

INFORME FINAL DE PROYECTO

PRESENTADO POR

SONORAN INSTITUTE

TAA10-043

Frontera 2012 R9 (08) PID: 20152

Junio 12, 2012

I **Título del Proyecto:**

Creación del Humedal de Tratamiento Las Arenitas: mejor agua para el medio ambiente y re-uso en Mexicali, B.C.

II **Fecha de inicio**

01 de junio de 2010

Duración total del Proyecto (meses)

20 meses

III **Período de informe**

01 de junio de 2010 al 15 de febrero del 2012

Porcentaje del total del Proyecto

100%

Nombre del responsable del proyecto:

Dr. Francisco Zamora Arroyo

Director del programa del Delta del Rio Colorado

Fzamora@sonoraninstitute.org

44 E. Broadway Blvd. Suite 350

Tucson, Arizona. 85701

520-290-0828 ext. 1137

Resumen Ejecutivo

Introducción

La planta de tratamiento de aguas residuales Las Arenitas, ubicada a la altura del kilómetro 21 de la carretera Mexicali-San Felipe, fue diseñada y certificada para descargar su efluente a un dren agrícola (Dren Dos Tubos). La certificación para su operación requiere que la planta cumpla con los estándares de calidad del agua, para embalses artificiales o naturales y uso del agua en riego agrícola, establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-96. Sin embargo, el hecho de que el dren agrícola al que descarga el agua la planta de tratamiento se convierte en el Río Hardy, donde se realizan actividades recreativas de contacto directo del ser humano con el agua y pesca comercial y deportiva, fue necesario implementar medidas para prevenir afectaciones tanto a la salud humana como a las actividades económicas que se realizan en el río. Ésta necesidad se hizo patente ya que al inicio de su operación, la Planta de tratamiento Las Arenitas tuvo algunos contratiempos en el cumplimiento con la norma de calidad de agua, afectando la calidad del agua en el Río Hardy; los eventos de mortandad de peces y mala apariencia del agua generaron disgusto y reclamos de pescadores, campos turísticos y habitantes de la zona. Lo anterior, aunado a que el efluente de Las Arenitas en el Río Hardy confluye con el Río Colorado y posteriormente a la zona de influencia del mar, incrementa aún más la necesidad de mejorar la calidad de agua del efluente.

En respuesta a esta necesidad en el 2008 el Sonoran Institute y la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali (CESPM), con recursos de la misma CESPM y apoyo de la Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (COCEF), realizaron un estudio para el diseño del humedal artificial de tratamiento cuyo objetivo principal sería mejorar la calidad de agua del efluente. El diseño recomendó la creación de un humedal de 97 hectáreas, divididas en tres celdas que podrían funcionar: - en forma paralela, donde el agua pasa de la Celda 1 a la 2 y luego a la 3, o - en forma independiente una de la otra durante alguna emergencia que se presente o durante actividades de mantenimiento regular del sistema.

Es así que nace el proyecto de la creación del Humedal Artificial de Tratamiento Las Arenitas. La meta del proyecto del Humedal de Tratamiento Las Arenitas es mejorar la calidad del agua del efluente de la planta de tratamiento que llega al Río Hardy y sin afectar al ser humano ni las actividades económicas y sociales que se realizan en el río. De igual forma que no afecte negativamente a la fauna y flora y que permita incrementar la confianza en el re-uso del agua en actividades agrícolas y para el uso ecológico. Específicamente el humedal de tratamiento fue diseñado para que el efluente cumpla con los estándares de calidad establecidos para el uso público (NOM-003-SEMARNAT-97), antes de ser entubada y descargar al dren Dos Tubos.

Para contribuir a esta meta, el proyecto (TAA10-043) se enfocó en la construcción de la Celda 3, planteándose los siguientes objetivos específicos:

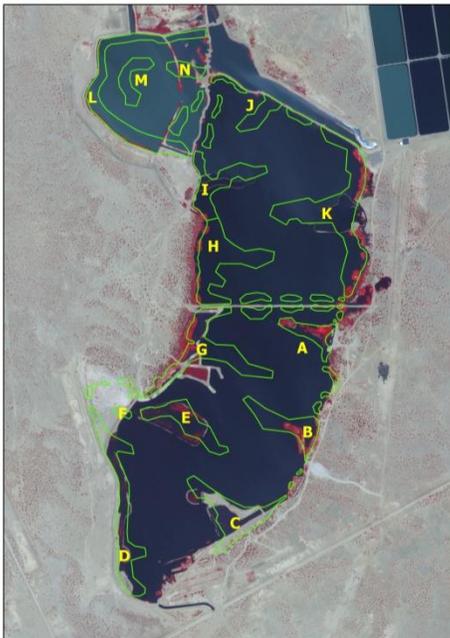
1. Construir la Celda 3 del humedal de tratamiento que consta de 50 hectáreas (13 de tule y 37 de lagunas)

2. Documentar la eficiencia de los humedales artificiales como un método para la mejora de la calidad del agua de aguas residuales
3. Promover el uso de humedales como un método de tratamiento de aguas residuales.

Desde su origen el proyecto fue un esfuerzo conjunto entre el Sonoran Institute, la Comisión de Servicios Públicos de Mexicali (CESPM) y Pronatura Noroeste. Posteriormente se unió a esta iniciativa la Secretaría de Protección al Ambiente del Estado de Baja California (SPA).

Resultados

Como se planteó originalmente en la propuesta aprobada por COCEF, los trabajos de construcción del humedal se enfocaron en la Celda 3. De las seis camas de tule a construir, cuatro de ellas fueron terminadas de acuerdo el diseño, totalizando una área de 3.67 hectáreas. Las otras dos camas quedaron al 54% y 35% de avance respectivamente (con un área de 1.26 hectáreas). De tal forma que de las 13 has de plantación de tule propuestas en el diseño de la Celda 3, se concluyeron 4.93 hectáreas y 1.59 están por terminarse. Adicionalmente, y gracias a los recursos gestionados por la Secretaría de Protección al Ambiente de Baja California, se inició la construcción de dos camas más en la Celda 2 que hacen un total, en superficie, de 1.69 hectáreas. Así, el total de camas de tule ya establecidas es un total de 6.52 hectáreas. Si a esta cantidad adicionamos el área cubierta con tule que se ha establecido a las orillas del humedal, en total se cuenta con 8.3 hectáreas de tule en todo el humedal.



Las razones por las cuales no se plantó el área de tule esperada fueron: - el alto costo en la construcción de las camas donde se plantaría el tule, - algunas zonas en las que se planeaba plantar tule fueron eliminadas conforme se fue modificando el diseño durante la construcción del humedal o - por la necesidad de promover un mejor flujo del agua en el humedal, lo que llevó a crear algunos canales libres de vegetación; sobre todo en la base de las camas. En la imagen a la izquierda se observan las camas de tule de acuerdo al diseño (línea verde) y los trabajos que se realizaron a mayo de 2012.

La plantación de tule en la Celda 3 se realizó en todas las camas durante el 2011, estableciéndose y extendiéndose exitosamente. En las dos camas de la celda 2 el tule se plantó a finales del 2011 y principios del 2012, éste se

encuentra en proceso de establecerse. Con los fondos de la SPA también se realizó el reforzamiento de bordos y se construyeron las

15 compuertas de conexión de agua en las tres celdas del humedal, así como el canal y la compuerta de salida del efluente.

El monitoreo de calidad de agua se realizó de forma más intensiva a lo previsto. Se llevaron a cabo 10 muestreos de agua por parte de un laboratorio acreditado. Los resultados de estos análisis indican que el humedal, a pesar de no estar terminado, está mejorando la calidad del agua proveniente de la planta de tratamiento. Las concentraciones de los diferentes parámetros de calidad de agua son notablemente menores en el agua de salida del humedal que en el efluente que entra al mismo, desde la planta de tratamiento. En este sentido las concentraciones de varios de los parámetros se encuentran cerca de cumplir con los límites establecidos por la norma NOM-003-SEMARNAT-97. Lo anterior permite suponer que, una vez que el humedal se termine de construir y las tres celdas estén funcionando, se alcanzará el objetivo del proyecto que es cumplir con los estándares establecidos en la NOM-003-SEMARNAT-97.

Las actividades de monitoreo también incluyen el monitoreo de aves, registrándose a la fecha 145 especies de aves, entre acuáticas y terrestres incluyendo el palmoteador de Yuma, una especie en peligro de extinción.

Con respecto a la inversión para la construcción del humedal, en la propuesta presentada a COCEF el monto total del proyecto fue de \$640,090 dólares. Las contribuciones por institución fueron las siguientes: \$99,294 dólares en efectivo de COCEF, \$88,409 en efectivo de NAWCA, \$123,690 dólares (\$1,717,286) en especie por parte de CESPМ y \$914,140 dólares (\$12,706,539 pesos) en efectivo de SPA. De la contribución en efectivo por parte de SPA, \$184,090 dólares fueron implementados a través de dos contratos con SI. El resto se aplicaron directamente por SPA, para la construcción del humedal. Al terminar esta fase del proyecto, los fondos totales recibidos fueron de \$1,225,533 dólares, rebasando considerablemente los fondos de contraparte requeridos en el acuerdo con COCEF.

En lo que respecta a fomentar el conocimiento y uso de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales, las actividades de difusión han permitido que el proyecto del humedal Las Arenitas haya sido conocido a través de una presentación y/o visitado por más de 1,500 personas entre los que se incluye a: alumnos y maestros de escuelas secundarias, preparatorias y universidades, personal de dependencias de gobierno a nivel Estatal y Federal de México y representantes de organizaciones de Estados Unidos. Por su parte la CESPМ también ha realizado actividades de difusión, incluyendo visitas al humedal y la creación de un documental sobre Las Arenitas.

IV Actividades del proyecto

Gracias a que los fondos de contraparte fueron considerablemente mayores a los requeridos en el convenio original, pudimos trabajar en colaboración con CESPМ, SPA y Pronatura Noroeste en varios aspectos de la construcción del humedal, algunos de ellos no estaban incluidos en el convenio original con COCEF. Es decir, que las actividades realizadas no se limitaron a la construcción y plantación de tule en la Celda 3 y al monitoreo de calidad del agua, sino que

incluyó iniciar con la construcción y plantación de tule en la Celda 2, reforzar los bordos e instalación de compuertas de conexión de agua entre las celdas y/o canales.

En esta sección, a manera de resumen se enlistan por concepto las actividades realizadas durante el período del proyecto. En la sección siguiente se describe con detalle cada una de estas actividades y los resultados.

A. Formación de camas de tule: acarreo y distribución de material.

El movimiento de tierra y formación de las camas en la Celda 3 y Celda 2 estuvo a cargo de CESPМ y SPA respectivamente, aplicando ellos mismos los fondos de contraparte. Para estas dos celdas el diseño original del humedal propone construir diez camas de tule: seis en la celda tres y cuatro en la Celda 2. A continuación se presenta un resumen de los avances que se tienen a la fecha de este reporte. El porcentaje de avance en la construcción de las camas se basa en los límites de las camas marcados en campo durante su construcción. En general las camas quedaron más chicas a lo definido en el diseño original del humedal debido al alto costo de construcción o por que porciones fueron eliminadas por otras razones.

Celda 3

Camas A: construcción concluida

Camas B: su construcción se concluyó en la fase anterior del proyecto

Camas C: concluida en un 55%, ya que no toda la cama cuenta con el nivel adecuado para la plantación de tule

Camas D: construcción concluida al 95% una porción no tiene el nivel requerido para la plantación de tule

Camas E: construcción concluida

Camas G: construcción concluida al 35%

Celda 2

Camas H: aún no se inician los trabajos de construcción

Camas I: construcción concluida

Camas J: aún no se inician los trabajos de construcción

Camas K: construcción concluida

B. Construcción de bordos entre celdas y estructuras de conexión de agua

Los fondos de contraparte gestionados por la CESPМ y SPA les permitieron construir y reforzar los bordos que delimitan el humedal y los que dividen el humedal en las tres celdas propuestas en el diseño. En total se construyeron 15 compuertas de conexión del agua, dos

bordos al sur y Suroeste de la Celda 3 así como un nuevo canal y compuerta de salida del agua. Todo esto se hizo con el objetivo de promover un flujo más uniforme del agua en su recorrido por el humedal, lo que es una prioridad desde el punto de vista de la hidrodinámica del humedal.

C. Plantación de tule y vegetación riparia

La plantación de tule se realizó por el Sonoran Institute, una vez que las camas fueron formadas y niveladas al nivel óptimo de diseño por parte de la CESPM y SPA. La vegetación riparia se plantó exclusivamente en lugares cercanos a la orilla del humedal donde no requería ser regada.

Celda 3

Camas A: tule establecido en el 100% del área y con altura de más de 2 metros

Camas B: tule establecido en el 100% del área y con altura de más de 2 metros

Camas C: tule plantado en 55% del área y con altura de 1.2 metros

Camas D: tule establecido en el 100% del área y con altura de más de 2 metros

Camas E: tule establecido en el 100% del área y con altura de más de 2 metros

Camas G: tule plantado en 10% del área y con altura de 1.2 metros

Además de la plantación de tule, se plantaron aproximadamente 50 árboles de álamos y sauces en las orillas del humedal.

Celda 2

Camas H: aún no se planta pues la cama no está construida

Camas I: tule plantado en 100% del área y con altura de 1.2 metros

Camas J: aún no se planta pues la cama no está construida

Camas K: tule plantado en 100% del área y con altura de 1.2 metros

D. Actividades de monitoreo de calidad de agua y vida silvestre

Como se planteó en el proyecto original, las actividades de monitoreo se enfocaron inicialmente en la calidad del agua y en la vida silvestre, principalmente aves. La disponibilidad de fondos de contraparte adicionales a los requeridos permitieron iniciar el monitoreo de la hidrología del humedal.

1. Calidad del agua
 - i. Línea base del proyecto
 - ii. Plan de control de calidad

- iii. Medición continua de pH, temperatura, oxígeno disuelto y conductividad específica (septiembre de 2011 – diciembre de 2011)
- iv. Monitoreo mensual de calidad del agua con muestras compuestas y simples por parte de un laboratorio acreditado (febrero de 2011-diciembre de 2011)

A pesar de que el humedal no está terminado aún, la información obtenida de la calidad del agua nos ha permitido hacer una evaluación preliminar de la eficiencia del tratamiento por el humedal.

Los resultados indican que el humedal de tratamiento en general, está reduciendo las concentraciones de los parámetros de la calidad del agua y se está acercando a los objetivos de cumplir con los límites establecidos por la NOM-003-SEMARNAT-97.

2. Monitoreo de Vida silvestre

El monitoreo de la vida silvestre se ha enfocado específicamente en aves, nuestro socio Pronatura Noroeste realiza los monitoreos siguiendo los protocolos establecidos en México y Estados Unidos. Asimismo, al estar trabajando de forma continua en el humedal el personal del Sonoran Institute también ha realizado el registro de aves en el mismo.

3. Hidrodinámica del humedal

Este monitoreo se inició más formalmente con los recursos de contraparte aportados por la SPA. Actualmente se está monitoreando y se seguirá monitoreando lo siguiente:

- i. Medición manual de niveles de agua y profundidad en 10 diferentes puntos a lo largo del humedal (octubre de 2011 – febrero de 2012).
- ii. Medición automática de nivel de agua en tres sitios del humedal
- iii. Estudio específico sobre la hidrodinámica del humedal (resultados esperados en julio de 2012)
- iv. Medición de las condiciones meteorológicas en el área del humedal

4. Monitoreo fotográfico

Se han realizado dos tipos de monitoreos fotográficos:

- i. Desde tierra en siete puntos, con una periodicidad mensual en la mayoría de los casos
- ii. Fotografías aéreas de forma semestral y en algunos casos trimestral

E. Difusión del uso de humedales de tratamiento

Se realizaron diversas actividades para dar a conocer a tomadores de decisiones, operadores y manejadores del agua tanto de México como de Estados Unidos y al público en general el proceso de construcción y la importancia del Humedal Las Arenitas como una herramienta natural para el tratamiento del agua residual. Las actividades realizadas incluyen:

- i. Visitas guiadas al humedal para representantes de dependencias de gobierno estatales y federales
- ii. Visitas de escuelas
- iii. Eventos especiales en el humedal
- iv. Atención de solicitudes de información por parte de grupos externos
- v. Instalación de un kiosco informativo en el humedal con 4 posters informativos
- vi. Presentación de fotos e información sobre el humedal en redes sociales como Facebook y en la página web del Sonoran Institute
- vii. Presentaciones sobre el Humedal Las Arenitas en reuniones y conferencias

F. Administración el proyecto

1. Reuniones de coordinación con CESPM y SPA.
2. Preparación de reportes de avances y final.

V Informe de actividades

En esta sección se presenta la información detallada sobre los resultados de cada actividad mencionada anteriormente.

A. Formación de camas de tule: acarreo y distribución de material.

Para fines de este reporte, a los bordos de material pétreo en los que se plantó tule se les llamará camas. Las actividades de acarreo y distribución de material pétreo para la construcción de las camas en las Celda 3, en las que se plantó tule estuvieron a cargo de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali (CESPM). En el caso de la Celda 2 la construcción fué supervisada de manera conjunta entre la CESPM y la Secretaria de Protección al Ambiente (SPA). La construcción de la Celda 3 se realizó en un período de 18 meses, mientras que la construcción de las dos camas de la Celda 2 se realizó en los últimos cuatro meses del proyecto. Tanto la CESPM como la SPA realizaron directamente las licitaciones para la contratación de las tres diferentes compañías que trabajaron en la formación de las camas. Por su parte Sonoran

Institute participó en este proceso indicando la ubicación y tamaño de las camas, los niveles necesarios de profundidad a los que debían quedar de acuerdo a lo establecidos en el diseño original y estuvo siempre disponible para apoyar en cualquier contratiempo o decisión a tomar durante la construcción.

Tomando en cuenta las Celdas 3 y 2, la figura 1 muestra una imagen del humedal antes de iniciar el proyecto (junio, 2010) y otra al finalizarlo (febrero, 2012). La tabla I indica el área de diseño de cada cama, el área plantada o lista para plantación de tule y el área pendiente por terminar para cada cama. La construcción de las camas y otros componentes del proyecto, se basaron en el Plan de Trabajo original, presentado a COCEF. A continuación se describen los resultados de construcción de cada una de las camas.

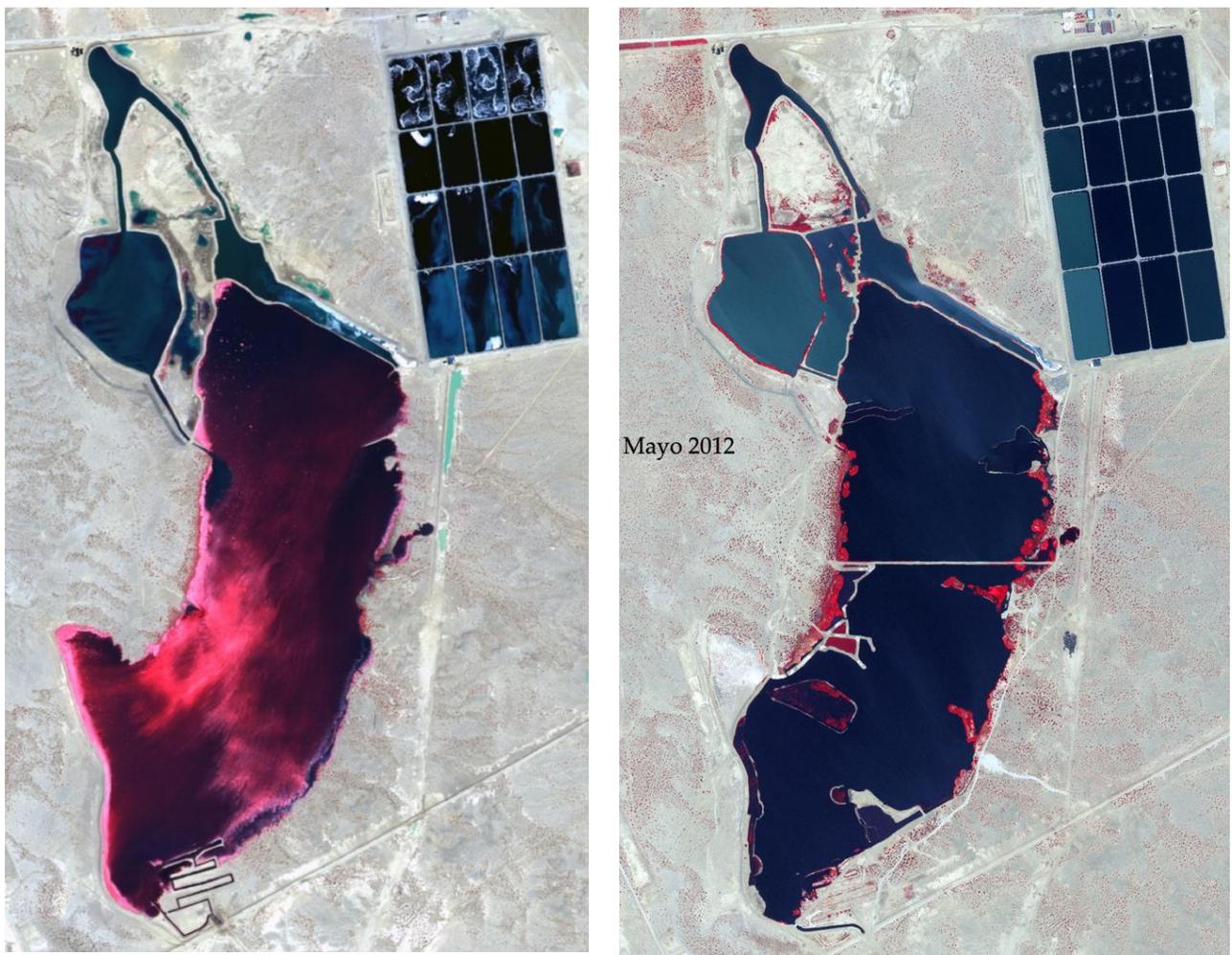


Figura 1. Avances en la construcción de Humedal Las Arenitas a partir del 2008 (izquierda) y hasta mayo del 2012 (derecha).

Tabla I. Extensión de diseño de camas de tule y área ya construida de cada cama.

| Nombre de la cama | Área en diseño original (hectáreas) | Área plantada o lista para plantación de tule (hectáreas) | Área por construir o por reducir a nivel óptimo (hectáreas) | Porcentaje |
|-------------------|-------------------------------------|---|---|------------|
| Celda 3 | | | | |
| Cama A | 0.91 | 0.55 | 0 | 100% |
| Cama B | 1.57 | 0.37 | 0 | 100% |
| Cama C | 2.29 | 0.76 | 0.63 | 55% |
| Cama D | 2.77 | 1,00 | 0.1 | 90% |
| Cama E | 1.6 | 1.75 | 0 | 100% |
| Cama G | 2.8 | 0.5 | 0.96 | 35% |
| Celda 2 | | | | |
| Cama H | 2.9 | 0 | 2.9 | 0% |
| Cama I | 1,74 | 0.36 | 1.38 | 20% |
| Cama J | 0.68 | 0 | 0.68 | 0% |
| Cama K | 4.65 | 1.33 | 0 | 100% |

Nota: en la mayoría de las camas de la Celda 3 y las camas I y K de la Celda 2 el área total construida es menor a el área especificada por el diseño original. Por lo tanto el porcentaje de avance se basa en el área actual definida en campo para aquellas camas que ya han sido construidas y que no se pueden hacer más grandes. Cumplir con el tamaño de diseño se tendrán que construir camas de tule mas pequeñas en otros lugares de la Celda 2 y 3.

1. Construcción de Cama A

CESPM inició la construcción de esta cama en diciembre de 2009 (Figura 2) y la terminó en abril del 2010. Sin embargo, el terremoto de abril del 2010 debilitó la cama y se tuvo que rehabilitar. Los trabajos de rehabilitación se realizaron en Diciembre de 2010 con el apoyo de CESPM. Sonoran Institute contrató a la compañía Bobcat Express para completar el trabajo y dejar al nivel requerido para plantar tule en la cama, la cual quedó lista a inicios del 2011 con un tamaño de 0.55 hectáreas (Figura 2).



Figura 2. La fotografía de la izquierda muestra los inicios de la construcción de la cama A en febrero del 2010, mientras que la foto de la derecha muestra la cama terminada en marzo del 2011, e inclusive se muestra la punta de la cama ya plantada con tule y el resto dividido en celdas en preparación para la plantación de tule.

2. Construcción de Cama B

La cama B se terminó de construir en 2009 con el nivel requerido y un tamaño de 0.37 hectáreas. La figura 3 muestra una fotografía aérea de febrero del 2010 de la parte Sureste de la Celda 3. Aquí se puede apreciar que la cama B está cubierta con agua y lista para plantación; la porción fuera del agua es una pequeña isla que se dejó con fines de crear hábitat para aves. Como referencia en la misma foto se ven los inicios de construcción de las camas A y C.

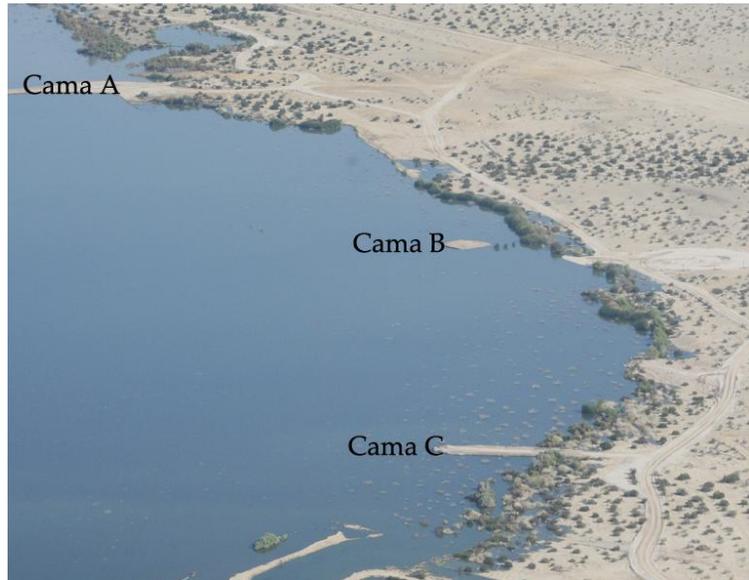


Figura 3. Cama B terminada y lista para plantación de tule. Foto de febrero del 2010

3. Construcción de Cama C

Esta cama se construyó en el 2010 mediante el acarreo de material proveniente de un banco de material localizado al Este del terreno propiedad de la CESP. En este caso en particular la constructora decidió construir la cama hasta un nivel muy alto para poder ingresar con maquinaria aguas adentro hasta llegar a los límites de la cama. El Sonoran Institute le indicó a la constructora que un nivel tan alto no era necesario, ya que teníamos la experiencia de la cama A. Desafortunadamente la constructora no tomó en cuenta los comentarios de Sonoran Institute y rápidamente agotó la cuota de metros cúbicos de material acarreado establecida en el contrato por lo que no fue posible retirar todo el material para darle el nivel adecuado a esta cama para la plantación de tule. Toda el área (1.39 has) de la cama quedó con un nivel muy por encima de lo requerido para la plantación de tule (figura 4). Fue entonces que el Sonoran Institute decidió usar recursos para darle nivel a la punta de la cama C y así poder iniciar la plantación de tule.



Figura 4. Cama C después del movimiento inicial de material (izquierda, marzo 2011) y después de la remoción de material para adquirir el nivel necesario para plantación de tule (derecha, marzo 2012).

Posteriormente, a fines del 2011 la CESPМ y SPA instruyeron a la constructora para usar material de esta cama en la formación de las camas I y K de la Celda 2. Esto permitió incrementar el área con el nivel adecuado para plantar tule. Al final de la presente fase del proyecto aún existe un área de 0.63 has que requieren remoción de material para poder plantar tule. CESPМ, dentro de sus posibilidades ha estado removiendo parte de este material. La recomendación es que este material se remueva de tal forma que se pueda plantar tule en el 100% de la cama.

4. Construcción de Cama D

En la cama D se presentó el mismo problema de acarreo de exceso de material que en la cama C, de tal forma que la constructora tampoco pudo remover todo el material para lograr el nivel de diseño de la cama. Fue necesario que posteriormente material de esta cama se extrajera para construir otras camas, lo que al final permitió concluir la cama D en un 90% (Figura 5). Debido a que el material en el 10% del área restante ofrece un refuerzo adicional al bordo y un parador para observación de aves, remover este material no es una prioridad. Pero en caso de haber recursos adicionales disponibles se recomienda removerlo.



Figura 5. Cama D, a la izquierda con el nivel alto a la derecha un vez que se le bajó el nivel y se pudo plantar tule. Se observa a la derecha el 5% donde no fue posible bajar el nivel para plantar tule. Como referencia se pueden observar los dos mismos árboles sobre el bordo en cada una de las fotos.

5. Construcción de Cama E

Siguiendo la recomendación de Sonoran Institute, sobre construir ataguías alrededor de la cama, una constructora diferente trabajo en esta cama. Éste método es el mejor para minimizar la necesidad de extraer el material en exceso que se acarreo para formar la cama y dejarla al nivel deseado. La cama E se construyó con este método en su totalidad, en tan solo algunas semanas y con el nivel requerido para la plantación de tule (Figura 6).



Figura 6. Cama E mostrando la ataguía que delimita la cama. El agua que se ve adentro de la cama fue introducida con una manguera por diferencia de presión para preparar el terreno para la plantación de tule.

Un inconveniente en esta cama fue que un viento fuerte creó olas en el agua, lo que erosionó algunas porciones de la ataguía antes de que se plantara tule (figura 7 izquierda). A pesar de este tipo de riesgos, el método de usar ataguías es el más recomendado para formar todas las camas.



Figura 7. Cama E, izquierda la cama en septiembre de 2011 un mes después de iniciar la plantación de tule, a la derecha en marzo de 2012.

6. Construcción de Cama G

La construcción de la cama G avanzó sólo en un 35%, se realizaron los caminos para el ingreso de los vehículos y maquinaria pesada pero no se continuó debido a que la cuota de material establecida en el contrato se agotó. Esta cama fue construida por la constructora que trabajó en las Camas C y D teniendo el mismo problema, se terminó la cuota de material pétreo a transportar con lo que los caminos quedaron como bordos que delimitan la porción de la cama construida. La Figura 8 muestra el inicio de la construcción de esta cama y como se encuentra a la fecha.



Figura 8. Cama G en construcción a la izquierda y actualmente a la derecha, los bordos son muy anchos y tienen un nivel muy alto – puede transitar un vehículo.

Definitivamente es indispensable que esta cama se concluya, ya que obstruye el flujo del agua lo cual no ayuda a su tratamiento. En caso de no contar con los recursos para terminarla conforme a lo que indica el diseño original, por lo menos se debe bajar el nivel de las ataguías al nivel que indica el proyecto, para poder plantar tule. Adicionalmente se deben abrir, en la base de la cama, algunos canales para asegurar un mejor flujo del agua para evitar su estancamiento.

7. Construcción de Camas I y K

Las camas H, I, J y K están ubicadas en la Celda 2 del humedal. De éstas, las camas I y K están construidas y se planea que en la próxima etapa del proyecto se construyan las camas H y J.

La construcción se inició en diciembre de 2011 y concluyó en marzo de 2012. Durante la construcción se llevaron a cabo nueve reuniones en campo con CESPM, SPA y la constructora para comentar modificaciones, avances y pasos a seguir para la construcción. En la figura 9 se observa la zona de las camas antes y después de la construcción. Por ejemplo, la ubicación final de la cama I fue cambiada de un lugar con una profundidad de cerca de 3 metros, a una zona más somera, donde se requeriría menos material y por lo tanto disminuían los costos.



Figura 9. Camas I (debajo de la foto) y K (arriba de la foto); a la izquierda antes de iniciar su construcción, a la derecha al concluir la construcción .

B. Construcción de bordos entre celdas y estructuras de conexión de agua

Los fondos de contraparte gestionados por la CESPM y SPA permitieron construir y reforzar los bordos para separar el humedal en 3 celdas como lo especifica el diseño original. Se construyó un bordo para dividir la Celda 2 y 3 de acuerdo al diseño inicial, como se muestra en la Figura 10. Entre los bordos que se reforzaron se incluyen los de la parte Suroeste del humedal, al igual que el bordo que divide las Celdas 1 y 2 y el bordo que divide el canal de entrada del agua de la Celda 2.

En total se construyeron 15 compuertas. Sin embargo, estas compuertas no fueron construidas siguiendo el diseño original. La CESPM, con base en su experiencia identificó otro tipo de

compuertas más económicas y que cumplen con la misma función. Del total de 15 compuertas, cuatro se construyeron en el bordo que divide las Celdas 2 y 3, tres más en el bordo del canal de entrada de agua al humedal y la Celda 2, cuatro en el bordo que divide la Celda 1 y 2, tres del canal de entrada hacia la Celda 1 y una del canal de entrada hacia la Celda 4. Estas compuertas han permitido controlar y promover un flujo de agua más uniforme entre las celdas, lo que es una prioridad desde el punto de vista de la hidrodinámica del humedal. De igual forma se modificó el canal de salida del agua, eliminado el serpentín que se tenía (Figura 11) y se instaló una compuerta de salida mediante la cual el agua fluye de forma más directa. Como se describe más adelante, actualmente se está llevando a cabo un estudio de hidrodinámica para determinar si es necesario construir un canal de salida adicional en la parte Sureste de la Celda 3.

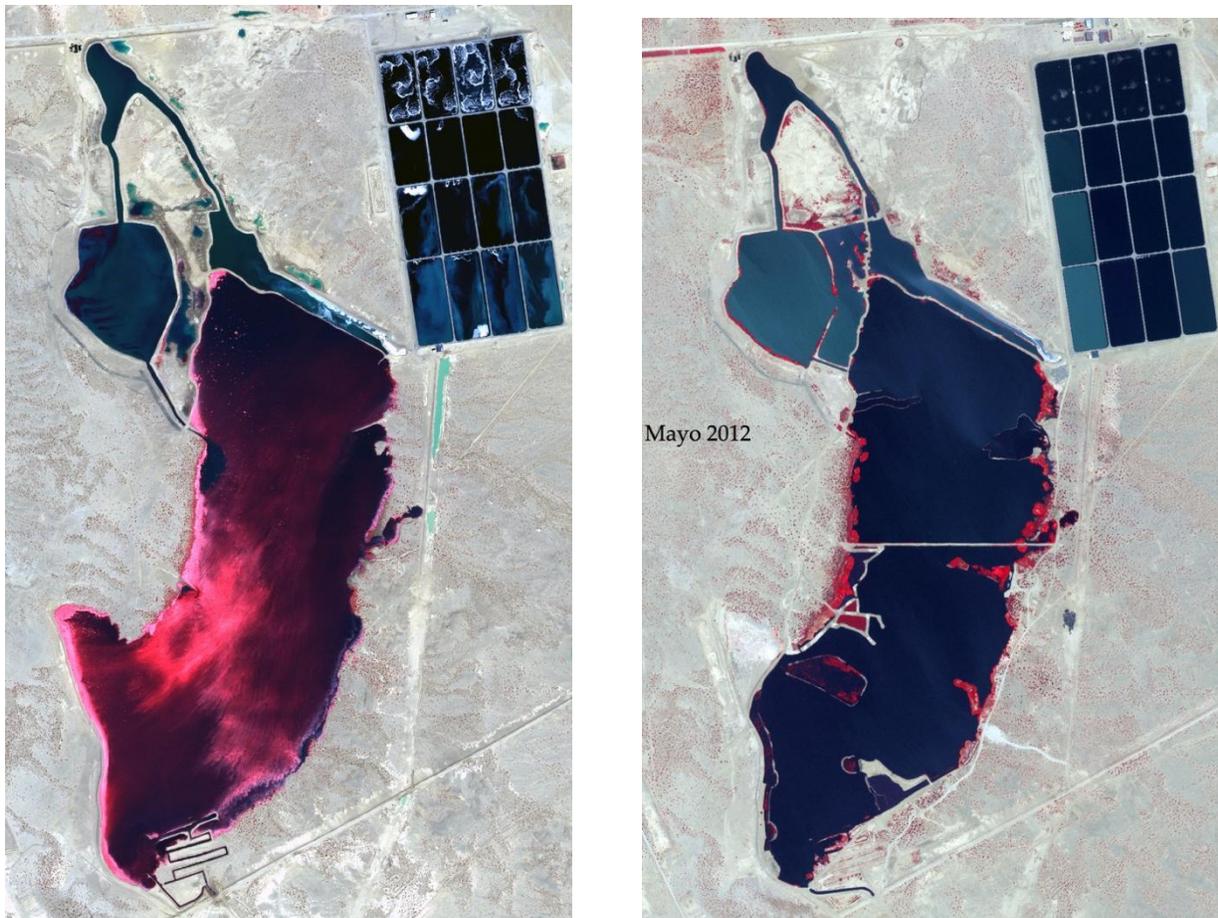


Figura 10. Imágenes de satélite del Humedal Las Arenitas en 2008 (izquierda) y en mayo del 2012 (derecha).



Figura 11. Sección sur del humedal en donde el canal de salida (fotografía de la izquierda) fue modificado por la CESPM para sólo tener un canal en línea recta como se muestra en la fotografía de la derecha.

C. Plantación de tule y vegetación riparia

La plantación de tule se realizó por el Sonoran Institute una vez que las camas fueron creadas por la CESPM y SPA y contaban con el nivel óptimo, de acuerdo a lo establecido en el diseño original.

El proceso de plantación de tule que se siguió para todas las camas es el siguiente (Figura 12):

- a- Selección de la zona de la que se obtendrá el tule. Se requiere tule saludable, de preferencia cercano al lugar donde se plantará.
- b- Cortar con pala un cuadro que rodee las raíces del tule.
- c- Sacar el cubo de tierra con la(s) planta(s) de tule.
- d- Cortar las puntas del tule a que quede a una altura de aproximadamente 120cms antes de plantarse. Mantener la raíz en el agua para evitar que se deshidrate.
- e- Transportar el tule obtenido al sitio en el que se plantará, el cual previamente se inundó para asegurar la sobrevivencia del tule.
- f- Hacer, con una pala un hoyo colocar una planta de tule. Cubrir con la misma tierra pisándola con el pie. La distancia entre cada planta de tule es de aproximadamente un metro.
- g- Si existe la posibilidad de controlar el nivel del agua en la cama, es preferible iniciar la plantación de tule con 5-15 cms de agua. Una vez establecido el tule se incrementa el nivel del agua. En este proyecto fue posible plantar tule en sitios donde la profundidad del agua alcanzaba hasta 50 cm.



a) Elección del sitio para la obtención de tule



b) Obtención de tule y transportación



c) Cortar las puntas del tule



d) Transportación al sitio donde se plantará



e) Traslado del tule para su plantación



f) Plantación de tule

Figura 12. Pasos a seguir en la plantación de tule en las camas del humedal.

Celda 3

1. Plantación de tule en la Cama A.

El tule está establecido en el 100% del área y tiene una altura de más de 2 metros. Esta zona se plantó en invierno de 2010-2011, aunque ésta temporada no es la mejor para asegurar la sobrevivencia del mismo se realizó la actividad para que en verano las plantas ya estuvieran enraizadas. A pesar de esto el tule se estableció exitosamente y, como se observa en la siguiente fotografía, el tule está en muy buenas condiciones.



2. Cama B

. Esta cama se plantó inicialmente en el 2009. En invierno de 2010 - 2011 se replantó con tule una porción de esta cama ya que no había sobrevivido todo el que se plantó anteriormente. En la siguiente fotografía (tomada en febrero, 2010) se observa que el tule de esta cama ya se estableció en el 100% del área y se encuentra muy saludable con una altura de más de 2 metros.



3. Plantación de tule en la Cama C

Esta cama quedó, desde su construcción en diciembre de 2010 hasta marzo de 2011, con un nivel alto lo que impedía plantar tule. Una vez que se bajó el nivel en la punta de la cama se plantó

tule, que actualmente está en buenas condiciones como se ve en la siguiente fotografía. Posteriormente, conforme otras porciones de la cama han ido quedando al nivel requerido, se ha plantado tule hasta cubrir a febrero del 2012 el 50% de la cama.



4. Plantación de tule en la Cama D

La cama D abarca una buena parte del límite Suroeste del humedal. El tule se ha establecido en un 90% del área y tiene una altura de más de 2 metros (ver fotografía a la derecha). La cama D no se pudo plantar en su totalidad ya que el 10% del área no tuvo el nivel requerido para poder realizar esta actividad.



5. **Plantación de tule en la Cama E:**

Esta cama se conoce como la isla, en la cual el tule se ha establecido en el 100% del área y tiene una altura mayor a 2 metros. La Cama E se plantó en su totalidad con tule en las zonas donde la profundidad lo permitió. El tule se ha ido extendiendo a lo largo y ancho de la cama, quedando sólo algunos huecos en las zonas más profundas.



6. **Plantación de tule en la Cama G**

Esta cama no se plantó con tule al no estar concluida su construcción. Sólo fue posible plantar una pequeña porción (aproximadamente 10%), pero se espera que una vez se consigan fondos adicionales, se podrá terminar su construcción y plantar en el 100% del área.

Celda 2

7. **Plantación de tule en la Cama H:**

Aún no se planta pues la cama no está construida.

8. **Plantación de tule en la Cama I**

Se plantó tule en 100% del área con altura de 1.2 metros. La siguiente fotografía muestra como el tule ya se ha establecido en esta cama.



9. Plantación de tule en la Cama J:

Aún no se planta pues la cama no está construida

10. Plantación de tule en la Cama K:

En esta cama sólo se pudo plantar tule en 85% del área, pues el nivel no es igual en toda la cama. Se decidió no plantar en las zonas con una profundidad mayor a 60cm por seguridad para los trabajadores al estar muy lodoso pues corrían el riesgo de caerse. Además, la probabilidad de que sobreviva el tule es menor debido a la profundidad. Se espera que el tule se vaya dispersando poco a poco y colonice de forma natural esas zonas. Como se observa en la figura, la altura del tule plantado es de aproximadamente 1.2 metros.



Acciones posteriores a la plantación de tule

Una vez plantadas las camas fue necesario implementar diversas acciones para asegurar un flujo uniforme del agua a lo largo del humedal y promover que el agua pase a través del tule en las camas. En los sitios donde se observó la formación de zonas en las que el agua se estancaba se excavaron canales con una profundidad de 1.3m en la base de las camas. Esto se realizó para las camas A y E (Figura 13).



Figura 13. Trabajos realizados en la base de la cama A para permitir un mejor flujo de agua y evitar estancamiento de la misma.

Por otra parte, se identificó que los bordos (o ataguías) que delimitaban las camas de tule eran un obstáculo para el libre flujo del agua, por lo tanto éste bordo se tuvo que remover ya sea a mano o con agua a presión (Figura 14).

Este proceso es lento y no todas las ataguías se han removido en todas las camas; ésta actividad se sigue realizando en estos momentos. En las camas A y D en las que esta actividad tomó más tiempo del contemplado, pero se espera que para el verano del 2012 todos los bordos de las camas en las que se plantó tule estén removidos.



Figura 14. Remoción de ataguía que delimita a las camas de tule. Izquierda a mano y derecha con agua a presión.

Plantación de vegetación riparia

Aunque esta actividad estaba incluida en el acuerdo con COCEF y otros financiadores (NAWCA y SPA), sólo se plantaron un número pequeño de árboles de sauces y álamos en lugares cercanos a la orilla del humedal donde no requerían ser regados. Existieron dos razones por las cuales se decidió no plantar más árboles. Primeramente por el constante movimiento de maquinaria durante la construcción de camas de tule, lo que podría afectar el sistema de riego; sin sistema de riego los árboles no podrían sobrevivir. La segunda razón, y más importante, fue la solicitud de la CESPM al Sonoran Institute para identificar zonas hacia donde se podría incrementar el área del humedal, por lo que el plantar árboles en algunas zonas podría ser contraproducente a los planes de expansión del humedal.

D. Actividades de monitoreo de calidad de agua y vida silvestre

1. Calidad del agua

El objetivo del monitoreo de calidad de agua fue primeramente definir una línea base de los principales parámetros, antes y durante la construcción del humedal de tratamiento. Esto permitiría documentar la eficiencia de tratamiento conforme se avanzaba en la construcción del humedal, así como también permitirá comparar esta línea base al tratamiento una vez que el

humedal esté totalmente terminado y funcionando. Se realizaron tres tipos de monitoreos para cumplir con los objetivos de monitoreo, dos de ellos realizados directamente por el Sonoran Institute y uno por la CESP, estos son: 1) medición continua de algunos parámetros; 2) medición mensual, por medio de muestras simples y compuestas de una lista de parámetros y 3) medición mensual por parte de CESP. La tabla II muestra los parámetros establecidos por las normas mexicanas para calidad de agua, la tabla se presenta para usarse como referencia en la descripción de los resultados.

Tabla II. Límites de concentraciones establecidas en las NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1997.

| | NOM-001-SEMARNAT-1996 | | NOM-003-SEMARNAT-1997 | |
|------------------------------------|---|-------------------------------------|---|---|
| | Uso en riego agrícola en embalses naturales | Protección de Vida Acuática en ríos | Servicios al público con contacto directo | Servicios al público con contacto indirecto u ocasional |
| | P.D. | P.D. | | |
| pH (unidades de pH) | 5 a 10 | 5 a 10 | | |
| Coliformes fecales (NMP/100ml) | 2000 | 2000 | 240 | 1000 |
| Huevos de helminto | 1 | 1 | ≤1 | ≤5 |
| Temperatura (°C) | 40 | 40 | | |
| Grasas y aceites (mg/l) | 25 | 25 | 15 | 15 |
| Sólidos Suspendidos totales (mg/l) | 125 | 60 | 20 | 30 |
| Demanda Bioquímica de Oxígenos | 150 | 60 | 20 | 30 |
| Nitrógeno total (mg/l) | 60 | 25 | | |
| Fósforo total (mg/l) | 30 | 10 | | |

Monitoreo continuo de calidad del agua

Estas mediciones se han realizado usando una sonda de medición continua (YSI 600XLM V2 1) programada para registrar cada hora los valores de los siguientes parámetros: temperatura, conductividad específica, profundidad del agua, pH, oxígeno disuelto y sólidos disueltos totales. En total se instalaron tres sondas que fueron adquiridas por SPA. La primera se instaló en septiembre del 2011 al Sur de la Celda 3, cerca de la salida del agua del humedal. Las otras dos sondas se adquirieron meses después (después de febrero del 2012) por lo que los resultados no se presentan en este reporte; estas sondas fueron instaladas en la Celda 2 y están colectando datos cada hora.

Los datos obtenidos por la sonda instalada al Sur de la Celda 3 (figura 15) comprenden el período de medición del 13 de septiembre de 2011 al 05 de enero de 2012. Los promedios diarios de los valores de estos parámetros se graficaron y se muestran en las figuras 16 a la 21.

Temperatura. La sonda se instaló en septiembre cuando las temperaturas aún son elevadas registrándose, para el período de medición, una temperatura máxima de 30°C y una mínima de

10°C. La temperatura del agua sigue un comportamiento similar a la temperatura ambiental, siendo más alta en verano y disminuyendo conforme se acerca el invierno (Figura 16).



Figura 15. Ubicación del sitio en el que está instalada la sonda de medición continúa en el humedal.

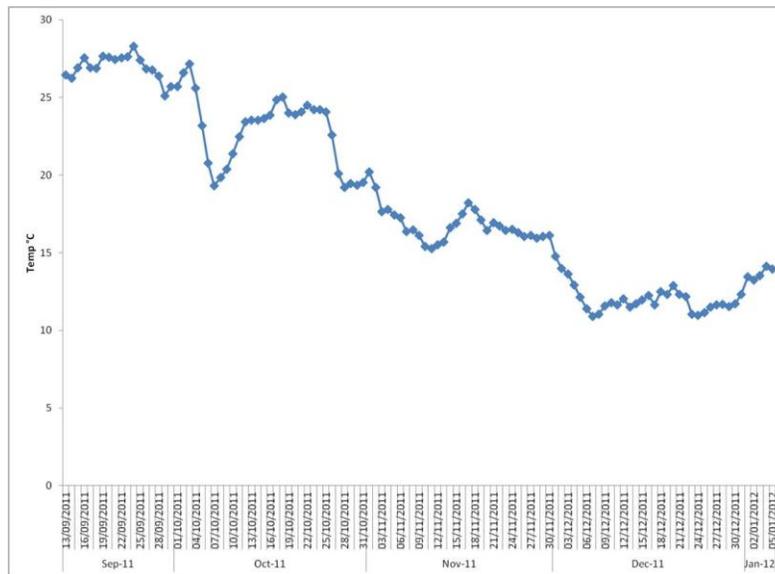


Figura 16. Valores promedio diarios de temperatura registrada en la Celda 3 del humedal artificial.

pH. En cuanto a pH se presentaron valores en el intervalo establecido en la NOM-001 (5 a 10) con un valor máximo de 8.66UpH y mínimo de 7.69UpH (Figura 17). El valor de pH es importante pues influye en la química y biología del humedal, por ejemplo: diversas bacterias que llevan a cabo el tratamiento en el humedal no pueden sobrevivir a pH menor a 4.0UpH o mayor a 9.5UpH. De manera natural los humedales naturales presentan valores de pH entre 7 y 8. Esto indica que los valores de pH presentados en el humedal están dentro de lo intervalos adecuados para calidad del agua y para humedales.

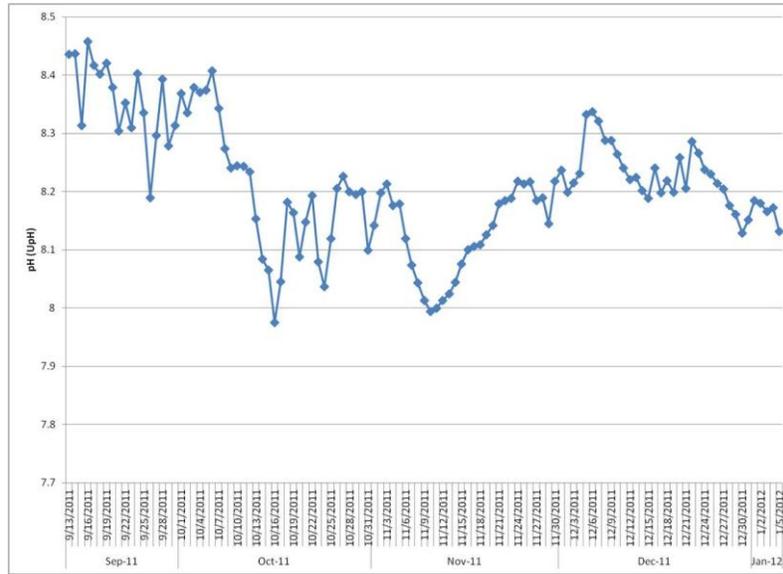


Figura 17. Valores promedio diarios de pH en la Celda 3 del humedal artificial en la Celda 3 del humedal artificial

Conductividad específica. En cuanto a los valores de conductividad (mS/cm) se presentó un valor máximo 2.451mS/cm con un mínimo de 1.567mS/cm y un promedio de 1.935mS/cm (Figura 18). Estos valores son considerablemente menores a los presentados en humedal ubicado en Brawley, Arizona y de Imperial, California donde los valores de la conductividad de agua de entrada son de 4.503mS/cm y 2.718mS/cm respectivamente (Kadlec, R., 2009).

En los humedales de tratamiento los valores de conductividad generalmente están influenciados por los flujos de agua que entran. La lluvia y la evaporación tienen una influencia menor, de acuerdo a lo establecido en la literatura, sin embargo en el caso de Mexicali la evaporación en verano puede influenciar considerablemente estos valores al presentarse temperaturas por arriba de los 40°C. De igual forma en caso de haber una lluvia intensa, estos valores pueden verse influenciados.

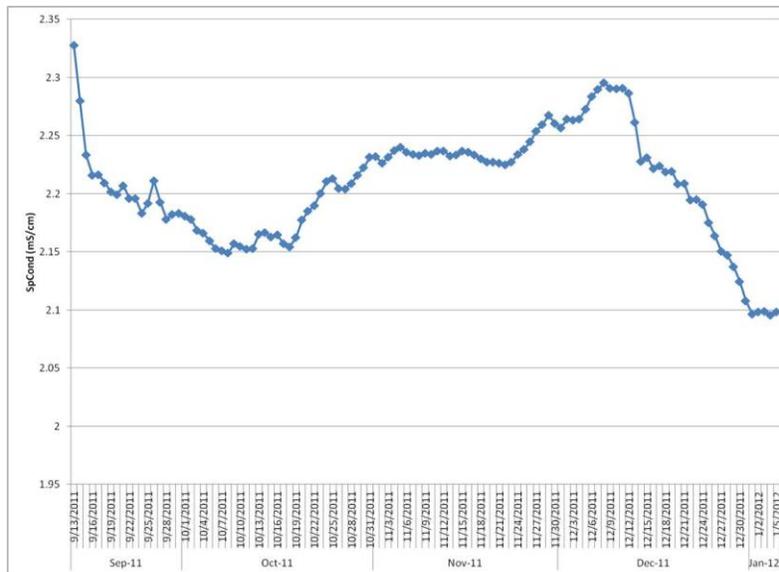


Figura 18. Valores promedio diarios de conductividad de específica en la Celda 3 del humedal artificial

Oxígeno disuelto. Las concentraciones de oxígeno (ODO) son relevantes pues influye considerablemente en los mecanismos de remoción de contaminantes y por que es un parámetro cuya concentración se utiliza para regular la descarga de aguas residuales tratadas a cuerpos de agua superficiales para asegurar la sobrevivencia de peces o de otros organismos acuáticos así como para la salud del cuerpo de agua. En EUA el límite que se establece como mínimo para cuerpos de agua en cuanto a concentración de oxígeno es 5mg/l (Kadlec, R., 2009); para el agua de salida de la Celda 3 del humedal se encontró que la variación en la concentración de oxígeno disuelto es considerable, con valores máximos de 14mg/l y mínimos por debajo de cero (-0.18mg/l).

Son diversos los días en que se presentan valores cercanos a cero. En la Figura 19 se muestran los valores promedio por día de la concentración de oxígeno disuelto en mg/l. Los valores se encuentran en su mayoría por debajo de 5mg/l. Una razón por la cual se tienen valores tan bajos es que la sonda está midiendo muy cerca del fondo del cuerpo de agua, por lo anterior la sonda se movió hacia la superficie del agua para poder determinar las concentraciones de oxígeno en el agua superficial. En estos momentos se están analizando las mediciones subsecuentes para determinar el comportamiento de las concentraciones de oxígeno disuelto. Se cree que tal vez pueda haber una estratificación del agua en la zona donde está instalada la sonda esto, aunado a que el nivel de agua varía puede influir en las concentraciones de oxígeno en el humedal.

En la Figura 19 se puede observar que para el mes de noviembre del 2011 las concentraciones diarias promedio de ODO mg/l fueron en su mayoría por arriba de cero aunque en general por debajo de 4mg/l.

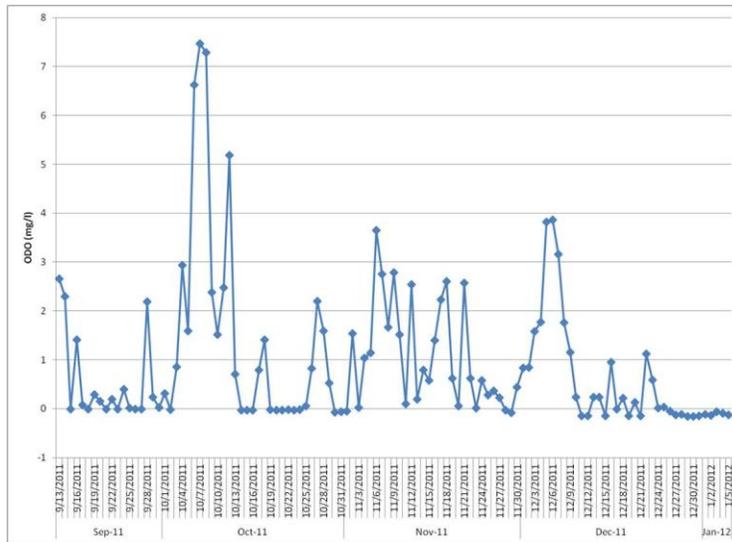


Figura 19. Valores promedio diarios de oxígeno disuelto en la Celda 3 del humedal artificial.

Relación temperatura y oxígeno disuelto. En la figura 20 se presentan las gráficas de temperatura y oxígeno disuelto para definir si existe o no una relación entre estos dos parámetros pues se sabe que a menores temperaturas la concentración de oxígeno es mayor. Se observa que cuando hay una disminución de temperatura la concentración de oxígeno se incrementa (Julio 7, 2011 y Diciembre 05, 2011). Sin embargo, es necesario hacer un análisis más detallado para establecer esta relación.

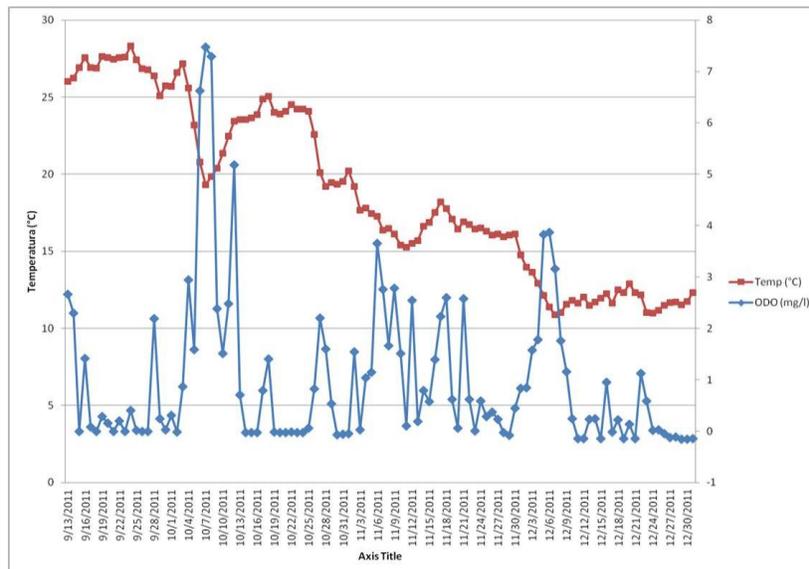


Figura 20. Valores promedio diarios de temperatura y de oxígeno disuelto en la Celda 3 del humedal artificial

Relación temperatura y conductividad específica. De igual forma se graficaron la temperatura y la conductividad específica (Figura 21) para determinar si existe una relación entre ambos pues se sabe que al aumentar la temperatura puede haber evaporación, con lo que la conductividad también se incrementa. A partir de la gráfica no se observa la relación mencionada, aunque cabe señalar que las temperaturas del agua son bajas en comparación con las temperaturas de verano (junio – agosto) cuando el agua puede alcanzar una temperatura de hasta 36°C; por lo que será interesante continuar con las mediciones durante el verano del 2012.

Tabla III. Valores máximos, mínimos y promedio para los principales parámetros durante el período del 13 de septiembre de 2011 al 05 de enero del 2012

| | Temperatura (°C) | SpCond mS/cm | pH | ORP mV | ODO% | Cond mS/cm | ODO (mg/l) | Salinidd (ppt) | SDT (g/l) |
|-----------------|------------------|--------------|-------|----------|--------|------------|------------|----------------|-----------|
| Máximo | 30.23 | 2.369 | 8.66 | 128 | 165.7 | 2.451 | 14 | 1.21 | 1.54 |
| Mínimo | 10.02 | 2.086 | 7.69 | -510 | -1.6 | 1.567 | -0.18 | 1.07 | 1.356 |
| Promedio | 18.575 | 2.207 | 8.212 | -248.334 | 10.222 | 1.935 | 0.943 | 1.134 | 1.435 |

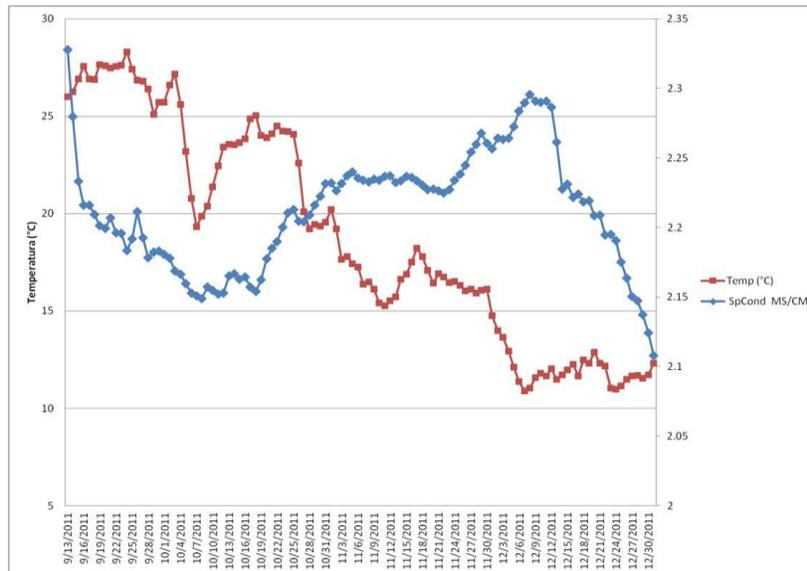


Figura 21. Temperatura promedio en los puntos de muestreo en el humedal artificial

Monitoreo mensual de calidad del agua

El muestreo mensual comprendió del período de febrero de 2011 a febrero de 2012, durante el cual se llevaron a cabo 10 muestreos por parte del laboratorio acreditado Laboratorio de Muestreo y Análisis, S.A. de C.V. (INAPRAMEX). Se muestreó en tres puntos diferentes del humedal (Figura 22) con el objetivo de identificar los cambios en la calidad del agua conforme fluye por el humedal. Los puntos de muestreo son:

- 1- Efluente general – al Noreste del humedal, donde el agua de la Planta de Tratamiento Las Arenitas se incorpora al humedal
- 2- Celda 2-3 – al Sur de la Celda 2, antes de que el agua pase a la Celda 3.
- 3- Salida humedal – al Sur del humedal, previo a que el agua se dirija al Río Hardy.

Se tiene adicionalmente el punto Celda 1-2, donde se muestreó únicamente en dos ocasiones; previo a la construcción del bordo divisorio entre las Celdas 2 y 3.

Los muestreos se llevaron a cabo siguiendo las metodologías establecidas en la NOM-001-SEMARNAT-1996, donde se indica que algunos parámetros se determinan en muestras simples y otros en la muestra compuesta. A continuación se describe qué parámetros se determinaron en cada tipo de muestra.

Como referencia se consideraron los límites establecidos como promedios diarios esto es, el valor que resulta del análisis de una muestra compuesta (se define más adelante).



Figura 22. Ubicación de los puntos de monitoreo de calidad del agua en el humedal (◆) Efluente general, (■) Celda 1-2, (▲) Celda 2-3 y (●) Salida humedal. Sonda de medición continua YSI al sur de la Celda 3.

Muestras simples

Adicionalmente a los parámetros a determinar conforme a la NOM-001-SEMARNAT-1996 se solicitó a INAPRAMEX determinar las concentraciones de nitrógeno amoniacal y de *Eschrechia*

coli en las muestras simples cuando no se determinaran las concentraciones de metales pesados. Los promedios de los resultados obtenidos se graficaron y se presentan en las Figuras 23 al 31.

Además de los muestreos realizados por Sonoran Institute a través del laboratorio INAPRAMEX, de octubre de 2007 a febrero de 2009 el Laboratorio de Química Ambiental del Instituto de Ingeniería de la UABC, Mexicali y el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD) Guaymas llevaron a cabo muestreos de agua del sitio Efluente general. En este reporte se integraron estos datos a las gráficas realizadas, para ayudar a identificar los cambios en la calidad del agua en el tiempo.

Temperatura: Como en el caso de los valores de temperatura registrados por la sonda YSI, los promedios de temperaturas medidas en las muestras de agua presentan un comportamiento similar, con mayores valores para los meses de verano y menores para invierno.

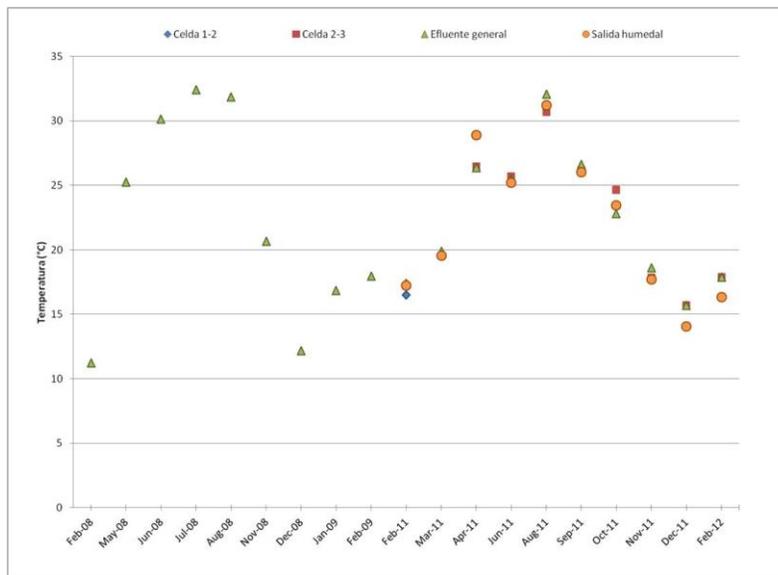


Figura 23. Promedios de temperatura de las muestras en los puntos de muestreo en el humedal artificial

Coliformes fecales: no se observa un comportamiento estable en las concentraciones de coliformes fecales. En seis de los 10 muestreos el agua que ingresa al humedal, tiene valores mayores a los establecidos como límite en la NOM-001-SEMARNAT-1996 para riego agrícola. Por el contrario, en seis de los diez muestreos el agua que sale del humedal cumplió con el límite establecido en le NOM-003-SEMARNAT-1997 para contacto directo; con valores por debajo de 240 NMP/100ml y en dos de estos diez muestreos las concentraciones son muy cercanas al límite establecido.

Para los meses de diciembre y febrero 2011 y 2012 respectivamente, las concentraciones de coliformes aumentaron en los puntos Celda 2-3 y Salida Humedal, esto puede deberse a las actividades de construcción que se realizaron en la Celda 2 del humedal para la creación de dos de las cuatro camas de tule propuestas.

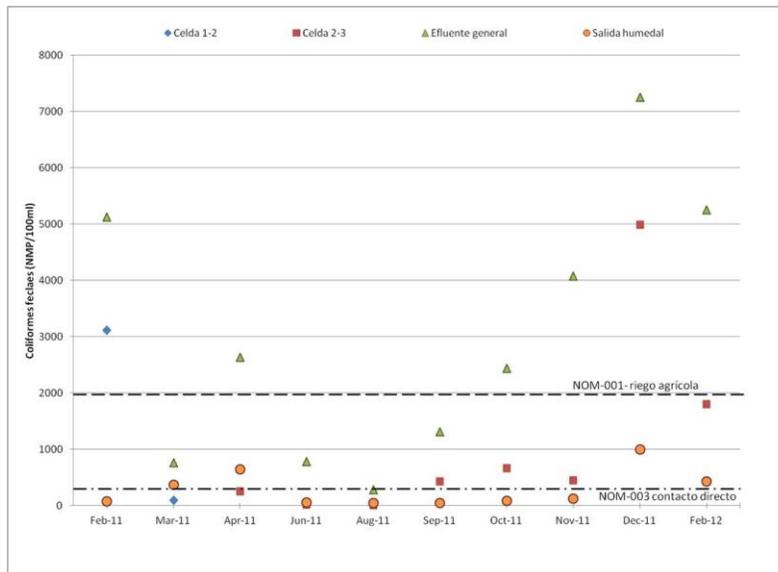


Figura 24. Promedios de concentración de coliformes fecales (NMP/100ml), de las seis muestras simples tomadas en los puntos de muestreo del humedal artificial. Límites establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996 2000 NMP/100ml promedio diario para agua de uso para riego agrícola y 240NMP/100ml para agua con contacto directo conforme a la NOM-003-SEMARNAT-1997.

E. coli: en octubre y diciembre de 2007 se determinó su concentración por parte de la UABC y CIAD, teniendo valores de 35,000 y 686,700 NMP/100ml respectivamente; estos valores no se integraron a la gráfica por el efecto que tendrían en la escala de la gráfica para identificar las concentraciones en los monitoreos de 2011-2012. De febrero de 2008 a febrero de 2009 los valores de *E.coli* fueron menores a 50 NMP/100ml en los nueve muestreos realizados por parte de la UABC y CIAD. De marzo de 2011 a febrero de 2012 el Sonoran Institute realizó ocho análisis de *E.coli* encontrando concentraciones mayores en el punto Efluente general seguido del punto Celda 2-3 y las menores concentraciones se presentaron en el punto Salida humedales. Estos resultados indican que el paso del agua de la PTAR Las Arenitas por el humedal influye en la disminución de las concentraciones de *E.coli*.

Son diversos los mecanismos que pueden influir en la disminución del número de coliformes fecales y *E. coli*, uno de ellos es la radiación UV y esa puede ser la principal razón por la que en los meses de junio a noviembre (meses con mayor radiación solar) las concentraciones de coliformes estuvieron por debajo del límite establecido por la NOM-003. La predación es otro mecanismo, muchas de las bacterias pueden ser consumidas por nemátodos, rotíferos y protozoarios (Decamp and Warren, 1998 – Kadlec, 2009) entre estos se sabe que los rotíferos y los protozoarios ciliados y flagelados contribuyen considerablemente a la reducción de bacterias en humedales de tratamiento. La sedimentación de agregados de bacterias también influye en la disminución de coliformes en el humedal y la biopelícula que se forma en la parte sumergida del tute también sirve como “trampa” para que las diversas partículas, incluyendo bacterias, se peguen a ella quedando atrapadas.

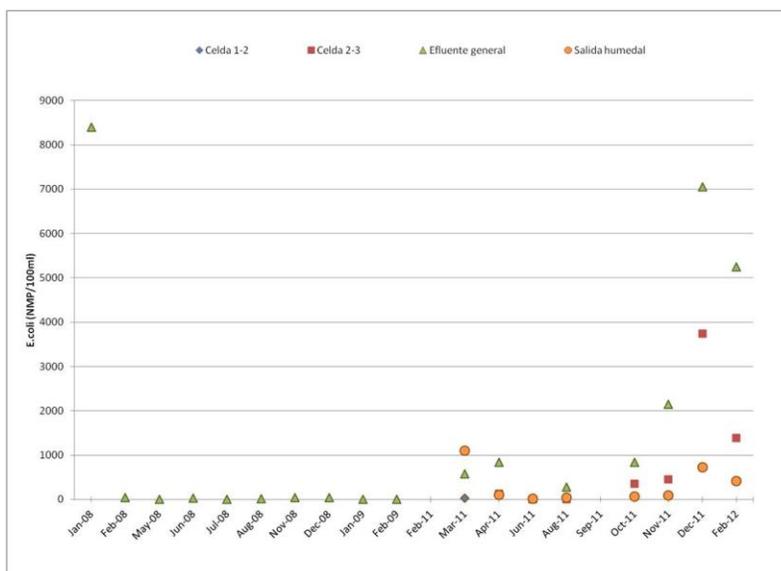


Figura 25. Promedios de la concentración de *E. coli* (NMP/100ml) en los puntos de muestreo del humedal artificial.

Nitrógeno amoniacal: La UABC también realizó monitoreos de nitrógeno amoniacal en 2008 y 2009, éstas concentraciones se incluyeron en la Figura 26. El valor máximo se presentó en el mes de diciembre de 2008, los valores de los demás meses son similares a los determinados para las muestras de 2011 a 2012 en el punto Efluente general. Esto indica que las concentraciones de nitrógeno amoniacal de 2008 a 2012 no han variado considerablemente para este punto pero el paso del agua por el humedal sí influye en la disminución de su concentración, al observar concentraciones más bajas en los puntos Celda 2-3 y Salida Humedal.

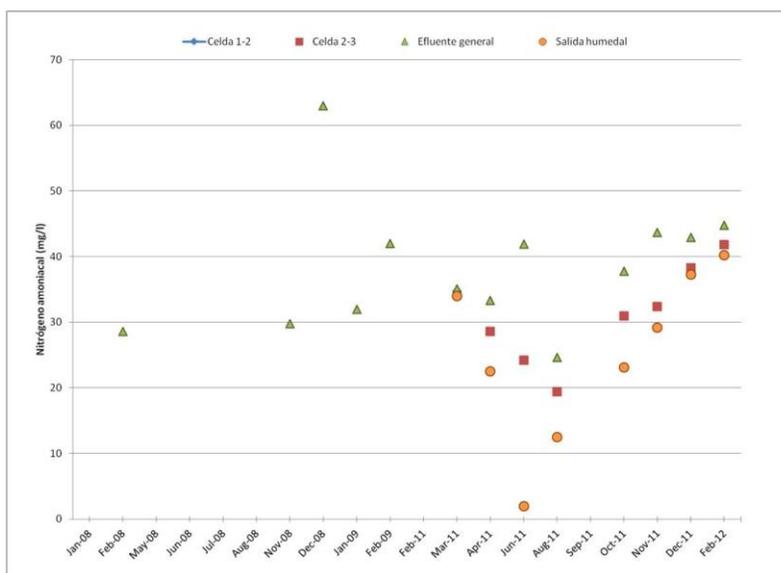


Figura 26. Promedio de las concentraciones de Nitrógeno amoniacal (mg/l), de las seis muestras tomadas por muestreo en los puntos de muestreo del humedal artificial.

Muestras compuestas

Se tomaron muestras compuestas para los parámetros que lo establece la NOM-001-SEMARNAT-1996, que incluyen: grasas y aceites, demanda bioquímica de oxígeno, materia flotante, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos totales, nitrógeno tota y fósforo total. Una muestra compuesta es aquella que resulta de mezclar un cierto número de muestras simples, seis en el caso del Humedal Artificial Las Arenitas, el volúmen de cada muestra simple deberá de ser proporcional al caudal de la descarga en el momento de su toma.

Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅): Las concentraciones de DBO₅ para el punto Efluente general cumplen con el límite establecido, para promedio diario, en la NOM-001-SEMARNAT para riego agrícola que es de menos de 125mg/l. Sin embargo, las concentraciones de DBO₅ aún no cumplen con la NOM-003 que establece 20mg/l como la máxima concentración permitida para agua con contacto directo. En septiembre y noviembre de 2011 los valores fueron cercanos a los establecido en la NOM-003 en el punto Salida Humedal lo que indica que el concluir el humedal en su totalidad permitirá dar un mayor tratamiento al agua y con esto cumplir con la NOM-003 (Figura 27).

En seis de los diez muestreos el comportamiento general es: las mayores concentraciones de DBO₅ se presentan en el punto Efluente general. Entre el punto Celda 2-3 y el punto Salida humedal se presentan fluctuaciones, en cinco de los muestreos el punto Salida humedal presenta concentraciones menores al punto Celda 2-3 ó 1-2 pero en cuatro de los muestreo esto no se da. Las tendencias anuales que se han visto en otros humedales presentan valores máximos en primavera-verano, pero en este momento aún no se puede hablar de tendencias en las concentraciones de DBO₅ en el Humedal las Arenitas.

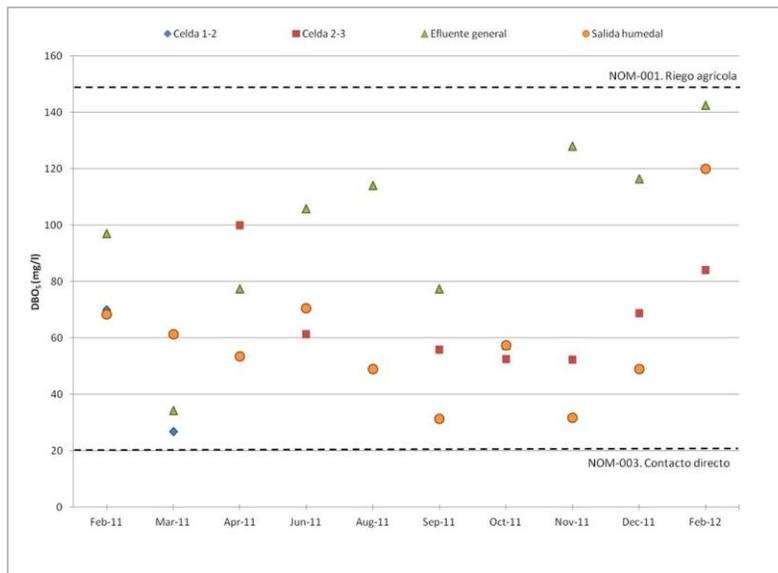


Figura 27. Concentración de DBO₅ en muestra compuesta Límites establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996 2000 NMP/100ml promedio para agua de uso para riego agrícola y 240NMP/100ml para agua con contacto directo conforme a la NOM-003-SEMARNAT-1997.

Sólidos Suspendidos Totales (SST): en la figura 28 se observan las concentraciones de Sólidos Suspendidos Totales (SST) en los tres puntos de muestreo cumplen con los límites establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996 para agua de riego agrícola y únicamente en junio y noviembre de 2011 se presentan valores cercanos a 20mg/l (límite establecido por la NOM-003-SEMARNAT-1997). En determinaciones de 2008 -2009 la UABC encontró concentraciones de hasta 175mg/l y varias por debajo a lo establecido para riego agrícola en la NOM-001. No se observa un patrón general en las concentraciones por punto pues en algunos meses (cuatro) las concentraciones de SST son mayores en el punto Salida humedal que en los otros dos puntos. Esto puede estar relacionado con los trabajos de construcción de las camas de tule, pues a ingresar sedimento al sitio puede quedar suspendido en la columna de agua y moverse a lo largo del humedal.

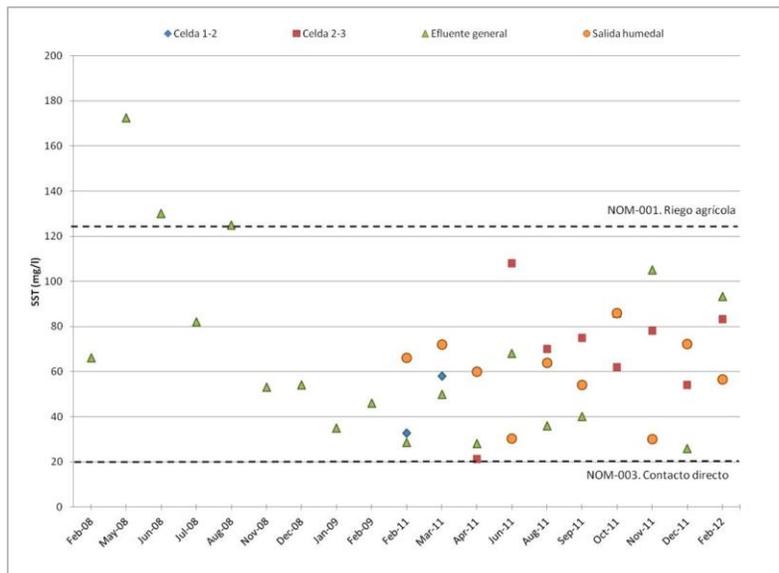


Figura 28. Concentración de Sólidos Suspendidos Totales (mg/l) en muestra compuesta y los límites establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996 125mg/l para agua de uso en riego agrícola y 20mg/l para agua con contacto directo conforme a la NOM-003-SEMARNAT-1997.

Huevos de helminto: En cuanto a huevos de helminto en seis de los diez muestreos se presentaron, en los demás muestreos los valores reportados fueron de <1 huevo. Por esta razón en marzo de 2011 se hizo un muestreo conjunto con CESPМ y otro laboratorio acreditado, los resultados fueron muy diferentes entre los diversos laboratorios; ante esto se decidió conjuntamente con CESPМ aplicar el principio precautorio en el que se toman las medidas necesarias asumiendo que se presentan huevos de helminto de forma regular.

En febrero y marzo de 2011 sólo hay presencia de huevos de helminto en el punto Salida del humedal por lo que puede pensarse que se incorporan al sistema en algún punto del recorrido del agua de su ingreso al humedal a la salida. Para noviembre'11, diciembre'11 y febrero'12 no hubo presencia de huevos de helminto.

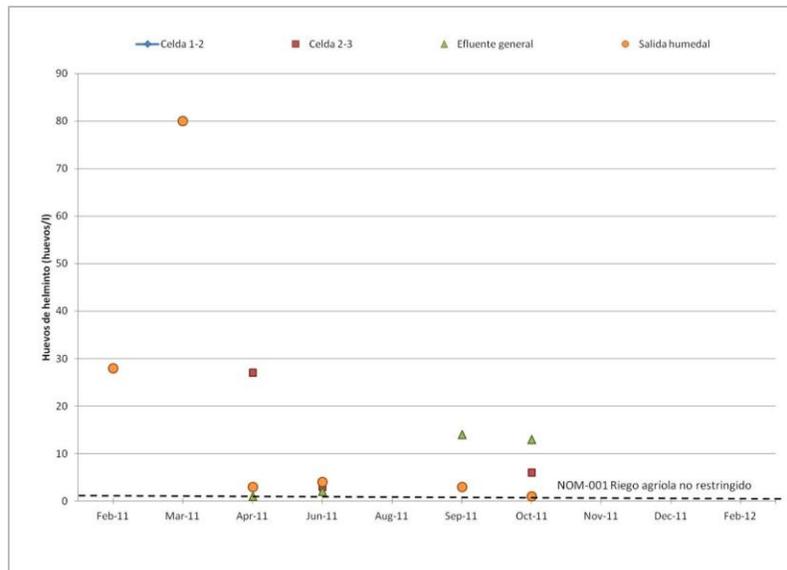


Figura 29. Huevos de helminto en muestra compuesta, el límites establecido en la NOM-001-SEMARNAT-1996 es de 1 huevo de helminto por litro para riego no restringido y en la NOM-003-SEMARNAT-1997 de ≤ 1 huevo de helminto para contacto directo.

Fósforo total: Las concentraciones de fósforo total se muestran en la figura 30, cumplen con el límite establecido en la NOM-001-SEMARNAT-1996 para la protección de vida acuática (10mg/l) que es menor que el establecido para agua de uso en riego agrícola (30 mg/l para el promedio diario). En siete de los diez muestreos las concentraciones en el punto Salida Humedal son menores que en los otros puntos de muestreo. Sin embargo, no siempre las concentraciones del punto Efluente general son mayores que las del punto Celda 1-2 ó Ceda 2-3, comportamiento que se esperaría al haber recorrido el agua un tramo del humedal.

Es importante señalar que el aporte de fósforo por parte de las excretas de las aves debe considerarse, sobre todo por el número de aves que visitan el humedal, por lo que debe tenerse un monitoreo permanente de este parámetro. En el caso de las aves que son residentes (gallaretas) se puede hablar de que el fósforo de las excretas se recicla en el humedal al ser la vegetación del mismo su fuente de alimento.

Nitrógeno total (N total): las concentraciones de nitrógeno total cumplen con los límites establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996 para riego agrícola (60mg/l). En seis de los muestreos la concentración de N total para el punto salida humedal estuvo por debajo de la concentración en los puntos Celda 1-2 ó 2-3 y Efluente general (Figura 31). En el muestreo de octubre del 2011 la concentración de N total para los tres puntos de muestreo fue similar. Únicamente en el muestreo de agosto del 2011 la concentración estuvo por debajo de lo establecido en la NOM-001 para protección de la vida acuática.

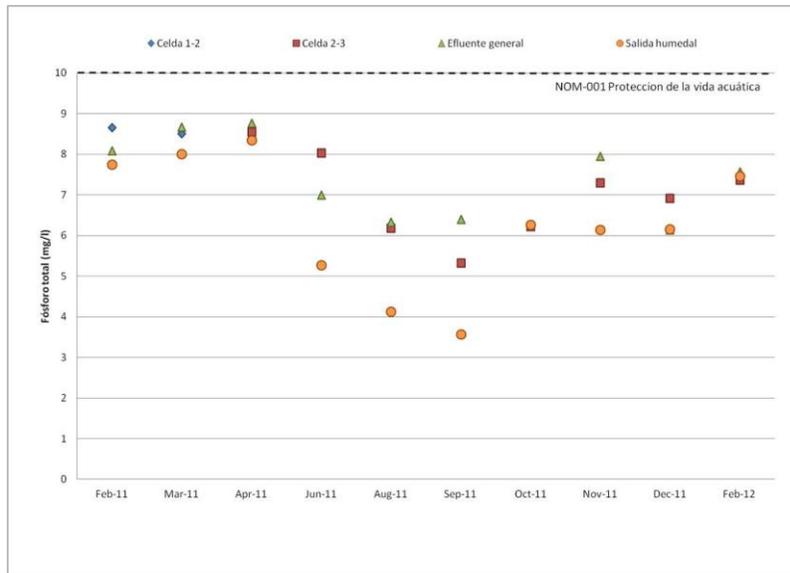


Figura 30. Concentración de fósforo total (mg/l) en las muestras compuestas de los tres puntos de muestreo. El límite establecido en la NOM-001-SEMARNAT-1996 es de 10 mg/l para la protección de la vida silvestre 1 huevo de helminto por litro para riego no restringido y en la NOM-003-SEMARNAT-1997 de ≤ 1 huevo de helminto para contacto directo.

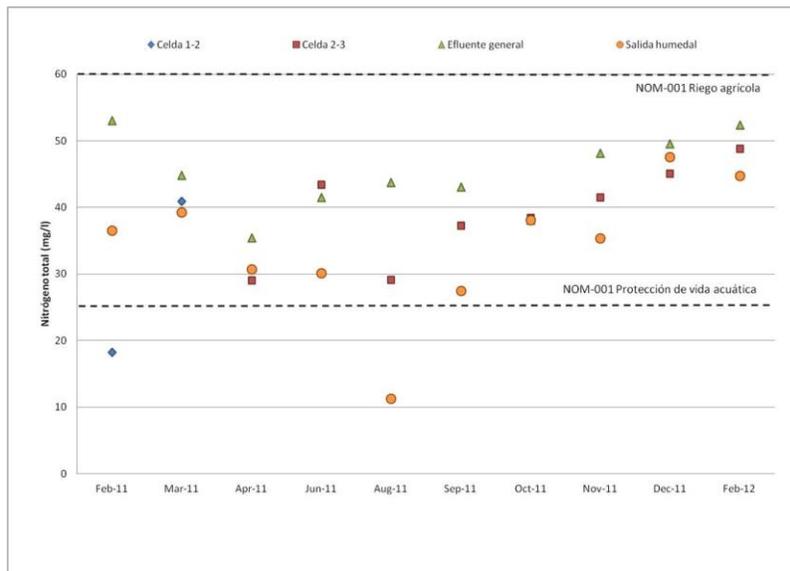


Figura 31. Concentración de nitrógeno total (mg/l) en los tres puntos de muestreo en el humedal en la muestra compuesta y los límites establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996 para agua de uso en riego agrícola (60 mg/l promedio diario) y para protección de la vida acuática (25 mg/l promedio diario).

Metales pesados y cianuro

Los metales pesados se determinaron mensualmente en los primeros dos meses del monitoreo (febrero y marzo del 2011) para establecer una línea base inicial. Posteriormente se determinaron cada seis meses. Los resultados obtenidos estuvieron dentro de los límites establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996 a excepción del zinc que presentó una concentración que duplica el límite establecido.

Las concentraciones de cianuro estuvieron dentro de los límites establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996 a excepción del mes de junio para el punto Salida humedal donde la concentración fue de 0.122mg/l muy por encima del límite. Para ambos parámetros no se puede determinar la fuente de ingreso de estas sustancias pues se presentaron en el punto de salida del agua del humedal.

Determinación de la eficiencia de tratamiento del humedal

Los resultados del monitoreo de calidad de agua permiten, de forma preliminar, evaluar el comportamiento o eficiencia de tratamiento que ofrece el humedal artificial Las Arenitas. Sin embargo, es importante recalcar que el humedal aún no está terminado y por lo tanto no se puede hacer una evaluación definitiva de su eficiencia. Para hacer una evaluación preliminar se buscó en la literatura los parámetros que se han usado para medir la eficiencia siendo: la DBO y la concentración de SST.

En el caso del DBO₅, comparando las concentraciones de entrada al humedal y de la salida, el porcentaje de remoción en la mayoría de los meses es de al menos 20%, alcanzando un máximo de 78% (Figura 32). Comparando estos valores con los reportados en la literatura, el Humedal Las Arenitas se encuentra dentro de los porcentajes de eficiencia calculados para los humedales de Sorrento y Mandeville, Louisiana.

Para el caso de Sólidos Suspendidos Totales es difícil evaluar ya que durante la construcción del humedal el aporte de material para formar camas de tule y luego en la remoción de ataguías altera las concentraciones de SST. En los periodos donde no hubo construcción se observa un porcentaje de remoción entre 40-60%. En el caso del humedal de Mandeville el porcentaje de eficiencia máximo fue de 75% (EPA, 2000).

Tabla IV. Concentraciones de metales pesados y cianuro en las muestras tomadas en el humedal en febrero, marzo y septiembre de 2011.

| Punto | Tipo de muestra | Fecha | Cianuro (mg/l) | Arsénico (mg/l) | Cadmio (mg/l) | Cobre (mg/l) | Cromo (mg/l) | Mércurio (mg/l) | Niquel (mg/l) | Plomo (mg/l) | Zinc (mg/l) | Selenio (mg/l) |
|------------------|-----------------|--------|----------------|-----------------|---------------|--------------|--------------|-----------------|---------------|--------------|-------------|----------------|
| Efluente general | compuesta | Feb-11 | <0.02 | <0.016 | <0.008 | <0.096 | <0.064 | <0.0008 | <0.400 | <0.040 | <0.400 | <0.040 |
| Celda 1-2 | compuesta | Feb-11 | <0.02 | <0.016 | <0.008 | <0.096 | <0.064 | <0.0008 | <0.400 | <0.040 | <0.400 | <0.040 |
| Salida humedal | compuesta | Feb-11 | <0.02 | <0.016 | <0.008 | <0.096 | <0.064 | <0.0008 | <0.400 | <0.040 | <0.400 | <0.040 |
| Efluente general | compuesta | Mar-11 | <0.02 | <0.016 | <0.008 | <0.096 | <0.064 | <0.0008 | <0.400 | <0.040 | <0.400 | <0.040 |
| celda 1-2 | compuesta | Mar-11 | <0.02 | <0.016 | <0.008 | <0.096 | <0.064 | <0.0008 | <0.400 | <0.040 | <0.400 | <0.040 |
| Salida humedal | compuesta | Mar-11 | <0.02 | <0.016 | <0.008 | <0.096 | <0.064 | <0.0008 | <0.400 | <0.040 | 0.8071 | <0.040 |
| Efluente general | compuesta | Jun-11 | <0.02 | | | | | | | | | |
| Celda 2-3 | compuesta | Jun-11 | <0.02 | | | | | | | | | |
| Salida humedal | compuesta | Jun-11 | 0.122 | | | | | | | | | |
| Efluente general | compuesta | Aug-11 | <0.02 | | | | | | | | | |
| celda 2-3 | compuesta | Aug-11 | <0.02 | | | | | | | | | |
| Salida humedal | compuesta | Aug-11 | <0.02 | | | | | | | | | |
| Efluente general | compuesta | Sep-11 | <0.02 | <0.016 | <0.008 | <0.096 | <0.064 | <0.0008 | <0.400 | <0.040 | <0.400 | <0.040 |
| Celda 2-3 | compuesta | Sep-11 | <0.02 | <0.016 | <0.008 | <0.096 | <0.064 | <0.0008 | <0.400 | <0.040 | <0.400 | <0.040 |
| Salida humedal | compuesta | Sep-11 | <0.02 | <0.016 | <0.008 | <0.096 | <0.064 | <0.0008 | <0.400 | <0.040 | <0.400 | <0.040 |

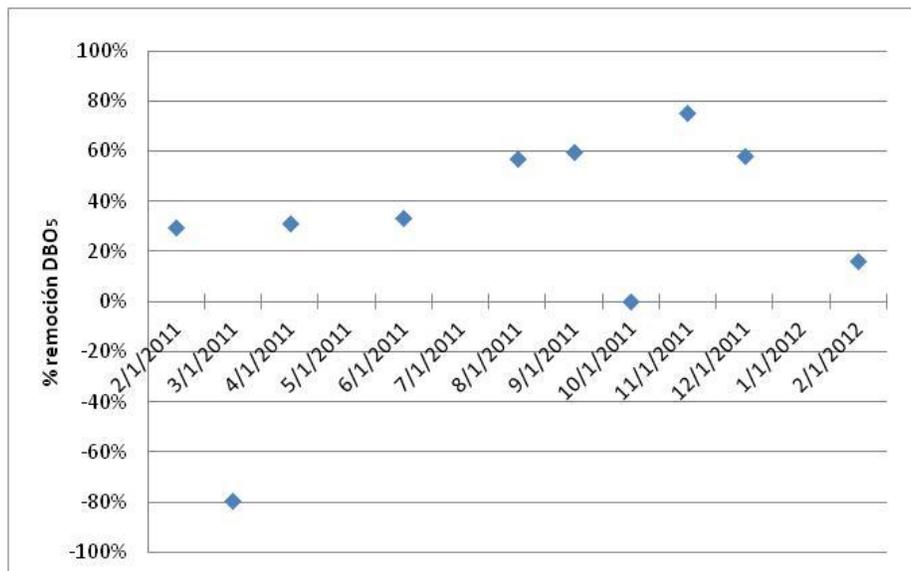


Figura 32. Concentración de nitrógeno total (mg/l) en los tres puntos de muestreo en el humedal en la muestra compuesta y los límites establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996 para agua de uso en riego agrícola (60 mg/l promedio diario) y para protección de la vida acuática (25 mg/l promedio diario).

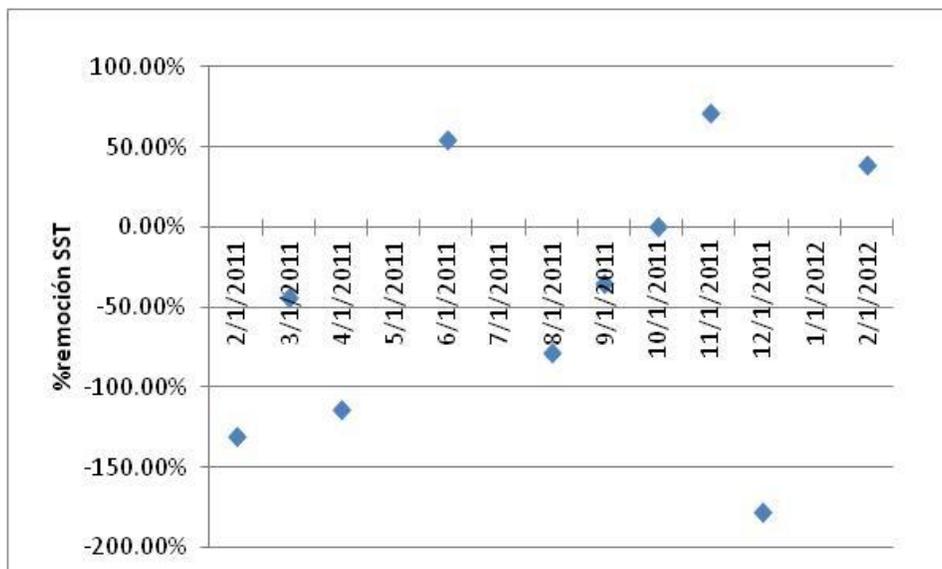


Figura 33. Concentración de nitrógeno total (mg/l) en los tres puntos de muestreo en el humedal en la muestra compuesta y los límites establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996 para agua de uso en riego agrícola (60 mg/l promedio diario) y para protección de la vida acuática (25 mg/l promedio diario).

2. Monitoreo de Vida silvestre

El monitoreo de la vida silvestre se ha enfocado específicamente en el monitoreo de aves. Nuestro socio, Pronatura Noroeste los lleva a cabo siguiendo los protocolos establecidos en México y Estados Unidos. Asimismo, al estar de forma continua en el humedal, personal del Sonoran Institute, han realizado el registro de las aves del humedal.

Desde diciembre de 2008 a verano del 2011 Pronatura Noroeste, A.C. ha llevado a cabo monitoreos estacionales de aves (primavera, verano, otoño e invierno) en el humedal. En este período se han observado un total de 30,541 aves de 141 especies. La mayoría de las aves observadas son aves acuáticas, particularmente aves playeras (22 especies) y patos y gansos (19 especies). Dentro de éstas sobresalen los Falaropos (de Wilson y Cuello Rojo), con más de 15,953 individuos. Otras especies comunes de aves playeras fueron Avoceta Americana (*Recurvirostra americana*), Monjita (*Himantopus mexicanus*) y Playerito Occidental (*Calidris mauri*). Dentro de los patos, los más comunes fueron el Pato Tepalcate (*Oxyura jamaicensis*), el Pato Cucharón (*Anas clypeata*) y Cerceta Castaña (*Anas cyanoptera*). En la Figura 34 se observan las aves que más abundan en el humedal.

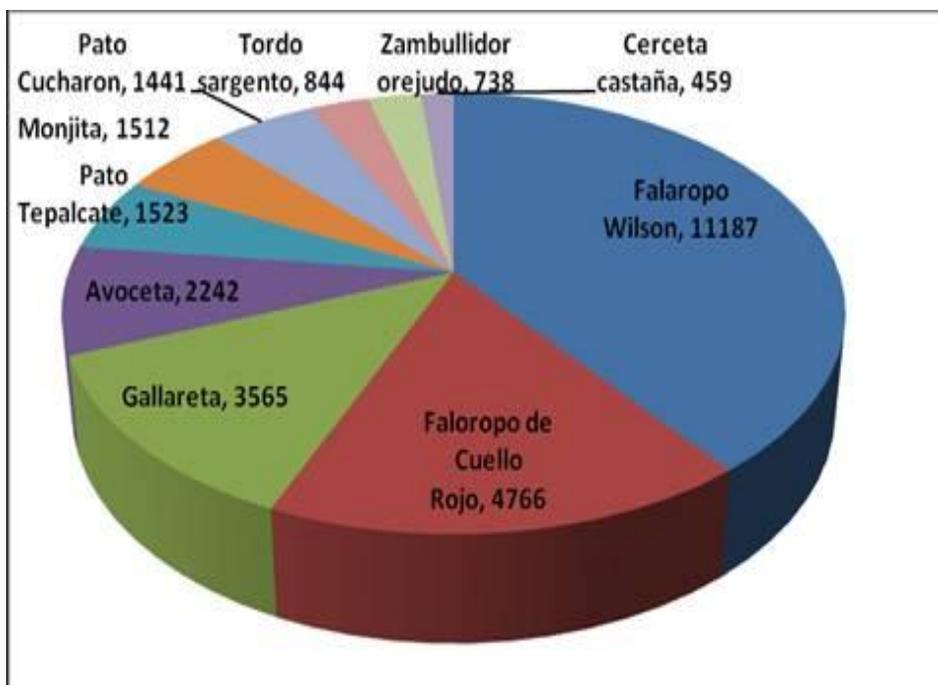


Figura 34. Abundancia de aves en el humedal.

Dentro de las aves acuáticas, también estuvieron presentes en abundancia los zambullidores, en particular el Zambullidor Orejudo (*Podiceps nigricollis*) y el Zambullidor Occidental (*Aechmophorus occidentalis*). Las Gallaretas (*Fulica americana*) fueron de las primeras aves en llegar al sitio, y se han mantenido en números altos durante los conteos.

A partir de la primavera del 2009 empezó a aumentar la presencia de distintas aves terrestres. En mayor abundancia se han observado a los Tordos Sargentos (*Agelaius phoeniceus*), pero ya se han detectado 42 especies distintas, la gran mayoría migratorias. Sin embargo, ya comenzó la colonización de las zonas de tule y sauces por algunas especies de aves terrestres relacionadas al humedal, en particular Tepetatero (*Cistothorus palustris*), Mascarita Común (*Geothlypis trichas*) y Gorrión Cantor (*Melospiza melodia*).

Es importante mencionar la presencia de aves de marisma en el humedal, ya que varias de estas especies son prioritarias para la conservación y se encuentran protegidas como especies amenazadas o en peligro de extinción, incluyendo el Palmoteador de Yuma (*Rallus longirostris yumanensis*), el Rascón de Virginia (*Rallus limicola*), Sora (*Porzana carolina*) (Figura 35 y 36) y Garcita de Tular (*Ixobrychus exilis*). A medida que la vegetación emergente ha ido aumentando, se han detectado estas especies en mayor medida y en distintas zonas del humedal.



Figura 35 y 36. Sora (*Porzana carolina*) y Palmoteador de Yuma (*Rallus longirostris yumanensis*) en el humedal.

Se planea continuar con los monitoreos estacionales de aves en el humedal para documentar los cambios poblacionales que se den y la influencia del incremento de tule y de vegetación terrestre en las especies de aves.

Asimismo, la constante presencia de personal de Sonoran Institute en los trabajos del humedal ha permitido observar especies de las que no se tenían registros en el sitio.

3. Hidrodinámica del humedal

El manejo del humedal de “Las Arenitas” requiere conocer las variaciones del nivel de agua en cada uno de los cuerpos lagunares y su relación con los volúmenes de entrada y salida, así como los tiempos de residencia para su correcta depuración. La división del humedal en cuerpos de agua con bordos y compuertas, además de la presencia de vegetación emergente, impide que la comunicación hidráulica de estos cuerpos de agua sea de forma inmediata, por lo que se presentan diferencias temporales en el nivel de espejo de agua. El monitoreo de los niveles nos permite ver si las diferencias de nivel son las esperadas según el diseño del humedal. Por tal motivo entre octubre y diciembre del 2011 se instalaron regletas de medición de niveles de agua y profundidad en 10 diferentes puntos a lo largo del humedal (Figura 37).

Con el fin de monitorear dichas variaciones se instalaron regletas a la entrada y salida de cada una de las lagunas. Las regletas fueron niveladas a un mismo nivel de referencia para tener una base de comparación entre cada una de ellas y periódicamente se realiza la medición del nivel por parte del personal en campo. A continuación se presenta un gráfico en el que se muestra las variaciones en el nivel de agua que se han registrado en las regletas a lo largo del período de observación del 5 de octubre al 29 de diciembre de 2011 (Figura 38).

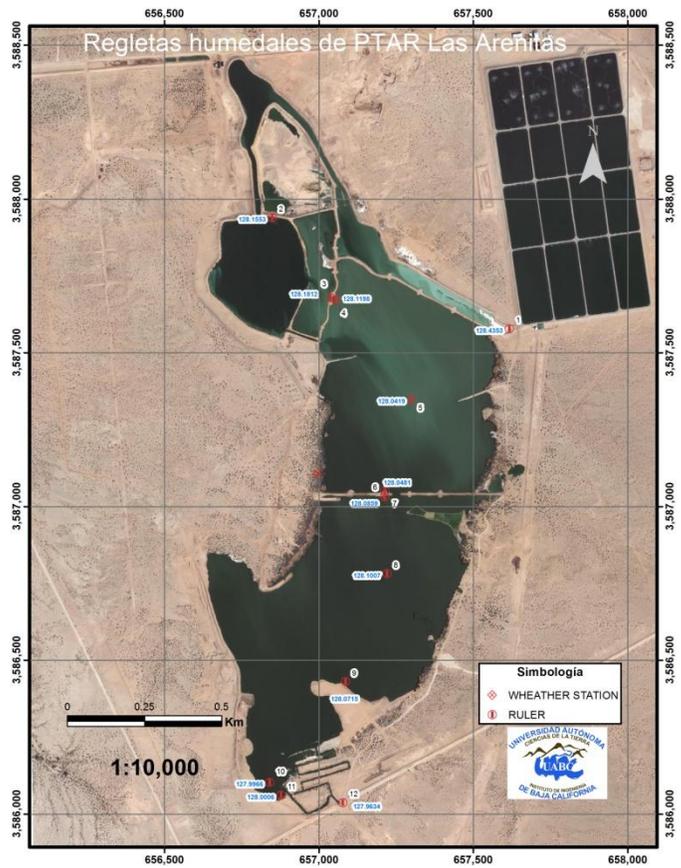


Figura 37. Ubicación de regletas para medir profundidad y nivel del agua en el humedal.

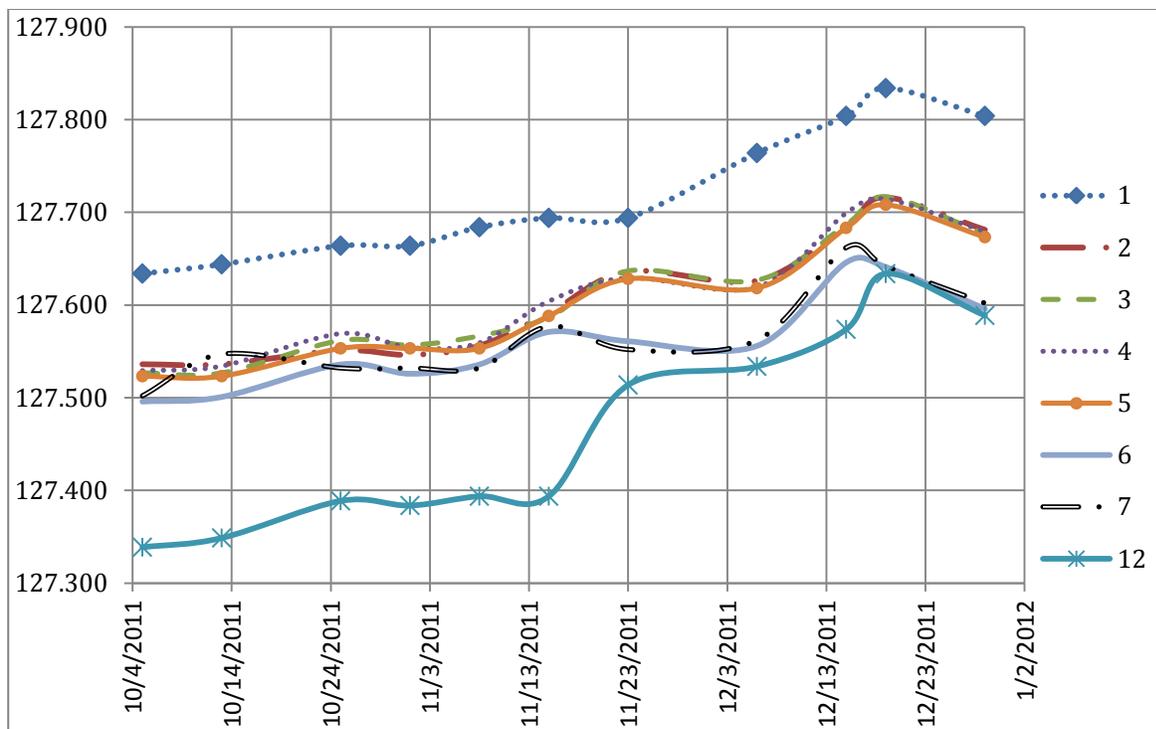


Figura 38. Evolución del nivel superficial del agua del Humedal las Arenitas.

Nota: la figura no muestra la información para las 12 regletas pues no estaban instaladas o faltaba nivelarlas

Es de esperarse que se presente un decremento en el nivel del agua de la salida del humedal con respecto al registrado en la entrada, ya que las compuertas de conexión entre las celdas fueron diseñadas con el propósito de tener una diferencia de 15 cm en el nivel del agua conforme el agua pasa de una celda a otra. Sin embargo hay otros factores que influyen en los niveles como lo son, las pérdidas de carga por fricción del flujo con el terreno y la forma irregular del humedal. Para el 1 de enero del 2012 se tenían 10 regletas instaladas de las cuales ocho estaban niveladas; los valores de nivel de agua de las regletas 2 a la 5 son similares como se observa en la figura 38. Con valores menores se observan las regletas 6 y 7 cuyos niveles son cercanos entre sí debido a que se encuentran en la transición entre una laguna y otra, mientras que en la parte más baja de la gráfica ubicamos la serie correspondiente a la regleta 12 que se encuentra a la salida del humedal. En estos momentos se está analizando la información de las 12 regletas instaladas en el humedal en cuanto a las variaciones en el nivel del agua para con esto, determinar si son los niveles adecuados y su relación con el manejo del humedal.

Medición de las condiciones meteorológicas

Para el análisis de las variables climáticas en la zona del humedal se instaló una estación meteorológica cuyo registro se muestra en la figura 39. En los datos observados para

precipitación se distinguen los eventos del 13 y el 14 de diciembre de 2011 en que se registraron 10.9 y 26.7 mm respectivamente. En el estudio de disponibilidad de agua media anual realizado por la CONAGUA en 2010 para las 84 cuencas hidrológicas del Estado, la precipitación media anual para la cuenca Río Colorado No.45 (BC-Sonora) es de 48.2 mm para el periodo analizado que fue de 1990-2009. En base a esto se puede concluir que el fenómeno presentado en diciembre de 2012 fue un evento extremo ya que, en 2 días consecutivos, se precipitó el 78 % de lo esperado en todo el año.

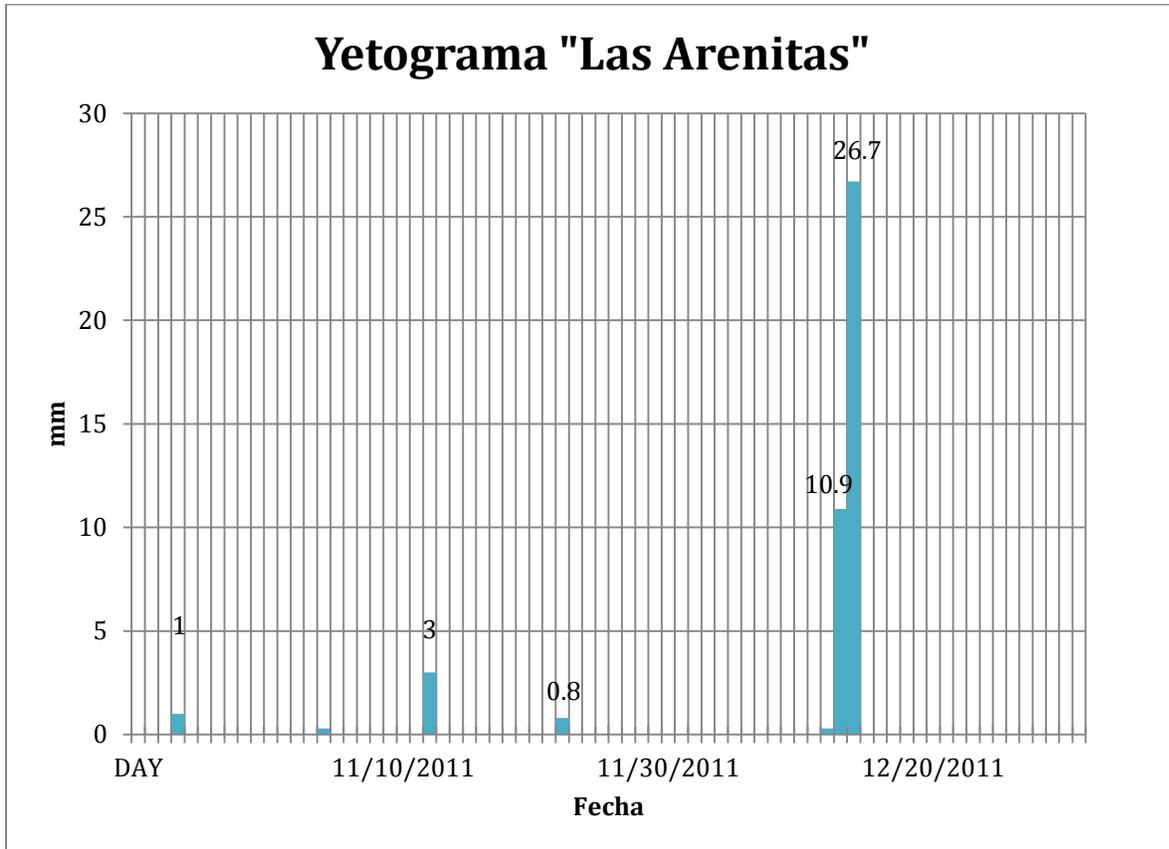


Figura 39. Yetograma estación climatológica "Las Arenitas".

Del análisis de la serie de temperatura alta, baja y promedio (Figura 40) se observa que al inicio del período la temperatura media es más cercana a la temperatura máxima, este período corresponde al otoño. El 13 de diciembre de 2011 las temperaturas máximas y mínimas se aproximan drásticamente entre sí siendo el día con menor variación de la temperatura y una temperatura media muy baja de 9.8°C. Después de ese evento las series de temperatura máxima y mínima se mantienen más equidistantes a la temperatura media. Por otro lado, la tendencia desde el inicio del registro es la disminución de la temperatura máxima para mantenerse alrededor de los 19.4° C, la mínima alrededor de 6.25°C y la promedio en 12.5°C.

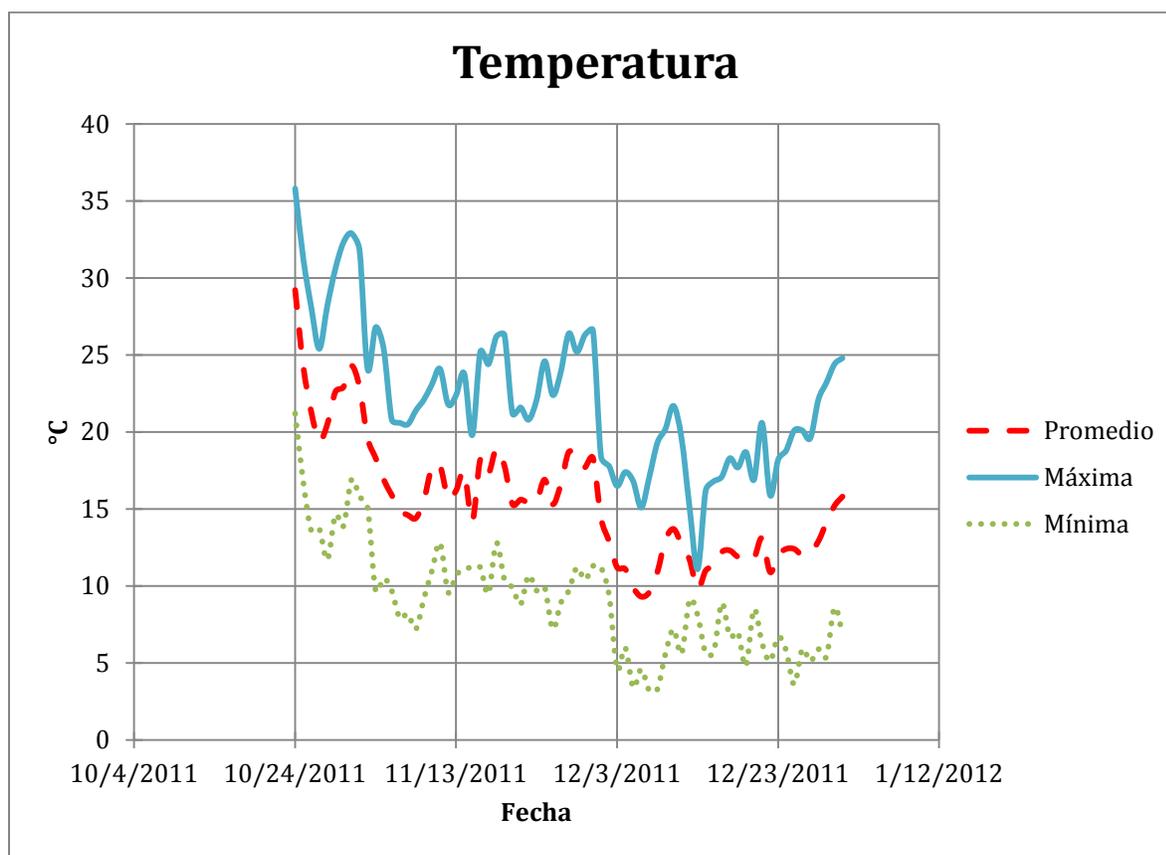


Figura 40. Gráficas de Temperatura.

4. Monitoreo fotográfico

El monitoreo fotográfico consistió en la toma de fotografías desde tierra y desde el aire. El uso de estas fotografías fue principalmente para monitorear la condición y extensión de la vegetación en las camas de tule.

Monitoreo fotográfico terrestre

Las fotografías de tierra se tomaron en siete puntos del humedal, de la siguiente forma:

- i. Mensualmente, en los primeros tres meses posteriores a la plantación de tule y
- ii. Cada dos meses, a partir del tercer mes después de concluida la plantación de tule.

En la figura 41 se muestran las fotografías para el punto ubicado en la Cama A-Celda 3 de junio de 2011 a junio de 2012.

Algunas de estas fotos se han presentado en las secciones anteriores, no se presentan aquí por limitaciones de espacio.



Figura 41. Fotografías de la Cama A de junio de 2011 a junio de 2012, se observa el crecimiento del tule.

Monitoreo fotográfico aéreo

Durante el período de duración del proyecto se llevaron a cabo por lo menos tres sobrevuelos en la zona del humedal artificial (Figura 42). Estos sobrevuelos se realizaron gracias al apoyo de la asociación LightHawk cuya visión es apoyar proyectos de conservación a través de sobrevuelos en las diversas regiones, tal es el caso del Delta del Río Colorado. Los sobrevuelos permitieron

identificar los avances en la formación del humedal y en la plantación de tule, al igual que tomar fotografías de los sitios de interés pues permitieron tener una vista del humedal entero y/o por secciones, lo que ha apoyó la toma de decisiones respecto a modificaciones en la plantación de tule. Algunas de estas fotos se han presentaron en secciones anteriores, por lo que en esta sección únicamente se incluyen algunas fotos.

04 mayo, 2010



30 septiembre, 2011



13 marzo, 2012



Figura 42. Fotografías aéreas del humedal en tres fechas diferentes: 04 de mayo de 2010, 30 de septiembre de 2011 y 13 de marzo de 2012.

E. Difusión del proyecto

En los últimos dos años el humedal artificial ha sido escenario para la realización de diversos eventos (Tabla V), en específico la conmemoración del Día Mundial de los Humedales.

Tabla V. Recorridos, eventos y visitas realizadas en de junio de 2010 a mayo de 2012 (SI-Sonoran Institute)

| Fecha | Evento | Organizado por |
|-----------|---|--|
| 26-Jun-10 | PET | SI -SEMARNAT-CESPM |
| 13-Sep-10 | Taller de trabajo camaleon cola plana del gran desierto | Pronatura, reserva, CONANP, FW Service y ICC/MOG |
| 25-Oct-10 | Tour de Fundaciones | SI-Pronatura |
| 17-Nov-10 | Jornada de Reforestación Arenitas | CESPM |
| 4-Dec-10 | Taller de humedales | GeoJuvenil - SI |
| 10-Dec-10 | Conferencia Delta del RC | SI y otros (Tucson) |
| 2-Feb-11 | Día de los Humedales | GeoJuvenil-SEMARNAT-CONANP-Reserva-CESPM-SI |
| 10-Feb-11 | Visita de inspección y constructora | CESPM y Bobcat |
| 14-Feb-11 | Muestreo de calidad del agua | INAPRAMEX |
| 14abr11 | Expo Ambiente | SPA |
| 27-Apr-11 | Recorrido CILA (comisionado), CESPM, CONAGUA, CEA | SI-Pronatura |
| 30-Jul-11 | Recorrido con preparatoria | CESPM |
| 5-Aug-11 | Recorrido con Kontent Films | SI |
| 14-Oct-11 | Oficialia Mayor | OM-SI |
| 19-Oct-11 | Tour | SI |
| 10-Nov-11 | Cena Urbi | Pronatura-SI |
| 13-Nov-11 | Artistas (Mary, Ellen, John) | SI |
| 16-Nov-11 | Tour (Rowene) | SI |
| 20-Dec-11 | Recorrido Inspección | CONANP-SPA-SI |
| 2-Feb-12 | Día de los Humedales | CESPM-SPA-SI |
| 12-Mar-12 | Tour H Bubb | SI |
| 5-Apr-12 | Tour NFWF | SI |
| 11-Apr-12 | UVM | SI |
| 25-Apr-12 | Arranque vivero y recorrido a humedal | SPA-SI |
| 2-May-12 | Seminario Delta | UAz, Pronatura Noroeste, SI |

En total, alrededor de 1,500 personas han visitado o saben acerca del humedal artificial, entre los que se encuentran miembros de la comunidad, representantes de dependencias de gobierno,

universidades de México y EUA y algunas fundaciones de ambos países. El Gobernador del Estado de B.C., diversos Secretarios del Estado de B.C, el cónsul de EUA en Tijuana y el Comisionado de CILA conocen el humedal y reconocen la importancia que éste tiene para el tratamiento del agua de la planta de tratamiento Las Arenitas y para las aves del Delta.

Adicionalmente a los grupos antes mencionados, CESPМ ha realizado visitas al humedal con grupos de diversas escuelas por lo que el número de personas que conocen el humedal es mayor al mencionado anteriormente. En la figura 45 se muestran fotografías de algunos de los eventos realizados en el humedal.

Asimismo, a nivel regional el humedal artificial Las Arenitas es reconocido como un proyecto que ejemplifica la colaboración entre organizaciones de la sociedad civil, dependencias de gobierno y diferentes fundaciones con un mismo objetivo.



a) Evento 2 febrero, 2011 - Día mundial de los humedales



b) Evento 2 febrero, 2012 – Día mundial de los humedales



c) Secretario de Gobierno del Estado de B.C. (telescopio) y Delegado de SEMARNAT en B.C. observando aves en el humedal



d) Personal de Sonoran Institute mostrando las aves en la guía de identificación al Secretario de SPA en B.C. y Secretario de Gobierno

Figura 43. Eventos y recorridos realizados el Día Mundial de los Humedales y en eventos especiales.

¿Cómo Funciona el Humedal?

Si acaso tú te preguntas *¿Es posible que existan plantas y animales que se beneficien de nuestros desechos?* Aquí en el humedal Las Arenitas la respuesta es "Sí." Hay organismos grandes y pequeños que utilizan lo que para nosotros son desechos contaminantes.

Las aguas residuales municipales e industriales de la zona Oriente de Mexicali llegan a la planta de tratamiento primario donde, entre otros procesos, el agua se trata con aireación. Posteriormente, el agua se envía al humedal donde se planta tule en las penínsulas y en las orillas.

El tule tiene lo que se llaman rizomas (tallos de la planta que crecen como raíces) que pueden emerger

para formar una planta nueva. Así es como el tule se propaga en el humedal y en su red de rizomas y hojas se crea un sustrato sobre el cual crecen microorganismos beneficiosos.

Estos microorganismos, junto con el tule, absorben los contaminantes que trae el agua y los usan para crecer y sobrevivir. El movimiento del agua a lo largo de las tres lagunas del humedal es lento—aproximadamente tarda 13 días para recorrerlo todo—dando tiempo a que los microorganismos limpien el agua y a que los rayos solares funcionen como un desinfectante. Una vez que el agua recorrió el humedal fluye hacia el Río Hardy y luego al Río Colorado.

El Río Hardy

Hasta hace unas décadas el Río Hardy llevaba aguas terribles cuyo origen era Cerro Prieto—un volcán inactivo ubicado al este de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Las Arenitas y el Humedal Las Arenitas. Actualmente, el agua que fluye a lo largo del Río Hardy tiene como origen parte del agua utilizada por el Municipio de Mexicali y el agua de drenaje agrícola de los parceleros que están alrededor. Actividades como el turismo, la pesca y otras formas de recreación se llevan a cabo ahí y conforme se mejora la calidad del agua se incrementan las oportunidades económicas y recreativas a lo largo del río.

Parámetros de Monitoreo

Para determinar el tamaño del humedal se consideró la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y los Sólidos Suspendedos Totales (SST) como los principales parámetros del diseño, ya que son los contaminantes que requieren mayor área del humedal para reducir sus concentraciones. Si el tratamiento disminuye la concentración de estos dos parámetros, se espera que reduzca también la de otros.

La DBO es la cantidad de oxígeno disuelto requerida para descomponer la materia orgánica contenida en un litro de agua. Si hay demasiada materia orgánica, los organismos que normalmente la descomponen no tienen suficiente oxígeno para sobrevivir. En el caso de los sólidos suspendidos totales, es la cantidad de sólidos suspendidos en un litro de agua residual. Los SST pueden llevar contaminantes y disminuir la capacidad de sobrevivencia de las especies presentes en el humedal. El monitoreo de estos y otros parámetros se realiza regularmente en la planta y en el humedal.

En Las Arenitas organismos grandes y pequeños utilizan lo que para nosotros son desechos.



- 1 El agua de la planta de tratamiento entra al humedal llevando contaminantes.
- 2 Al fluir, el agua pasa por el tulo que absorbe los contaminantes y ayuda a que los sedimentos se depositen en el fondo del humedal.
- 3 Los microorganismos beneficiosos se adhieren a las hojas y raíces del tulo y ayudan a descomponer los contaminantes transformándolos en nutrientes para las plantas.
- 4 Una vez que el agua recorrió el humedal fluye hacia el Río Hardy y luego al Río Colorado.

Colubres Escorpión - Colubra olivácea

Flora y Fauna

Aves de las Arenitas

Hasta el verano de 2011 el número de especies de aves registradas en Las Arenitas fue de 141, cifra que sigue aumentando. Aves acuáticas como playeros, patos y patos son las más comunes, e incluyen especies como el falarope de cuello rojo, la avoceta americana y el pato tepalcate que tiene un pico azul. También incluye gallaretas—reconocidas por su plumaje negro y su pico blanco—que son las primeras aves en llegar al humedal. Todas estas aves requieren lagunas para su alimentación y sobrevivencia.

El número de aves terrestres también está aumentando conforme se incrementa la superficie de hábitat. Especies de este tipo incluyen al tordo sargento, el gorrón cantor y el tepalcatero; la mayoría son migratorias y descansan aquí al estar el humedal en la ruta migratoria del Pacífico, que se extiende de la Patagonia hasta Alaska.

Entre las aves de marisma se tienen al palmoteador de humas, el racón de Virginia, la sora y la garceta de tular, que son prioritarias para la conservación y están catalogadas como amenazadas o en peligro de extinción.

Aves Raras y Comunes

Algunas especies de aves en Las Arenitas son muy comunes, como el pato caudiforme morado (ver arriba). Esta especie es muy abundante en el humedal y es no migratoria en general. Otras especies son más raras, como el Palmoteador de humas, una ave de marisma poco vista por su escasez—y porque es muy tímida. El Palmoteador de humas se registra como especie en peligro, lo que significa que la población de esa especie es tan baja que puede estar en riesgo de desaparecer. Aunque es una ave tímida, se encuentra aquí en Las Arenitas y puede reconocerse por su pico largo, un poco curvado y su color gris café. También lo puedes reconocer por su llamado que suena como cuando aplaudimos.

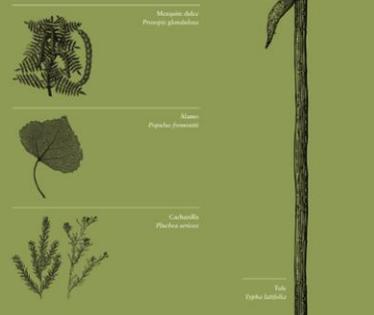
Hábitat

En las décadas previas a la construcción del humedal Las Arenitas, el terreno era una zona desértica y estaba cubierta con vegetación nativa adaptada a las condiciones secas. Con la presencia del humedal el ambiente de este lugar ha cambiado considerablemente y la presencia de agua aumentó la posibilidad de plantar vegetación nativa como tules, sauces y álamos. Otros tipos de vegetación nativa que se encuentran aquí son: palmerudora, mezquite, cahuilla, chamico blanco, palmas y más.

La vegetación nativa crea el hábitat ideal para las especies que usan el humedal Las Arenitas. El tulo provee hábitat para las aves acuáticas y los sauces y álamos ayudan a las aves terrestres, incluyendo aves neotrópicas como chichas, monzerrita y vitores. En el caso del mezquite, por ejemplo, provee áreas de anidación para los arroyeros cabernés de que libera nitrógeno por sus raíces y por lo tanto mejora la calidad del suelo. Asimismo, la sombra de los árboles nativos que se encuentran en Las Arenitas también nos ofrece refugio durante la temporada de verano.



El humedal provee hábitat importante para miles de aves.



Restauración del Delta del Río Colorado

Ayúdanos a Preservar esta Hermosa Región

Importancia Internacional
A pesar de que el Río Colorado ya no llega al mar, el Delta del Río Colorado es una prioridad internacional, la cual es reconocida por tener dos sitios RAMSAR, o humedales de importancia mundial, y más de doce mil kilómetros cuadrados protegidos como una Reserva de la Biosfera. Los tres niveles de gobierno (Federal, Estatal y Municipal), las organizaciones de la sociedad civil, comunidades locales y empresas privadas reconocen su importancia en la economía, la cultura y la salud de la región tanto para los seres humanos como para el medio ambiente.

Proyectos en Colaboración
Sonoran Institute y Promaterra Noroeste, A.C., en colaboración con dependencias del gobierno y otras asociaciones civiles, tienen proyectos por todo el Delta. Además del humedal Las Arenitas, estos proyectos incluyen restauración con vegetación nativa, investigación científica, desarrollo económico y participación de las

comunidades locales. Por medio del programa Adopta el Río diversos grupos de estudiantes y profesionales nos ayudan a reforestar en la zona. También trabajamos para incrementar la restauración del Delta y promover el ecoturismo, al mismo tiempo que nos enfocamos en asegurar agua para el medio ambiente y para que el agua del Río Colorado llegue de nuevo al mar.

Una Parte Esencial del Delta del Río Colorado
Con la ayuda directa de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de México (CESPM) y la Secretaría de Protección al Ambiente (SPA) el humedal Las Arenitas se ha vuelto un componente esencial de la restauración del Delta del Río Colorado. El tratamiento del agua residual por medio del humedal beneficia al medio ambiente, a la vida silvestre y puede incrementar la actividad económica local. También nos brinda un paisaje más saludable que podemos disfrutar en el presente y en el futuro.

El Delta del Río Colorado Te Necesita

Hay muchas formas de participar. Comunícate con nosotros si quieres ayudarnos a reforestar, observar aves o ser parte del programa Adopta-el-Río. También hay varias maneras de ayudar desde tu propio hogar, por ejemplo:

- Ahorra agua en tu casa. Cierra la llave del agua cuando te cepillas los dientes o mientras enjabonas los platos. Pídele a tu familia que también te ayude a usar menos agua. También ahorrarás dinero.
- Promueve la conservación del agua en tu escuela o trabajo. Habla con tus maestros, o si eres maestro con tus estudiantes, sobre cómo ahorrar agua en la escuela y analicen juntos durante la clase el tema del agua.
- Aprende más sobre la importancia del Delta. El Delta del Río Colorado es una región única. Lee libros, navega por la web y haz preguntas de lo que te interesa. Entro más agua sobre la zona más ganas te darán de cuenta. Con tu ayuda podemos restaurar y conservar este magnífico lugar. Únete a nosotros hoy.

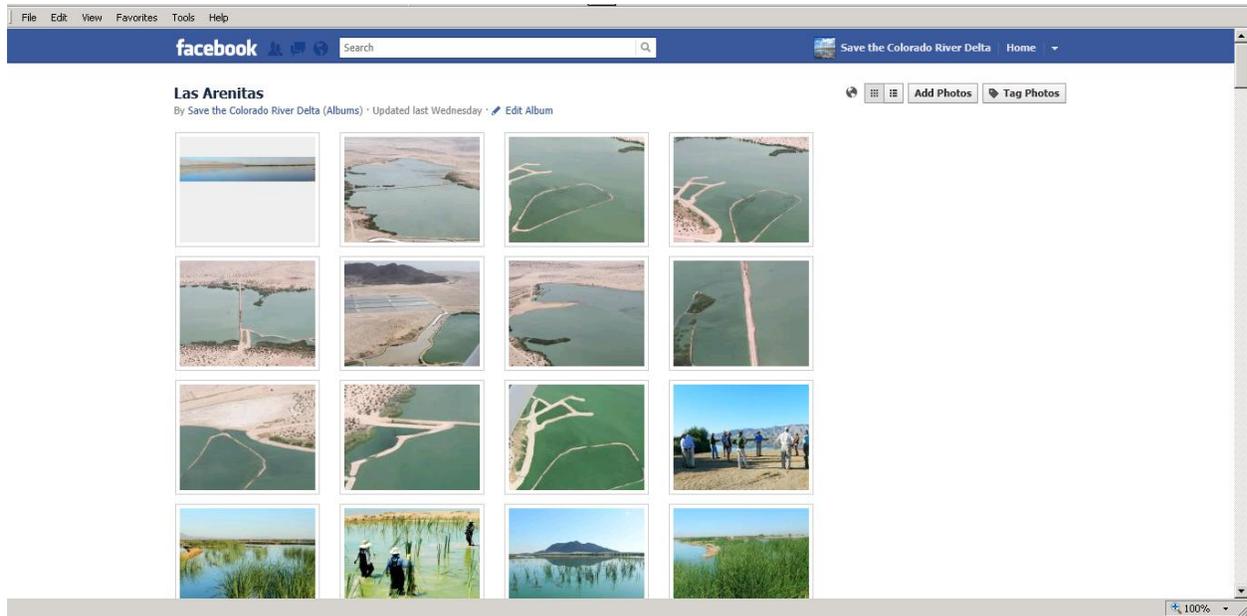
Para más información visita www.sonoraninstitute.org y www.promaterra-noroeste.org o llama al 6865825431.

También visítanos en Facebook en [facebook.com/savecoloradorodelta](https://www.facebook.com/savecoloradorodelta) para conocer más de lo que hacemos.

Filippo cell - Filippo.ecobio

Presentación de fotografías e información sobre el humedal en redes sociales como Facebook y en la página web del Sonoran Institute

De igual forma, en facebook se tiene el sitio Save the Colorado River Delta donde se muestran las fotografías y actividades que se llevan a cabo en diversos proyectos, entre estos el Humedal Artificial Las Arenitas. Ésta ha sido una forma en que diversos grupos conozcan más sobre el humedal y participen con comentarios y solicitud de información.



F. Administración del proyecto

Desde el inicio del proyecto se intentó estar en constante comunicación con CESPM, quien estuvo a cargo de la licitación para la construcción de las camas de la Celda 3, las 15 compuertas en el humedal y los bordos divisorios. Durante la primera fase de construcción (Camas C, D, bordos y compuertas) la información no fluyó de forma adecuada, ésta situación cambió en la siguiente fase de construcción (Camas E y bordos Sur y Suroeste) con lo que la comunicación y toma de decisiones se llevó a cabo de forma conjunta entre CESPM y SI. En total, durante ambas fases se tuvieron 18 reuniones con personal de CESPM de las cuales cuatro fueron en campo, 12 en oficina y dos con el personal de laboratorio.

Posteriormente, en la fase de construcción de las Camas de la Celda 2 se realizó un contrato entre Gobierno del Estado de B.C. y SI. Se llevaron a cabo seis reuniones de trabajo en campo con personal de SPA, CESPM y el representante de la constructora, para comentar avances, cambios y dudas. Durante este contrato se concluyeron las Camas I y K de la Celda 2. Así como también se adquirieron dos sondas más para el monitoreo de la calidad del agua así como estándares de conductividad y pH.

Durante el período reportado se firmaron dos contratos entre el Sonoran Institute y el Gobierno del Estado de B.C., el primero para la plantación de tule de la Celda 3 del y el segundo para los trabajos de plantación de tule en las Camas de la Celda 2. Asimismo, el Gobierno del Estado de B.C. adquirió de forma directa el equipo necesario para monitoreo en el humedal (2 motores fuera de borda, 2 lanchas de aluminio, tres sondas para medición de calidad del agua con sus respectivos materiales de calibración, dos bombas de 2", una estación meteorológica y una cámara fotográfica). Para hacer uso de este equipo se firmó con contrato de comodato entre Gobierno del Estado y Sonoran Institute mediante el cual Sonoran Institute quedó a cargo del equipo mencionado.

La figura 44 muestra la entrega-recepción de parte del equipo de SPA a Sonoran Institute. El equipo se instaló poco tiempo después de haber sido recibido para iniciar el monitoreo continuo de calidad del agua y de las condiciones meteorológicas de la zona.



Fotografías 45. Entrega-recepción de equipo por representantes de SPA y Sonoran Institute respectivamente, en oficinas de SPA.

VI. Comentarios adicionales

A la fecha el humedal artificial ha sido un buena herramienta para mejorar la calidad del agua proveniente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Las Arenitas. Sin embargo, aún hace falta concluir en su totalidad el humedal para poder asegurar que el agua cumplirá con los límites establecidos en la NOM-003-SEMARNAT-1997 tras haber pasado por el humedal.

El Sonoran Institute y Pronatura Noroeste sometieron una propuesta al Consejo de Humedales de Norteamérica (NAWCA) para cubrir una parte de la siguiente fase del Proyecto. Por su parte la SPA estará buscando recursos adicionales para contribuir a este proyecto; esperamos que la COCEF pueda también contribuir para llevar a un exitoso término la construcción del humedal de tratamiento Las Arenitas.

El humedal artificial es un ejemplo de colaboración entre diversos usuarios del agua que buscan opciones de tratamiento de agua así como una mejora tanto ambiental como económica.

VIII. Reporte Financiero

Con respecto a la inversión para la construcción del humedal, en la propuesta presentada a COCEF el monto total del proyecto fue de \$640,090 dólares. Las contribuciones por institución fueron las siguientes: \$99,294 dólares en efectivo de COCEF, \$88,409 en efectivo de NAWCA, \$123,690 dólares (\$1,717,286) en especie por parte de CESPM y \$914,140 dólares (\$12,706,539 pesos) en efectivo de SPA. De la contribución en efectivo por parte de SPA, \$184,090 dólares

fueron implementados a través de dos contratos con SI. El resto se aplicaron directamente por SPA, para la construcción del humedal. Al terminar esta fase del proyecto, los fondos totales recibidos fueron de \$1,225,533 dólares, rebasando considerablemente los fondos de contraparte requeridos en el acuerdo con COCEF.

La siguiente tabla muestra el reporte financiero por rubro de los fondos recibidos por el Sonoran Institute por parte COCEF y NAWCA.

| Gastos realizados | Fuente de financiamiento | | |
|--|---------------------------------|------------------|----------------------|
| | COCEF | NAWCA | Total Project |
| Personal | \$ 34,193 | \$ 35,673 | \$ 69,866 |
| consultores/Servicios externos | \$ 27,484 | \$ 21,990 | \$ 49,474 |
| Correo/Impresion/Fotocopiado/Materiales | \$ 5,945 | \$ 5,750 | \$ 11,695 |
| Telecomunicacion/Hospedaje/equipo/Seguros | \$ 10,907 | \$ 10,934 | \$ 21,841 |
| Capacitacion/Seminarios/reuniones/Talleres | \$ 443 | \$ 328 | \$ 771 |
| Viajes | \$ 7,371 | \$ 5,695 | \$ 13,066 |
| Costos indirectos del programa | \$ 12,951 | \$ 8,040 | \$ 20,991 |
| Total gastado | \$ 99,294 | \$ 88,409 | \$ 187,703 |

IX. Bibliografía

EPA, 2000, Manual. Constructed wetlands Treatment for Municipal Wastewaters, USEPA, 165pp.

Hinojosa-Huerta, Osvel; Fonseca, Alejandra Calvo; Olachea, Ricardo Guzmán; Butrón, Juan; Butrón, José Juan. Noviembre, 2011. Reporte “Monitoreo de Aves en el Humedal Artificial de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Las Arenitas: 2008-2011. Pronatura Noroeste

Kadlec, Robert H., Wallace, Scott H., 2009, Treatment wetlands, 2nd edition, CRC Press, EUA, 1016pp.

US EPA. 2009 Draft 2009 Update Aquatic Life Ambient water quality criteria for Ammonia - Freshwater. EPA 820-D-09-001 192pp