

# “Tratamiento De Las Aguas Residuales Del Ingenio Casasano En Un Humedal De Flujo Intermitente”

Cisneros, E, Olga X.<sup>1</sup>, Rivas, H. Armando <sup>1</sup>, Díaz, M. José, A<sup>1</sup>, Castanedo, G, Vladimir, L

<sup>1</sup> Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac No. 8533, Colonia Progreso, Jiutepec, Morelos, México. C.P. 62550. Tel. (777) 3-29-36-59, [xochitl@tlaloc.imta.mx](mailto:xochitl@tlaloc.imta.mx)

## RESUMEN

En México, la utilización de aguas residuales para riego agrícola se remonta a principios del siglo XIX, a partir de entonces, su uso se ha extendido como consecuencia de una mayor oferta. México tiene legislación referente a la regulación de las descargas de aguas residuales, entre la que destaca la Ley Federal de Derechos (Art. 278) y la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-96, las cuales fijan límites a los contaminantes vertidos en las descargas de aguas residuales según el tipo de cuerpo receptor, entre los que se encuentran los suelos agrícolas.

Los objetivos del proyecto fueron: evaluar la capacidad de remoción de sólidos suspendidos totales y demanda química de oxígeno de los suelos agrícolas regados con las aguas residuales del Ingenio Casasano; evaluar la dinámica y calidad de las aguas freáticas en el área de estudio; diseñar y evaluar el sistema de riego superficial para minimizar los escurrimientos superficiales y la percolación profunda; diseñar, construir y evaluar el funcionamiento de un prototipo experimental de humedal artificial de flujo intermitente. Los resultados en general mostraron que no existe riesgo de contaminación en la zona de proyecto por el uso de las aguas residuales en el riego agrícola, hacia los acuíferos profundos.

**Palabras clave:** riego agrícola, aguas residuales, humedal

## INTRODUCCIÓN

El Fideicomiso Ingenio Casasano se ubica, a una distancia de 7 km al poniente de la Ciudad de Cuautla, Morelos, en el poblado de Casasano. Sus coordenadas geográficas son: 18°51' latitud norte y 98°58' longitud oeste.

El área de proyecto la integra una superficie de 259 ha, de las cuáles 155 ha son cultivadas con caña de azúcar, donde son aprovechadas las aguas residuales del ingenio en combinación con las aguas del canal Casasano el Grande para el riego.

En la zona de proyecto, los cuerpos receptores donde vierten las aguas residuales del ingenio, son suelos agrícolas con riego y se clasifican como de “tipo A” (Según el Artículo 278-A de la LFD, 2010) y forman parte del Distrito de Riego 016 “Estado de Morelos” específicamente pertenecen al Módulo de Riego 08 “General Eufemio Zapata Salazar” A.C., y se conforman con tierras pertenecientes a los ejidos Casasano, Cuautlixco y Tetelcingo, así como de tierras pertenecientes a la pequeña propiedad de Casasano.

Desde 1942 los terrenos agrícolas sembrados con caña de azúcar de la zona de proyecto han sido regados con la mezcla del agua proveniente del manantial las tazas que es conducida por el canal Casasano el Grande y el agua de las descargas del ingenio azucarero, desde entonces el sistema agua-suelo-planta de la zona, ha estado interactuando como un sistema de “Humedal de flujo intermitente” estimándose que por más de medio siglo el mismo funciona adecuadamente para remover contaminantes, presentes en el agua de riego.

Existe la hipótesis de contaminación de acuíferos en la zona, que de probarse, se estima que los únicos factores que podrían estar relacionados a éstos riesgos, podrían provenir de los lixiviados del riego o de los fertilizantes y/o de las descargas de tipo municipal y agroindustrial que se registren en la zona.

## OBJETIVOS

- Evaluar la capacidad de remoción de sólidos suspendidos totales y demanda química de oxígeno de los suelos agrícolas regados con las aguas residuales del Ingenio Casasano.
- Evaluar la dinámica y calidad de las aguas freáticas en el área de estudio.
- Diseñar, construir y evaluar el funcionamiento de un prototipo experimental de humedal artificial de flujo intermitente.
- Diseñar y evaluar el sistema de riego superficial para minimizar los escurrimientos superficiales y la percolación profunda.

## METODOLOGÍA

Se llevaron a cabo distintas actividades, entre ellas: Muestreos de 24 horas para determinar la calidad del agua en las descargas del ingenio; Muestreos puntuales del agua de riego en los canales principales de conducción y distribución de la zona de estudio y se analizaron con base en los parámetros de la NOM-001-SEMARNAT-96 y considerando los criterios agronómicos del manual 29 de FAO (Ayers, 1985) ; muestreo de suelos y pruebas de infiltración en parcelas seleccionadas; también se instaló una red de pozos de observación de niveles freáticos distribuidos en toda la zona; y se instalaron cápsulas porosas en parcelas seleccionadas.

Se diseñó, construyó y evaluó el funcionamiento de un prototipo experimental de tratamiento en un humedal artificial de flujo intermitente, en una parcela seleccionada. También se llevó a cabo un estudio topográfico y finalmente se elaboró un diseño de riego para eficientar el uso del agua de riego disponible en la zona de proyecto.

## RESULTADOS

### Calidad fisicoquímica del agua residual de las descargas del ingenio

El Ingenio Azucarero Casasano posee dos descargas de aguas residuales, por lo cual para poder determinar su calidad fisicoquímica y bacteriológica, se realizaron 3 muestreos de 24 horas en el período enero-abril de 2010 (Cuadro 1). En cada muestreo se colectaron 6 muestras puntuales de las cuáles se generó una muestra compuesta en cada descarga, éstas se analizaron con base en los límites que marca la NOM-001-SEMARNAT-96 y en el análisis de resultados también se consideraron los criterios agronómicos que marca el manual 29 de FAO.

Cuadro 1. Calidad del agua de las descargas de aguas residuales del Ingenio.

Promedio de 3 muestreos de 24 hrs	Sitios	Grasas y *aceites (mg/L)	pH	Temp °C	C.E. (dS/m)	Gasto (L/seg)	SST (mg/L)	S.Sed (mg/L)	P-Total (mg/L)	DQO (mgO <sub>2</sub> /L)
	Descarga 1	23	6.20	30.5	0.95	7.26	810	2.75	6.36	3579
	Descarga 2	38	6.32	49.3	1.18	19.70	1249	2.00	4.35	3770

\*Se usan productos biodegradables.

Encontrándose que se trata de aguas típicas de la agroindustria azucarera, cuyas principales limitantes en cuanto a contaminantes básicos para su reuso son los SST, la DQO y las grasas y aceites que se encontraron fuera de norma, sin embargo son aptas para riego agrícola restringido, es decir se pueden usar en riego de cultivos agroindustriales (como es el caso de la caña), con un sistema de riego por gravedad derivado de la gran cantidad de sólidos suspendidos totales y materia orgánica que contienen, y sujeto a un diseño de riego que eviten percolaciones profundas o sobrierigos.

También se analizaron metales pesados y cianuros (Cuadro 2), encontrándose que estas aguas no poseen problemas por éstos contaminantes.

Cuadro 2. Caracterización por metales pesados y cianuros de las aguas residuales del ingenio.

Fechas de muestreos	Sitios	As (mg/L)	Cd (mg/L)	Cu (mg/L)	Cr (mg/L)	Hg (mg/L)	Ni (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)	Cianuros (mg/L)
26-27/01/2010	Descarga 1	0.0121	<0.02	0.163	<0.05	<0.0005	0.054	0.105	<0.10	<0.020
11-12/02/2010	Descarga 1	<0.005	<0.02	0.173	<0.05	0.0007	<0.05	0.108	0.092	<0.020
15-16/04/2010	Descarga 1	0.0077	<0.02	0.469	<0.05	<0.0005	0.058	<0.10	0.104	<0.020
26-27/01/2010	Descarga 2	0.0101	<0.02	0.622	<0.05	<0.0005	0.054	0.34	0.121	<0.020
11-12/02/2010	Descarga 2	0.0152	<0.02	0.252	<0.05	<0.0005	<0.05	0.166	0.078	<0.020
15-16/04/2010	Descarga 2	0.0081	<0.02	0.22	<0.05	<0.0005	<0.05	<0.10	0.188	<0.020

### Calidad Físicoquímica y bacteriológica del agua de riego

Para determinar la calidad físicoquímica y bacteriológica que se usa en el riego de la caña, dentro del área de influencia del Ingenio, se tomaron muestras puntuales mensuales en la primera compuerta de derivación del agua de riego de la zona de estudio (Cuadro 2), donde se observa que la calidad del agua por parámetros como los SST y la DQO se mejora notablemente, estimándose que ésto es producto de la práctica que los usuarios del riego realizan al mezclar en éste punto las aguas residuales del ingenio y las provenientes del manantial las tazas, antes de distribuir las por la red secundaria de canales y aplicarla en el riego de la caña de azúcar. En el aspecto bacteriológico no se encontraron huevos de helmintos y sólo los coliformes fecales se encontraron fuera de norma, sin embargo siguen siendo aptas para riego agrícola restringido (es decir usadas para regar cultivos agroindustriales), confirmándose por sus características que deben ser usadas en riego por gravedad con un adecuado diseño de riego.

Cuadro 2. Calidad físicoquímica y bacteriológica del agua de riego.

Fechas de muestreos	Grasas y aceites (mg/l)	pH	Temp °C	C.E. (dS/m)	SST (mg/l)	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	DQO (mgO <sub>2</sub> /l)	C.F. (NMP/100ml)	H.H Num. huevos / 5 l
16/03/2010	9.58	6.43	22.57	0.40	257	254	280	9.30x10 <sup>5</sup>	0
15/04/2010	10	6.03	21.88	0.45	56.4	200	1,194	4.30x10 <sup>6</sup>	0
12/05/2010	>4	6.50	23.2	0.46	180	780	1,262	3.90 x 10 <sup>5</sup>	0
<b>Prom</b>	9.79	6.32	22.55	0.44	164	411	912		0

### Calidad de los suelos del área de estudio

Los estudios de los suelos de la zona de proyecto indicaron que son suelos arcillo-limosos y franco-arcillo-limosos, que presentan una capa arable que va de 20 a 30 cm. Y que entre los 70 y 80 cm se encuentra un horizonte calcáreo compacto, con pedregocidad moderada y pedazos abundantes de tepalcates. Las pruebas de infiltración (Foto 1) para determinar la conductividad hidráulica del suelo permitieron establecer que se trata de suelos con permeabilidad lenta. Del análisis de capacidad de intercambio cationico se determinó que son suelos con buena capacidad de retención de cationes. Y del análisis de conductividad eléctrica y RAS, se estableció que son suelos sin problemas de salinidad. La concentración de materia orgánica osciló en un rango de 4.3 a 4.7% en los primeros 70 cm, por lo que se consideran suelos medianamente ricos en materia orgánica de fácil descomposición. Las muestras tomadas también indican que son suelos con contenidos de

alto a medio en calcio, alto en magnesio y bajos en sodio por lo que no presentan riesgos de sodificación. Por lo que en general no presentan problemas por el riego con aguas residuales.

Los resultados de las muestras de suelo que se tomaron en la zona de proyecto a 2 profundidades (0-70 y 70-130 cm) indicaron que existe una correlación entre el contenido de humedad de los suelos y la presencia de bacterias coliformes fecales, donde a mayor humedad mayor presencia de éstas (Cuadro 3). Sin embargo dado que para la cosecha de la caña, se suspenden los riegos 2 meses antes, el contenido de humedad en el suelo baja lo suficiente para que los coliformes fecales mueran por desecación. Por lo que no existe riesgo por patógenos para los trabajadores que participan en la zafra de la caña.



Foto 1. Prueba de infiltración en parcela seleccionada

Cuadro 3. Calidad bacteriológica de los suelos.

Prof. 0-70 cm	% de humedad	C.F (NMP/gr)	Prof.70-130 cm	% de humedad	C.F (NMP/gr)
1er Muestreo	16.98	9.84E+02	1er Muestreo	20.312	1.01E+04
2do Muestreo	16.76	3.39E+02	2do Muestreo	16.766	2.00E+00
Promedio	16.87	6.62E+02	Promedio	18.539	5.06E+03

## RED DE POZOS DE OBSERVACIÓN DE NIVELES FREÁTICOS

Se estableció una red de 13 pozos de observación en la zona de estudio con una profundidad máxima de 2 metros (Figura 1). Además, se colocaron 3 baterías de cápsulas porosas a una profundidad entre 1.10 y 1.70 metros en parcelas seleccionadas, con el objetivo de obtener muestras de la solución del suelo y determinar su calidad. En el período enero-mayo de 2010 que corresponde a la época de estiaje (secas), donde se registra la mayor demanda de agua de riego, se llevó a cabo el estudio de la dinámica y calidad de las aguas freáticas, mediante la revisión de los pozos instalados para la observación de los niveles freáticos y la revisión de las cápsulas porosas, no encontrándose en época de estiaje presencia de niveles freáticos someros, lo que indica

claramente que no existe una penetración profunda del agua de riego que pueda lixiviar contaminantes que puedan afectar los mantos acuíferos profundos. Además las baterías de cápsulas porosas, instaladas a profundidades entre 1.10 y 1.70 m., tampoco absorbieron el agua producto de los riegos en la época de estiaje, dada la baja permeabilidad de los suelos, lo que hace nula la hipótesis de que existen riesgos de contaminación de los acuíferos subterráneos en la zona por el riego con aguas residuales.



Figura 1. Red de pozos de observación en la zona de estudio

### **Prototipo experimental de tratamiento en un humedal artificial de flujo intermitente**

Una parte muy importante del desarrollo del proyecto fue la evaluación del prototipo de humedal, construido en la zona de proyecto dentro del campo el Huérfano, en un espacio de 10x10m a una profundidad de 1.20m. Donde fue colocada una geomembrana, sobre la que se colocaron tres parrillas de tubería ranurada a diferentes profundidades. Estas tuberías funcionaron como el sistema de drenaje de la parcela, con salidas para las descargas, donde posteriormente se tomarían las muestras de agua. Cada parrilla de tubería fue cubierta con una capa de tierra. Posteriormente, se regó y se sembró caña, tratando de reproducir lo más fielmente posible las condiciones reales del sistema suelo-planta-agua existentes en la zona de proyecto.



Foto 2. Construcción del prototipo de Humedal

Una vez funcionando el humedal, se tomaron muestras de agua de los lixiviados en cada una de las descargas, obteniéndose reducciones de Grasas y aceites de entre el 41 y el 68%, de Sólidos Suspendedos Totales de entre el 11 y el 69% y de DQO del 75 % sólo en la descarga 3 (Figuras 2, 3 y 4). En general se

observa una tendencia decreciente en la remoción de contaminantes conforme aumenta la profundidad del suelo, lo que refuerza la premisa de que el sistema suelo- planta, constituyen un medio eficiente en la remoción de contaminantes presentes en aguas residuales.

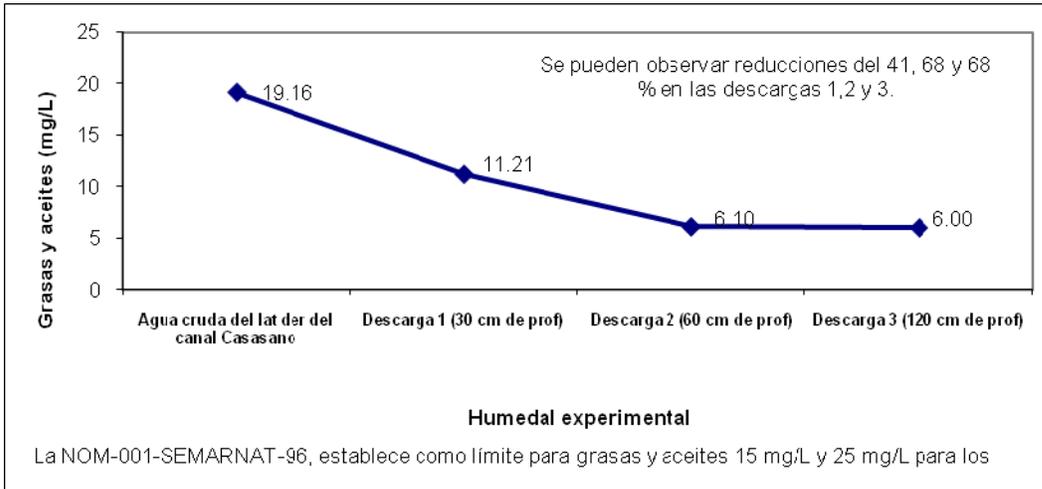


Figura 2. Comparativo de grasas y aceites en muestras de agua del humedal experimental

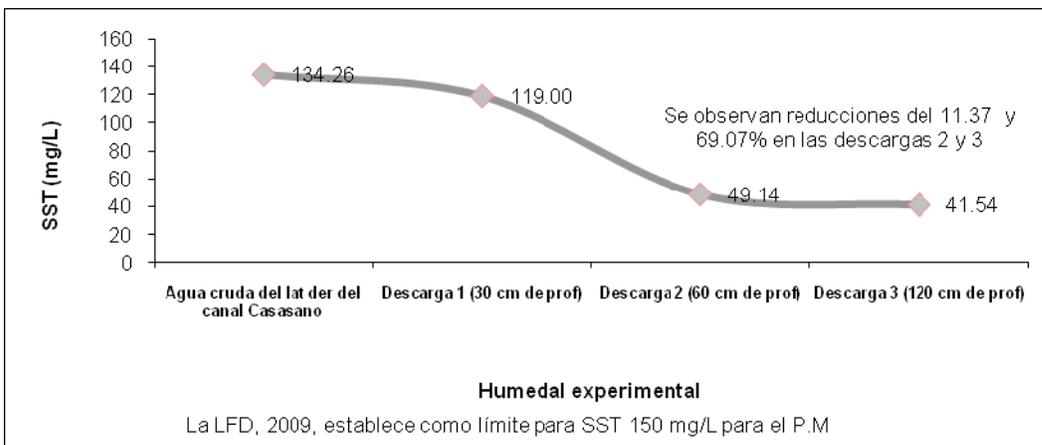


Figura 3. Comparativo de Sólidos Suspendidos Totales en muestras de agua del humedal experimental

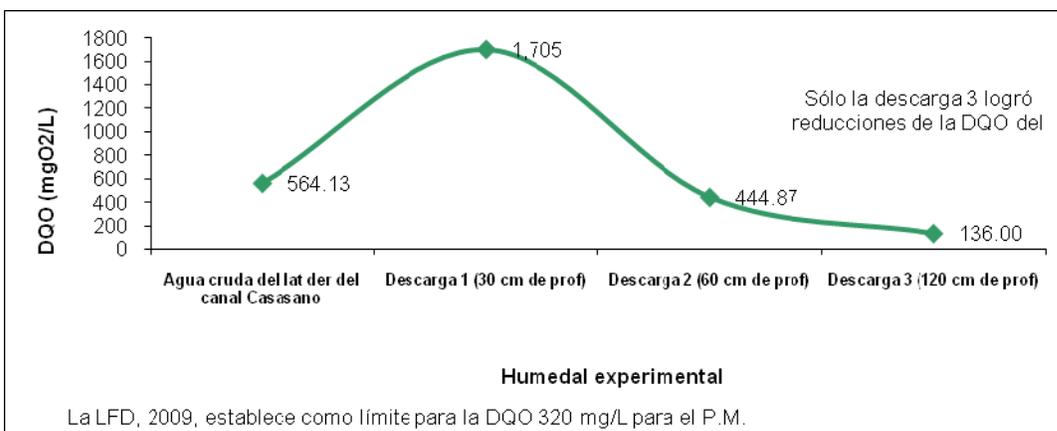


Figura 4. Comparativo de Demanda Química de Oxígeno en muestras de agua del humedal experimental

## **ESTUDIO TOPOGRÁFICO**

El estudio topográfico en la zona de estudio se apoyó en la cartografía de INEGI, que consta de fotografías aéreas escala 1:75,000 de Noviembre de 1995 que tienen una proyección Universal Transversa de Mercator (UTM), con un Datum ITRF92 y un Elipsoide GRS 80, tomando además las poligonales de los campos principales que corresponden al propio sistema de Información Geográfica del Ingenio y para actualizar la información a 2010, se levanto un estudio topográfico que consistió en un sistema de poligonales cerrados, levantados con estación total, obteniéndose 2 planos con curvas de nivel cada 20 y cada 50 cm.

## **DISEÑO DE RIEGO**

Tomando como base el estudio topográfico y los parámetros de un sistema de riego por superficie y de caudal por surco, los datos de infiltración de agua en el suelo, la caracterización del agua de riego y los requerimientos de la caña de azúcar en sus distintas etapas fenológicas, utilizando el modelo Cropwat (Smith, 1992), entre otros datos se procedió a realizar el Diseño del Riego utilizando el programa RIGRAV (IMTA, 1997), con el cual se calcularon los gastos de riego por cada campo que integra la zona de influencia del ingenio cañero. Adicionalmente al diseño de riego, se recomendó el uso de sifones en la aplicación del agua a nivel parcelario, para un mejor manejo del gasto de riego en cada surco. Y también se recomendó que los surcos sean cerrados al final de la parcela, lo que garantiza que no se produzcan escurrimientos.

## **MONITOREO DE POZOS PROFUNDOS**

A fin de corroborar que no existe infiltración de lixiviación del riego hacia acuíferos subterráneos, también se monitoreó la calidad del agua de 2 pozos profundos de riego que se ubican en la zona de estudio, encontrándose que son aguas limpias, sin rastros de contaminación inducida por el riego con aguas residuales en la caña de azúcar.

## **CONCLUSIONES**

Los resultados obtenidos indicaron que durante el período enero-mayo (estiaje) y que corresponde a la época de mayor demanda de riego, no se registraron niveles freáticos a una profundidad promedio de 2 metros. La percolación del agua fue prácticamente nula, lo que indica que no existe infiltración de lixiviados, por lo que no existe riesgo de contaminación de los acuíferos profundos de la zona de estudio por el uso de las aguas residuales en el riego agrícola.

Los resultados obtenidos de los muestreos indican que el sistema agua-suelo-planta de la zona de proyecto funciona como un humedal de flujo intermitente, natural muy eficiente en la remoción de contaminantes encontrados en el agua de riego.

## **REFERENCIAS**

Ayers, R. S., and Westcott. 1985. Water quality for agriculture. FAO. Irrig. And Drain. Paper 29, Rev. 1.

Cisneros, E. Olga X., Mendoza, Z. Felipe, González, M. Jorge, Pulido M. Leonardo, Díaz, M. José A. 2008. Diagnóstico del uso de las aguas residuales en la agricultura en México. IMTA-SEMARNAT.

NOM-001-SEMARNAT-96 Límites máximos permisibles de Contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación, de fecha 06 de enero de 1997. Y aclaración en D.O.F de fecha 30 de abril de 1997.

IMTA, 1997. Manual para diseño de zonas de riego pequeñas. Capítulo 1.5 Diseño de Riego por gravedad. El diseño con el programa RIGRAV. Pág. 82-88.

Ley Federal de Derechos 2010. Últimas Reformas. Diario Oficial de la Federación, de fecha 18 de Noviembre del 2010.

Smith, M. 1992. CROPWAT- A Computer Program for Irrigation Planning and Management. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 46. Rome: Food and Agriculture Organization.