y reducido a emisión de gases efectos invernadero y dependencia energética. Existen otras variables para explorar el impacto que no fueron considerados, por ejemplo, riesgo sanitario de cada alternativa y además estos indicadores pueden cuantificarse y posiblemente brinda información con mayor certeza. En tercer lugar, la evaluación económica explora los indicadores considerando solamente el beneficio

comercial y no el valor de la externalidad positiva de la depuración de agua. Por la naturaleza del emprendimiento debería considerar el enfoque económico desde la perspectiva social. Estas limitaciones deben considerarse en la agenda futura de investigación.

### **Agradecimiento**

Trabajo financiado por: SECYT - Universidad Nacional de Río Cuarto, Ministerio de Ciencia y Tecnología de la provincia de Córdoba, Fondo para la Investigación Científica y Tecnológica, Préstamo BID PID N.º013/2009 y Convenio FAV-UNRC y Cooperativa Telefónica de Adelia María, Córdoba, Argentina.

### **References:**

- BEHZADIAN, M., KAZEMZADEH, R. B., ALBADVI, A. & AGHDASI, M. 2010. PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research*, 200, 198-215.
- BIXIO, D., THOEYE, C., DE KONING, J., JOKSIMOVIC, D., SAVIC, D., WINTGENS, T. & MELIN, T. 2006. Wastewater reuse in Europe. *Desalination*, 187, 89-101.
- BRANS, J.-P. & MARESCHAL, B. 2005. Promethee methods. In: FIGUEIRA, J., GRECO, S. & EHRGOTT, M. (eds.) *Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys*. Kluwer Academic Publishers.
- CANEVARI, P., DAVIDSON, I., BLANCO, D. E., CASTRO, G. & BUCHER, E. H. (eds.) 1998. *Wetlands of South America: An Agenda for biodiversity Conservation and Policies Development*: Wetland international.
- CRESPI, R., O., P., THUAR, A., GROSSO, L., RODRÍGUEZ, C., RAMOS, D., BAROTTO, O., SARTORI, M., COVINICH, M. & BOEHLER, J. 2007. Manejo de aguas residuales urbanas. Río Cuarto, Argentina: Universidad Nacional de Río Cuarto.
- CRESPI, R., PUGLIESE, M., GROSSO, L., RAMOS, D., SALUSSO, F., SOLER, E., SOLTERMAN, A., SANCHEZ, A., RAINERO, F., SILVA, D. & TESTA, A. 2012. Generación de biogás y disposición final de biosólidos. Río Cuarto, Argentina: Universidad Nacional de Río Cuarto.
- CHU, J., CHEN, J., WANG, C. & FU, P. 2004. Wastewater reuse potential analysis: implications for China's water resources management. *Water Research*, 38, 2746-2756.
- FASCIOLO, G., MECA, M. & MORÁBITO J., G. E. 2002. Effects on crops of irrigation with treated municipal wastewaters. *Water Science Technology*, 45, 133-138.
- GIL, H., DE PRADA, J., PLEVICH, O., CISNEROS, J., BOLOGNA, C., CANTERO, A., REYNERO, M., CRESPI, R., BAROTTO, O., CHOLAKY,

C., REARTES, N. & BRICCHI, E. Análisis económico de tecnologías verdes en el tratamiento de residuos cloacales urbanos. XX Congreso Nacional de Agua y III Simposio de Recursos Hídricos del Cono Sur, 10 al 13 de Mayo 2005 Ciudad de Mendoza, Argentina.

KO, J.-Y., DAY, J. W., LANE, R. R. & DAY, J. N. 2004. A comparative evaluation of money-based and energy-based cost-benefit analyses of tertiary municipal wastewater treatment using forested wetlands vs. sand filtration in Louisiana. *Ecological Economics*, 49, 331-347.

MAGYP. 2010. Costos de implantación. Pinus, Eucaliptos y Alamo región Cordoba y la Pampa. Estimación de costos en el marco del Regimen de Promoción Forestal, Ley 26060. .

ONGLEY, E. D. 1997. *Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos. (Estudio FAO Riego y Drenaje - 55)*, Roma, Italia, FAO.

PENNA, J. A., DE PRADA, J. D. & CRISTECHE, E. 2011. Valoración económica de los servicios ambientales: Teoría, métodos y aplicaciones *In: LATERRA, P., JOBBÁGY, E. & PARUELO, J. (eds.) Valoración de servicios ecosistémicos. Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial*. Buenos Aires, Argentina: INTA.

PLÁ, M. & CARO, L. Caracterización de la productividad en una plantación de *Populus x canadensis* Conti 12' bajo riego por gravedad. Actas de la Jornadas de Salicaceas, 2006 San Fernando, Buenos Aires, Argentina. Asociación Forestal Argentina, 396-401.

PRADO, J. A. & BARROS, S. 1989. *Eucalyptus: Principio de silvicultura y manejo*, Santiago, Chile, Instituto Forestal.

SMITH, M. 1992. *CROPWAT: A Computer Program for Irrigation Planning and Management*, FAO.

#### Anexo 1. Parámetros y fuentes de los datos utilizados para estimar el EAVAN

Concepto	Unidad	Parámetro	Observación
Valor de la tierra	\$/ha	36.264	Consultas varias
Soja Precio constante julio 2012	\$/ton.	1.511	Serie de precios AACREA
Precios del sulfato de calcio	\$/ton.	1.490	Precio corriente (proveedor)
Sulfato de calcio	Ton/año	40	Requerimiento calculado por balance de masa.
Gastos operación riego y encalado	\$/m3	0,19	Estimados
Riego	m3/año	251.214	Estimados
Otros gastos	%	10%	
Gastos riego y encalado	\$/año	118.064	Estimados
Instalación de riego	\$/ha	2.567	Diseño técnico y tres presupuestos
Gastos de operación Maíz - Trigo	\$/ha	7.732	Diseño técnico

Precios maíz	\$/ton	749	Serie precios AACREA
Precios trigo	\$/ton	790	Serie precios AACREA
Rendimiento de maíz	kg/año	10.000	Consultas varias
Rendimiento de Trigo	kg/año	6.000	Consultas varias
Precio rollo de heno de alfalfa	\$/ton	500	<a href="http://www.olx.com.ar/q/rollos-de-alfalfa/c-210">http://www.olx.com.ar/q/rollos-de-alfalfa/c-210</a>
Rendimiento de alfalfa	kg/año	18.000	Consultas a profesionales
Gastos de operación alfalfa	\$/ha	4.073	Estimado
Gastos de implantación de alfalfa	\$	816	
Rendimientos álamos	ton/ha	260	Pla y Caro (2008)
Precios de álamo	\$/ton en pie	140	Consulta a comprador
Gastos implantación: álamos	\$	4.434	MAGYP (2010)
Gastos de podas y raleo: álamos	\$	2.826	MAGYP (2010)
Precio de pinos	\$/ton en pie	160	Consulta a comprador
Rendimiento pinos	Ton. /ha	362	Consultas a profesionales
Gastos implantación-Pinos	\$	5.607	MAGYP (2010)
Gastos de podas y raleo Pinos	\$	5.206	MAGYP (2010)
Rendimiento eucaliptos	Ton. /ha	964	Prado y Barros (1989)
Precio de Eucaliptos	\$/ton en pie	144	Consultas a comprador
Gastos implantación-Eucaliptos	\$	3.973	MAGYP (2010)
Gastos de podas y raleo Eucaliptos	\$	3.900	MAGYP (2010)
Rendimiento pastura (pinos + alfalfa)	Ton. /ha	190	MAGYP (2010)
Rendimiento pinos (Pino + alfalfa)	Ton. /ha	340	MAGYP (2010)
IPIM (índice de precios mayorista)			Serie de precios AACREA

Nota: Todos ingresos y gastos estimados utilizan precios de (o llevados a) noviembre-diciembre del 2012.

**Anexo 2. Flujo Económico del Eucaliptos, Pinos más alfalfa y Alfalfa**

<b>Forestación: Eucaliptos</b>				Área (ha): 32,97		<b>Pinos más alfalfa</b>				Área (ha): 43,96	
Tiempo	Inversión		Ingresos	Egresos	Tiempo	Inversión		Ingresos	Egresos		
años	Fija	Capital trabajo			años	Fija	Capital trabajo				
0	1.411.317	-147.128			0	1.885.229	-305.231				
1				-147.128	1		18.501	326.851	-305.231		
2				-122.061	2		13.772	326.851	-286.731		
3				-122.061	3	-29.664		326.851	-272.959		
4	-19.492			-122.061	4	-48.876		326.851	-272.959		
5	-25.718			-122.061	5			281.009	-252.467		
6				-122.061	6	-62.708		249.630	-238.441		
7	-45.007			-122.061	7			230.439	-229.862		
8				-122.061	8			216.031	-223.422		
9	-52.692			-122.061	9	-115.328		204.320	-218.187		
10	-57.866			-122.061	10			194.375	-213.742		
11				-122.061	11	-51.495		170.292	-202.977		
12				-122.061	12	-14.372		158.355	-197.641		
13				-122.061	13			148.451	-193.214		
14	-19.492			-122.061	14	-25.989		139.912	-189.397		
15				-122.061	15	-12.013		132.368	-186.025		
16				-122.061	16			114.166	-177.889		
17	1.195.690	147.128	4.582.990	-122.061	17			104.284	-173.471		
<b>Pasturas: Alfalfa</b>				Área (ha): 75,36		18	-8.673		95.560	-169.571	
Tiempo	Inversión		Ingresos	Egresos	19	-96.785		87.743	-166.077		
años	Fija	Capital trabajo			20			80.658	-162.910		
0	-2.988.015	425.022			21	-6.041		66.563	-156.610		
1			678.277	-425.022	22			59.687	-153.536		
2			678.277	-425.022	23			53.413	-150.732		
3	-61.558		678.277	-425.022	24			47.634	-148.149		
4	-44.552		678.277	-425.022	25	1.594.253	272.959	2.574.514	-145.755		
5			678.277	-425.022							
6	-61.558		678.277	-425.022							
7			678.277	-425.022							
8			678.277	-425.022							
9			678.277	-425.022							
10	2.733.005	425.022	678.277	-425.022							

**Flujo económico: Pino, Álamo y Trigo-maíz**

<b>Forestación: Pino</b>				Área (ha): 37,68		<b>Forestación: Álamo</b>				Área (ha): 37,68	
Tiempo	Inversión		Ingresos	Egresos	Tiempo	Inversión		Ingresos	Egresos		
años	Fija	Capital trabajo			años	Fija	Capital trabajo				
0	-1.632.634	-180.917			0	1.630.322	-157.166				
1		39.244		-180.917	1		31.009		-157.166		
2		16.073		-141.673	2		557		-126.157		
3				-125.600	3		0		-125.600		
4	-22.276			-125.600	4	-75.519			-125.600		
5				-125.600	5				-125.600		
6	-39.235			-125.600	6	-106.485			-125.600		
7				-125.600	7				-125.600		
8	-68.660			-125.600	8				-125.600		
9	-55.476			-125.600	9	-108.719			-125.600		
10				-125.600	10				-125.600		
11	-88.278			-125.600	11				-125.600		
12				-125.600	12	1.366.502	125.600	1.367.407	-125.600		
13				-125.600							
14	-22.276			-125.600	<b>Agricultura: Trigo-maíz</b>				Área (ha): 65,94		
15				-125.600	Tiempo	Inversión		Ingresos	Egresos		
16				-125.600	años	Fija	Capital trabajo				
17				-125.600	0	2.560.650	-627.930				
18				-125.600	1			806.949	-627.930		
19	-55.476			-125.600	2			806.949	-627.930		
20				-125.600	3			806.949	-627.930		
21				-125.600	4	-38.983		806.949	-627.930		
22				-125.600	5			806.949	-627.930		
23				-125.600	6			806.949	-627.930		
24	-22.276			-125.600	7			806.949	-627.930		
25	1.366.502	125.600	2.182.545	-125.600	8			806.949	-627.930		
					9			806.949	-627.930		
					10	2.391.379	627.930	806.949	-627.930		