

Germinación y evaluación de *Sporobolus airoides* para la fitorremediación de aguas residuales con altas concentraciones de NaCl

Germination and evaluation of *Sporobolus airoides* for phytoremediation of wastewater with high concentration of NaCl

KARINA IVETTE GUZMÁN-MUÑOZ¹, EDITH FLORES-TAVIZÓN^{1,3}
Y GERMÁN CUEVAS-RODRÍGUEZ²

Recibido: Diciembre 7, 2015

Aceptado: Febrero 29, 2016

Resumen

Las aguas residuales de la industria de tenería, láctea y farmacológica (heparina sódica) contienen altas concentraciones de NaCl, por lo que resulta costoso su tratamiento mediante las técnicas convencionales. Es por ello que en esta investigación se propone una alternativa para la remoción de sales mediante el proceso de fitorremediación. El objetivo de este trabajo fue evaluar la germinación y el comportamiento de la especie vegetal *Sporobolus airoides* (SAI) como fitorremediadora para la remoción de NaCl mediante experimentos a nivel laboratorio. En la etapa I del experimento se determinó el método de germinación más eficiente, utilizando solución nutritiva Hoagland (SNH) y cuatro métodos de germinación. En la etapa II, las plantas fueron trasplantadas en tres medios de soporte (perlita agrícola, espuma oasis y pellets) con las soluciones problema de NaCl a diferentes concentraciones (0.034, 0.342, 0.686 y 1.028 M) y el blanco. En esta etapa, los parámetros evaluados al inicio y a los 15 días de contacto fueron: porcentaje de germinación, número de hojas, elongación radicular, potencial hídrico y conductividad eléctrica (CE) en las soluciones problema. En cada experimento y en cada réplica se utilizaron 10 plantas de la especie SAI. El resultado más eficiente fue el método de germinación 4 (ver en apartado de metodología). El porcentaje de remoción que se logró disminuir en las soluciones problema fue el 20% de NaCl. La especie *Sporobolus airoides* fue capaz de sobrevivir en ambientes salinos de 1.028 M de NaCl durante 15 días, lo cual la hace una especie potente para la fitorremediación de efluentes contaminados con altas concentraciones de este compuesto.

Palabras clave: *Sporobolus airoides*, cloruro de sodio, estrés, fitorremediación, halófilas, salinidad.

Abstract

Wastewater of industries as tannery, dairy products and pharmacology (sodium heparine), have high concentrations of NaCl, consequently it represent high cost of treatment by a traditional technique. Thus the main reason on this research is, to propose an alternative way to remove salts, through phytoremediation process. The aim of this research was evaluate germination and behavior of *Sporobolus airoides* to remove NaCl through phytoremediation technique. Step I, had been settled the most effective method of germination, using a Hoagland Nutrient Solution, (SNH) and four germination methods. Step II, the plants were transplanted on three different types suport media (perlite, oasis sponge and pellets) and stock solutions concentration of NaCl 0.034, 0.342, 0.686 y 1.028 M, and blank had been used. Part of the step II parameters as germination percentage, number of leaves, radicular lenght, hydric potential, electrical conductivity (EC) had been measured and evaluated at the beginin and after 15 days of contact with 10 plants of SAI. The most effective germination method had been method 4 (see methods and materials). The remotion percentage reach by this specie was 20% of NaCl, also *Sporobolus airoides* achieve to survive in saline enviroments at 1.028 M of NaCl during 15 days, which is very impotant plant to be considered as a phytoremediation specie and treat polluted effluents specially with high concentrations of NaCl.

Keywords: *Sporobolus airoides*, halophytes, phytoremediation, salinity stress, sodioum chloride.

¹ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Avenida del Charro s/n, Colonia Universidad, Ciudad Juárez, Chih., México. CP 32000. Tel: (656) 688-4846, Fax: (656) 688-4846.

² Universidad de Guanajuato. Departamento de Ingeniería Civil División de Ingenierías, Campus Guanajuato. Avenida Juárez, Colonia Centro. CP 36000. Tel: (473) 102-0100, ext. 2292, Fax: (473) 102-0100, ext. 2230.

³ Dirección electrónica del autor de correspondencia: ledflores@uacj.mx.

Introducción

La salinidad es uno de los problemas de contaminación que se presenta en el agua en diversas regiones del país debido a descarga de efluentes con muy altas concentraciones de sales provenientes de industrias como por ejemplo, tenerías, productoras de lácteos y farmacológica, en las cuales prevalece la presencia del compuesto cloruro de sodio (NaCl). En el centro de la República Mexicana, en especial el municipio de León, Gto., la producción de piel representa el 67% a nivel regional (INEGI, 2007). Esta región ocupa el tercer lugar a nivel nacional en la elaboración de productos lácteos de origen caprino y el sexto en productos de origen bovino, con una producción total entre 24 y 675 millones de litros, respectivamente (OEIDRUS, 2010).

La caracterización de efluentes de aguas residuales provenientes de tenerías, productos lácteos y así como la producción del anticoagulante denominado heparina sódica, medicamento utilizado ampliamente en el tratamiento de enfermedades como la trombosis o tromboembolismo pulmonar, entre otros (Arias *et al.*, 2004), muestran concentraciones de NaCl entre 15,000 y 30,000 mg/L (0.514 y 1.028 M respectivamente) y algunas veces hasta 40,000 mg/L (Vidal, *et al.*, 2003; Lofrano *et al.*, 2013). Las altas concentraciones de NaCl en efluentes de aguas residuales crudas pueden ocasionar problemas a la infraestructura de los sistemas de tratamiento, así como a los cuerpos receptores; por lo que es importante proponer tecnologías alternativas de bajo costo, como la fitorremediación, para la remoción del NaCl presente en estos efluentes industriales. Esta tecnología se basa en el uso de plantas para la remoción de un contaminante, ya sea en suelo o en agua.

Este proceso se ha llevado a cabo desde tiempos muy remotos de forma natural, en los pantanos y humedales, sin embargo, diversos trabajos de investigación como los de Khan y Weber (2008), Marcum (1999) y Qadir *et al.* (2005), muestran que la especie vegetal *Sporobolus airoides* (SAI), es altamente tolerante a la salinidad (por encima de 0.034 M de NaCl), y también se ubica por encima del rango de tolerancia a la salinidad, por lo que ha sido evaluada para remediar suelos deteriorados por el exceso de sales.

Una de las principales características de la especie SAI es que crece en lugares temporalmente inundados y con altas concentraciones de sales en regiones desérticas del norte de la República Mexicana (Royo y Melgoza, 2001). El rango de temperaturas en las que se desarrolla se encuentra entre 12 °C mínima y de 32 °C máxima. Su extensión territorial comprende desde el oeste de Estados Unidos hasta el centro de México (Rzedowski, 2001).

La especie SAI forma parte del grupo de las halófilas, plantas que crecen en suelos salinos. En investigaciones realizadas por Khand y Gul (2008) demostraron que este tipo de plantas lograban germinar y crecer en 1.7 M de NaCl, distribuyendo el sodio por toda su estructura y soportando una cantidad elevada de sales en su organismo.

Debido a la gran capacidad de adaptación que presentan este tipo de plantas halófilas frente a cambios hiperosmóticos en su ambiente de crecimiento, son unas fuertes candidatas para la fitorremediación del compuesto NaCl (Flowers *et al.*, 2010), así como también para forraje y mejoradoras de suelo, ya que requieren de poca irrigación para su crecimiento (Flowers *et al.*, 2010, Bressan *et al.*, 2013; Cheeseman, 2013).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la germinación y el comportamiento de la especie *Sporobolus airoides*, cultivada en el desierto de Chihuahua, Chih., como especie fitorremediadora para la remoción de NaCl presente en aguas residuales.

Materiales y métodos

Obtención de semillas

Las semillas de la especie *Sporobolus airoides* fueron donadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Germinación

La germinación se llevó a cabo en una solución nutritiva Hoagland (SNH). La composición se muestra en el Cuadro 1. La determinación del porcentaje de germinación se calculó con la ecuación 1.

$$\% \text{ Germinación} = \frac{\text{semillas germinadas}}{\text{total de semillas}} \times 100 \quad \text{Ec. 1}$$

Cuadro 1. Componentes en 0.5 L de la Solución Nutritiva Hoagland (Pedroza, 2010).

Compuesto	Notas	g
Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O		4.2172
CaCl ₂ · 2H ₂ O		15.7146
MgSO ₄ · 7H ₂ O		188.9900
KH ₂ PO ₄		6.5929
KNO ₃		1.2925
H ₃ BO ₃	Preparados en el mismo recipiente	0.0714
MnCl ₂ · 4H ₂ O		0.0390
MoO ₃		0.0008
CuSO ₄ · 5H ₂ O		0.0054
Fe(NO ₃) ₃ · 9H ₂ O	Almacenado en un recipiente ámbar para evitar su degradación	0.2040
Zn(NO ₃) ₂ · 6H ₂ O		0.0056

Los métodos de germinación que a continuación se describen fueron seleccionados para asemejar el ambiente en el cual la especie SAI se desarrolla en su hábitat natural, así como también experimentar si lograba crecer en ambientes de temperatura y humedad diferentes a su medio natural.

Método de germinación 1. Las semillas de la especie SAI se colocaron en cajas petri con 5 mL de SNH (0.065g/placa). Posteriormente, se introdujeron en una incubadora (Marca Binder) a 22 °C durante 7 días. En este periodo de tiempo, se le agregó SNH a las cajas petri cada 24 h.

Método de germinación 2. Se colocaron dos lotes de 0.065 g de semillas SAI sobre dos trozos de papel de celulosa de 30 cm de largo por 20 cm de ancho, humedecidos con SNH. Posteriormente, se enrollaron los trozos de papel, se doblaron de uno de los extremos y se colocaron dentro de una gaveta del laboratorio a condiciones ambientales (25 °C) y sin luz. Se agregó 5 mL de SNH cada 24 h, durante 7 días (Gardea-Torresdey *et al.*, 2003; Sangabriel *et al.*, 2006).

Método de germinación 3. Se colocaron dos lotes de 0.065 g de semillas SAI sobre dos trozos de papel de celulosa de 30 cm de largo por 20 cm de ancho, humedecidos con SNH. Se enrollaron los trozos de papel, se doblaron de uno de los extremos y se colocaron dentro de una gaveta del laboratorio a condiciones ambientales (25 °C) con 8 horas luz y 12 horas sin luz, se agregó 5 mL de SNH cada 24 h durante 7 días (Ostler *et al.*, 2002; Sangabriel *et al.*, 2006).

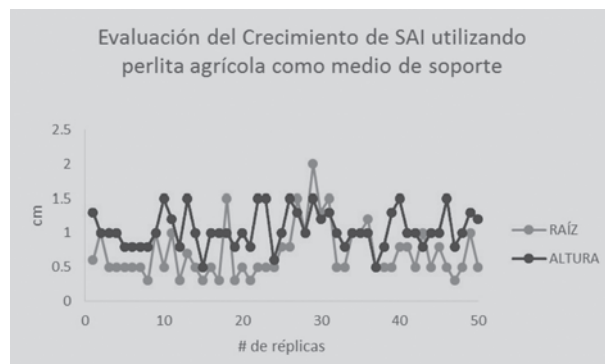
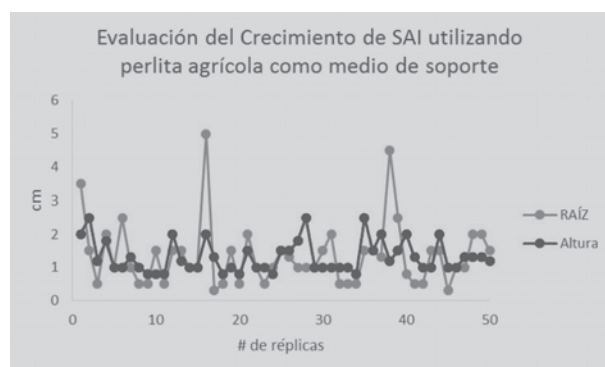
Método de germinación 4. Se ajustó el pH de la SNH a tres unidades distintas (5.5, 6.0, 6.5) con HCl 0.05 N o NaOH 0.1 N según fue el caso. Se pesó aproximadamente 0.1 g de SAI y se colocaron en cajas petri. Se realizaron cinco réplicas por cada unidad de pH, a 20 °C por la noche y 35 °C en el día. Se monitoreó diariamente durante 15 días y se agregó 5 mL de SNH a cada caja petri (Sangabriel *et al.*, 2006).

Crecimiento

A partir de las cuatro semanas de crecimiento de las plántulas, se probaron tres medios de soporte perlita, espuma floral Marca Oasis® y pellets (pastillas de peatmoss). Se utilizaron cuatro concentraciones de NaCl (0.034, 0.342, 0.686 y 1.028 M) (Vidal, *et al.*, 2003; Lofrano *et al.*, 2013) y un blanco como

control. Se observó y registró la elongación radicular y foliar de las plantas (Figura 1) y para el medio de soporte con pellets (Figura 10). Se determinó el potencial hídrico, conductividad eléctrica al inicio y a los 15 días de contacto entre las plantas con las soluciones salinas en los tres medios de soporte.

Figura 1. Evaluación del comportamiento de SAI en perlita agrícola (arriba) y en espuma oasis (abajo).



El potencial hídrico (ψ) se determinó a través del método gravimétrico, se registró el peso antes y después de un periodo de contacto, con 5 mL de solución salina y tres plantas de SAI por réplica (fueron tres réplicas) y por cada concentración. Se eliminó el exceso de humedad de las plantas con papel traza y se procedió a pesarlas. Pasada 1 h de contacto se retiraron las plantas, se volvió a eliminar el exceso de humedad y se registró el peso final; por diferencia de los pesos se realizó el análisis de resultados mediante una gráfica de pérdida o ganancia de peso con respecto a la concentración del NaCl. La conductividad eléctrica se midió en las soluciones antes de ser vertidas

en los medios de soporte utilizando un electrodo Thermo Scientific, calibrado con el estándar de 12.9 mS/cm, de la Marca Orion.

Características del medio de soporte.

Perlita

Se utilizaron 35 g de perlita agrícola, con un tamaño promedio de 0.01 m de diámetro, se colocaron en cajas Petri y en tubos falcon de 50 mL como se observa en la Figura 2-1 y Figura 2-2 respectivamente.

Figura 2. Perlita agrícola utilizada como medio de soporte en caja Petri (1) y en tubos de centrifuga (2).



Espuma floral

El crecimiento de las plántulas se realizó en espuma floral marca Oasis®. En la Figura 3-1 se observan las 10 plantas de SAI, las cuales se colocaron en un trozo de espuma floral de 7.5 cm largo x 3.5 cm de ancho x 1 cm alto; y se agregaron 30 mL de cada una de las soluciones problema de NaCl.

Figura 3. Espuma floral utilizada como medio de soporte (1). Peatmoss en forma de pellets antes y después de la hidratación con SNH (2).



Pellets

Se utilizaron pellets elaborados a base de comprimidos de peatmoss, de 0.015 m de alto y 0.05 m de diámetro, que al hidratarse con 25 mL de SNH aumentaron hasta 0.07 m de alto (Figura 3-2).

Análisis de resultados

El análisis de los resultados se llevó a cabo mediante la determinación de medias y gráfica de histogramas con curvas de distribución normales, las cuales se realizaron con el paquete estadístico Minitab versión 17 (Núñez, et al., 2007).

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos del método 1 de germinación se observan en la figura 4-1. En esta figura se puede ver que las semillas de SAI generaron raíz y presentaron poca actividad fotosintética, lo cual se asocia la pérdida de color de la parte foliar. Los resultados de los métodos 2 y 3 de germinación se muestran en las figuras 4-2 y 4-3, en estas figuras se puede observar que las semillas presentaron el mismo aspecto después de los 7 días de germinación. Las semillas que germinaron mediante estos dos métodos desarrollaron hojas y raíz, otras se observaron de color negro y con aspecto quemado, sin embargo, no se ven turgentes para ser utilizadas en la etapa II.

Los resultados obtenidos del método 4 de germinación se muestran en la figura 5-1, 5-2 y 5-3. En estas figuras se observa las semillas de las SAI que fueron colocadas para su germinación a un pH del medio de 5.5, 6.0 y 6.5. Estas

muestras fueron realizadas por quintuplicado. En la figura 5-4, 5-5, y 5-6 se muestran las réplicas 1 de cada uno de los pH mencionados anteriormente. Se observó que modificando el pH se obtiene un mayor crecimiento de la especie SAI.

En el método 1 solo se desarrolló la raíz y las hojas no fueron turgentes ni abundantes como en el método 4. Mediante el método 4 se obtuvo un porcentaje de germinación del 70%, porcentaje aceptable según el criterio Knipe, 1967; sin embargo, en el método en el cual el porcentaje de germinación del 70%, solo se mejoró la apariencia como se observa en las figuras 5-4, 5-5 y 5-6.

En el Cuadro 2 se muestran los resultados obtenidos a partir del desarrollo de la estadística descriptiva, para el procesamiento de los datos, con lo que se observa que la cantidad de semillas germinadas en la que se obtuvo un mayor número fue a los 38 días de edad. Sin embargo, la mayor longitud de la raíz fue a los 31 días de edad.

Basados en los resultados que se muestran en el Cuadro 2, la variable N difiere debido a que algunas semillas se encontraban en fase de letargo, bajo las mismas condiciones ambientales (22 °C, 30% de humedad) por lo que no se obtuvo un 30% como mínimo para cumplir el criterio establecido por Knipe (1967).

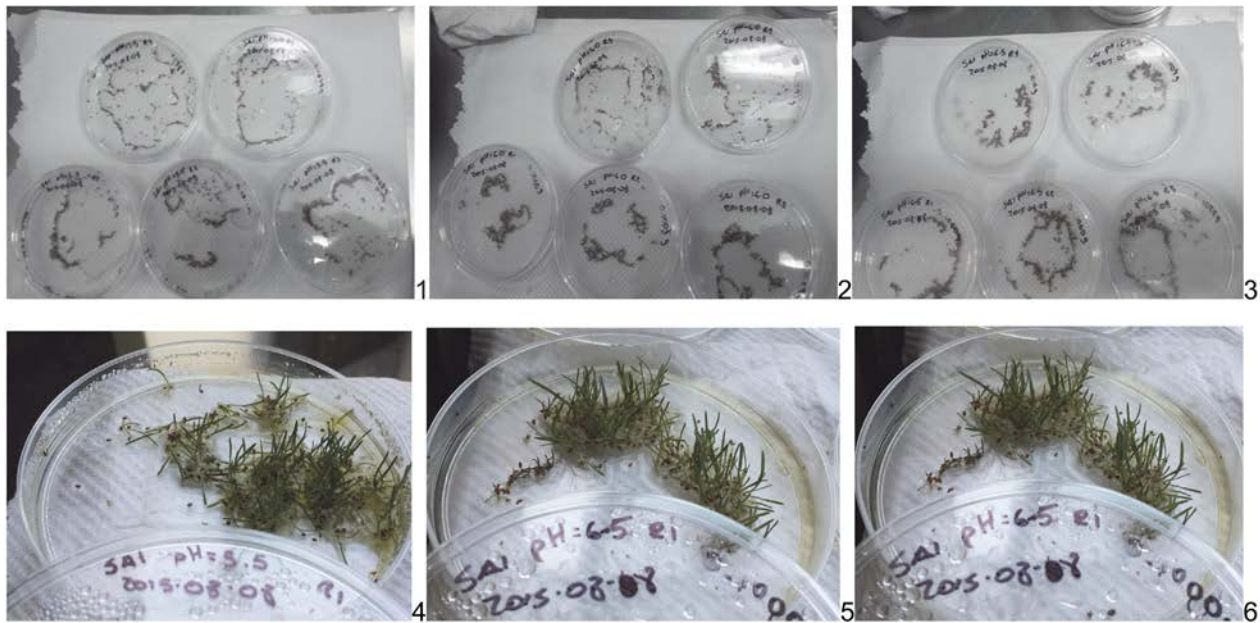
Cuadro 2. Estadística descriptiva del número de hojas y elongación de la raíz (cm) a los 31, 35, 38 y 39 días de edad de la especie vegetal *Sporobolus airoides*.

Estadísticos descriptivos	Edad de la planta (días)							
	31		35		38		39	
	No. hojas	Longitud de raíz (cm)	No. hojas	Longitud de raíz (cm)	No. hojas	Longitud de raíz (cm)	No. hojas	Longitud de raíz (cm)
N (semillas)	94	94	25	25	113	113	41	41
Media	2.383	2.769	2.16	1.128	2.0088	0.9071	1.976	2.541
Mínimo	1	0.5	1	0.1	1	0.1	1	0.1
Máximo	4	9	4	3	4	4	4	5

Figura 4. Imagen del método de germinación 1 a los 7 días de incubación (1), imagen del método de germinación 2 (2) y la imagen del método de germinación 3 (3).



Figura 5. Imagen del método 4 de germinación en donde 1, 2 y 3 corresponden a las cinco réplicas de cada pH utilizado; 4, 5, y 6 a la réplica 1 de cada unidad de pH.



Etapa de crecimiento

El monitoreo del crecimiento de las plantas de la especie SAI a los 31, 35, 38 y 39 días de edad, mostraron que no hubo un aumento significativo en el tamaño de las hojas y en la elongación de las raíces, al haber regado las plantas con SNH. En las Figuras 6 y 7 se muestran las curvas normales del crecimiento del número de hojas y la elongación de la raíz de la especie vegetal SAI.

El efecto del crecimiento de SAI con respecto

al número de hojas evaluadas a cuatro edades diferentes, mostraron un comportamiento normal como se observa en las gráficas 1, 2, 3, 4, de la Figura 6. Se observa que el número promedio de hojas que se desarrollaron por planta fueron en promedio 2 y 3 hojas a los 31 y 35 días de edad respectivamente; mientras que a los 38 y 39 días de edad fueron en promedio 1 y 2 hojas, lo cual demostró en este experimento que la edad de la planta fue independiente al número de hojas desarrolladas durante la etapa de germinación.

Figura 6. Histograma con curva normal del número de hojas (1, 2, 3, 4) de *Sporobolus airoides* a los 31, 35, 38 y 39 días de edad, respectivamente.

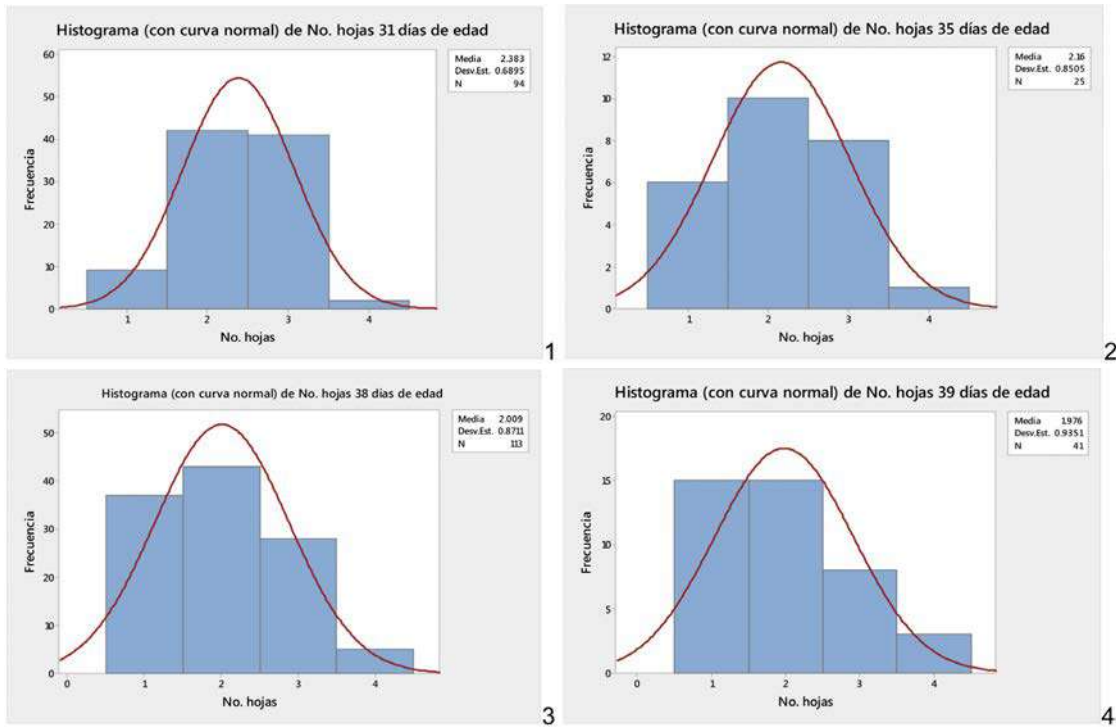
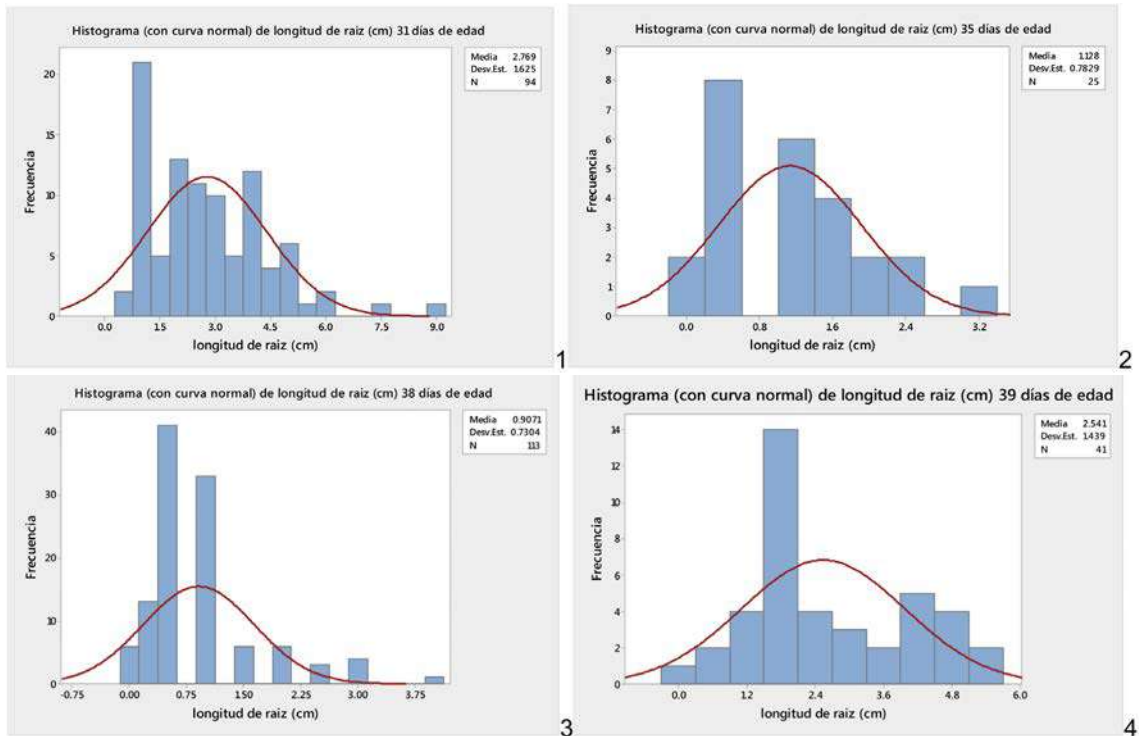


Figura 7. Histograma con curva normal de la longitud de la raíz (1, 2, 3, 4) de *Sporobolus airoides* a los 31, 35, 38 y 39 días de edad, respectivamente.



Según Lane *et al.*, 2014, las plantas halófilas monocotiledóneas como *Sporobolus airoides* completan su ciclo de vida a 0.05-0.10 M de NaCl, sin embargo, durante el presente estudio la concentración utilizada sobrepasó lo reportado por el autor antes mencionado, y a pesar de ello las plantas lograron crecer y presentar una apariencia turgente, a concentraciones mayores de 0.10 M de NaCl.

Se observó también que a concentraciones de 0.80 M de NaCl, las condiciones fisiológicas cambian a tal grado que el Na⁺ disminuye su concentración en las raíces y aumenta en las hojas por lo que se forman cristales como se observa en la Figura 9-4, donde el cloruro de sodio había sido secretado por las plantas. Este comportamiento también fue observado por De Araujo *et al.* (2006).

En las primeras cuatro semanas de crecimiento de *Sporobolus airoides*, la raíz de la planta logró desarrollarse, sin embargo, llegó a un punto en el que su desarrollo se detuvo, y esto se debe a la necesidad de nutrientes en las distintas etapas de crecimiento de las especies vegetales (Azcón-Bieto y Talón, 2000) como se observa en la Figura 7. La longitud media de la raíz que predominó fue 2.7 cm a los 31 días.

Analizando ambos comportamientos del número de hojas en la Figura 6 y la elongación de las raíces en la Figura 7, no se observó relación con respecto a la edad de las plantas, ya que a partir de los 31 días de edad las plantas no crecían, por lo tanto el número de hojas de las cuales solo algunas plantas desarrollaron 4 hojas, la media fue 2 hojas; y la longitud de las raíces 9 cm, mientras que la media fue 3 cm de largo.

Una de las razones de inhibición en el desarrollo de las hojas se debe a que el Na⁺ se acumula en las mismas plantas. Shelef *et al.*, (2012) reportaron una acumulación del 80% del Na⁺ en las hojas, por lo tanto, si SAI al pertenecer a las mismas condiciones climáticas tiende a utilizar este tipo de mecanismo como una adaptación natural y de sobrevivencia, con estrés ocasionado por Na⁺ tolerándolo y sin detener su crecimiento.

Potencial hídrico

Los resultados obtenidos de la determinación del potencial hídrico se observan en el Cuadro 3. Se observa que las plantas mostraron un comportamiento descendiente en la diferencia de peso conforme aumentaba la concentración de NaCl y el potencial hídrico se hacía más negativo. Esto quiere decir que al ir aumentando las concentraciones de NaCl, le costaba más trabajo a la planta suministrar una unidad de masa de agua ligada a los tejidos de la misma y transformarla en agua libre para que sea absorbida y transportada a la parte aérea (Azcón-Bieto y Talón, 2000). En la Figura 8 se puede observar el comportamiento de las plantas de SAI con respecto a la concentración de NaCl y el promedio del cambio de peso en las plantas.

Cuadro 3. Resultados del potencial hídrico mediante método gravimétrico reportando el cambio de peso en las tres réplicas.

(Réplica 1)			
Concentración de NaCl (M)	Peso Inicial	Peso Final	Peso F - Peso I
Blanco (SNH)	0.0026	0.0110	0.0084
0.034	0.0057	0.0037	-0.0020
0.342	0.0054	0.0023	-0.0031
0.686	0.0068	0.0036	-0.0032
1.028	0.0096	0.0025	-0.0071
(Réplica 2)			
Blanco (SNH)	0.0050	0.0057	0.0007
0.034	0.0040	0.0019	-0.0021
0.342	0.0053	0.0043	-0.0010
0.686	0.0036	0.0020	-0.0016
1.028	0.0054	0.0040	-0.0014
(Réplica 3)			
Blanco (SNH)	0.0030	0.0041	0.0011
0.034	0.0061	0.0037	-0.0024
0.342	0.0022	0.0030	0.0008
0.686	0.0027	0.0021	-0.0006
1.028	0.0037	0.0031	-0.0006

La evaluación de los medios de soporte y el comportamiento de las plantas por estrés salino, fue que en la espuma floral hubo formación de hongos en las concentraciones 0.034 M (1000 mg/L) de NaCl y el blanco (Figura 9-1). Por otro lado, en las concentraciones 0.342 y 0.686 M (10000 y 20000 mg/L respectivamente) de NaCl no presentaron formación de hongos (Figura 9-2). En la perlita se observó que en el blanco se formaron algas (Figura 9-3), mientras que en las concentraciones 0.034,

0.342, 0.686 y 1.028 M de NaCl no hubo formación de las mismas (Figura 9-4).

En los pellets se observó un mejor tamaño y turgencia en comparación con los otros dos medios de soporte posterior a los 31 días de crecimiento; sin embargo, con este medio de soporte se complicó medir el cambio en la concentración del NaCl en las soluciones problema. En la Figura 10 se observa la apariencia de las plantas en los pellets.

Figura 8. Promedio del cambio de peso en la determinación del potencial hídrico mediante el método gravimétrico.

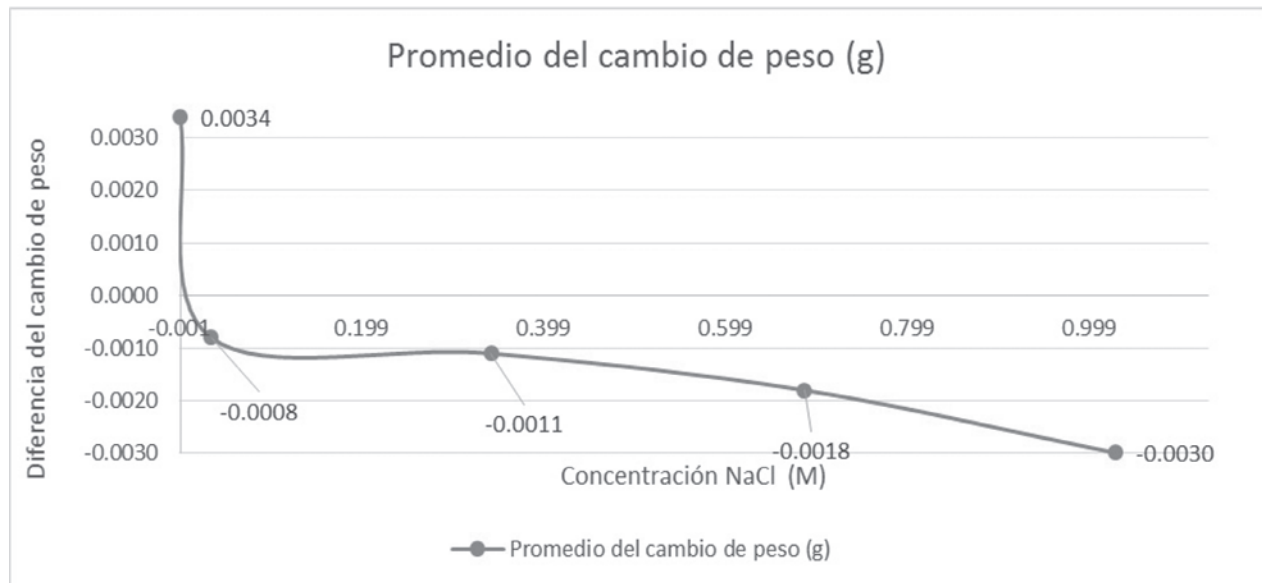
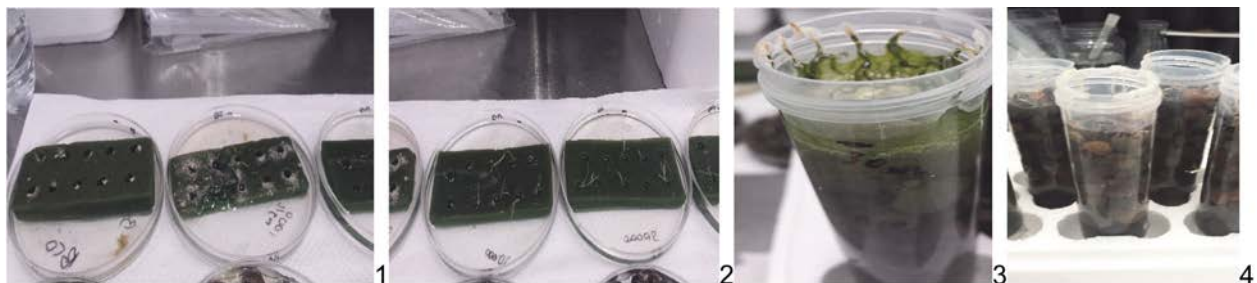


Figura 9. Esponja oasis (1, blanco y 0.034 M), sin desarrollo de organismos (2, 0.342 y 0.686 M de NaCl), crecimiento de algas en el blanco (3), sin formación de algas a partir de 0.034 M de NaCl (4).



Los resultados obtenidos de las mediciones de conductividad eléctrica (CE) mostraron que a los 15 días de haber estado en contacto las plantas con las soluciones problema de NaCl a diferentes concentraciones, disminuyó la conductividad eléctrica en las réplicas 1 y 3 en promedio, 10.92 y 0.716 mS/cm respectivamente; mientras que en la réplica 2 aumentó en promedio 3.57 mS/cm, en la que su equivalencia en molaridad de NaCl fue 0.210, 0.014 y 0.068 M respectivamente.

Figura 10. Pellets de peatmoss con plantas de *Sporobolus* después de los 31 días de evaluación.



Conclusiones


Sporobolus airoides logró germinar con mayor eficiencia con el método 4, en el cual se obtuvo un 70% de germinación. En la etapa de germinación, la edad no se relacionó con el número de hojas desarrolladas ni tampoco con la elongación de la raíz. Esta planta fue capaz de disminuir una concentración de NaCl de 0.210 M (6000 mg/L) en promedio como máximo, durante los 15 días de contacto planta-soluciones problema y desarrolló en promedio dos hojas por planta con un largo de raíz máximo de hasta 9 cm.

Agradecimientos

A la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez por haberme recibido dentro de su programa de Maestría en Ingeniería Ambiental, así como también a la Universidad de Guanajuato, por su apoyo en el desarrollo de esta investigación y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)

Literatura citada

- AZCÓN-BIETO, J. y Talón, M. 2000. Fundamentos de Fisiología Vegetal, Editorial Mc Graw Hill Interamericana, Edicions Universitat de Barcelona, Capítulo 4 Transporte de Agua y Balance Hídrico en la Planta, pp. 45-64.
- BAJJI, M., Kinet, J.M., Lutts, S. 1998. Salt stress effects on roots and leaves of *Atriplex halimus* L. and their corresponding callus cultures. *Plant Science*, 137:131-142.
- BRESSAN, R.A., Park, H.C., Orsini, F., Oh, D., Dassanayake, M., Inan, G., Yun, D.-J., Bohnert, H.J., Maggio, A., 2013. Biotechnology for mechanisms that counteract salt stress in extremophile species: a genome-based view. *Plant Biotechnol.*, 7:27-37.
- CHEESEMAN, J.M., 2013. The integration of activity in saline environments: problems and perspectives. *Funct. Plant Biol.*, 40:759-774.
- DE ARAÚJO, S.A.M., Silveira, J.A.G., Almeida, T.D.A., Rocha, I.M.A., Morais, D.L., Viegas, R.A. 2006. Salinity tolerance of halophyte *Atriplex nummularia* L. Grown under increasing NaCl levels. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 10:848-854.
- FLOWERS, T.J., Galal, H.K., Bromham, L., 2010. Evolution of halophytes: multiple origins of salt tolerance in land plants. *Funct. Plant Biol.* 37:604-612.
- INEGI. 2007. http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/Agro/ca2007/Resultados_Agricola/, 20/06/2015.
- GARDEA, J.L., Peralta, J.R., Montes, M., De la Rosa, G., Corral, B. 2003. Bioaccumulation of Cadmium, Chromium and Copper by *Convolvulus arvensis* L.: Impact on Plant Growth and Uptake of Nutritional Element. *Bioresource Technology*, 92:229-235.
- KHAND, M.A. y Gul, B. 2008. Halophyte Seed Germination, Ecophysiology of High Salinity Tolerant Plants, Springer Science, Department of Botany, University of Karachi, Pakistan, pp.11-30.
- KHAN, M.A. and Weber, D.J. 2008. Ecophysiology of High Salinity Tolerant Plants, Chapter 2 Halophyte Seed Germination, Chapter 11 Saline Tolerance Physiology in Grasses, Editorial Springer, pp. 16, 71, 98, 158-159.
- LOFRANO, G., Meriç, S., Zengin, G.E., Orhon, D. 2013. Chemical and Biological Treatment Technologies for Leather Tannery Chemicals and Wastewaters: A review. *Science of the Total Environment*, (461-462):265-281.
- MARCUM, K.B., and Pessaraki, M. 2006. Relative Salinity Tolerance and Salt Gland Excretion Efficiency of Bermuda Grass Turf Cultivars. *Crop Science* 46: 2571-2574.
- OFICINA ESTATAL DE INFORMACIÓN OEIDRUS GUANAJUATO, Con bases de información de la delegación estatal SAGARPA, SIAP e INEGI. Febrero 16 de 2010.
- OSTLER, W.K., Anderson, D.C., Hansen, D.J., Hall, D.B. 2002. Pre-treating Seed to Enhance Germination of Desert Shrubs. Strategic Environmental and Development Program, DOE/NV/11718-715.
- PEDROZA, S.A. 2010. Identificación y Caracterización de una Especie Vegetal Nativa de Ciudad Juárez, Chih., con Potencial Fitorremediador de Arsénico del Agua, Tesis de Maestría, México, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Campus Instituto de Ingeniería y Tecnología.
- QADIR, M., Noble, A.D., Oster, J.D., Schubert, S., Ghafoor, A. 2005. Driving forces for sodium removal during phytoremediation of calcareous sodic soils. *Soil Use Management* 21:173-180.

- RZEDOWSKI, G.C. y J. Rzedowski. 2001. Flora Fanerogámica del Valle de México. 2a ed. Instituto de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán, México.
- ROYO-MÁRQUEZ, M.H. y Melgoza, A. 2001. Listado Florístico del Campo Experimental La Campana y Usos de Flora. Técnica Pecuaria, México, Volumen 39, pp. 105-126.
- SANGABRIEL, W., Ferrerira, C.R., Trejo, A.D., Mendoza, L.M., Cruz, S.S., López, O.C., Delgadillo, M.J., Alarcon, A. 2006. Tolerancia y Capacidad de Fitorremediación de Combustóleo en el Suelo por Seis Especies Vegetales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 2:63-73.
- SHELEF, O., Gross, A., Rachmilevitch, S. 2012. The use of *Bassia indica* for salt phytoremediation in constructed wetlands. *Water Research*, 46:3967-3976.
- VIDAL, G., Nieto, J., Márquez, F., Mansilla, H., Bornhardt, C. 2003. Combinación de Procesos Biológicos y de Oxidación Avanzada para el Tratamiento de una Corriente de Proceso de la Industria de Curtiembre, *Agua Latinoamérica*, pp. 10-13. 

Este artículo es citado así:

Guzmán-Muñoz, K. I., E. Flores-Tavizón y G. Cuevas-Rodríguez. 2016. Germinación y evaluación de *Sporobolus airoides* para la fitoremediación de aguas residuales con altas concentraciones de NaCl. *TECNOCIENCIA Chihuahua* 10(2):90-100.

Resumen curricular del autor y coautores

KARINA IVETTE GUZMÁN MUÑOZ. Terminó su licenciatura en 2012, año en que le fue otorgado el título de Licenciada en Química por el Instituto de Ciencias Biomédicas de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ). Realizó su posgrado en Ciudad Juárez, Chih., donde obtuvo el grado de Maestro en Ingeniería Ambiental en 2016 por la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Desde 2013 labora en el Laboratorio de Calidad del Agua para la Junta Municipal de Aguas y Saneamiento de Ciudad Juárez y posee la categoría de Químico A. En el 2016 regresó a la misma empresa ocupando el cargo de Coordinador de Aseguramiento de Calidad en el mismo laboratorio. Ha sido acreditada en la determinación de metales pesados por técnicas espectrofotométricas. Su área de especialización es tratamiento y caracterización de agua potable, residual y residual tratada. Es autora de 1 artículo científico, dos memorias de investigación, 5 ponencias en congresos nacionales e internacionales, con dos premios en la categoría de cartel en la ciudad de Chihuahua; además ha impartido 1 conferencia en materia de calidad del agua por invitación.

EDITH FLORES TAVIZÓN. Profesor-Investigador Titular C, Tiempo Completo en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ). Participa como profesor en los programas de Licenciatura en Ingeniería Ambiental, Maestría en Estudios y Gestión Ambiental y en el Doctorado en Ciencias en Ingeniería en el Instituto de Ingeniería y Tecnología de la UACJ. Fungió como coordinadora del Doctorado en Ciencias en Ingeniería del 2012 al 2014. Actualmente participa como Consejera Universitaria en la UACJ. Perteneció al Sistema Nacional de Investigadores (SNI), Nivel 1 y cuenta con el perfil PRODEP. Tiene el título de Doctor en Ciencias y Tecnología Ambiental, por el Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C. (CIMAV), Unidad Chihuahua, la Maestría en Ingeniería Ambiental por el Tecnológico de Durango, Dgo. y la licenciatura como Ingeniero Bioquímico en el mismo Instituto. Realizó una estancia Posdoctoral en la Universidad de Texas en El Paso (UTEP) en el Departamento de Química. Sus líneas de investigación principales son el tratamiento de aguas residuales mediante fitoremediación, humedales construidos, producción de algas para remoción de contaminantes, producción de energías alternativas y nanotecnología. Ha impartido conferencias en temas relacionadas a la remoción de contaminantes del agua. Ha desarrollado proyectos individuales y en participación con centros de investigación financiados por CONACYT, PRODEP y el sector industrial.

GERMÁN CUEVAS RODRÍGUEZ. Profesor-Titular C, Tiempo Completo en la Universidad de Guanajuato. Participa como profesor en los programas de Licenciatura en Ingeniería Ambiental, Maestría en Ciencias del Agua y Doctorado en Ciencia y Tecnología del Agua en la División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato. Actualmente funge como Coordinador del Doctorado en Ciencia y Tecnología del Agua. Perteneció al Sistema Nacional de Investigadores (SNI), Nivel 1 y cuenta con el perfil PRODEP. Tiene el título de Doctor en Ingeniería Ambiental, por la Universidad de Cantabria, España, la Maestría en Ingeniería Ambiental en la DEPI-UNAM en México e Ingeniero Bioquímico con especialidad en Alimentos por el Tecnológico de Culiacán, Sinaloa. Además tiene una estancia Posdoctoral en el Departamento de Biotecnología e Ingeniería Ambiental, Universidad Politécnica de Creta, Grecia. Sus líneas de investigación principales son el tratamiento y reúso de aguas residuales aplicando procesos biológicos, la aplicación de simbiosis y ecología industrial y en los últimos años ha incursionado en el desarrollo de la nanotecnología y el medio ambiente. Es miembro de la Internacional Water Federation (IWA) desde el 2002. Ha impartido alrededor de 100 conferencias en temas relacionados al medio ambiente y ha desarrollado proyectos de ciencia básica, innovación y algunos con industrias del sector agroindustrial, principalmente. Tiene una patente de invención relacionada con tecnología de reactores biológicos con membranas, utilizados para el tratamiento de aguas residuales.