

## PAGO POR SERVICIOS HIDROLÓGICOS AMBIENTALES EN LA CUENCA DEL RÍO GUAYALEJO, TAMAULIPAS, MÉXICO

*H. Rodríguez Rodríguez; N. García Guevara; D. Cantero Medina;  
A. Carreón Pérez; E. Del C. Andrade Limas<sup>1</sup>*  
Universidad Autónoma de Tamaulipas (Mexico)

### RESUMEN

La parte baja de la Cuenca del Guayalejo en el sur del Estado de Tamaulipas, México se ha beneficiado por el agua que capta la “Reserva de la Biosfera El Cielo”, el presente trabajo tuvo como objetivo estimar el costo por servicios ambientales hidrológicos, por uso de agua. Se realizó un seguimiento en cuatro sitios al cultivo de la caña de azúcar. Se obtuvo información estadística con relación a la disponibilidad y uso del agua en la Cuenca, para el análisis se aplicaron los métodos; cambios en la producción (uso agrícola) y el valor de recuperación (uso potable e industrial). Los resultados mostraron que los sistemas de riego presurizados influyeron en el mayor rendimiento de caña y eficiencia en el uso de agua, el sitio Katanga tuvo una producción de 126,25 t ha<sup>-1</sup>, en el predio Mexicali con 0,7 cm de agua produjo una tonelada de caña. El análisis mostró que el costo por servicios ambientales hidrológicos por uso del agua para la agricultura fue de \$0,39 (pesos mexicanos) por metro cúbico de agua utilizado y para uso potable el costo de recuperación fue de \$0,12 por metro cúbico de agua potable e industrial consumido.

**Palabras clave:** Pago servicios hidrológicos.

### PAYMENT FOR HYDROLOGICAL, ENVIRONMENTAL, RIVER GUAYALEJO BASIN STATE OF TAMAULIPAS, MEXICO

### ABSTRACT

The lower area of the Basin of Guayalejo in the south of Tamaulipas, Mexico has benefited by the water that captures the “Reserva de la Biosfera El Cielo”, this work has as objective estimate the cost for hydrological environmental services for water use. Four sites to the cultivation of sugar cane were monitored. Statistical information was obtained in relation to the availability and the water use in the basin, for the analysis were applied the methods; changes in the production (agricultural use) and recovery value (potable and industrial use). The result showed that the pressurized irrigation systems had the higher cane yield and efficiency in the water use, Katanga site had a production of 126,25 t ha<sup>-1</sup>, on the campus Mexicali with 0.7 cm of table water can produce one ton of sugar cane. The analysis showed that the cost of hydrological environmental services for agricultural use is \$0,39 per cubic meter of water used and for potable use the cost of recovery is \$0,12 per cubic meter of potable and industrial water consumed.

**Key words:** Hydrological Environmental Services.

Fecha de recepción: 14 de noviembre de 2012. Fecha de aceptación: 23 de noviembre de 2012.

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería y Ciencias, Centro Universitario Victoria. Cd. Victoria Tams. CP 87149. Tamaulipas. México. hrodriguez@uat.edu.mx y eandrade@uat.edu.mx

## 1. INTRODUCCIÓN

Los servicios ecosistémicos se definen como los beneficios que las personas obtienen directa o indirectamente, a partir del funcionamiento natural de los ecosistemas, las primeras referencias sobre el concepto de funciones de los ecosistemas, servicios y el valor económico, datan de 1960 y principios de los años setentas (De Groot *et al.*, 2002). Hasta la instrumentación de programas de pago por servicios ambientales, en distintas partes del mundo (Pagiola *et al.*, 2003, FAO 2004). Estos programas buscan incrementar los incentivos para la conservación de los predios, donde se ubican los ecosistemas que proveen un servicio determinado, por medio de pagos a los propietarios, lo que se considera una forma de “internalizar” el capital natural necesario para la realización de las actividades humanas. La implementación de los servicios ambientales hidrológicos están basados en incentivos económicos, en América Latina ha aumentado considerablemente (Southgate y Wunder, 2007). Los Pagos por Servicios Ambientales, tienen altas expectativas y se consideran como palancas para la transición hacia una economía menos depredadora de los recursos naturales, y que permita compatibilizar la conservación con el incremento del nivel de ingresos en comunidades rurales (Jacobs, 2008).

En Tamaulipas el Río Guayalejo, ocupa el segundo lugar en importancia entre los aportadores del colector general de la cuenca del Río Pánuco, tanto por su área drenada, cuya extensión hasta su confluencia con el Río Pánuco es de 17.084 km<sup>2</sup>, como por sus volúmenes de aportación, ya que con los datos observados, el escurrimiento medio anual es de 2.394,69 mm<sup>3</sup> (C.N.A. 2009). Sus colindancias generales son: hacia el norte con la cuenca del Río Soto La Marina; al poniente con la Región Hidrológica El Salado y al Sur con otros afluentes del Río Pánuco.

Dentro de la cuenca se localiza La Reserva de la Biosfera “El Cielo” que se caracteriza por su potencial hídrico, ya que aporta el 72%, del agua que fluye en la cuenca y proviene de los ríos Sabinas, Frío, Comandante y parte del Guayalejo, siendo este último río, el colector principal de la cuenca. El Río Guayalejo nace al norte del municipio de Miquihuana, a una altura de 3.400 m.s.n.m., en esta zona se le conoce como Río Alamar; y al recibir las aguas del Arroyo Maravillas cambia su nombre por el de Río Chihue, cuando llega a la confluencia del Río Jaumave, se le denomina Río Guayalejo. Posteriormente, en la confluencia del Río Naranjo, se le llama Río Tamesí y sirve de límite estatal entre Tamaulipas y Veracruz. Desemboca en el Río Panuco, que a su vez lo hace al Golfo de México, tiene como subcuencas intermedias al Río Tamesí, Río Guayalejo, Río Sabinas y Río Comandante (C.N.A., 1996).

En la zona sur del estado de Tamaulipas el principal cultivo es la caña de azúcar, demanda gran cantidad de agua para su óptimo desarrollo. El principal sistema usado para este cultivo en la región es el riego por gravedad, pero no es posible usarlo con eficiencia de agua, debido a pérdidas por percolación. Algunos productores en esta región, han venido transformando el uso de ese sistema, por el riego tecnificado, principalmente el sistema de riego presurizado de cintilla donde la respuesta ha sido favorable.

El objetivo del trabajo fue proponer un sistema de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos, para el uso de agua agrícola, potable e industrial, en la parte baja de la Cuenca del Guayalejo, con base en la captación de agua de la Reserva de la Biosfera El Cielo.

## 2. METODOLOGÍA

Para la determinación del escurrimiento natural, se utilizó información hidrométrica generada por la Comisión Nacional del Agua (C.N.A.) en 2009, de doce estaciones de control, de acuerdo con su importancia, complejidad hidrográfica y por el interés de conocer la disponibilidad en sitios específicos.

### 2.1. Productividad del Agua

En la cuenca del Guayalejo se localizan tres distritos de riego, “029 Xicoténcatl”, “002 Mante” y “092 Río Pánuco”, además de diversas unidades de riego, principalmente por bombeo, que se distribuyen a lo largo de las márgenes del Río Guayalejo. El cultivo principal es la caña de azúcar donde existe el 96 y 95%, de la superficie sembrada (C.N.A., 2009), y es irrigada con el agua que se capta en la Reserva de la Biosfera El Cielo.

**TABLA 1. Distritos de riego irrigados con agua que proviene de la Reserva de la Biosfera El Cielo**

Distrito de Riego	Superficie total (ha)	Superficie física (ha)	Fuente de Abastecimiento
002 Mante	20527,00	18314,00	Presa derivadora la aguja, (río Mante)
029 Xicoténcatl	25264,82	23315,92	Presa de almacenamiento Lic. Emilio Portes Gil

### 2.2. Pago por servicios hidrológicos con fines agrícolas

Para la evaluación del desarrollo del cultivo se ubicaron los predios de trabajo que contaron con los sistemas de producción, establecidos en la zona de estudio (Tabla 2), caracterizados por tener diferentes métodos de riego. Se calculó la lámina de riego aplicada a partir de métodos de medición de humedad en el suelo, ya que es una variable importante en la valoración del agua de riego, por otro lado se consideró necesario dar seguimiento al cultivo para estudiar el volumen de agua aplicado para el desarrollo de la planta y la productividad.

**TABLA 2. Clasificación de predios en estudio por sistema de producción**

Nombre	Característica
Rancho Katanga	Producción con riego por goteo y fertirrigación
Rancho Santa Anita	Producción con mediana tecnificación, fertilización al suelo aplicada al voleo y riego por gravedad
Rancho La Palma	Producción con riego presurizado aspersión con pivote central y fertilización al suelo aplicada al voleo
Rancho Navojoa	Producción con baja tecnificación, fertilización al suelo aplicada al voleo y riego por gravedad
Rancho Mexicali	Producción con riego por goteo y fertirrigación

En algunos de estos predios se aplicaron diferente número de riegos, en Santa Anita y Navajoa se dividieron en tres sitios cada uno de ellos, por lo que se tuvieron nueve sitios de monitoreo del cultivo, con el fin de cubrir la totalidad de los predios.

Se evaluaron los parámetros del agua relacionados con el cultivo de la caña de azúcar, lo que permitió hacer los análisis de la producción, sin y con riego, lámina y volumen de agua utilizada, capacidad de almacenamiento del suelo, se estimaron los costos de producción bajo riego, de igual manera se realizó un muestreo para determinar el rendimiento del cultivo.

Para definir el pago por servicios ambientales hidrológicos, se utilizó el método cambio en productividad, donde se aplicó, con base al incremento de la productividad agrícola, el riego aplicado, método que también fue utilizado para calcular el valor implícito del agua. El cambio en la producción del cultivo, multiplicado por el precio del producto (mercado), aproxima el valor del agua usada en la producción agropecuaria, utilizando el concepto económico de la función de producción. Al existir información sobre el efecto del riego en la productividad de los cultivos que lo utilizan, se puede estimar el valor del cambio en la productividad por el uso del agua, si el cultivo  $k$  experimenta un cambio en la producción cuando está bajo riego, el valor del agua se expresa de la siguiente manera:

$$P_k^{ag} = (p_k - c_k) * q_k$$

$$q_k = (Q_r^k - c_i^k) / Vi$$

Donde:

$P_k^{ag}$ : Costo del agua en agricultura para el cultivo  $k$  (\$/m<sup>3</sup>).

$p_k$ : Precio del producto  $k$  (\$/t).

$c_k$ : Costo de producción bajo riego (\$/t).

$q_k$ : Cambio en producción del cultivo  $k$  bajo riego (kg/m<sup>3</sup>).

$Q_r^k$ : Cantidad de producción del cultivo  $k$  bajo riego (kg/ha).

$c_i^k$ : Cantidad de producción del cultivo  $k$  sin riego (kg/ha).

$Vi$ : Volumen de agua usado en riego del cultivo  $i$  (m<sup>3</sup>/ha).

### 2.3. Pago por servicios ambientales por uso de agua potable e industrial

Al considerar las labores requeridas para preservar los servicios hidrológicos de la cuenca y la carga de contaminante cuantificada en la cuenca, se plantea establecer un cobro por los servicios hidrológicos, por medio de la estimación del Valor de Recuperación, que está integrado por prácticas que permiten mantener e incrementar la captación, infiltración de agua, al mismo tiempo disminuir los riesgos de erosión de suelos.

Es necesario determinar el costo de aquellas prácticas que se debenn realizar con dichos propósitos. El cálculo de los factores ambientales para el ajuste de la tarifa por servicio de agua potable, incluye la determinación del costo ambiental de recuperar el bosque mediante prácticas de conservación del bosque y captación de agua en áreas con menor capacidad, para lo cual se utilizaron los costos de sustitución (Castro y Salazar, 2000).

Para realizar el análisis se consideraron prácticas de conservación que permiten la captación de agua y al mismo tiempo conservan al bosque y suelo, económicas y factibles de

realizar en el campo. En este caso se seleccionaron presas de ramas, apertura de brechas cortafuego y equipamiento para el control de incendios.

#### 2.4. Presa de ramas

Son estructuras construidas con ramas entretrejidas en forma de barreras; se colocaron en sentido transversal a la pendiente, para controlar la erosión en las cárcavas, y reducir la velocidad del flujo, ayudando así a la retención de azolves y la infiltración del agua, además de permitir una mejor disponibilidad del agua para el desarrollo de la vegetación y la protección de la infraestructura rural, como son cercos, caminos y vivienda. El espaciamiento entre presas se calculó de acuerdo con la altura efectiva y la pendiente de la cárcava. La fórmula utilizada para estimar la distancia entre presas fue la siguiente:

$$E = \frac{H}{P} * 100$$

Donde:

E = espaciamiento entre presas (m)

H = altura efectiva de la presa (m)

P = pendiente de la cárcava (%)

#### 2.5. Apertura de brechas cortafuego

Consiste en remover el material vegetativo hasta el suelo mineral en franjas de tres metros de ancho aproximadamente, el trazo se realizó sin afectar la vegetación arbórea, y se ancla a barreras, sean naturales o artificiales, además se construyen desagües con la presencia de pendiente, con el propósito de evitar la formación de cárcavas. Para llevar a cabo esta actividad se requiere una serie de condiciones, dentro de las cuales destacan las siguientes:

- A. Realizar el trazo de la brecha sin afectar la vegetación arbórea.
- B. Se debe de anclar a las barreras naturales o artificiales, para evitar que el fuego pueda pasar hacia el área que se tiene interés en proteger.
- C. Se construyen desagües cuando las brechas cortafuego se construyen en terrenos con pendientes, con el fin de evitar la formación de cárcavas y la erosión de las mismas.

#### 2.6. Equipamiento para el control de incendios

En la época de estiaje es común la presencia de incendios forestales; además del apoyo de las dependencias oficiales, los productores de la Reserva de la Biosfera El Cielo, se agrupan de manera voluntaria, para el control de incendios, en este caso se consideraron los costos del equipo protector y herramienta para el control de incendios.

El agua es un recurso natural que proporciona servicios tangibles e intangibles por lo que no es posible asignarle un valor, inútil es tratar de pagar por sus múltiples servicios.

$$VR = \sum_{i=1}^n \frac{\alpha Cij Ari}{Oci}$$

Donde:

*VR* Valor de recuperación de cuencas hidrográficas (\$/m<sup>3</sup>)

*Ai* Importancia del bosque en la cuenca *i* en función del recurso hídrico (%)

*Cij* Costos para la actividad *j* destinada a la recuperación de la cuenca *i* (\$/ha/año)

*Ari* Area a recuperar en la cuenca *i* (ha)

*Oci* Volumen de agua captada por bosques de la cuenca *i* (m<sup>3</sup>/año)

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Uso de agua

En los Distritos de Riego, de la zona de estudio, el principal cultivo es la caña de azúcar, la fuente de abastecimiento de agua corresponde a la que proviene de la Reserva de la Biosfera El Cielo, e incluyen los tramos; GTB, GTD, GTE1 y GTE2 (Tabla 3), de

**TABLA 3. Ecurrimiento natural de la Cuenca Guayalejo**

<b>Cuenca</b>	<b>Nombre y descripción</b>	<b>Ecurrimiento natural (Mm<sup>3</sup>)</b>
GTA	Ríos Chihue y Jaumave desde sus inicios hasta su confluencia	129,38
GTB	Río Guayalejo desde el fin del tramo GT-A hasta la estación hidrométrica La Encantada	255,12
GTC	Río Guayalejo desde la estación hidrométrica La Encantada hasta la estación hidrométrica San Gabriel	96,02
GTD	Río Sabinas desde sus inicios hasta la estación hidrométrica Sabinas	488,14
GTE1	Río Comandante desde sus inicios hasta la estación hidrométrica La Servilleta	211,19
GTE2	Río Comandante desde la estación hidrométrica La Servilleta hasta la estación hidrométrica Río Frío	774,89
GTF	Río Mante desde sus inicios hasta la estación hidrométrica Mante	142,28
GTG	Río Guayalejo desde las estaciones hidrométricas San Gabriel, Sabinas, Río Frío y Mante, hasta la estación hidrométrica Magiscatzin	259,33
GTH	Arroyo el Cojo desde sus inicios hasta la confluencia con el río Guayalejo	38,35
GTI *	Río Tantoán desde sus inicios hasta la confluencia con el río Guayalejo	59,38
GTJ	Río Guayalejo desde la estación hidrométrica Magiscatzin hasta la estación hidrométrica Tamesí	371,82
GTK	Río Guayalejo desde la estación hidrométrica Tamesí hasta la confluencia con el río Pánuco	247,99
	<b>Total</b>	<b>2394,69</b>

manera tal que en forma conjunta, generan 2394,69 Mm<sup>3</sup>, (millones de metros cúbicos) equivalente al 72,21 % del total de la cuenca, lo que demuestra su importancia. De manera individual se destaca el tramo del Río Comandante desde la estación hidrométrica La Servilleta hasta la estación hidrométrica Río Frío que genera 774,89 Millones de metros cúbicos (Mm<sup>3</sup>) a pesar de ser una pequeña área de captación (247,4 km<sup>2</sup>), es uno de los cauces que provienen de la Reserva de la Biosfera, y capta el mayor volumen de agua. Se infiere que se debe al escurrimiento de las cadenas montañosas y a la presencia de los nacimientos de agua. Por otro lado la disponibilidad total de la cuenca es 1619,26 Mm<sup>3</sup> de acuerdo con el sistema de análisis, aumenta la disponibilidad conforme el cauce se aproxima a su desembocadura, a excepción con algunos afluentes de Río Guayalejo, como es el caso del tramo del Arroyo el Cojo desde sus inicios hasta su confluencia.

### 3.2. Pago servicios ambientales para uso agrícola

En la Tabla 4, se muestra la información generada por cada sitio de muestreo, se relaciona el consumo de agua por unidad de producción; los sitios que tienen un sistema de riego presurizado tuvieron la mayor eficiencia; como fueron Mexicali y Katanga, el método de irrigación se caracteriza por hacerlo de manera localizada, cerca de la zona de raíces. El Rancho La Palma fue el sitio con menor capacidad de productividad debido a los problemas de operación del sistema de riego de pivote central, así mismo el sitio Navojoa 2 fue otro predio con menor eficiencia, debido a la presencia de sales solubles en el suelo, ya que la conductividad eléctrica muestra un valor de 4.0 ds/m. Los factores que impiden que la caña de azúcar alcance el máximo rendimiento potencial incluyen problemas con la sincronización de aplicación de la distribución de agua, fertilidad, salinidad, enfermedades, plagas y compactación del suelo. Wiedenfeld y Enciso (2008), citan que en el sur de Texas, cuando el riego es estimado por factores del clima, la caña de azúcar tiene el potencial para producir de 60 a 65 t ha<sup>-1</sup>

Algunos autores afirman que el pago por servicios ambientales en varios países de America Latina es enfocado a sitios donde no se requieren grandes inversiones para la captación de agua, sin embargo es necesario para mejorar la calidad de los habitantes, como es acceso a la educación, salud y vivienda digna. El pago por servicios ambientales puede ser una buena opción para evitar la deforestación, pero la compensación debe ser al menos igual al costo de oportunidad del uso de la tierra (Martínez *et al.*, 2009),

En America Latina una de las desventajas del Pago por Servicios Ambientales hidrológicos, es que el programa ha sido en áreas con bajo riesgo de deforestación, los criterios deberían ser modificados para orientar las áreas donde los beneficios para los usuarios del agua sean más altos, de lo contrario los recursos del programa se distribuirán, sin aportar una mejora en el bienestar general, también se limitan a climas húmedos y a determinados tipos de árboles, el pequeño número de estudios disponibles con suficientes datos específicos de la zona, es una limitación en la aplicación en el análisis. Esto representa un reto técnico para los estudios de valoración, especialmente en los países donde los recursos financieros para la investigación son escasos (Muñoz *et al.*, 2008 y Locatelli y Vignola, 2010).

**TABLA 4. Resultados del seguimiento del cultivo de caña de azúcar**

Predio	Lámina (cm)	Rendimiento cultivo (t/ha)	Volumen utilizado (m <sup>3</sup> /ha)	Producción agua (cm/t)	Producción agua (m <sup>3</sup> /t)
Rancho Katanga	104,00	126,25	9325,00	0,82	73,86
Santa Anita 1	113,44	88,42	10209,00	1,28	115,46
Santa Anita 2	132,37	85,33	11913,00	1,55	139,61
Santa Anita 3	94,55	72,79	8509,00	1,30	116,90
Navojoa (lote 1)	38,60	52,38	3474,00	0,74	66,32
Navojoa (lote 2)	38,60	34,67	3474,00	1,11	100,21
Navojoa (lote 3)	34,67	38,86	1737,00	0,89	44,70
Mexicali.	80,00	114,11	8505,86	0,70	74,54
La Palma	60,54	27,89	5448,60	2,17	195,38
<b>Promedio</b>	<b>79,53</b>	<b>71,19</b>	<b>6955,05</b>	<b>1,17</b>	<b>103,00</b>

La lámina de agua aplicada, fue de acuerdo con la disponibilidad de la infraestructura hidráulica, varió en una proporción de 58%. En el predio La Palma se usó la menor lámina, el caso contrario fue en Santa Anita (2), donde se utilizó la mayor lámina, que es un método de riego por gravedad en surcos, y se aplicaron seis riegos. En términos generales el predio con mayor eficiencia del uso del agua fue el Sitio Mexicali, ya que con 0,70 cm de lámina fue posible producir una tonelada de caña, en otras investigaciones en el Valle del Río Grande Texas, se encontró que cada pulgada de agua utilizada, fue posible producir una tonelada de caña por hectárea. Con relación a la eficiencia en el uso de agua, se obtuvieron de 15,4 toneladas de caña de azúcar por acre pie<sup>-1</sup> de lámina (Wiedenfeld, 2004, Wiedenfeld y Enciso 2004).

Con la información generada permitió realizar el análisis económico en cada sitio de trabajo, obteniéndose el promedio del estudio (Tabla 5), así el resultado de la aplicación de la ecuación, indica que el costo que deberían pagar los productores es de \$0,39 por metro cúbico de agua utilizado para uso agrícola, de esta manera aquellos productores que sean más eficientes tendrán la capacidad de erogar menos recursos económicos.

**TABLA 5. Pago por servicios hidrológicos ambientales por uso agrícola**

Característica	Valor
Producción sin riego (t ha <sup>-1</sup> )	40,00
Producción media en riego (t ha <sup>-1</sup> )	71,18
Volumen agua utilizado m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	6955,10
Precio producto (\$ t <sup>-1</sup> )	465,00
Costo producción riego	287,38
Costo del agua en agricultura para el cultivo \$/m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	0,79
Importancia relativa bosque (fracción)	0,50
<b>Costo del agua en agricultura para el cultivo, ajustado \$/m<sup>3</sup>/ha</b>	<b>0,39</b>



En otros estudios realizados con la misma metodología, los resultados difieren, ya que las condiciones de manejo son distintas, en Nicaragua en una investigación sobre pago de servicios ambientales hidrológicos, utilizando la información acerca del consumo general de agua del Proyecto de Riego Comarapa - Saipina- San Rafael, con un volumen de agua de consumo mínimo y máximo de agua para riego de 2708 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y 3125 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> respectivamente. Los valores correspondientes asociados al uso del agua por cambio de productividad en el sector agropecuario para el proyecto de riego mínimo fue de 0,17 US\$/m<sup>3</sup>/año y máximo de 0,19 US\$/m<sup>3</sup>/año (Barzev, 2001).

### 3.3. Pago por servicios ambientales hidrológicos para uso urbano

En la Tabla 6, se muestran los valores obtenidos, los costos de las prácticas conservacionistas que permitieron la captación de agua y conserven al bosque y suelo.

**TABLA 6. Costos promedio para la construcción de presas de ramas**

Concepto	Unidad de medida	Costo unitario (\$)	Cantidad requerida	Costo de la actividad (\$)
Recolecta y distribución de material	Jornal	80,00	5	400,00
Limpia y excavación para empotramiento	Jornal	80,00	4	320,00
Conformación de presa	Jornal	80,00	5	400,00
Estacado y amarrado	Jornal	80,00	2	160,00
Alambre galvanizado 14	Kilogramo	300,00	1	300,00
<b>Subtotal</b>				<b>\$1580,00</b>
Brecha corta fuego				
Trazo de brecha	Jornal	80,00	4	320,00
Construcción barreras	Jornal	80,00	8	640,00
Construcción de desagües	Jornal	80,00	7	560,00
<b>Subtotal</b>				<b>\$ 1520,00</b>
Equipamiento combate de incendios.				
Vestimenta (camisolas, pantalones, cubre bocas)	Piezas	120,00	20	2400,00
Herramientas y materiales	Pieza	100,00	30	3000,00
<b>Total</b>				<b>\$ 5400,00</b>

Para estimar el valor de recuperación, se consideró el volumen de agua captado anualmente por los cauces que son originados por la Reserva de la Biosfera. La ponderación del bosque asignado en función del agua fue de 50%. La superficie por recuperar, fue estimada a partir de un análisis cartográfico digital, así el área con nivel de regular a baja

potencialidad de captación de agua, fue de 8500,00 ha, en cuanto a captación de agua por el bosque el balance hídrico indicó un volumen anual de 1729,34 Mm<sup>3</sup>. Al aplicar la ecuación el valor por servicios hidrológicos por servicios ambientales el resultado muestra una cantidad de \$0,12 por cada metro cúbico que se utilice con fines de uso doméstico e industrial, este valor representa, la cantidad que deben pagar los usuarios, para restaurar el suelo y generar una mayor captación de agua.

El Valor de Recuperación, correspondió al costo en que se debe incurrir para el establecimiento de las prácticas que permitan una mayor captación de agua en la Reserva de la Biosfera El Cielo. El consumo anual en relación al uso potable e industrial de la cuenca fue de 88,03 Mm<sup>3</sup>/año, el pago anualizado por servicios ambientales con base en la estimación estadística, el uso hidrológico debería de ser \$2731100,75. El ajuste consistió en incluir, dentro de la tarifa, el valor económico del servicio ambiental hídrico o servicio de producción de agua que brindan los bosques y el costo ambiental requerido para recuperar y conservar las áreas donde se ubican las fuentes de agua.

Existen otros resultados de estudios similares; en Costa Rica, la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH S.A.) encargada de brindar servicios públicos en la provincia de Heredia, ha llevado a la práctica el uso del instrumento tarifario como medio para generar fondos que son reinvertidos en la protección y recuperación de la cobertura forestal en las microcuencas que proveen de agua. El ajuste tarifario consistió en el cobro de una tarifa hídrica de 1.90 colones/m<sup>3</sup> de agua consumida (Cordero, 2001).

Silva *et al.*, (2010), citan que el 90% de los usuarios de agua de la cuenca del Salto Durango, México estarían dispuestos a aceptar 5,26 dólares ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> como compensación renunciar a la cosecha de los bosques para estimular la producción de agua. Brunett *et al.*, (2010) realizaron un estudio con el propósito de estimar la disposición a pagar en un programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos, información que obtuvieron mediante la aplicación de una encuesta a una muestra de usuarios del Valle de Toluca. Los resultados mostraron que los usuarios dispuestos a pagar, son más del 50%, con cantidades que oscilan entre 30 y 80 pesos mensuales, sin embargo un sector que no están dispuestos a contribuir, pero que realizarían acciones enfocadas al cuidado del medio ambiente.

#### 4. CONCLUSIONES

El desarrollo de la parte baja de la Cuenca del Río Guayalejo depende en gran medida de los escurrimientos de agua generados en la Reserva de la Biosfera El Cielo, por lo que es necesario la retribución económica para el uso de agua para agricultura, uso potable e industrial, para la restauración de sitios susceptibles a tener problemas de captación de agua.

#### 5. BIBLIOGRAFÍA

- BARRANTES, G. & CASTRO, E. (1999): *Estructura tarifa hídrica ambientalmente ajustada: internalización del valor de variables ambientales. Heredia, Costa Rica.* Empresa de Servicios Públicos de Heredia S.A. 102 pp.
- BARZEV, R. (2001): "Aporte de los Bienes y Servicios Ambientales a la Economía de Nicaragua". *Estudio específico de la Estrategia Nacional de Biodiversidad PNUD.*

- BRUNETT, E., BARÓ, J. E. & ESTELLER, V. M. (2011): “Pago por servicios ambientales hidrológicos: caso de estudio Parque Nacional del Nevado de Toluca, México” *Ciencia ergo sum*, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México. Volumen 17, Número 3, pp. 286-294.
- CASTRO, E. & SALAZAR, S. (2000): *Valor económico del servicio ambiental hídrico a la salida del bosque: Análisis de oferta*. Heredia, Costa Rica. Empresa de Servicios Públicos de Heredia S.A. 28 pp.
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, (C.N.A) (1996): “Programa Hidráulico de Gran Visión”. 1996 Gerencia Regional. Comisión Nacional del Agua. Cd. Victoria Tamaulipas, México.
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, (C.N.A) (2006): *Subgerencia de operación de Distritos de Riegos*. Comisión Nacional del Agua. Cd. Victoria Tamaulipas, México.
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, (C.N.A): (2009). “Balance Hidrológico de la Cuenca del Guayalejo”. *Informe técnico Gerencia Regional Comisión Nacional del Agua*. Cd. Victoria Tamaulipas, México.
- CORDERO, D. (2001): “Implementación de un esquema de cobro y pago por servicio ambiental hídrico: Caso de la Empresa de Servicios Públicos de Heredia S. A.”. II *Foro Regional Pago por Servicios Ambientales (Montelimar, Nicaragua) Memorias*. Presentado en el Foro.
- DE GROOT, R. S., MATTHEW, A. WILSON & BOUMANS, R. M. J. (2002): “A typology for the classification, description, and valuation of ecosystem functions, goods and services”. *Ecological Economics*. Vol. 41, pp. 393-408.
- JACOBS, H. M. (2008): *Designing pro-poor rewards for ecosystem services: lessons from the United States*. United States Agency. International Development.
- LOCATELLI, B. & VIGNOLA, R. M. (2010): “Watershed services of tropical forests and plantations: Can meta-analyses help”. *Forest Ecology And Management*. Volumen 258, Número 9, pp. 1864-1870.
- MARTÍNEZ, M. L. PÉREZ, M. O. VÁZQUEZ, G., CASTILLO, C. G., GARCÍA, F. J., KLAUS, M. M. E, EQUIHUA, M. & LANDGRAVE, R. (2009): “Effects of land use change on biodiversity and ecosystem services in tropical montane cloud forests of Mexico”. *Forest Ecology And Management*. Volumen 258, Número 9, pp. 1856-1863
- MUÑOZ, P. C., GUEVARA, A., TORRES, J.M. & BRAÑA, J. (2008): “Paying for the hydrological services of Mexico’s forests: *Analysis, negotiations and results*”. *Ecological Economics*. Volumen 65, Número 4, pp. 725-736.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO) (2004): *Sistemas de pago por servicios ambientales en cuencas hidrográficas*. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe Santiago, Chile, Arequipa Perú, pp. 2-12.
- PAGIOLA, S., BISHOP, J. & NATASHA, L. M. N. (2003): *La venta de servicios ambientales forestales*. Instituto Nacional de Ecología, México, 459 pp.
- SILVA, F. R., PEREZ, V. G. & NAVAR, C. J. (2010): “Economic valuation of the hydrological environmental services in El Salto, Pueblo Nuevo, Durango”. *Madera y Bosques*. Volumen 16, Número 1, pp. 29-47.

- SOUTHGATE, D. & WUNDER, S. (2007): "Paying for Watershed Services in Latin America. A Review of Current Initiatives". *Office of International Research, Education, and Development. Working Paper No. 07-07*. Office of International Research, Education, and Development (OIRE), Virginia Tech.
- WIEDENFELD, R. P. (2004): "Water stress during different sugarcane growth periods on yield and response to N fertilization Agricultural Water Management". *Agricultura. Water Management* Volumen 43, Número 2, pp. 173-182.
- WIEDENFELD, B. & ENCISO, J. (2008): "Sugarcane Responses to Irrigation and Nitrogen in Semiarid South Texas". *Agronomy Journal* Vol. 100, Núm. 3, pp. 650-670.
- WIEDENFELD, B. & ENCISO, J. (2004): "Sugarcane Irrigation in South Texas - A Review" Texas A&M University Research & Extension Center, *Weslaco Subtropical Plant Science*, Volumen 56, Número 52 -55.