



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**Evaluación del crecimiento y producción de biomasa de
*Stuckenia pectinata***

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G A

P R E S E N T A :

IRINA LLAMAS TORRES



**DIRECTOR DE TESIS:
M. en C. JOSÉ PEDRO RAMÍREZ GARCÍA-ARMORA
2011**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

1. Datos del alumno
Llamas
Torres
Irina
5996-4292
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
303007447
2. Datos del tutor
M en C
José Pedro
Ramírez
García-Armora
3. Datos del sinodal 1
Dr
Antonio
Lot
Helgueras
4. Datos del sinodal 2
Dr
Eduardo Alberto
Pérez
García
5. Datos del sinodal 3
Dr
Martín
López
Hernández
6. Datos del sinodal 4
Dr
Agustín de Jesús
Quiroz
Flores

AGRADECIMIENTOS

Principalmente al Laboratorio de Vegetación Acuática del Instituto de Biología por permitirme ser parte de su equipo de trabajo.

Al M. en C. José Pedro Ramírez García-Armora por la confianza, el apoyo y el aprendizaje que me brindo y ha brindado siempre, al Dr. Antonio Lot Helgueras por la confianza que siempre ha depositado en mí y al Dr. Agustín Quiróz Flores por su enseñanza, A la Biol. Jazmín Argüello Velázquez, porque tu ayuda siempre ha sido indispensable, gracias.

A la Comisión Federal de Electricidad, por las facilidades brindadas para la realización de este trabajo.

A la Facultad de Ciencias y a la Universidad Nacional Autónoma de México por ser mi *alma máter* por que no sólo aprendí de una profesión si no, de la vida misma.

A los Drs. Martín López y Eduardo Pérez, por su ayuda y consejos en la elaboración de esta tesis.

DEDICATORIA

A mi mamá por que siempre ha sido y será el pilar principal de mi vida, mi inspiración, ejemplo a seguir, y por confiar en mí siempre.

A mi papá que me enseñó a tener una vida espiritual, a creer en el universo y la naturaleza, siempre estás conmigo.

A mis hermanas, porque el crecer con ustedes ha sido lo mejor que me ha pasado, las quiero muchísimo.

A mis abuelitas, que siempre serán mi fuente de inspiración como mujer.

A mis tías (os) y primas (os), gracias por ser y estar.

A Gisela porque has estado conmigo desde el principio de esta gran aventura, gracias por tu amistad.

A Diana porque has sido y serás mi cómplice y amiga, siempre.

A mis amigas y colegas Gisel, Melisa, Wendy y Xarini porque juntas nos caímos y nos levantamos, nos desviamos y retomamos el camino, por su compañía y sincera amistad, gracias por formar parte de mi vida.

A Deyanira y Vicky, un verdadero placer conocerlas y compartir con ustedes grandes momentos, gracias por su amistad.

A Elizabeth y Olmo, porque siempre me han ayudado a ver más allá de mi nariz.

A Diego Carmona porque me diste la oportunidad de conocer al primer biólogo apasionado por lo que hace, y por enseñarme a hacer de mi trabajo un *hobby*.

A mis amigas de la P4: Karlita, Liss, Lupe, Nalle, Naye y Tato, porque siempre han sido parte fundamental de lo que soy.

A todos mis amigos y compañeros de la Facultad de Ciencias con los que compartí alguna clase, práctica de campo, laboratorio, desvelo, plática, fiesta, café...etc, porque la mayoría de ustedes dejaron una huella que me ayudó a crecer.

CONTENIDO

Índice de tablas y figuras	i
RESUMEN	1
I. INTRODUCCIÓN	2
II. ANTECEDENTES	5
III. JUSTIFICACIÓN	7
IV. HIPÓTESIS	8
V. OBJETIVOS	
A. Objetivo general.....	8
B. Objetivos particulares	8
VI. MATERIAL Y MÉTODOS	
A. Sitio de estudio	8
B. Diseño experimental	
1. Dinámica de crecimiento	10
2. Caracterización física y química del agua	12
C. Toma de datos	13
D. Análisis de datos	14
VII. RESULTADOS	
A. Dinámica de crecimiento	15
1. Crecimiento de haces	16
2. Producción de los haces.....	18
3. Producción foliar	20
4. Biomasa foliar	21
5. Densidad	23
B. Caracterización del medio.....	26
1. Factores físicos	26
2. Factores químicos	39
VIII. DISCUSIÓN	49
IX. CONCLUSIONES	62
LITERATURA CITADA	64

Índice de tablas y figuras

Figura 1. Ubicación de la C.T. Presidente Plutarco Elías Calles. Imagen Google Earth, 2009.	9
Figura 2. En amarillo, ubicación del área de estudio dentro de la C.T. Presidente Plutarco Elías Calles. Imagen Google Earth, 2009.	10
Figura 3. En amarillo ubicación de las parcelas dentro del Canal de Llamada de la C.T. Presidente Plutarco Elías Calles. Imagen Google Earth, 2009.	11
Figura 4. Esquema de la colocación de los paneles de malla-sombra en el Canal de Llamada de la Termoeléctrica. 1, 3 y 5 cuadros con tratamiento (gris), 2, 4 y 6 cuadros sin tratamiento.	11
Figura 5. Esquema e imagen del marcaje y medidas que se tomaron del haz foliar.	12
Figura 6. Imagen de uno de los cuadros donde se observa la dominancia en la cobertura de <i>Stuckenia pectinata</i> . Noviembre 2009.	15
Figura 7. Imagen de uno de los cuadros después del primer mes de tratamiento. Noviembre de 2009.	16
Figura 8. Crecimiento promedio (\pm e.s. error estándar) de los haces de <i>Stuckenia pectinata</i> por cuadro a lo largo del periodo de estudio.	17
Figura 9. Crecimiento promedio (\pm e.s.) de los haces de <i>Stuckenia pectinata</i> a lo largo del periodo de estudio.	18
Figura 10. Producción promedio (\pm e.s.) de los haces de <i>Stuckenia pectinata</i> por parcela a lo largo del periodo de estudio.	19
Figura 11. Producción promedio (\pm e.s.) de los haces de <i>Stuckenia pectinata</i> a lo largo del periodo de estudio.	19
Figura 12. Producción foliar promedio (\pm e.s.) de <i>Stuckenia pectinata</i> por parcela a lo largo del periodo de estudio.	20
Figura 13. Producción foliar promedio (\pm e.s.) de <i>Stuckenia pectinata</i> a lo largo del periodo de estudio.	21
Figura 14. Biomasa foliar promedio (\pm e.s.) de <i>Stuckenia pectinata</i> por cuadro lo largo del periodo de estudio.	22
Figura 15. Biomasa foliar promedio (\pm e.s.) de <i>Stuckenia pectinata</i> a lo largo del periodo de estudio.	23
Figura 16. Densidad de <i>Stuckenia pectinata</i> largo del periodo de estudio.	24
Figura 17. Densidad promedio (\pm e.s.) de <i>Stuckenia pectinata</i> en las parcelas de muestreo.	24
Figura 18. Densidad promedio (\pm e.s.) de <i>Stuckenia pectinata</i> a lo largo del periodo de estudio.	25
Figura 19. Radiación fotosintéticamente activa promedio (\pm e.s.) a lo largo del periodo de estudio.	27
Figura 20. Temperatura promedio (\pm e.s.) obtenida a lo largo del periodo de muestreo, en muestras sub-superficiales y de fondo.	28
Figura 21. Temperatura total promedio (\pm e.s.) en muestras sub-superficiales y de fondo.	28
Figura 22. Velocidad de corriente promedio (\pm e.s.) a lo largo del periodo de estudio.	29
Figura 23. Datos obtenidos de los análisis químicos realizados in situ. a. potencial de hidrógeno (pH), b. conductividad ($\mu\text{S cm}^{-1}$), c. TDS, sólidos disueltos totales (mg L^{-1}) promedio (\pm e.s.) en el mes de octubre.	30
Figura 24. Datos obtenidos de los análisis químicos realizados in situ. a. potencial de hidrógeno (pH), b. conductividad ($\mu\text{S cm}^{-1}$), c. TDS, sólidos disueltos totales (mg L^{-1}), en el mes de noviembre (\pm e.s.).	31

Figura 25. Datos obtenidos de los análisis químicos realizados in situ. a. potencial de hidrógeno (pH), b. conductividad ($\mu\text{S cm}^{-1}$), c. TDS, sólidos disueltos totales (mg L^{-1}), en el mes de diciembre (\pm e.s.).	32
Figura 26. Datos obtenidos de los análisis químicos realizados in situ. a. potencial de hidrógeno (pH), b. conductividad ($\mu\text{S cm}^{-1}$), c. TDS, sólidos disueltos totales (mg L^{-1}), en el mes de enero (\pm e.s.).	33
Figura 27. Datos obtenidos de los análisis químicos realizados in situ. a. potencial de hidrógeno (pH), b. conductividad ($\mu\text{S cm}^{-1}$), c. TDS, sólidos disueltos totales (mg L^{-1}), en el mes de febrero (\pm e.s.).	34
Figura 28. Potencial de hidrógeno promedio (\pm e.s.) obtenido en las muestras sub-superficiales y de fondo a lo largo del periodo de estudio.	34
Figura 29. Potencial de hidrógeno (\pm e.s.) total promedio en muestras sub-superficiales y de fondo.	35
Figura 30. Conductividad promedio (\pm e.s.) obtenida a lo largo del periodo de estudio.	36
Figura 31. Conductividad total promedio (\pm e.s.) en muestras sub-superficiales y de fondo.	36
Figura 32. TDS, Sólidos disueltos totales promedio (\pm e.s.) obtenido a lo largo del periodo del periodo de estudio, en muestras sub-superficiales y de fondo.	37
Figura 33. Sólidos disueltos totales promedio (\pm e.s.) en muestras sub-superficiales y de fondo.	38
Figura 34. Concentración de nitratos promedio (\pm e.s.) en muestras sub-superficiales y de fondo a lo largo del periodo de estudio.	40
Figura 35. Concentración de amonio promedio (\pm e.s.) en muestras sub-superficiales y de fondo a lo largo del periodo de estudio.	40
Figura 36. Concentración de ortofosfatos promedio (\pm e.s.) en muestras sub-superficiales y de fondo a lo largo del periodo de estudio.	41
Figura 37. Resultados del coeficiente de determinación de las variables con correlación significativa ($p < 0.01$); para el crecimiento.	45
Figura 38. Resultados del coeficiente de determinación de las variables con correlación significativa ($p < 0.01$); para producción de los haces.	45
Figura 39. Resultados del coeficiente de determinación de las variables con correlación significativa ($p < 0.01$); para producción foliar.	47
Figura 40. Resultados del coeficiente de determinación de las variables con correlación significativa; para la biomasa foliar.	49
Figura 41. Resultados del coeficiente de determinación de las variables con correlación significativa; para la densidad.	49
Tabla I. Promedio de los diferentes parámetros obtenidos a lo largo del periodo de estudio; valores de F y niveles de significancia para la ANOVA de la variable mes (a lo largo del periodo de estudio).	25
Tabla II. Promedio de los parámetros físicos obtenidos a lo largo del periodo de estudio; valores de F y niveles de significancia para las ANOVAS de la variable mes (a lo largo del periodo de estudio).	29
Tabla III. Promedio (\pm e.s) de algunos de los parámetros físicos obtenidos in situ por medio del multianalizador Corning en las muestras sub-superficiales y de fondo a lo largo del periodo de estudio; valores de F y niveles de significancia para las ANOVAS de la variable muestra (sub-superficial y fondo).	38
Tabla IV. Contenido promedio total de nitratos, amonio y ortofosfatos de las muestras sub-superficiales y de fondo colectadas a lo largo del periodo de estudio. Valores en mg L^{-1} .	39

Tabla V. Valores de F y niveles de significancia para las ANOVAS de la variable muestra (sub-superficial y fondo).....	41
Tabla VI. Valores de F y niveles de significancia para las ANOVAS de la variable mes (a lo largo del periodo de estudio).....	42
Tabla VII. Coeficientes de correlación de Pearson y coeficiente de determinación R ² de las variables: crecimiento, producción del haz y producción foliar en número de hojas, biomasa foliar y densidad de <i>Stuckenia pectinata</i> con los variables físicas y químicas ambientales consideradas a lo largo del periodo de estudio.....	44

RESUMEN

Stuckenia pectinata (Liliopsida) es una hidrófita enraizada sumergida que se desarrolla en aguas alcalinas, dulces o salobres, caudalosas y de distinto nivel trófico. Esta especie se ha estudiado por su comportamiento malezoide, ya que infesta ríos y canales de riego, bloqueando el flujo de agua. Este estudio evaluó la tasa de crecimiento y producción de biomasa de *S. pectinata* así como su relación con los factores físicos y químicos del agua. Se implementó el sombreado como un método experimental de control, ya que está ligado a la disminución del fotoperiodo y tiene un efecto directo en la disminución del crecimiento y producción de biomasa. Se observó un crecimiento promedio de los haces de 1.2 cm día^{-1} , una producción de haces de $0.03 \text{ g PS m}^{-2} \text{ día}^{-1}$, una producción foliar promedio de $0.2 \text{ hojas día}^{-1} \text{ haz}^{-1}$; un incremento de la biomasa promedio de 96 g PS m^{-2} y una densidad de 252 haces m^{-2} . El efecto del sombreado redujo el crecimiento en un 100% después de 24 días de tratamiento. Se encontró una correlación positiva del crecimiento y densidad de *S. pectinata* con la concentración de nitratos y ortofosfatos. Los resultados indican que *S. pectinata* tiene un crecimiento malezoide, lo cual se debe explicar por la alta concentración de nutrientes presentes en el agua. La sombra es un método efectivo de control ya que la luz demostró ser un factor limitante del crecimiento y, con un manejo adecuado este método, se puede controlar el crecimiento masivo y la producción de biomasa en hidrófitas sumergidas sin dañar directamente el ambiente.

I. INTRODUCCIÓN

Entender la biología de plantas acuáticas es importante para los problemas inmediatos del manejo de las plantas y los ecosistemas acuáticos. Un conocimiento profundo de la biología de macrófitas hace que el desarrollo de nuevas técnicas de gestión, la eficacia de las técnicas actuales, y la evaluación de los impactos ambientales sean más eficientes (Nichols, 1991).

Las malezas, según Zindahl (1999), son plantas que crecen, generalmente, en áreas que han sido perturbadas o cambiadas intencionalmente. También tienen un rápido crecimiento de plántulas y una gran capacidad de reproducirse cuando son jóvenes; su maduración es rápida o de muy poco tiempo en la etapa vegetativa. Son muy resistentes a los factores ambientales y poseen una gran capacidad competitiva por los nutrientes, luz y agua. La invasión desmesurada de estas plantas, bloquea el flujo de agua en ríos, canales de riego y drenaje.

Un tema importante por lo que se ha estudiado *Stuckenia pectinata* es por su comportamiento malezoide. La eliminación de plantas acuáticas, independientemente de los métodos, presenta la posibilidad de impactos ambientales indeseables causados por la eliminación del hábitat de los invertebrados, peces y otros animales o por la alteración de la química y el medio físico (Carpenter y Lodge, 1986; Engel, 1990). De ahí se centra la búsqueda de métodos para controlar o prevenir el crecimiento excesivo de esta hidrófita (Brooker and Edwards, 1973; Anderson, 1981; Corbus, 1982; Westerdahl and Hall, 1983; Spencer, 1986).

Las macrófitas acuáticas son un grupo heterogéneo de plantas que incluyen a las algas filamentosas, algunos grupos de macroalgas, musgos, plantas no vasculares y las plantas vasculares, de estas últimas son la mayoría monocotiledoneas. El término hidrófita se refiere a las plantas acuáticas vasculares (Wetzel, 2001).

Stuckenia pectinata es una hidrófita enraizada, sumergida; que pertenece a la clase Liliopsida (Cronquist, 1988) y cuyo sinónimo, *Potamogeton pectinatus*, fue utilizado por varias décadas. La propuesta para elevar el subgénero *Potamogeton*; a nivel de género, conservando el nombre *Coleogeton*, se presentó por Les y Haynes (1996) y *Potamogeton pectinatus* (L.) fue elegido como el tipo nomenclatural. Sin embargo el nombre *Stuckenia pectinata* ya había sido publicado (Börner, 1912) por lo que es el nombre correcto y las combinaciones específicas fueron hechas por Holub (1997).

Stuckenia pectinata se desarrolla bien en aguas dulces y caudalosas (Hogeweg and Brenkert, 1969). Tiene una distribución cosmopolita y en México se encuentra entre los 0-2400 m.s.n.m (Lot, 1999). La morfología de esta especie es muy variable, generalmente cuenta con tallos erectos, delgados, muy ramificados, sin glándulas en los nudos. Las hojas están siempre sumergidas, son connatas en la base de las láminas, y son muy variables en anchura, filiformes a lineares, el ápice agudo, redondeado a mucronulato con margen entero. La inflorescencia tiene de tres a siete verticilos de flores, es cilíndrica y generalmente moniliforme; con pedúnculos igual o más delgados que el tallo. Tiene aquenios ovoides a orbiculares (Novelo y Lot, 1994). La reproducción vegetativa se realiza mediante módulos en los cuales se desarrollan haces foliares, un haz foliar es considerado como un brote erecto del rizoma que se desarrolla a partir de una yema axial del nodo, en este brote se desarrollan las hojas a partir de una escama profilar; de acuerdo con la definición modificada de Tomlinson (1982).

Al igual que la morfología, la forma de crecimiento de *Stuckenia pectinata* es muy variable. La longitud de los brotes y ramificaciones en gran medida determinan la arquitectura de estas plantas, lo cual es decisivo para la ocupación de la columna de

agua (den Hartog, 1982). De esta manera la mayoría de su biomasa aérea (y por lo tanto de tejidos fotosintéticos) se concentra en la superficie del agua.

La longitud y ramificación de los brotes parece ser característica de ciertas poblaciones de esta especie, pero también puede estar influenciada por las condiciones ambientales, como la luz (Van Wijk, 1988) y la velocidad de corriente (Van Wijk, 1986). Aparte de la longitud de los brotes y ramas, la arquitectura de la planta es determinada por la densidad de los brotes, que varía de acuerdo con las condiciones ambientales. En algunos lugares la densidad puede ser modificada por las diferencias locales en la composición de los sedimentos, pero los factores dinámicos como la acción de las olas, la turbidez y el pastoreo de las aves acuáticas son probablemente también muy importantes (Van Wijk, 1988).

La gran concentración de nutrientes disueltos y de partículas presentes en el agua proporcionan un suministro constante de nutrientes para los organismos acuáticos (Chapman, 1992). La cantidad de nutrientes disueltos en aguas poco profundas, de flujo lento o estancadas, permite el crecimiento de las macrófitas, que a su vez proporcionan alimento, refugio y zonas de cría para otros organismos (Chapman, 1992). Debido a que la disponibilidad de nutrientes puede ser más baja que la demanda biológica, las fuentes ambientales pueden regular o limitar la productividad de organismos en el ecosistema. La concentración de nitrógeno y compuestos de fósforo, son sumamente dinámicos por que pueden ser utilizados, almacenados, transformados y excretados rápida y repetidamente por varios organismos acuáticos (Wetzel, 2000).

Los estudios comparativos de la vegetación de macrófitas acuáticas particularmente los realizados entre cuencas de diferentes características limnológicas, son valiosos para comprender los factores limitantes de la vegetación acuática. Estos estudios han permitido la identificación de los gradientes ambientales más importantes,

en el control de la composición y la estructura de las comunidades de macrófitas acuáticas (Onaindia, 1996).

Los cambios en la estructura de la comunidad acuática, resultantes de la carga de nutrientes, pueden variar dependiendo de la naturaleza y calidad de los nutrientes (Thomas y Daldorph, 1994). Por lo tanto, en algunos casos el enriquecimiento de relativamente pequeñas concentraciones de nutrientes puede dar lugar a un aumento en la biomasa de macrófitas sumergidas (Brown *et al.*, 1988).

La calidad y cantidad de la luz en los sistemas acuáticos tiene una influencia importante en el crecimiento y el desarrollo de las macrófitas sumergidas (Barko *et al.*, 1986). La energía de la luz es utilizada por la plantas para generar energía metabólica e impulsar con ella la biosíntesis.

La luz también puede jugar un papel importante en los cambios estacionales en el predominio de macrófitas y en la competencia interespecífica. Los efectos de las sombras provocadas por hojas de plástico negro flotantes se registraron por primera vez por Mayhew y Runkel (1962). Desde entonces la técnica se utilizó con éxito en Wisconsin (Nichols, 1974), Nueva York (Pevery *et al.* 1974) y Missouri (Whitley, 1964). Más recientemente varios materiales han sido puestos bajo la superficie del agua para dar sombra (Engel, 1984; Cooke *et al.* 1986). En general, estos productos son eficaces si se colocan de tal manera que puedan ser desmontables periódicamente para la limpieza (Engel, 1984).

II. ANTECEDENTES

Entre los trabajos que se han realizado sobre el crecimiento la producción de biomasa de *Stuckenia pectinata* se encuentran los elaborados por Van Wijk (1988), donde hace una descripción sobre las características generales y ciclo de vida de la especie. Además

concluye que las variaciones morfológicas de esta especie dependen considerablemente de los factores ambientales.

En Holanda esta especie muestra un ciclo de vida perenne y tiene una producción máxima en el mes de septiembre de 1312 g de peso seco (g PS) m⁻². En un hábitat de agua dulce relativamente grande y expuesto al viento, el periodo de crecimiento fue muy corto a una temperatura promedio local de 17° C y una salinidad del 0.3 ‰ Cl⁻; el cultivo en pie (biomasa) alcanzó una producción máxima de 73.2 g PS m⁻². En Camargue, Francia, se encontró que la regulación en el nivel del agua tiene diferentes efectos en el desarrollo de la biomasa de *S. pectinata*, donde todas las poblaciones estudiadas mostraron un ciclo de vida perenne aunque en cuerpos de agua salobre la biomasa decrece considerablemente durante el otoño y el invierno.

Con respecto a los trabajos que se han realizado acerca de los factores que afectan su crecimiento se encuentran los realizados por Van Dijk y Van Viernssen en 1991 quienes evaluaron la producción de biomasa bajo diferentes condiciones de luz. Estos autores demostraron una correlación negativa entre la producción anual de biomasa y la densidad media diaria del flujo de fotones. En la más baja densidad de flujo de fotones (reducida en un 74%), la biomasa total máxima se alcanzó a principios de la temporada de crecimiento, finales de junio (14.3 g PS libre de cenizas m⁻²).

En 1992 van Dijk *et al.* realizaron un estudio sobre el impacto de la fotoaclimatación durante la estación de crecimiento de *Stuckenia pectinata*. Para el cual manipularon el flujo de fotones mediante el uso de sombra artificial y concluyeron que la luz es un factor dominante en el control de la biomasa y en la dinámica del banco de tubérculos.

Pilon y Santamaría en 2002 realizaron estudios sobre la respuesta de la variación clonal a la radiación y a la temperatura. En cuanto a la respuesta térmica encontraron

que *Stuckenia pectinata* es térmicamente tolerante. La respuesta al fotoperiodo dio lugar a cambios plásticos en la morfología y fisiología aumentando la capacidad fotosintética y la biomasa foliar.

Estudios más recientes de *Stuckenia pectinata* fueron desarrollados por Wersal *et al.* (2006) donde muestran que las principales causas que afectan a la biomasa y a la distribución de esta especie en el Sistema Lacustre Heron en Minnesota, E.E.U.U., son la transparencia y la temperatura del agua.

III. JUSTIFICACIÓN

La generación de energía en la Central Termoeléctrica Presidente Plutarco Elías Calles se ve afectada considerablemente, debido a la obstrucción del mecanismo de retención de objetos (rejillas) del Canal de Llamada por el crecimiento desmesurado de las hidrófitas sumergidas, principalmente *Stuckenia pectinata*. Esto trae como consecuencia la discontinuidad operativa de la Central y por lo tanto de la generación de luz. Debido a lo anterior la Central tiene considerado dentro de sus acciones de mantenimiento, la limpieza manual constante de canales y rejillas, que por lo regular lleva mucho tiempo y origina un gasto excesivo de recursos económicos, debido por una parte a que el problema no se resuelve y por otra a que se continúan presentando importantes pérdidas en la capacidad efectiva de la generación de energía en esta termoeléctrica.

Considerando la problemática anterior, es fundamental llevar a cabo la evaluación del crecimiento y producción de biomasa de *Stuckenia pectinata* para comprender su comportamiento al implementar un método de control basado en la creación de sombra.

IV. HIPÓTESIS

La disminución en la calidad de la radiación solar tendrá un efecto negativo en el crecimiento de la especie.

V. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Evaluar la dinámica de crecimiento y de producción de biomasa de la hidrófita sumergida *Stuckenia pectinata*.

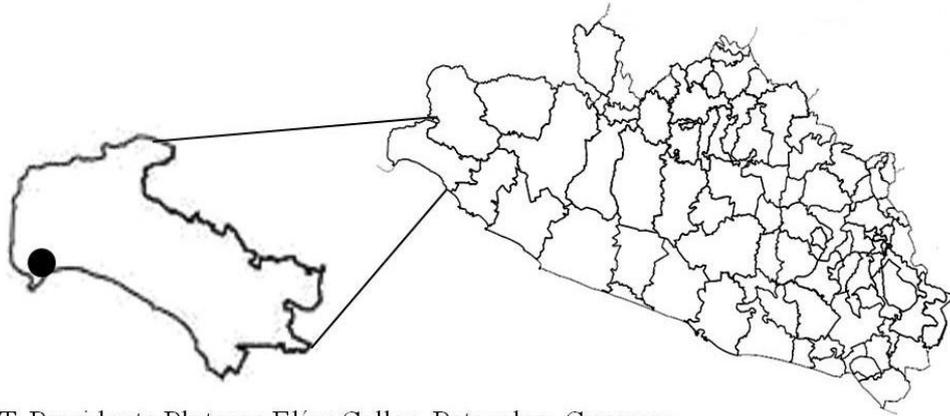
B. Objetivos particulares

1. Determinar las tasas de crecimiento y de producción de biomasa de *Stuckenia pectinata*, y relacionarlas con algunos de los factores físicos y químicos del agua que pueden influir en su crecimiento.
2. Implementar y evaluar el sombreado como un método de control del crecimiento de esta especie.

VI. MATERIAL Y MÉTODOS

A. Sitio de estudio

La Central Termoeléctrica Presidente Plutarco Elías Calles se encuentra ubicada en el municipio de La Unión localidad de Petacalco, en el estado de Guerrero (Figura 1). El presente estudio se realizó en el Canal de Llamada de esta termoeléctrica el cual, está ubicado entre las coordenadas 17°58'36.6''N 102°06'59''O y se ubica a 3m s.n.m. Tiene una longitud aproximada de 3 km y una profundidad promedio de 6 m, y está constituido principalmente de cantos rodados y arena. El muestreo se llevo a cabo a 300 m de la primera toma de agua en la ribera izquierda del Canal (Figura 2).



● C.T. Presidente Plutarco Elías Calles, Petacalco, Guerrero



Figura 1. Ubicación de la C.T. Presidente Plutarco Elías Calles. Imagen Google Earth, 2009.

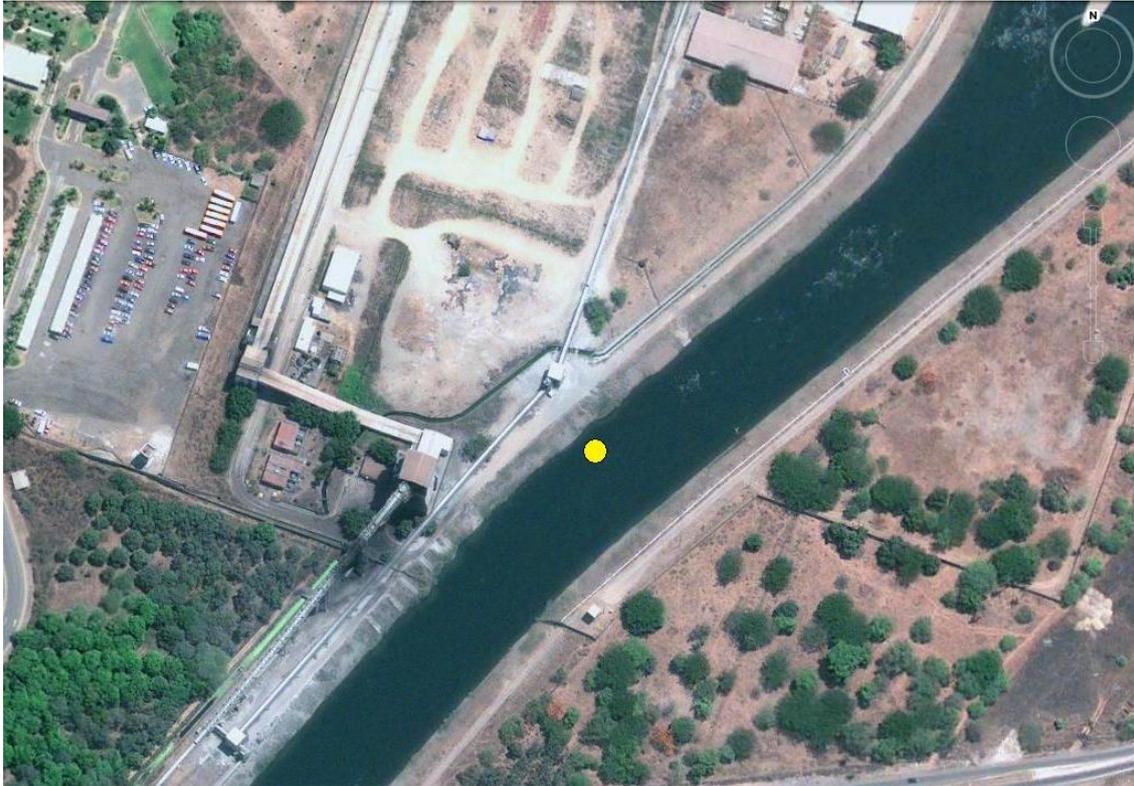


Figura 2. En amarillo, ubicación del área de estudio dentro de la C.T. Presidente Plutarco Elías Calles. Imagen Google Earth, 2009.

B. Diseño experimental

1. Dinámica de crecimiento

Para la evaluación de la tasa de crecimiento y, la producción de biomasa de *Stuckenia pectinata*, se delimitaron seis parcelas de 6×6 m a lo largo de la ribera izquierda del Canal de Llamada de la Central Termoeléctrica, a las cuales se les asignó un número del 1 al 6.

En la mitad de las parcelas (1, 3 y 5) se colocaron dos paneles de malla-sombra de 3×3 m para disminuir la luz y afectar el crecimiento (van Dijk *et al.*, 1991; Figura 3 y 4). Las parcelas con tratamiento fueron intercaladas con las que no lo tenían, a lo largo de la ribera izquierda del Canal, para obtener condiciones semejantes en las tres repeticiones con tratamiento y las tres sin tratamiento. Por debajo del primer panel de 3×3 m de cada parcela se colocaron 6 cuadros de muestreo de 0.5×0.5 m para obtener la frecuencia de la especie expresada como una fracción del total de esta dentro de la

parcela, posteriormente se marcaron de 10 a 20 haces foliares por cuadro de muestreo mediante la colocación de una etiqueta en la parte superior del haz (Figura 5), método basado en el realizado por Short y Duarte (2000) donde el rizoma o haz foliar es marcado con una etiqueta y posteriormente se cuentan los nuevos brotes producidos desde el etiquetado; en este caso se marcaron y midieron los haces foliares para posteriormente cosecharlos y medirlos después de un mes de crecimiento.

Los haces marcados fueron evaluados en su crecimiento en las salidas subsecuentes y en algunos casos fueron retirados para ser pesados en seco, por lo cual se volvieron a marcar nuevos haces.



Figura 3. En amarillo ubicación de las parcelas dentro del Canal de Llamada de la C.T. Presidente Plutarco Elías Calles. Imagen Google Earth, 2009.

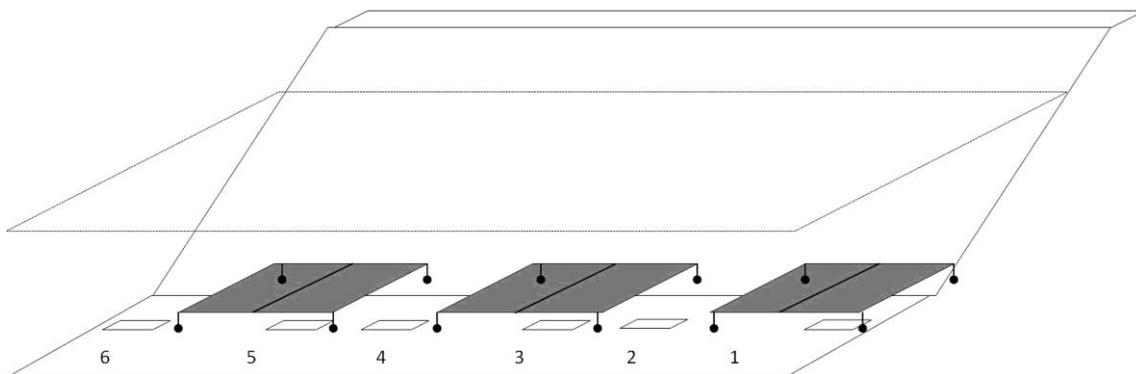


Figura 4. Esquema de la colocación de los paneles de malla-sombra en el Canal de Llamada de la Termoeléctrica. 1, 3 y 5 cuadros con tratamiento (gris), 2, 4 y 6 cuadros sin tratamiento.

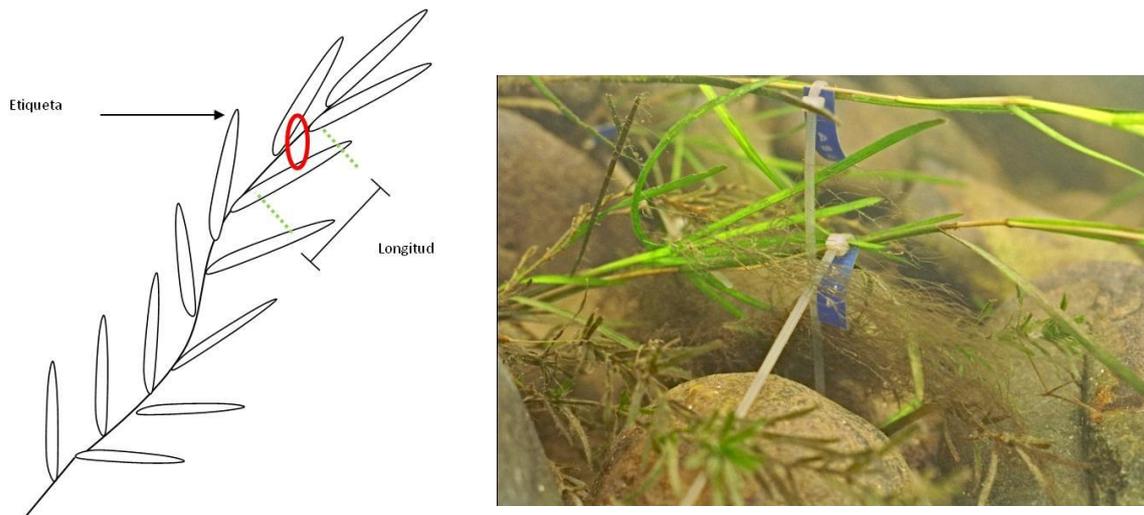


Figura 5. Esquema e imagen del marcaje y medidas que se tomaron del haz foliar.

El área de cada parcela ocupada por el segundo panel fue destinada para el muestreo de biomasa. Para determinar la biomasa se colocó un cuadro de PVC de 0.25 × 0.25 m y se cosechó el material presente de *Stuckenia pectinata* dentro del cuadro cortando al ras los haces foliares.

2. Caracterización física y química del agua

Los parámetros físicos tomados *in situ* fueron la radiación solar o radiación fotosintéticamente activa (PAR, por sus siglas en inglés) de la superficie, sub-superficie y fondo con ayuda de un radiómetro con sensor de *quantum* de tipo esférico Li-250 de la marca Li-COR ($\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$). La temperatura ($^{\circ}\text{C}$), el potencial de hidrógeno (pH), conductividad ($\mu\text{S cm}^{-1}$) y sólidos disueltos totales (mg L^{-1}) de la sub-superficie y del fondo fueron tomados con un equipo de campo marca Corning (modelo Check-mate 90). También se midió la velocidad de corriente, o flujo de agua, con la ayuda de un flujómetro mecánico de cangilones giratorios (m s^{-1}).

Para el análisis químico del agua se colectaron cuatro muestras de agua por mes, las cuales incluían dos muestras de agua sub-superficial (30 cm de profundidad) y dos del fondo. Las muestras fueron almacenadas en recipientes de polipropileno de 0.25 L de capacidad y se le agregó 0.5 mL de ácido sulfúrico concentrado como conservador. Posteriormente, se almacenaron a baja temperatura para ser transportados al laboratorio.

Una vez en el laboratorio, a las muestras se les cuantificó el contenido de nitratos, amonio y ortofosfatos por método colorimétrico, de acuerdo con los métodos oficiales recomendados por Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1989) con un espectrofotometro marca Hach modelo DR/2800 utilizando el kit para nitratos, amonio y ortofosfatos.

C. Toma de datos

Este estudio se realizó del mes de octubre de 2009 al mes de febrero de 2010. Al inicio se marcaron 17 haces en la parcela uno, 12 en la parcela dos, 14 haces para las parcelas tres y seis y 13 haces para las parcelas cuatro y cinco. Posteriormente fueron marcados 10 haces por parcela por mes y fueron cosechados los haces marcados del mes anterior. En total se marcaron 174 haces, de los cuales 48 fueron los que se sometieron al análisis. Debido a la dificultad para realizar el muestreo del mes de enero, se realizó una interpolación de datos para predecir los valores correspondientes a este mes.

A los haces marcados cosechados se les midió *in situ* la longitud que va del internodo marcado con la etiqueta hacia el ápice de la planta (cm día^{-1}) y se realizó un conteo de hojas (producción del haz en $\text{hojas día}^{-1} \text{ haz}^{-1}$). El material cosechado fue secado en un horno a una temperatura de 80°C , una vez seco se pesó con una báscula OHAUS modelo AP210S (210 g- 0.1 mg), para obtener la producción del haz ($\text{gPS m}^{-2} \text{ día}^{-1}$).

La cobertura de *Stuckenia pectinata*, se evaluó en función del porcentaje del área cubierta por los individuos o haces foliares dentro de una parcela de muestreo, de acuerdo con el método adaptado de Ramos *et al.* 2004.

La densidad de la comunidad se obtuvo mediante el cálculo del cociente del número de individuos entre el área muestreada (Broken y Zar, 1977), posteriormente se extrapólo para expresarlo en haces por m².

Para la obtención de biomasa, una vez secada y pesada con una báscula OHAUS modelo CT600-S (600 g- 1 g), se calculó el cociente en gramos de peso seco entre el área muestreada (0.25 m²), posteriormente se obtuvo la biomasa foliar promedio (g PS m⁻²), también conocida como la densidad de biomasa (Ramos *et al.* 2004).

D. Análisis de datos

Para determinar el crecimiento de *Stuckenia pectinata* y los factores físicos y químicos que lo afectan y señalar la eficiencia del sombreado como método de control, se realizó un análisis de varianza (ANOVA, por sus siglas en inglés) de una vía con el programa SPSS 15.0, incluyendo los efectos: cuadro y fecha, para observar si había alguna diferencia entre las variables tomadas de la planta y los factores físicos y químicos del agua; posteriormente se realizaron pruebas de Tukey en las variables con diferencias significativas. Con el fin de encontrar algún patrón de asociación entre las variables físicas y químicas del agua con el crecimiento, producción de los haces y producción foliar, la biomasa y densidad de *Stuckenia pectinata* se realizaron análisis de correlación

lineal de Pearson entre las variables. Finalmente se realizaron regresiones lineales para observar si existe una relación directa entre el desarrollo de *S. pectinata* y los factores físicos y químicos ambientales considerados en este estudio.

VII. RESULTADOS

A. Dinámica de crecimiento de crecimiento.

La cobertura de *Stuckenia pectinata* en esta zona fue del 100% (Figura 6).



Figura 6. Imagen de uno de los cuadros donde se observa la dominancia en la cobertura de *Stuckenia pectinata*.
Noviembre 2009.

Después de un mes los haces de las parcelas bajo tratamiento (sombreado) disminuyeron su crecimiento totalmente, la hidrófita prácticamente desapareció en esta zona (Figura 7).



Figura 7. Imagen de uno de los cuadros después del primer mes de tratamiento. Noviembre de 2009.

Los datos obtenidos de *Stuckenia pectinata* fueron registrados sólo en los cuadros sin tratamiento (dos, cuatro y seis) debido a que no se encontraron individuos vivos en los cuadros de las parcelas con tratamiento de sombreado (uno, tres y cinco), aún después de quitar los paneles.

1. Crecimiento de haces

Por mes el crecimiento de los haces marcados de *Stuckenia pectinata* fue de 0.68 cm día⁻¹ en el cuadro dos, 1.15 cm día⁻¹ para el cuadro cuatro y de 0.47 cm día⁻¹ para el cuadro seis, en el mes de noviembre (Figura 8) después del ANOVA se puede decir que no se presentaron diferencias significativas entre los cuadros ($F=1.94$, $gl= 2,13$ $P < 0.2$). En el mes de diciembre se obtuvo un crecimiento promedio de 1.02 cm día⁻¹ para la cuadro dos, 1.07 cm día⁻¹ para el cuadro cuatro y 1.64 cm día⁻¹ para el cuadro seis (Figura 8) los cuales demostraron mediante el análisis de varianza que no hay diferencias significativas ($F=0.78$, $gl= 2,13$ $P < 0.5$) entre cuadros en este mes; para el mes de enero se obtuvo un crecimiento promedio de 1.12, 1.3 y 1.5 cm día⁻¹ para los cuadros dos, cuatro y seis respectivamente (Figura 8), para los cuales se demostró mediante un análisis de varianza que no hay diferencias significativas entre cuadros ($F=0.22$, $gl= 2,7$ $P < 0.8$). Para febrero se obtuvo un crecimiento promedio de 1.3, 1.7 y

1.6 cm día⁻¹, para los cuadros dos, cuatro y seis respectivamente, tampoco se encontró diferencia significativa entre estos ($F= 0.1$, $gl=2,7$ $P < 0.9$).

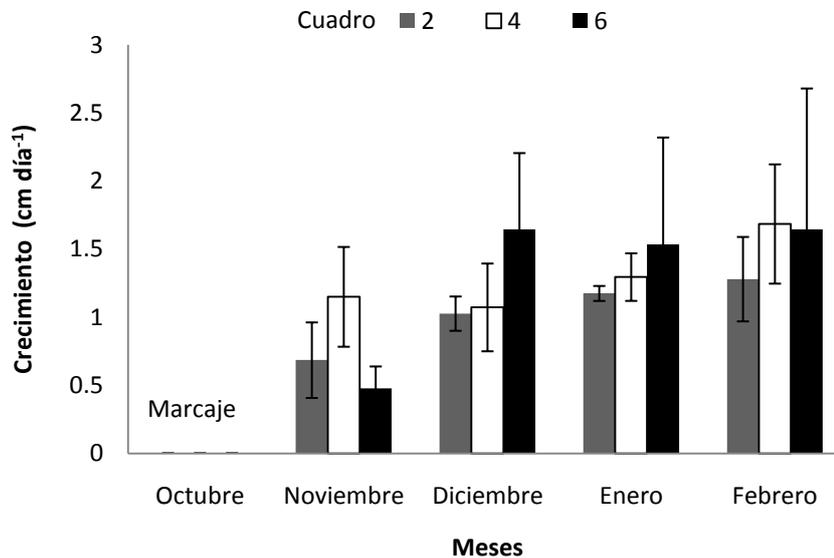


Figura 8. Crecimiento promedio (\pm e.s. error estándar) de los haces de *Stuckenia pectinata* por cuadro a lo largo del periodo de estudio.

El crecimiento promedio de los haces para el mes de noviembre fue de 0.69 cm día⁻¹, 1.2 cm día⁻¹ en diciembre, 1.3 cm día⁻¹ en enero y de 1.6 para el mes de febrero los cuales presentaron diferencias significativas entre meses ($F=3.25$, $gl= 3, 48$, $p < 0.02$; Figura 9, Tabla I) al realizar un ANOVA. Las principales diferencias se encontraron entre el mes de noviembre y febrero con los demás meses de muestreo ($p \leq 0.05$) según la prueba de Tukey.

Se observó un aumento total de un 56% en el crecimiento promedio de los haces durante el periodo de estudio. Del cual la mayor parte se observó del mes de noviembre a diciembre.

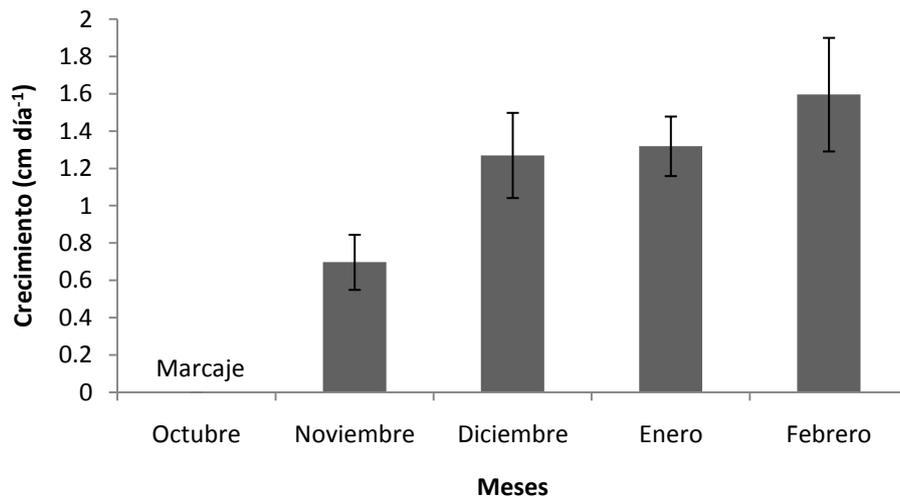


Figura 9. Crecimiento promedio (\pm e.s.) de los haces de *Stuckenia pectinata* a lo largo del periodo de estudio.

2. Producción de los haces

En cuanto a la producción de los haces marcados de *Stuckenia pectinata* se obtuvo para el mes de noviembre $0.04 \text{ g PS m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ en el cuadro dos, $0.05 \text{ g PS m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ en el cuadro cuatro y $0.01 \text{ g PS m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ en el cuadro seis (Figura 10), los cuales no presentan una diferencia significativa ($F=2.1$, $gl= 2,13$ $P < 0.2$) entre cuadros.

En el mes de diciembre el cuadro dos se obtuvo una producción promedio de $0.02 \text{ g PS m}^{-2} \text{ día}^{-1}$, para el cuadro cuatro $0.02 \text{ g PS m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ y $0.02 \text{ g PS m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ para el cuadro seis (Figura 10) donde tampoco se encontraron diferencias significativas ($F=0.2$, $gl= 2,13$ $P < 0.8$). Para el mes de enero la producción promedio de los haces fue de $0.01 \text{ g PS m}^{-2} \text{ día}^{-1}$, $0.04 \text{ g PS m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ y $0.02 \text{ g PS m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ para los cuadros dos, cuatro y seis respectivamente (Figura 10) para los cuales tampoco se encontró diferencia significativa ($F=2.07$, $gl= 2,7$ $P < 0.2$).

En el mes de febrero se observó una producción promedio de $0.009 \text{ g PS m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ para el cuadro dos y de 0.06 y $0.02 \text{ g PS m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ para el cuadro cuatro y seis respectivamente no se observó diferencia significativa ($F= 1.5$, $gl=2,7$ $P < 0.3$; Figura 10).

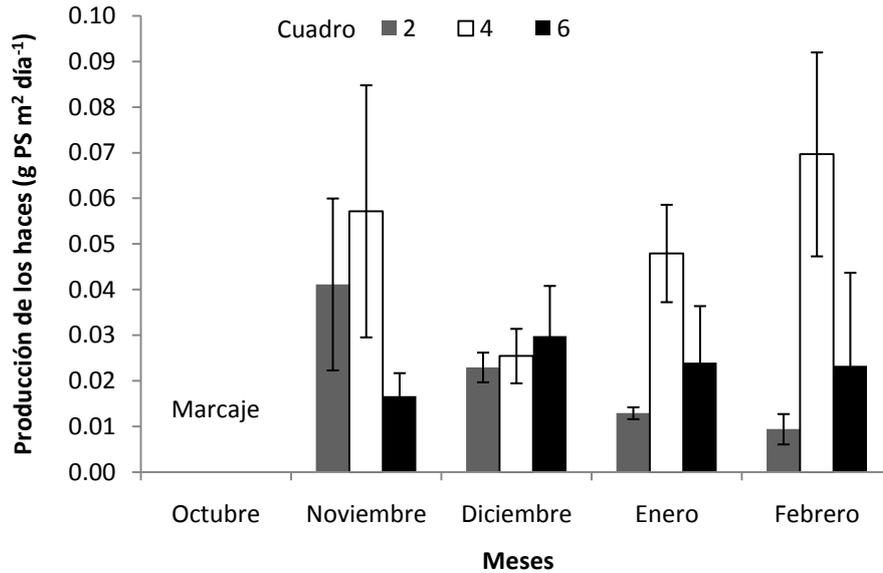


Figura 10. Producción promedio (\pm e.s.) de los haces de *Stuckenia pectinata* por parcela a lo largo del periodo de estudio.

La producción promedio mensual de los haces para el mes de noviembre fue de $0.03 \text{ g PS m}^{-2} \text{ día}^{-1}$, $0.02 \text{ g PS m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ en diciembre, $0.03 \text{ g PS m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ en enero y $0.04 \text{ g PS m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ en el mes de febrero, los cuales no presentaron diferencias significativas ($F=0.93$, $gl= 3, 48$ $P < 0.4$) al realizar un ANOVA (Figura 11; Tabla I).

Se pudo observar un aumento del 32% en la producción de biomasa de los haces a lo largo del periodo de estudio, del cual se puede destacar que hubo una disminución del 20% para el segundo mes de muestreo.

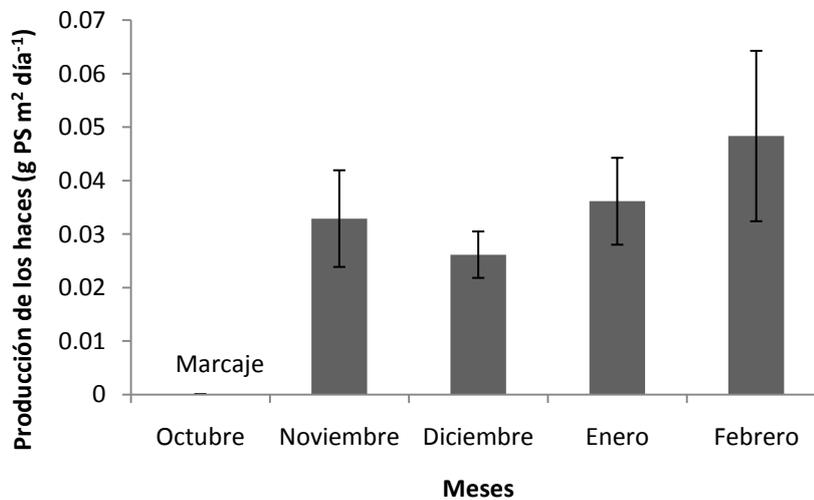


Figura 11. Producción promedio (\pm e.s.) de los haces de *Stuckenia pectinata* a lo largo del periodo de estudio.

3. Producción foliar

En cuanto al promedio del número de hojas producidas por haz (producción foliar) se obtuvo para el mes de noviembre 0.2 hojas día⁻¹ haz⁻¹ en el cuadro dos y cuatro, para el cuadro seis fue de 0.14 hojas día⁻¹ haz⁻¹. De acuerdo con el ANOVA realizado no se encontraron diferencias significativas ($F=0.8$, $gl= 2, 10$ $P < 0.5$) entre cuadros para este mes. Para el mes de diciembre la producción foliar promedio fue de 0.2 hojas día⁻¹ haz⁻¹ para el cuadro dos, 0.17 día⁻¹ haz⁻¹ para el cuadro cuatro y de 0.07 hojas día⁻¹ haz⁻¹ para el cuadro seis, tampoco se encontraron diferencias significativas ($F=1.8$, $gl= 2, 10$ $P < 0.2$) entre cuadros. En enero la producción de hojas promedio fue de 0.29, 0.3 y 0.2 hojas día⁻¹ haz⁻¹ para los cuadros dos, cuatro y seis, respectivamente; para este mes, no se detectaron diferencias significativas ($F=0.19$, $gl= 2, 3$, $P < 0.8$) entre cuadros. Para el mes de febrero se obtuvo una producción foliar de 0.37 y 0.06 hojas día⁻¹ haz⁻¹ para los cuadros cuatro y seis respectivamente, en el cuadro dos no se recuperaron haces; no se encontró diferencia significativa entre cuadros ($F=1.12$ $gl=1,4$ $P<0.34$; Figura 12, Tabla I).

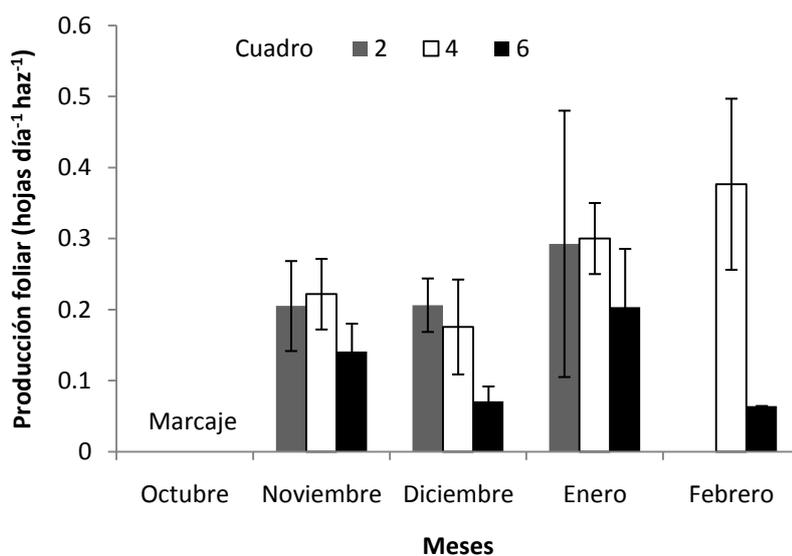


Figura 12. Producción foliar promedio (\pm e.s.) de *Stuckenia pectinata* por parcela a lo largo del periodo de estudio.

La producción foliar promedio mensual fue de 0.17 hojas día⁻¹ haz⁻¹ en el mes de noviembre y diciembre, 0.27 hojas día⁻¹ haz⁻¹ en enero y 0.32 hojas día⁻¹ haz⁻¹. Después de realizar el análisis estadístico (ANOVA) no se encontraron diferencias significativas ($F=2.16$, $gl= 3, 34$, $P < 0.1$) entre la producción de hojas a lo largo del periodo de estudio (Figura 13, Tabla I).

La producción foliar promedio a lo largo del periodo de estudio tuvo un aumento del 46%, registrándose el mayor aumento del mes de diciembre a enero.

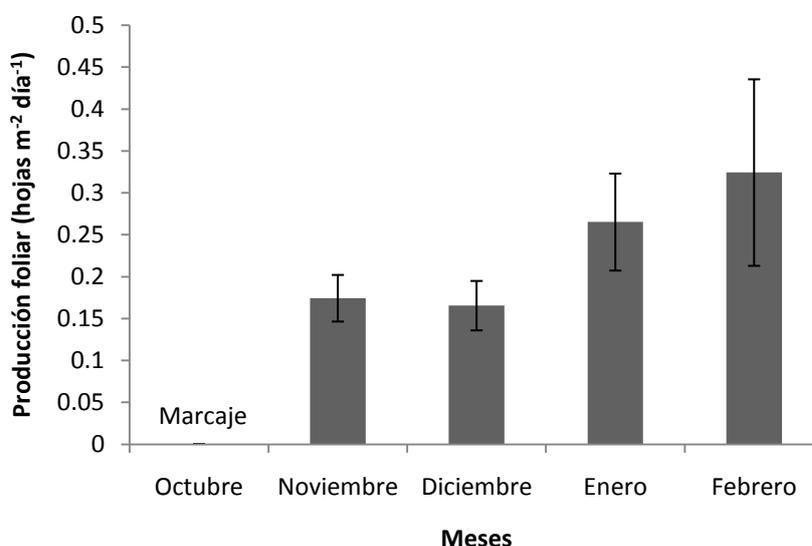


Figura 13. Producción foliar promedio (\pm e.s.) de *Stuckenia pectinata* a lo largo del periodo de estudio.

4. Biomasa foliar

La biomasa foliar en octubre para el cuadro dos y cuatro fue de 8 g PS m⁻², y de 9.6 g PS m⁻² en el cuadro seis, de acuerdo con el ANOVA realizado no se encontraron diferencias significativas ($F=0.2$, $gl= 2, 6$ $P < 0.8$) para este mes entre los cuadros. Para el mes de noviembre se obtuvo una biomasa promedio de 26.13 g PS m⁻² en el cuadro dos, 21.8 g PS m⁻² y 22.4 g PS m⁻² para los cuadros cuatro y seis. En diciembre la biomasa del cuadro dos fue de 58.6 g PS m⁻² y de 60.8 g PS m⁻² y 49.6 g PS m⁻² para los cuadros cuatro y seis. Para el mes de enero se observó una biomasa de 155.5 g PS m⁻² en el cuadro dos, 151 g PS m⁻² en el cuadro cuatro y 143 g PS m⁻² en el seis (Figura 14); en

febrero la biomasa promedio fue de 252.3, 240.5 y 236.8 g PS m⁻² para los cuadros dos, cuatro y seis respectivamente. Tampoco se encontraron diferencias significativas entre cuadros después del ANOVA para los meses de noviembre ($F=0.104$, $gl= 2,6$ $P < 0.9$), diciembre ($F=0.18$, $gl= 2,6$ $P < 0.83$), enero ($F=0.02$, $gl= 2,6$ $P < 0.97$) y febrero ($F=0.013$, $gl= 2,6$ $P < 1$; Figura 14; Tabla I).

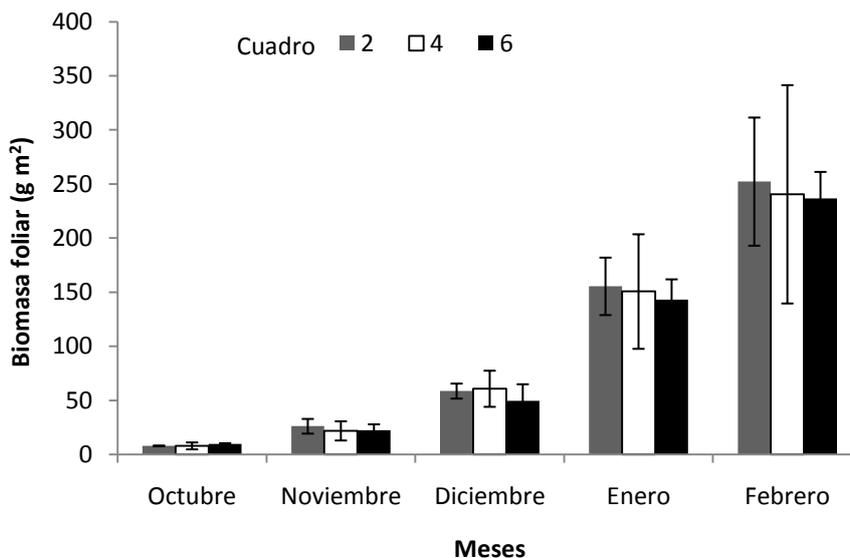


Figura 14. Biomasa foliar promedio (\pm e.s.) de *Stuckenia pectinata* por cuadro lo largo del periodo de estudio.

La biomasa foliar promedio para el mes de octubre fue de 8.5 g PS m⁻², para el mes de noviembre fue de 23.5 g PS m⁻², 56.3 g PS m⁻² para el mes de diciembre, 149.8 g PS m⁻² en el mes de enero y de 243.2 g PS m⁻² para febrero; de acuerdo con el ANOVA realizado se encontró que existen diferencias significativas ($F=30.8$, $gl= 4,40$ $P < 0.001$) entre los meses de estudio (Figura 15, Tabla I). La prueba de Tukey realizada demostró la principal diferencia entre los meses de enero y febrero con los demás meses de muestreo ($p \leq 0.05$).

En promedio, se tuvo un incremento de 103% en la biomasa foliar.

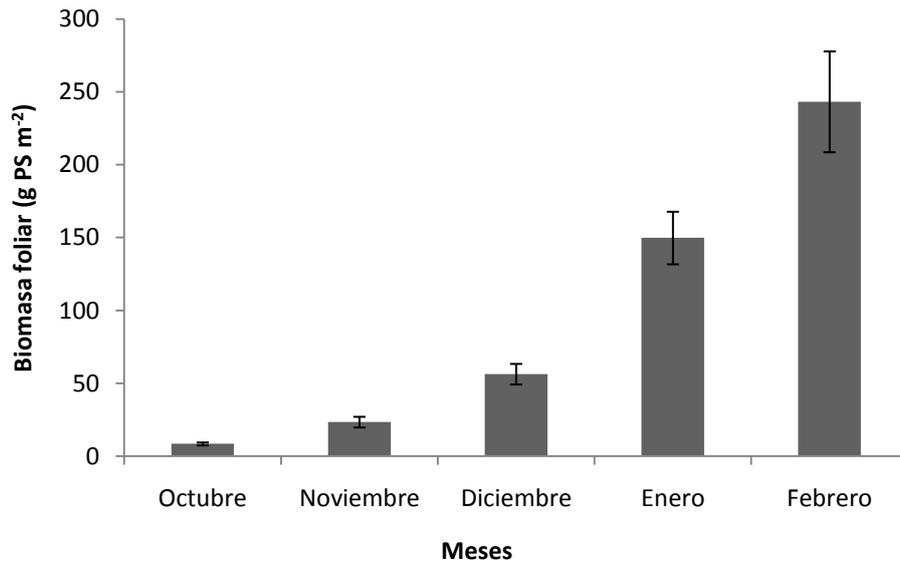


Figura 15. Biomasa foliar promedio (\pm e.s.) de *Stuckenia pectinata* a lo largo del periodo de estudio.

5. Densidad

La densidad fue de 80 haces m⁻² para el cuadro dos, 76 haces m⁻² para el cuadro cuatro y 40 haces m⁻² para el cuadro seis en el mes de octubre. En el mes de noviembre fue de 40, 116 y 10 haces m⁻² para los cuadros dos, cuatro y seis respectivamente. Para el mes de diciembre la densidad fue de 336 haces m⁻² en el cuadro dos, 448 haces m⁻² en el cuadro cuatro y 368 haces m⁻² en el cuadro seis. En enero se halló una densidad de 355 haces m⁻² en el cuadro dos y 388 haces m⁻² y 394 haces m⁻² para los cuadros cuatro y seis, respectivamente. Finalmente la densidad del mes de febrero fue de 374 haces m⁻², 328 haces m⁻² y 420 haces m⁻² para los cuadros, dos, cuatro y seis, respectivamente (Figura 16).

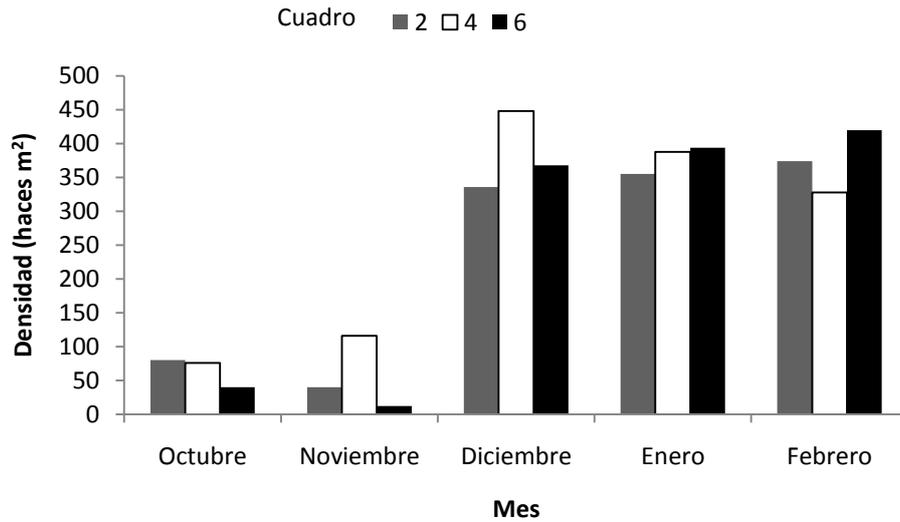


Figura 16. Densidad de *Stuckenia pectinata* largo del periodo de estudio.

La densidad promedio para el cuadro dos fue de 237 haces m⁻², 271 haces m⁻² y 247 haces m⁻², para los cuadros cuatro y seis respectivamente. No se encontraron diferencias significativas ($F=0.05$, $gl= 2, 12$ $P < 0.95$) entre cuadros (Figura 17; Tabla I).

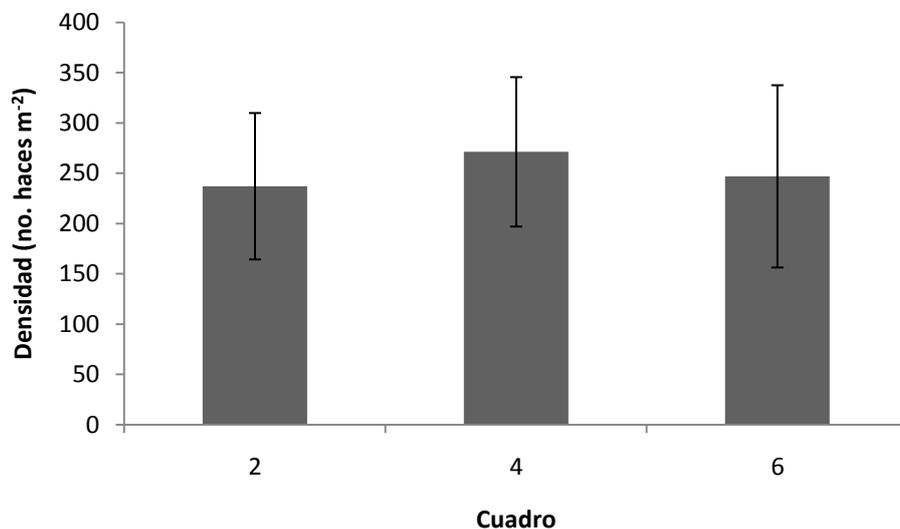


Figura 17. Densidad promedio (\pm e.s.) de *Stuckenia pectinata* en las parcelas de muestreo.

En cuanto a la fecha de muestreo la densidad promedio para octubre fue de 65 haces m⁻², 56 haces m⁻² para el mes de noviembre, 384 haces m⁻² mes de diciembre, 379 haces m⁻² para enero y 374 haces m⁻²; para los cuales se encontraron diferencias

significativas ($F=49.2$, $gl= 4,10$ $P < 0.001$; Figura 18; Tabla I). Después de la prueba de Tukey realizada se encontró la principal diferencia entre el mes de octubre y noviembre con los demás meses de muestreo ($p \leq 0.05$).

La densidad promedio tuvo un aumento del 82% a lo largo del periodo de estudio, del cual destaca un aumento vasto en los últimos tres meses de muestreo.

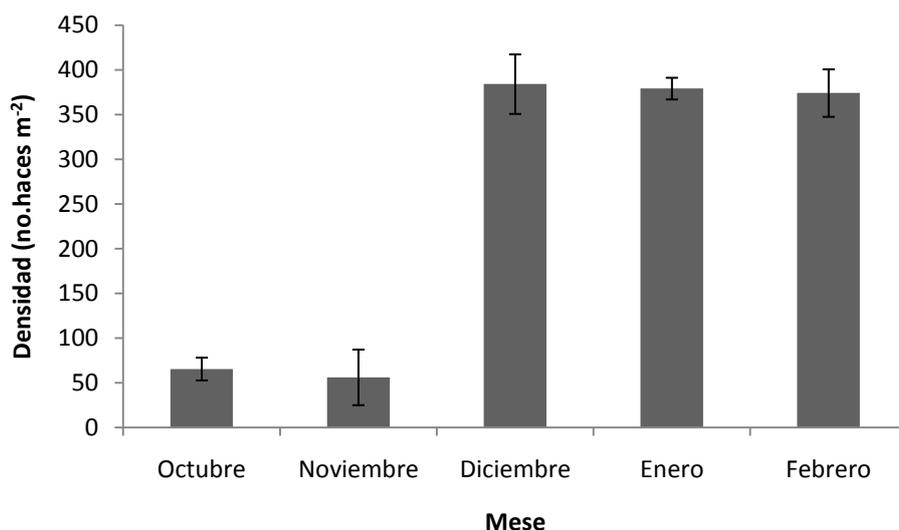


Figura 18. Densidad promedio (\pm e.s.) de *Stuckenia pectinata* a lo largo del periodo de estudio.

Tabla I. Promedio de los diferentes parámetros obtenidos a lo largo del periodo de estudio; valores de F y niveles de significancia para la ANOVA de la variable mes (a lo largo del periodo de estudio).

						ANOVA	
	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	F	P
Crecimiento (cm día ⁻¹)	Marcaje	0.69 ± 0.15 ^a	1.2 ± 0.23 ^b	1.3 ± 0.16 ^b	1.6 ± 0.3 ^a	3.3	<0.05
Producción haz (g PS m ⁻² día ⁻¹)	Marcaje	0.03 ± 0.009	0.02 ± 0.004	0.03 ± 0.008	0.04 ± 0.01	0.93	n.s.
Producción foliar (hojas día ⁻¹ haz ⁻¹)	Marcaje	0.17 ± 0.02	0.16 ± 0.02	0.26 ± 0.05	0.32 ± 0.11	2.16	n.s.
Biomasa foliar (g PS m ⁻²)		8.5 ± 1 ^a	23.5 ± 3.7 ^a	56.3 ± 7 ^a	150 ± 18 ^b	243 ± 34.6 ^c	30.8 <0.001
Densidad (haces m ⁻²)		65.3 ± 12.7 ^a	56 ± 31.1 ^a	384 ± 33.3 ^b	379 ± 12.1 ^b	374 ± 26.6 ^b	49.2 <0.001

Las letras indican diferencias significativas. n.s.= no significativas.

B. Caracterización del medio

1. Factores físicos

La radiación fotosintéticamente activa (PAR por sus siglas en inglés) superficial tuvo un promedio de $1963.1 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$, $2300.7 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$, $2114.1 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$, $1161.6 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$, y $209 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$, para los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero y febrero respectivamente, para los cuales se obtuvieron diferencias significativas ($F=24$, $gl= 4,10$ $P < 0.001$) a lo largo del periodo de estudio. La prueba de Tukey demostró que existe una importante diferencia entre el mes de enero y febrero con los demás meses de muestreo ($p < 0.05$).

La PAR promedio a nivel sub-superficial obtuvo un promedio de $1165.2 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$, en el mes de octubre, $1532.0 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$, en noviembre, $1258.4 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ para diciembre, $706.9 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ para enero y $155.5 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ en febrero; después de realizar un análisis de varianza se encontró que hay diferencias significativas ($F=6.3$, $gl= 4,10$ $P < 0.01$) en cuanto al mes de muestreo; al realizar la prueba de Tukey correspondiente se encontró la principal diferencia entre los meses de enero y febrero y los demás meses de muestreo ($p \leq 0.05$).

La PAR promedio en el fondo fue de $546.9 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$, en el mes de octubre, 718.4 , $648.2 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$, $339.9 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ y $31.5 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ para los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero respectivamente para los cuales se encontraron diferencias significativas ($F= 4.2$, $gl= 4,10$ $P < 0.03$) a lo largo del periodo de estudio, la principal diferencia se encontró en noviembre y febrero ($p \leq 0.05$) después de la prueba de Tukey realizada (Figura 19, Tabla II).

La PAR superficial promedio fue de $1549.7 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$, $963.6 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ la sub-superficial y $457 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ la de fondo, entre las cuales se encontraron diferencias

significativas ($P < 0.001$). Se observó la mayor diferencia entre la PAR superficial y, la PAR sub-superficial y de fondo ($P < 0.05$).

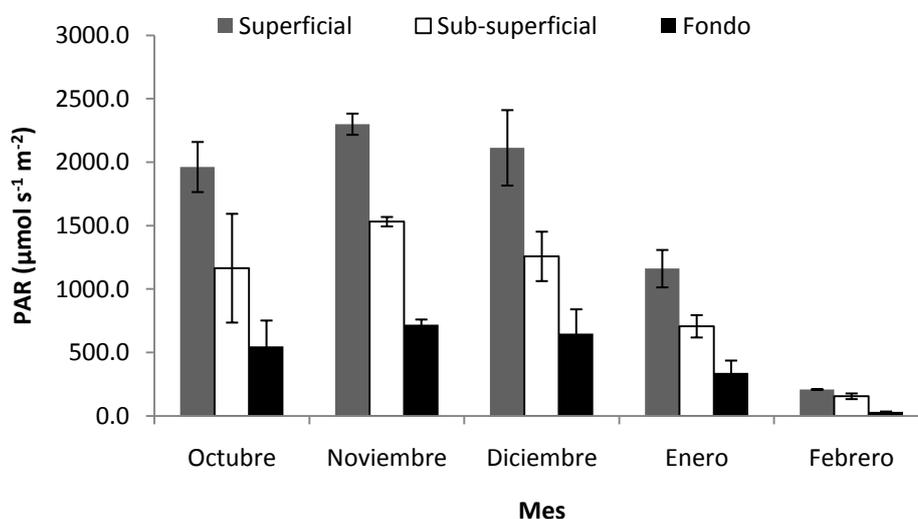


Figura 19. Radiación fotosintéticamente activa promedio (\pm e.s.) a lo largo del periodo de estudio.

La temperatura sub-superficial tuvo un promedio de $32.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el mes de octubre, $31.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el mes de noviembre, $29.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el mes de diciembre, $26.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ en enero y $23.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ en febrero. Se obtuvo una diferencia significativa ($F=39$, $gl=4,16$ $P < 0.001$) para la temperatura sub-superficial a lo largo del periodo de estudio.

La temperatura de fondo tuvo un promedio de $32.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $31.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, $28.7\text{ }^{\circ}\text{C}$, $26.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $23.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ para los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero y febrero, respectivamente. También se obtuvieron diferencias significativas ($F=52.8$, $gl= 4,16$ $P < 0.001$) en la temperatura de fondo a lo largo del periodo de estudio (Figura 20; Tabla II). Las principales diferencias en la temperatura sub-superficial fueron observadas en el mes de enero y febrero con los meses los demás meses de muestreo ($p \leq 0.05$). En el fondo se encontraron las principales diferencias entre los meses de diciembre, enero y febrero con los demás meses de muestreo ($p < 0.05$).

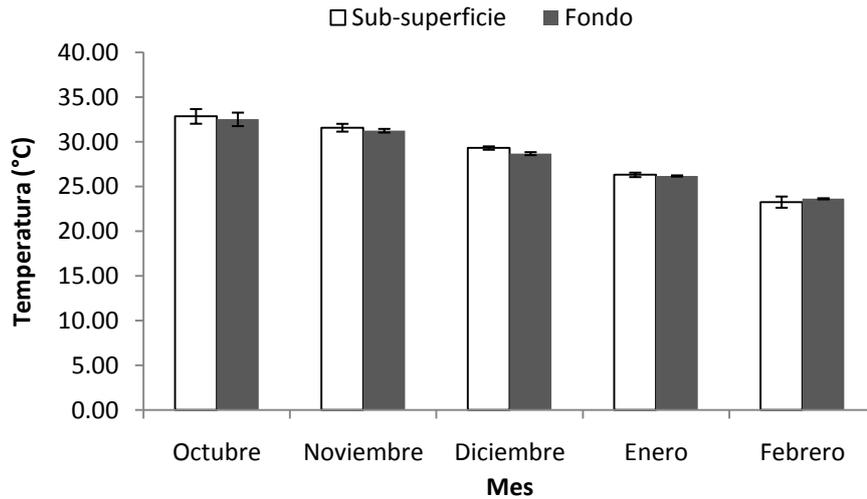


Figura 20. Temperatura promedio (\pm e.s.) obtenida a lo largo del periodo de muestreo, en muestras sub-superficiales y de fondo.

La temperatura promedio total de la sub-superficie fue de 28.9 °C y 28.7 °C en el fondo para las cuales no se obtuvieron diferencias significativas ($F=0.04$, $gl= 1,40$ $P < 0.85$) entre en la sub-superficie y el fondo para la temperatura (Figura 21, Tabla II).

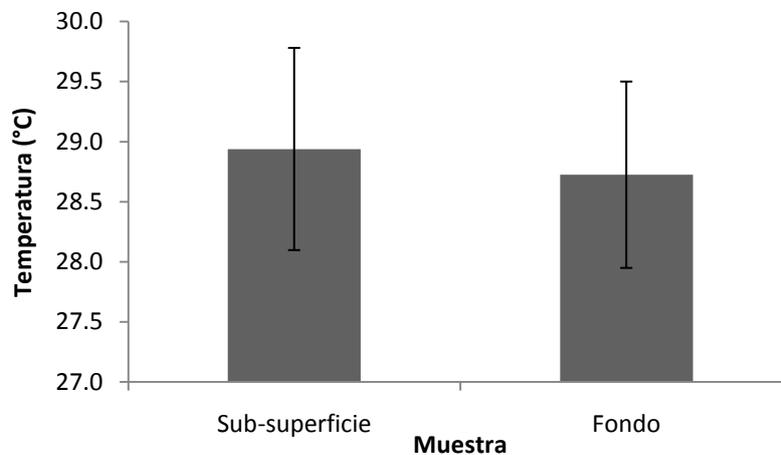


Figura 21. Temperatura total promedio (\pm e.s.) en muestras sub-superficiales y de fondo.

La velocidad de corriente promedio fue de 0.16 m s⁻¹ en el mes de octubre, 0.20 m s⁻¹ para el mes de noviembre, 1.10 m s⁻¹ en diciembre, 0.72 m s⁻¹ para enero y 0.34 m s⁻¹ en febrero; después de analizar los datos con un ANOVA se encontró que existen diferencias significativas ($F=499$, $gl=4,10$ $P < 0.001$) para la velocidad de corriente a lo largo del periodo de estudio (Figura 22, Tabla II).

Al realizar la prueba de Tukey se observó la principal diferencia entre los meses de diciembre, enero y febrero con los demás meses ($p \leq 0.001$).

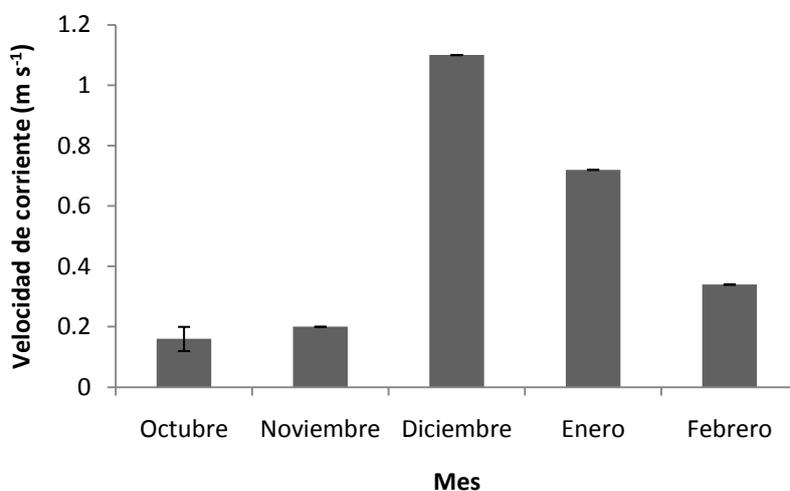


Figura 22. Velocidad de corriente promedio (\pm e.s.) a lo largo del periodo de estudio.

Tabla II. Promedio de los parámetros físicos obtenidos a lo largo del periodo de estudio; valores de F y niveles de significancia para las ANOVAS de la variable mes (a lo largo del periodo de estudio).

							ANOVA	
		Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	F	P
Radiación ($\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$)	Superficial	1963.1±197 ^a	2300.7±83 ^a	2114.1±297 ^a	1116.6±147 ^b	209.0±2 ^b	24.0	<0.01
	Sub-superficial	1165.2±428 ^a	1532.0±37 ^a	1258.4±194 ^a	706.9±88 ^a	155.5±22 ^b	6.31	<0.01
	Fondo	546.9±205 ^a	718.4±42 ^b	648.2±192 ^a	339.9±97 ^a	31.5±4 ^b	4.23	<0.05
Temperatura (°C)	Sub-superficial	32.9±0.82 ^a	31.6±0.43 ^a	29.3±0.2 ^a	26.3±0.2 ^b	23.3±1.25 ^b	39.5	<0.01
	Fondo	32.5±0.75 ^a	31.3±0.2 ^a	28.7±0.2 ^b	26.2±0.07 ^b	23.7±0.06 ^b	52.82	<0.01
V.C. (m s^{-1})		0.16±0.04 ^a	0.20±0.0 ^a	1.1±0.0 ^b	0.72±0.0 ^b	0.34±0.0 ^b	449.6	<0.01

Las letras indican diferencias significativas. n.s.= no significativas.

En cuanto al pH se registró un promedio de 7.4 y 7.5 correspondientes a las muestras sub-superficiales y de fondo, para la conductividad se obtuvo un promedio en el mes de octubre de $685.8 \mu\text{S cm}^{-1}$ sub-superficial y $687.2 \mu\text{S cm}^{-1}$ en el fondo; para los sólidos disueltos totales (TDS) se obtuvo una concentración promedio de 347 mg L^{-1} y 325.8 mg L^{-1} en la sub-superficie y fondo respectivamente (Tabla III). En este mes no se obtuvieron diferencias significativas para los promedios de pH ($F=0.3$, $gl=1,10$ $P <$

0.6), conductividad ($F=0.02$, $gl= 1,10$ $P < 0.9$), y TDS ($F=1.3$, $gl=1,10$ $P < 0.3$) entre las muestras sub-superficiales y de fondo (Figura 23, Tabla III).

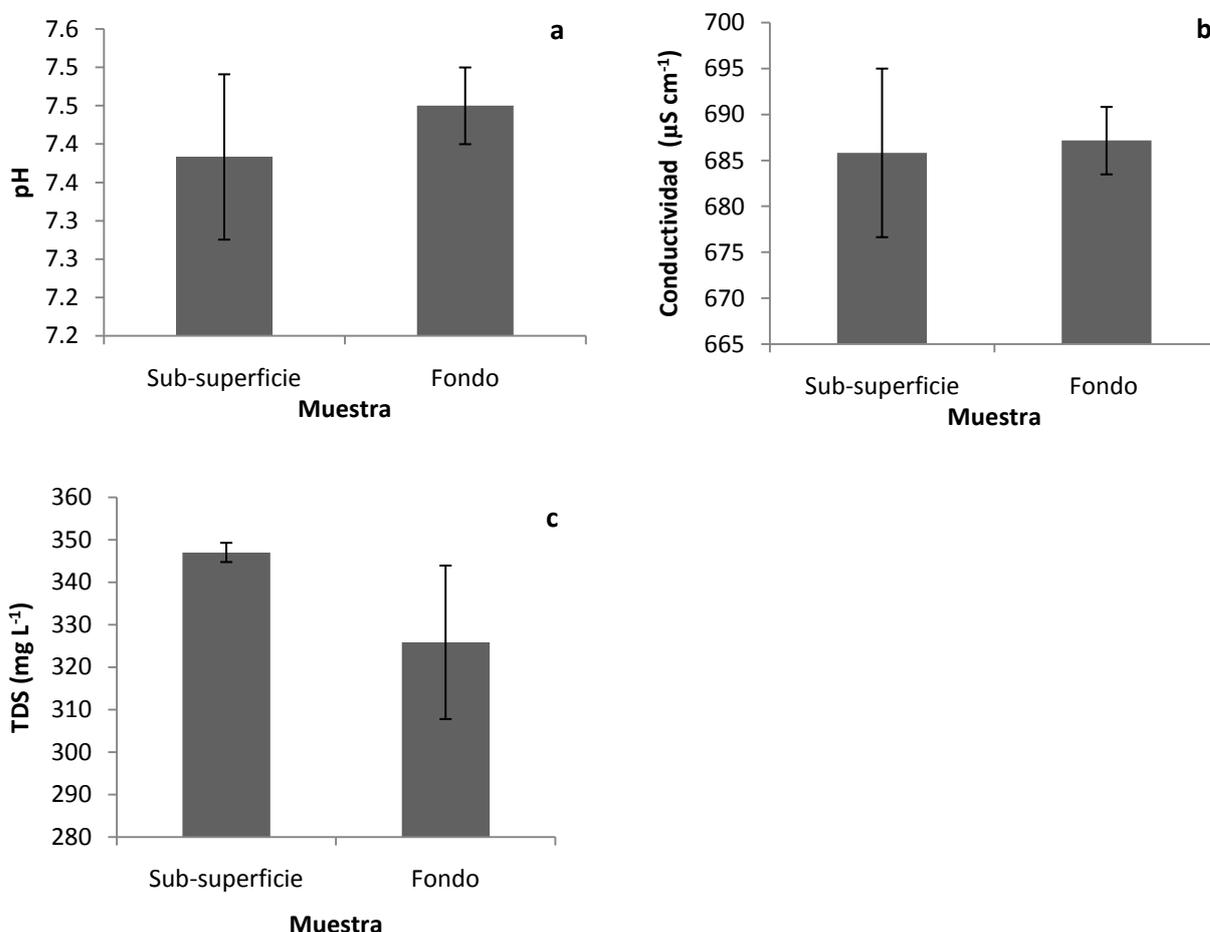


Figura 23. Datos obtenidos de los análisis químicos realizados in situ. a. potencial de hidrógeno (pH), b. conductividad ($\mu\text{S cm}^{-1}$), c. TDS, sólidos disueltos totales (mg L^{-1}) promedio (\pm e.s.) en el mes de octubre.

Para el mes de noviembre se obtuvo un pH promedio de 7.2, una conductividad de $652.3 \mu\text{S cm}^{-1}$ y una concentración promedio de 330.6 mg L^{-1} de TDS para la sub-superficie y un pH de 7.6, una conductividad de $662 \mu\text{S cm}^{-1}$ y una concentración de 332.3 mg L^{-1} de TDS promedio para el fondo (Figura 24; Tabla III). No se encontraron diferencias significativas entre la sub-superficie y fondo para el pH ($F=5.9$, $gl=1,4$ $P < 0.07$), conductividad ($F=0.3$, $gl=1,4$ $P < 0.6$) y TDS ($F=3.1$, $gl= 1,4$ $P < 0.1$) entre la sub-superficie y el fondo (Figura 23, Tabla III).

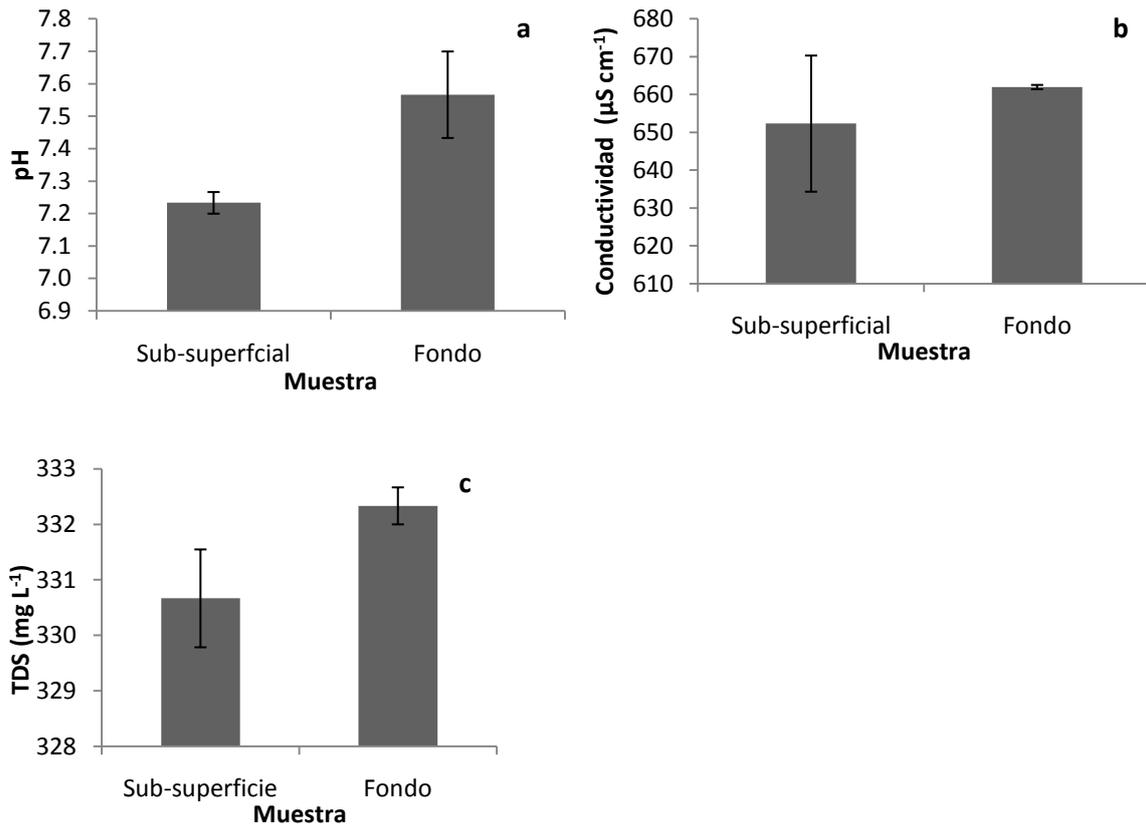


Figura 24. Datos obtenidos de los análisis químicos realizados in situ. a. potencial de hidrógeno (pH), b. conductividad ($\mu\text{S cm}^{-1}$), c. TDS, sólidos disueltos totales (mg L^{-1}), en el mes de noviembre (\pm e.s.).

En el mes de diciembre se obtuvo un pH promedio de 7.25 en la sub-superficie y 7.55 en el fondo, para las cuales no se encontraron diferencias significativas ($F=2.5$, $gl=1,6$ $P < 0.1$); la conductividad obtuvo un promedio de $615.5 \mu\text{S cm}^{-1}$ y $648 \mu\text{S cm}^{-1}$ para la sub-superficie y fondo respectivamente, sin encontrar diferencia significativas ($F=1.5$, $gl=1,6$ $P < 0.3$). La concentración promedio de TDS fue de 319.3 mg L^{-1} en la sub-superficie y 322.5 mg L^{-1} en el fondo, después del ANOVA realizado se encontró que no existen diferencias significativas ($F=0.3$, $gl=1,6$ $P < 0.6$) entre la sub-superficie y el fondo (Figura 25; Tabla III).

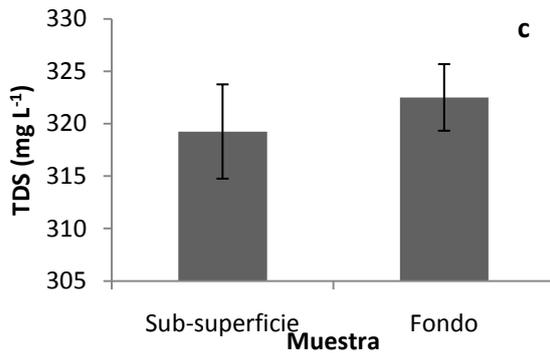
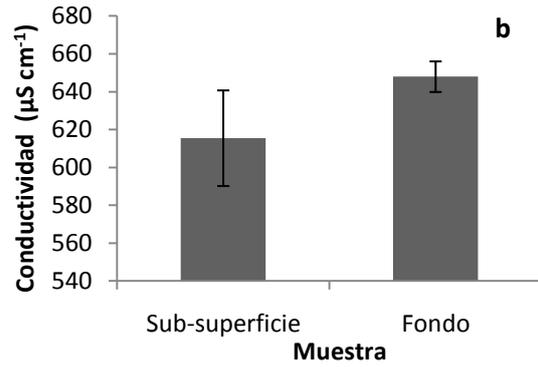
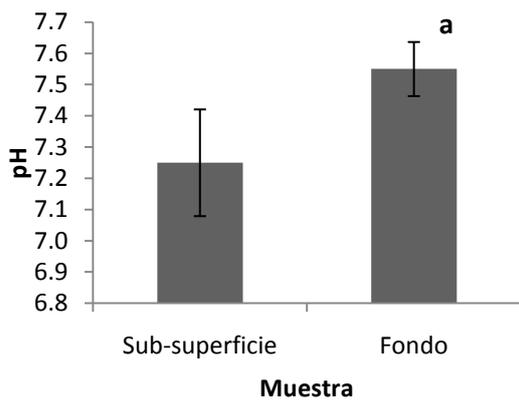
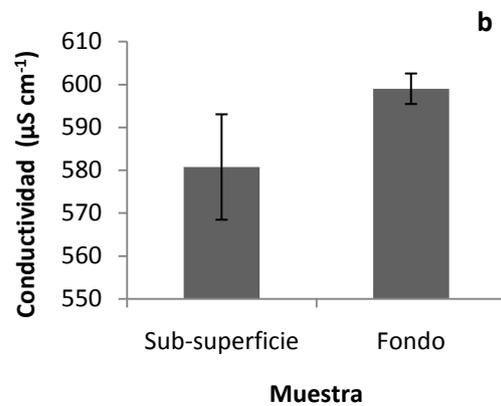
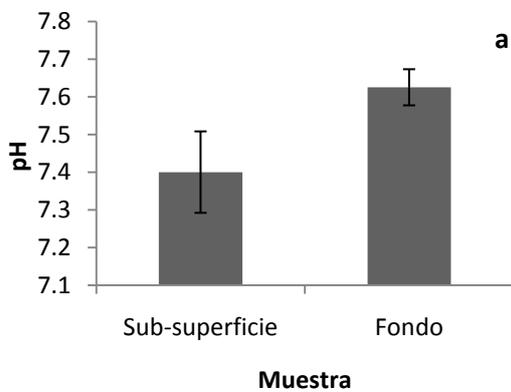


Figura 25. Datos obtenidos de los análisis químicos realizados in situ. a. potencial de hidrógeno (pH), b. conductividad ($\mu\text{S cm}^{-1}$), c. TDS, sólidos disueltos totales (mg L^{-1}), en el mes de diciembre (\pm e.s.).

En el mes de enero se obtuvo un pH sub-superficial de 7.4 y de 7.6 en el fondo; la conductividad fue de $580.7 \mu\text{S cm}^{-1}$ para la sub-superficie y para el fondo de $599 \mu\text{S cm}^{-1}$; la concentración de TDS en la su-superficie fue de 296 mg L^{-1} y 298.3 mg L^{-1} en el fondo; no se encontraron diferencias significativas en ninguna variable para este mes (Figura 26; Tabla III).



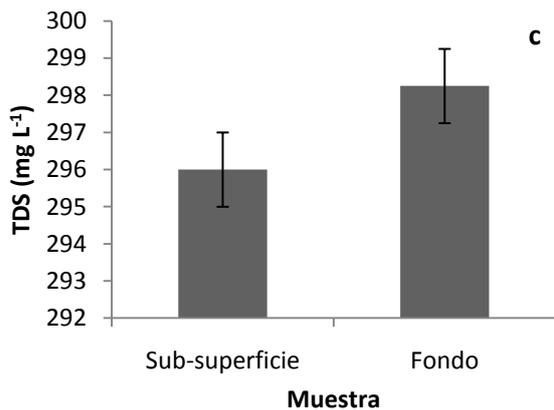
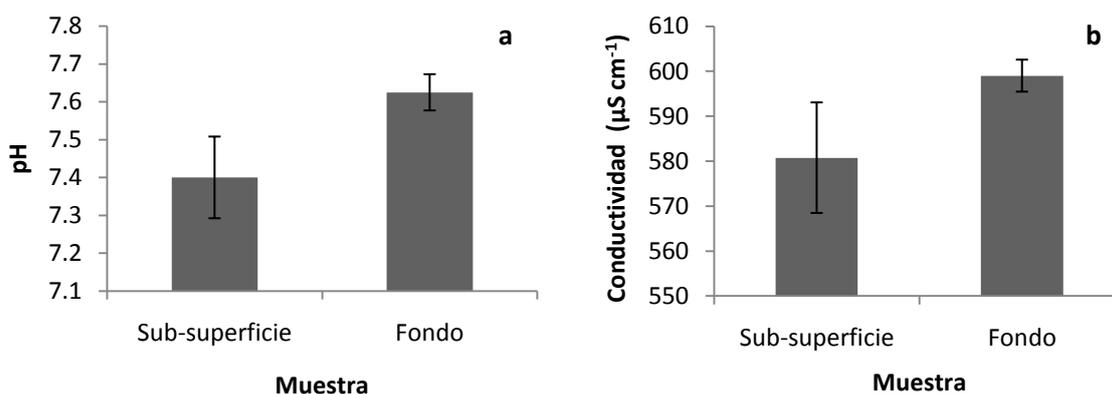


Figura 26. Datos obtenidos de los análisis químicos realizados in situ. a. potencial de hidrógeno (pH), b. conductividad ($\mu\text{S cm}^{-1}$), c. TDS, sólidos disueltos totales (mg L^{-1}), en el mes de enero (\pm e.s.).

Para el mes de febrero se obtuvo un pH promedio de 7.5 y 7.7 para la sub-superficie y el fondo respectivamente, la conductividad promedio fue de $545.8 \mu\text{S cm}^{-1}$ y $549.5 \mu\text{S cm}^{-1}$ en la sub-superficie y fondo; el promedio de TDS fue de 272.5 mg L^{-1} y 273.8 mg L^{-1} para la sub-superficie y fondo (Tabla III). No se encontraron diferencias significativas en el pH ($F=3.6$, $gl=1,6$ $P < 0.1$), conductividad ($F= 2.8$, $gl= 1,6$ $P < 0.1$) y los TDS ($F= 2.4$, $gl= 1,6$ $P < 0.1$) entre las muestras de fondo y sub-superficiales (Figura 27, Tabla III).



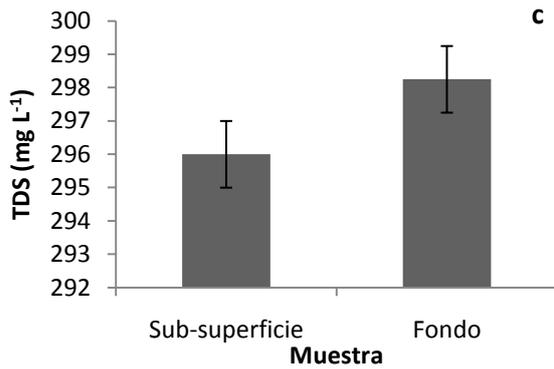


Figura 27. Datos obtenidos de los análisis químicos realizados in situ. a. potencial de hidrógeno (pH), b. conductividad ($\mu\text{S cm}^{-1}$), c. TDS, sólidos disueltos totales (mg L^{-1}), en el mes de febrero (\pm e.s.).

A lo largo del periodo de estudio el pH tuvo un promedio de 7.4 en el mes de octubre, 7.2 en el mes de noviembre, 7.3 en diciembre, 7.4 en enero y 7.5 en el mes de febrero en la sub-superficie. De acuerdo con los análisis estadísticos realizados se encontró que no existen diferencias significativas ($F=1$, $gl=4$, $16 P < 0.44$) en el pH de la sub-superficie a lo largo del periodo de estudio. En cuanto al fondo se obtuvo un promedio de 7.5 en el mes de octubre, 7.6 en el mes de noviembre, diciembre y enero de 7.7 en febrero; para los cuales tampoco se encontraron diferencias significativas ($F=1.6$, $gl=4$, $16 P < 0.2$) a lo largo del periodo de estudio (Figura 28, Tabla III).

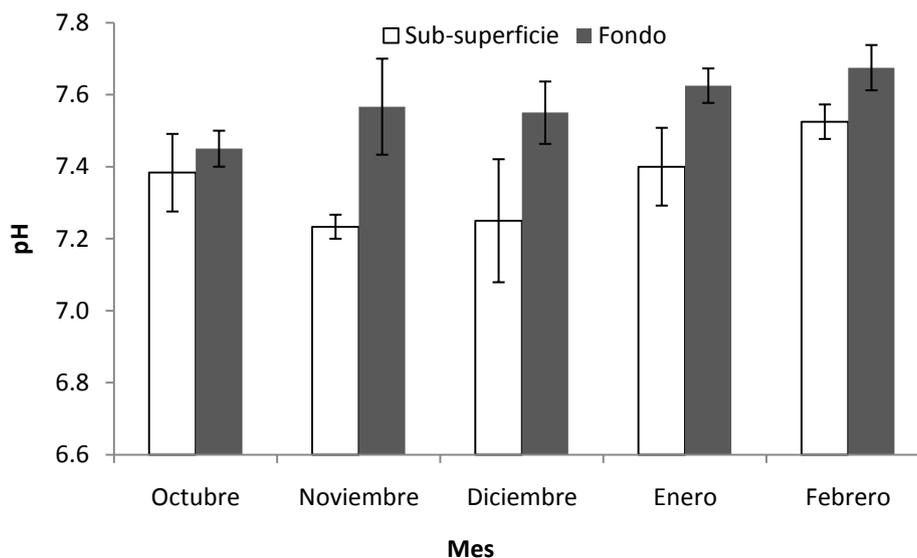


Figura 28. Potencial de hidrógeno promedio (\pm e.s.) obtenido en las muestras sub-superficiales y de fondo a lo largo del periodo de estudio.

En general en las muestras sub-superficiales se obtuvo un pH promedio de 7.4 y 7.6 para las de fondo; entre ambas muestras se encontró que existe diferencias significativas ($F=10.15$, $gl=1,40$ $P < 0.05$) en el pH promedio (Figura 29, Tabla IV).

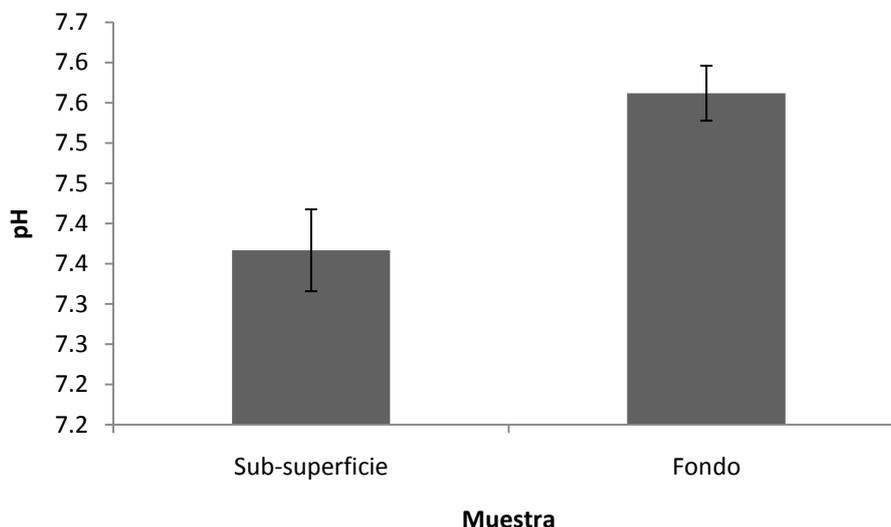


Figura 29. Potencial de hidrógeno (\pm e.s.) total promedio en muestras sub-superficiales y de fondo.

La conductividad obtuvo un promedio de $685.8 \mu\text{S cm}^{-1}$ en el mes de octubre, $652.3 \mu\text{S cm}^{-1}$ en noviembre, $615.5 \mu\text{S cm}^{-1}$ en diciembre, $580.8 \mu\text{S cm}^{-1}$ en enero y $545.75 \mu\text{S cm}^{-1}$ en febrero en la sub-superficie, para los cuales se obtuvo una diferencia significativa ($F=16.45$, $gl= 4,16$ $P < 0.001$) para la conductividad a lo largo del periodo de estudio. Para el fondo se obtuvo una conductividad promedio de $687.2 \mu\text{S cm}^{-1}$ en octubre, $662 \mu\text{S cm}^{-1}$ en noviembre, $648 \mu\text{S cm}^{-1}$ en diciembre, $599 \mu\text{S cm}^{-1}$ en enero y $549.5 \mu\text{S cm}^{-1}$ en febrero, en el fondo también se encontraron diferencias significativas ($F=152.9$, $gl= 4,16$ $P < 0.001$) para la conductividad a lo largo del periodo de estudio (Figura 30, Tabla III). Después de las pruebas de Tukey realizadas se observaron las principales diferencias en el mes de febrero y demás meses de muestreo ($p \leq 0.05$) para muestras sub-superficiales. Para las muestras de fondo fueron entre los meses de noviembre y diciembre con los demás meses de muestreo ($p \leq 0.05$).

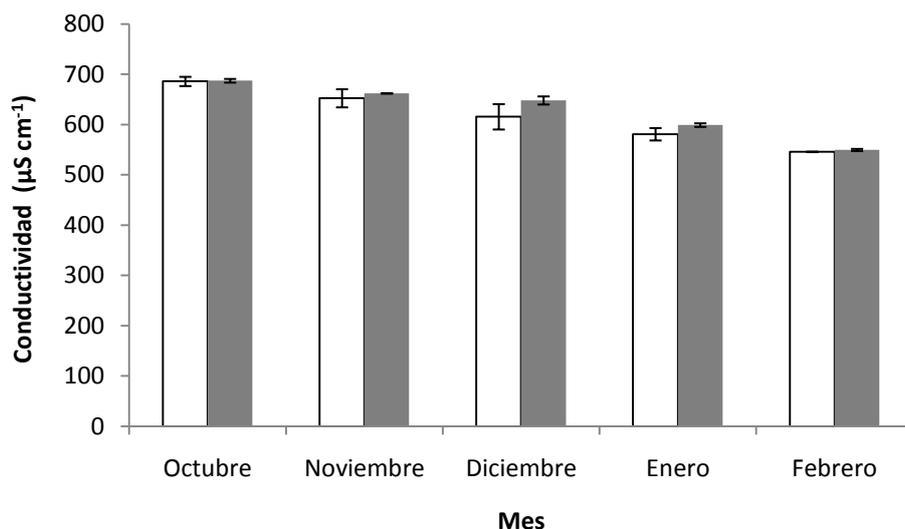


Figura 30. Conductividad promedio (\pm e.s.) obtenida a lo largo del periodo de estudio.

En total la conductividad de la sub-superficie obtuvo un promedio de $620.9 \mu\text{S cm}^{-1}$ y para el fondo $633.1 \mu\text{S cm}^{-1}$ entre los cuales no se encontraron diferencias significativas ($F=0.5$, $gl= 1, 40$ $P < 0.5$) (Figura 31; Tabla IV).

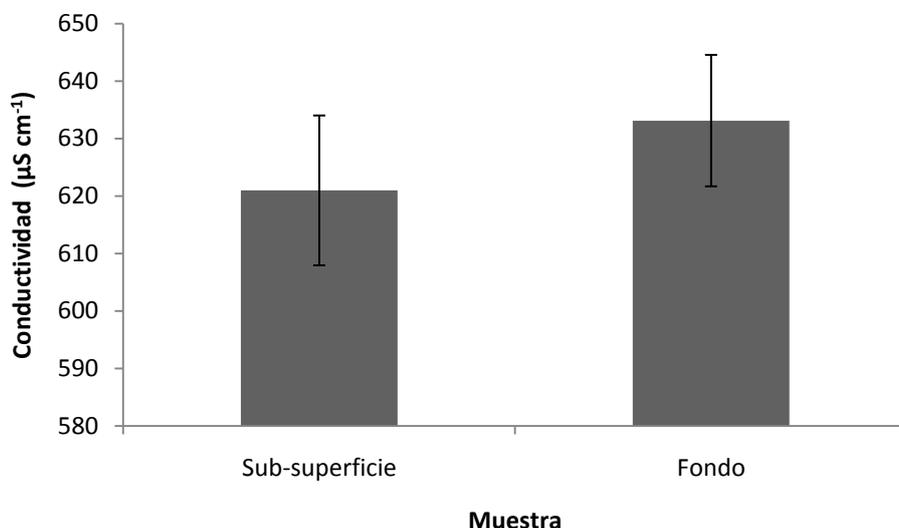


Figura 31. Conductividad total promedio (\pm e.s.) en muestras sub-superficiales y de fondo.

La concentración de sólidos disueltos totales (TDS) sub-superficiales tuvieron un promedio de 347 mg L^{-1} , 330.6 mg L^{-1} , 319.2 mg L^{-1} , 296 mg L^{-1} y 272.5 mg L^{-1} para los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero y febrero, para los cuales se

encontraron diferencias significativas ($F=130.5$, $gl=4,16$ $P < 0.001$) a lo largo del periodo de estudio en los TDS sub-superficiales. Las principales diferencias observadas después de la prueba de Tukey fueron entre los meses de noviembre y diciembre con los demás meses de muestreo ($p \leq 0.05$). En cuanto al fondo se obtuvo un promedio de TDS de 325.8 mg L^{-1} en octubre, 332.3 mg L^{-1} en noviembre, 322.5 mg L^{-1} en diciembre, 298.2 mg L^{-1} en enero y 273.8 mg L^{-1} en febrero, también se encontraron diferencias significativas ($F=3.8$, $gl=4,16$ $P < 0.02$) en los TDS promedio del fondo a lo largo del muestro (Figura 32, Tabla III). Se observó la principal diferencia entre los meses de noviembre y diciembre con los demás meses de muestreo ($p \leq 0.05$) después de la prueba de Tukey.

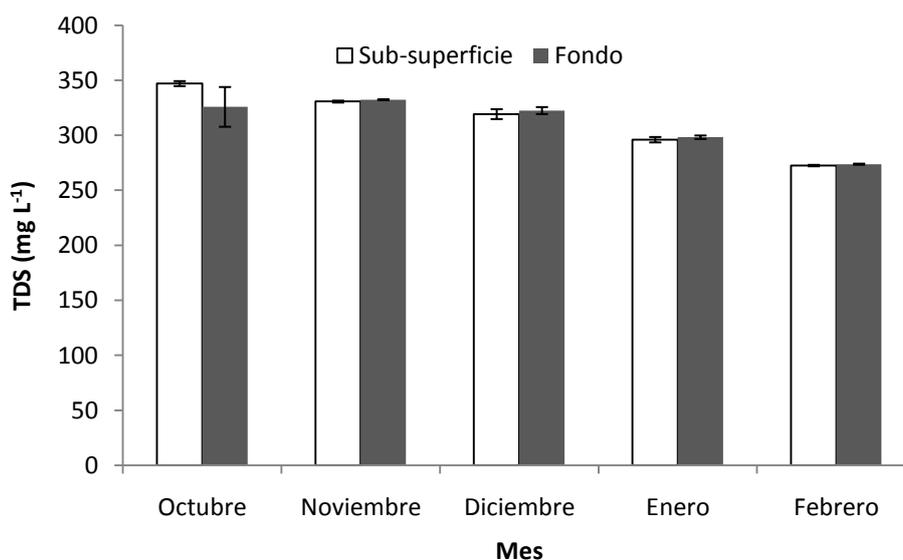


Figura 32. TDS, Sólidos disueltos totales promedio (\pm e.s.) obtenido a lo largo del periodo del periodo de estudio, en muestras sub-superficiales y de fondo.

Los TDS promedio total sub-superficiales fue de 315.5 mg L^{-1} y de fondo de 311 mg L^{-1} entre los cuales no se encontraron diferencias significativas ($F=0.24$, $gl=1,10$ $P < 0.6$) (Figura 33, Tabla IV).

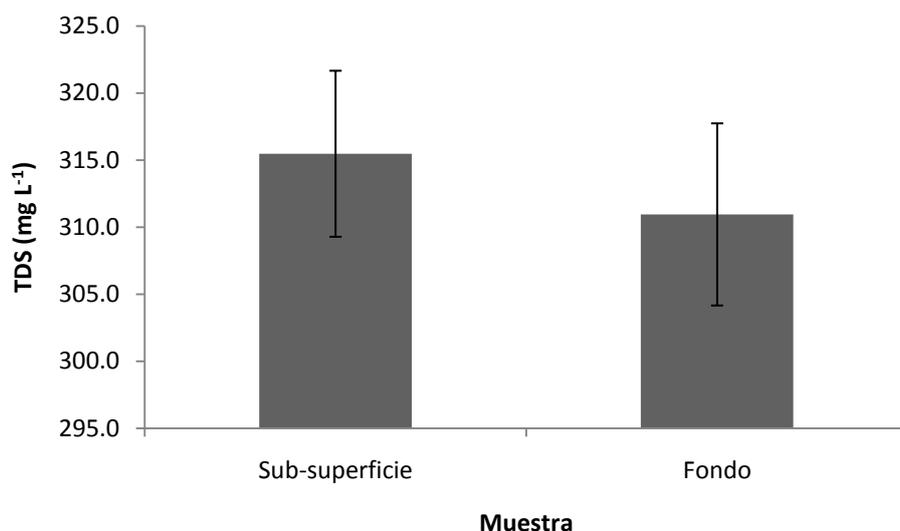


Figura 33. Sólidos disueltos totales promedio (\pm e.s.) en muestras sub-superficiales y de fondo.

Tabla III. Promedio (\pm e.s) de algunos de los parámetros físicos obtenidos in situ por medio del multianalizador Corning en las muestras sub-superficiales y de fondo a lo largo del periodo de estudio; valores de F y niveles de significancia para las ANOVAS de la variable muestra (sub-superficial y fondo).

		Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	F	P
pH	Sub-superf.	7.4 \pm 0.26	7.2 \pm 0.06	7.3 \pm 0.34	7.4 \pm 0.22	7.5 \pm 0.1	1	n.s.
	Fondo	7.5 \pm 0.05	7.6 \pm 0.13	7.6 \pm 0.09	7.6 \pm 0.05	7.7 \pm 0.06	2	n.s.
Conductividad (μ S cm ⁻¹)	Sub-superf.	685.8 \pm 9.2 ^a	652.3 \pm 18 ^a	615.5 \pm 25.3 ^a	580.8 \pm 12.3 ^a	545.8 \pm 0.5 ^b	16.5	<0.001
	Fondo	687.2 \pm 3.7 ^a	662 \pm 0.6 ^b	648 \pm 8.1 ^b	599 \pm 3.6 ^a	549.5 \pm 2.2 ^c	153	<0.001
TDS (mg L ⁻¹)	Sub-superf.	347 \pm 2.3 ^b	330.7 \pm 0.9 ^a	319.3 \pm 4.5 ^a	296 \pm 2.4 ^b	272.5 \pm 0.6 ^b	131	<0.001
	Fondo	325.8 \pm 18 ^a	332.3 \pm 0.3 ^b	322.5 \pm 3.2 ^b	298.3 \pm 1.6 ^a	273.8 \pm 0.5 ^a	3.8	<0.05

Las letras indican diferencias significativas. n.s. = no significativas.

Tabla IV. Promedio total de algunos de los parámetros físicos obtenidos in situ por medio del multianalizador Corning en las muestras sub-superficiales y de fondo; valores de F y niveles de significancia para las ANOVAS de la variable muestra (sub-superficial y fondo).

	ANOVA			
	Sub-superficial	Fondo	F	P
pH	7.4 \pm 0.11	7.5 \pm 0.05	0.31	n.s.
Conductividad (μ S cm ⁻¹)	685.8 \pm 59.7	687.2 \pm 52.4	0.01	n.s.
TDS (mg L ⁻¹).	347 \pm 6.2	325.8 \pm 6.8	1.4	n.s.

n.s.= no significativa.

2. Factores químicos

El contenido promedio total de nitratos, amonio y ortofosfatos en las muestras de agua de sub-superficie y fondo se muestran en la Tabla V. Donde se puede observar que los meses con mayor concentración de nitratos fueron octubre, enero y febrero en la sub-superficie y fondo (Figura 34). Para el amonio se encontró que a nivel sub-superficial el mes con mayor concentración fue octubre con 0.36 mg L^{-1} y con menor concentración en noviembre con un valor de 0.18 mg L^{-1} ; en el fondo octubre fue el mes con mayor concentración de amonio con un valor de 0.32 mg L^{-1} y noviembre y diciembre con la menor concentración con 0.22 mg L^{-1} para ambos meses (Figura 35). En cuanto a la concentración de ortofosfatos febrero tuvo una mayor concentración de ortofosfatos con 17.4 mg L^{-1} y noviembre el de menos concentración con 8.12 mg L^{-1} en las muestras sub-superficiales; de igual manera se encontró la mayor concentración de ortofosfatos en el mes de febrero con 16.4 mg L^{-1} y la menor concentración con 6.2 mg L^{-1} en el mes de noviembre (Figura 36).

Tabla IV. Contenido promedio total de nitratos, amonio y ortofosfatos de las muestras sub-superficiales y de fondo colectadas a lo largo del periodo de estudio. Valores en mg L^{-1} .

		Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
Sub-superficie	Nitratos	$0.44 \pm 0.0^{\text{n.s.}}$	$0.26 \pm 0.03^{\text{n.s.}}$	$0.37 \pm 0.05^{\text{n.s.}}$	$0.4 \pm 0.04^{\text{n.s.}}$	$0.41 \pm 0.04^{\text{n.s.}}$
	Amonio	$0.36 \pm 0.04^{\text{b}}$	$0.18 \pm 0.01^{\text{b}}$	$0.24 \pm 0.01^{\text{a}}$	$0.27 \pm 0.00^{\text{a}}$	$0.29 \pm 0.01^{\text{a}}$
	Ortofosfatos	$11.02 \pm 3.3^{\text{n.s.}}$	$8.12 \pm 0.7^{\text{n.s.}}$	$15.1 \pm 0.7^{\text{n.s.}}$	$16.3 \pm 1.4^{\text{n.s.}}$	$17.4 \pm 3^{\text{n.s.}}$
Fondo	Nitratos	$0.39 \pm 0.02^{\text{a}}$	$0.28 \pm 0.0^{\text{b}}$	$0.37 \pm 0.03^{\text{a}}$	$0.42 \pm 0.01^{\text{a}}$	$0.46 \pm 0.03^{\text{b}}$
	Amonio	$0.32 \pm 0.02^{\text{a}}$	$0.22 \pm 0.03^{\text{a}}$	$0.22 \pm 0.00^{\text{a}}$	$0.25 \pm 0.00^{\text{b}}$	$0.28 \pm 0.01^{\text{b}}$
	Ortofosfatos	$11.8 \pm 1.2^{\text{a}}$	$6.2 \pm 0.8^{\text{b}}$	$15.4 \pm 1.1^{\text{a}}$	$15.9 \pm 0.6^{\text{a}}$	$16.4 \pm 1^{\text{b}}$

Las letras indican diferencias significativas, $p < 0.05$. n.s, no significativas.

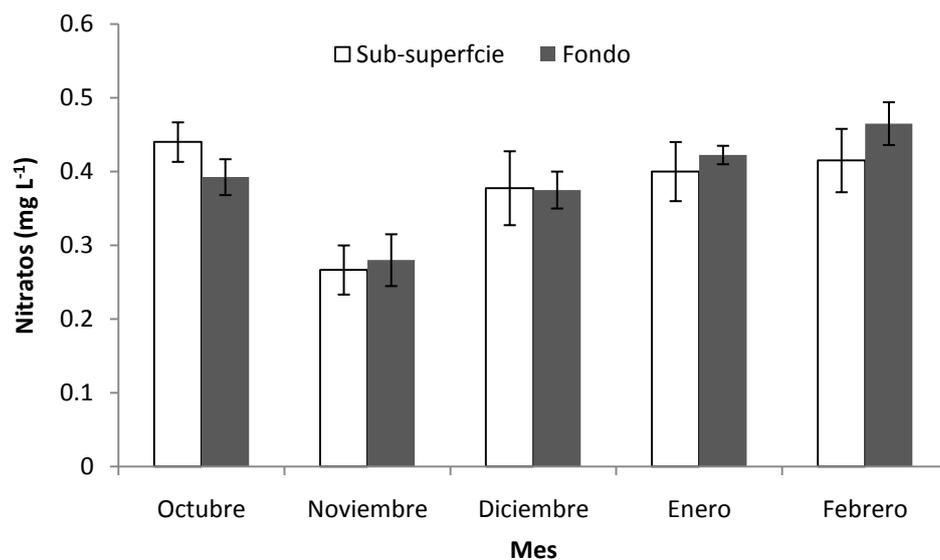


Figura 34. Concentración de nitratos promedio (\pm e.s.) en muestras sub-superficiales y de fondo a lo largo del periodo de estudio.

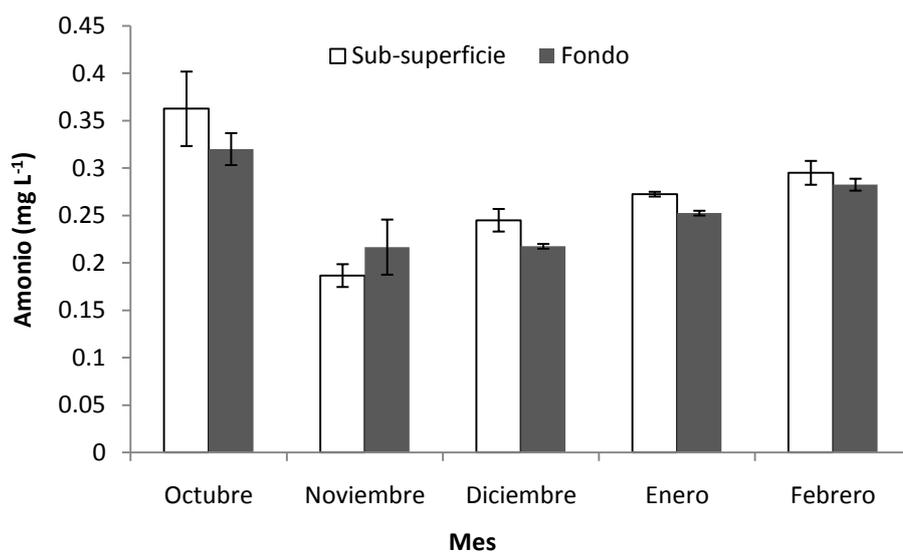


Figura 35. Concentración de amonio promedio (\pm e.s.) en muestras sub-superficiales y de fondo a lo largo del periodo de estudio.

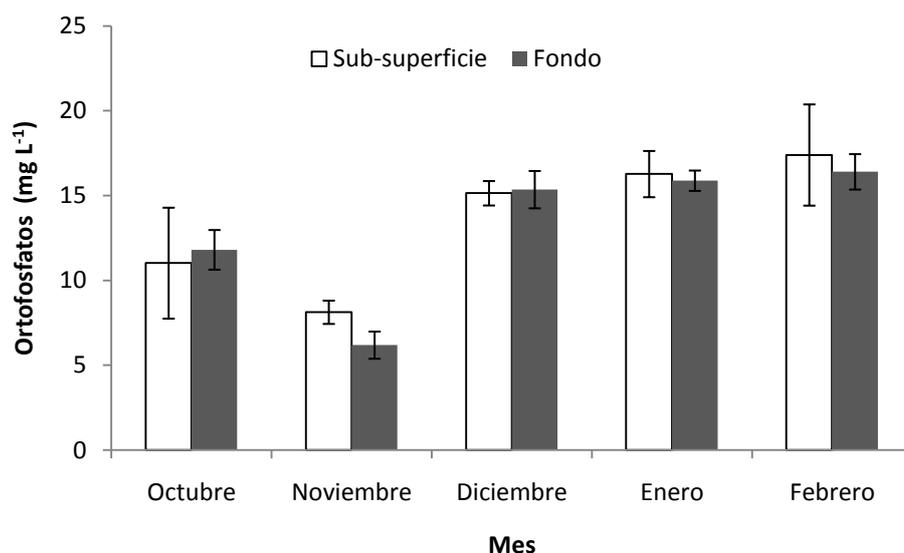


Figura 36. Concentración de ortofosfatos promedio (\pm e.s.) en muestras sub-superficiales y de fondo a lo largo del periodo de estudio.

De acuerdo con los análisis estadísticos realizados, solo se encontró diferencia significativa en el contenido de amonio entre las muestras sub-superficiales y de fondo, en el mes de enero. La concentración de nitratos y ortofosfatos no demostraron diferencias significativas en las muestras sub-superficiales y de fondo a lo largo del periodo de estudio al igual que la concentración de amonio de los meses de octubre, noviembre, diciembre y febrero (Tabla VI).

Tabla V. Valores de F y niveles de significancia para las ANOVAS de la variable muestra (sub-superficial y fondo).

	Octubre		Noviembre		Diciembre		Enero		Febrero	
	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Nitratos	1.73	n.s.	0.08	n.s.	0.0	n.s.	0.29	n.s.	0.93	n.s.
Amonio	0.99	n.s.	0.91	n.s.	5.1	n.s.	32	<0.001	0.79	n.s.
Ortofosfatos	0.05	n.s.	3.47	n.s.	0.03	n.s.	0.06	n.s.	0.10	n.s.

$p < 0.001$, n.s, no significativa

Para el total de las muestras sub-superficiales se encontró una diferencia significativa ($F = 9$, $gl = 4,14$, $P < 0.001$) en el contenido de amonio a lo largo del periodo

de estudio; para el cual se observó que la principal diferencia se encontró entre los meses de octubre y noviembre con los demás meses de muestreo ($p \leq 0.05$). También se encontró diferencia significativa para el total de muestras de fondo en el contenido de nitratos ($F= 6.5$, $gl= 4,14$ $P < 0.05$), amonio ($F= 11.4$, $gl= 4,14$ $P < 0.001$) y ortofosfatos ($F= 16.2$, $gl= 4,14$ $P < 0.001$; Tabla VII). Para los cuales se observó que la principal diferencia en la concentración de nitratos se presentó entre el mes de noviembre y febrero con los demás meses de muestreo ($p \leq 0.05$); en cuanto a la concentración de amonio se observó los meses de enero y febrero ($p \leq 0.05$). Entre los meses de noviembre y febrero con los demás meses de muestreo ($p \leq 0.05$) para la concentración de ortofosfatos (Tabla V y VII).

Tabla VI. Valores de F y niveles de significancia para las ANOVAS de la variable mes (a lo largo del periodo de estudio).

	Nitratos		Amonio		Ortofosfatos	
	F	P	F	P	F	P
Sub-superficie	2.3	n.s	9.0	≤ 0.05	2.8	n.s
Fondo	6.5	≤ 0.05	11.4	≤ 0.01	16.2	≤ 0.01

$p < 0.05$, n.s, no significativas.

C. Análisis de resultados

Con base en los resultados obtenidos, *Stuckenia pectinata* tuvo un crecimiento mínimo de 0.69 cm día^{-1} , y un máximo hasta dos veces mayor de 1.6 cm día^{-1} correspondientes a los meses de octubre y febrero respectivamente. En cuanto a la producción de los haces se obtuvo un promedio de $0.03 \text{ g PS m}^{-2} \text{ día}^{-1}$. El número de hojas producido por haz o producción foliar fue de $0.2 \text{ hojas m}^{-2} \text{ día}^{-1}$. La biomasa foliar promedio fue de 96 g PS m^{-2} , del cual la mayor biomasa perteneció al mes de febrero con 243 g PS m^{-2} y octubre con la menor, 8.5 g PS m^{-2} . La densidad promedio alcanzó los 252 haces m^{-2} , la mayor

densidad se registró en el mes de diciembre con 384 haces m^{-2} y la menor con 56 haces m^{-2} en el mes de noviembre.

Es interesante destacar la gran diferencia entre los meses con mayor y menor valor; en el crecimiento, biomasa foliar y densidad de haces; estos valores nos hablan de la importancia con la que *Stuckenia pectinata* se desarrolla; señalando que esta diferencia alcanza más del 200% en la mayoría de los casos.

Se observó una PAR superficial de $1550 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^2$, sub-superficial de $964 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^2$ y $457 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^2$ en el fondo; la mayor PAR fue registrada en el mes de noviembre con $2300 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^2$ en la superficie, $1532 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^2$ en la sub-superficie y $718 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^2$ en el fondo. La menor PAR superficial con $209 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^2$, $155 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^2$ en la sub-superficie y $31.5 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^2$ en el fondo, los tres registrados en el mes de febrero.

La temperatura promedio total alcanzó los 28.8°C , la mayor temperatura se registró en el mes de octubre con 32.7°C y la menor en febrero con 23.5°C . La velocidad de corriente promedio fue de 0.5 m s^{-1} , el mes de diciembre registró una velocidad de 1.1 m s^{-1} y octubre 0.16 m s^{-1} , respectivamente la velocidad máxima y mínima registrada.

El pH sub-superficial fue de 7.4 y el de fondo de 7.6 el valor más alto se midió en el mes de febrero en ambos casos con 7.5 y 7.7 respectivamente. La conductividad promedio fue de $627 \mu\text{S cm}^{-1}$, la mayor conductividad perteneció al mes de octubre con $686 \mu\text{S cm}^{-1}$ y febrero con la menor $548 \mu\text{S cm}^{-1}$. La concentración promedio total de TDS fue de 313 mg L^{-1} , noviembre fue el mes con mayor concentración de TDS con 331 mg L^{-1} y febrero con la menor, 273 mg L^{-1} .

En cuanto a la concentración de nitratos se obtuvo un promedio de 0.38 mg L^{-1} , la mayor en febrero con 0.44 mg L^{-1} y en noviembre la menor con 0.27 mg L^{-1} . La

concentración promedio total de amonio fue de 0.26 mg L⁻¹, la menor concentración se registró en el mes de noviembre con 0.2 mg L⁻¹ y la mayor en octubre con 0.34 mg L⁻¹. Para los ortofosfatos se obtuvo una concentración promedio total de 13.7 mg L⁻¹, donde febrero tuvo una de 17 mg L⁻¹ y noviembre con 7.15 mg L⁻¹ siendo los meses con mayor y menor concentración, respectivamente.

Tabla VII. Coeficientes de correlación de Pearson y coeficiente de determinación R² de las variables: crecimiento, producción del haz y producción foliar en número de hojas, biomasa foliar y densidad de *Stuckenia pectinata* con los variables físicas y químicas ambientales consideradas a lo largo del periodo de estudio.

	Crecimiento		Producción del haz		Producción foliar		Biomasa foliar		Densidad	
	C. P.	R ²	C. P.	R ²	C. P.	R ²	C. P.	R ²	C. P.	R ²
PAR sup	-0.83	0.69	-0.91	0.83	-0.98	0.95	-0.97	0.93	-0.60	0.36
PAR sub	-0.89	0.79	-0.86	0.74	-0.96	0.92	-0.95	0.90	-0.64	0.41
PAR fon	-0.84	0.70	-0.91	0.82	-0.97	0.94	-0.94	0.88	-0.57	0.32
T sub	-0.92	0.85	-0.82	0.67	-0.94	0.88	-0.99	0.97	-0.82	0.66
T fon	-0.92	0.85	-0.78	0.60	-0.94	0.85	-0.97	0.95	-0.85	0.72
V. C.	0.33	0.11	-0.61	0.32	-0.31	0.10	0.10	0.10	0.75	0.56
pH sub	0.74	0.54	0.96	0.92	1.00	0.99	0.86	0.74	0.38	0.14
pH fon	0.78	0.61	0.95	0.90	0.99	0.97	0.91	0.81	0.71	0.51
mS sub	-0.95	0.90	-0.77	0.59	-0.92	0.84	-0.95	0.91	-0.86	0.74
mS fon	-0.85	0.72	-0.90	0.80	-0.97	0.94	-0.99	0.98	-0.74	0.55
TDS sub	-0.89	0.79	-0.87	0.74	-0.96	0.92	-0.98	0.96	-0.79	0.62
TDS fon	-0.87	0.76	-0.88	0.77	-0.97	0.93	-0.99	0.97	-0.69	0.47
N sub	0.99	0.98	0.45	0.19	0.70	0.48	0.37	0.14	0.38	0.15
N fon	0.99	0.99	0.64	0.40	0.84	0.70	0.79	0.62	0.69	0.48
A sub	1.00	0.99	0.62	0.38	0.84	0.69	0.12	0.02	0.00	0.00
A fon	0.79	0.61	0.94	0.89	0.98	0.95	0.10	0.01	-0.25	0.06
F sub	0.99	0.97	0.42	0.18	0.68	0.46	0.82	0.67	0.94	0.89
F fon	0.96	0.92	0.30	0.09	0.58	0.33	0.69	0.47	0.89	0.78

PAR, radiación fotosintéticamente activa ($\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$); pH, potencial de hidrógeno; μS , conductividad (mS cm^{-1}); T°, temperatura (°C); TDS, sólidos disueltos totales (mg L^{-1}); N, concentración de nitratos (mg L^{-1}); F, concentración de ortofosfatos (mg L^{-1}); A, concentración de amonio (mg L^{-1}). Valores significativos en negritas. $p < 0.01$.

Los más altos y significativos coeficientes de asociación se obtuvieron al ajustar los datos al modelo de regresión lineal simple; para el crecimiento, se observó una clara tendencia al incremento con respecto al aumento en la concentración de nitratos de la sub-superficie y fondo; de la misma forma se observó para la concentración de amonio sub-superficial y ortofosfatos de fondo y sub-superficiales (Tabla VIII; Figura 37).

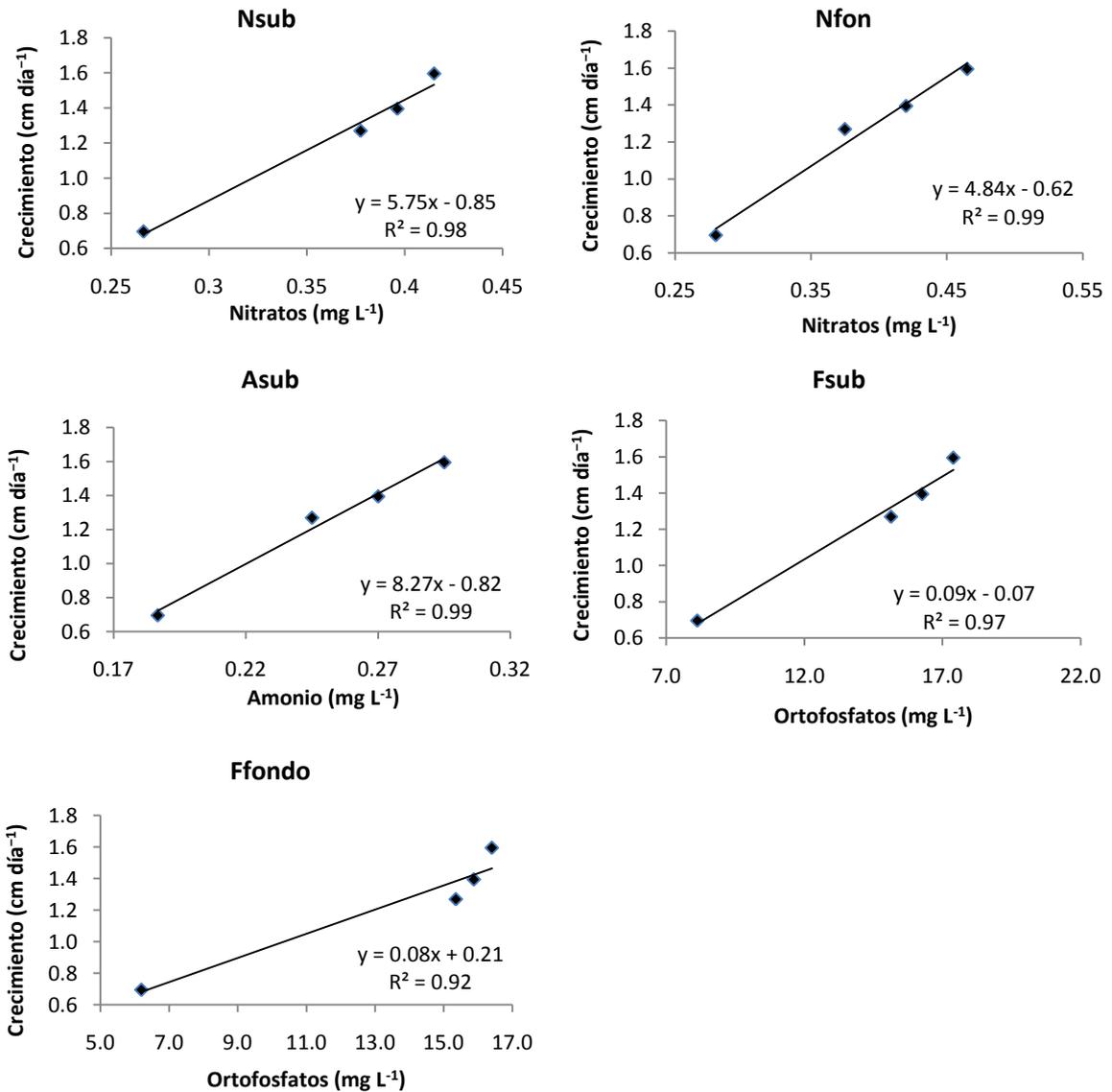


Figura 37. Resultados del coeficiente de determinación de las variables con correlación significativa ($p < 0.01$); para el crecimiento.

Para la producción del haz solo se observó una tendencia positiva con el pH superficial (Tabla VIII; Figura 38).

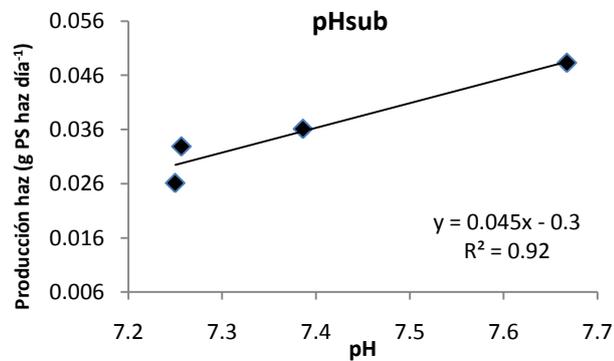
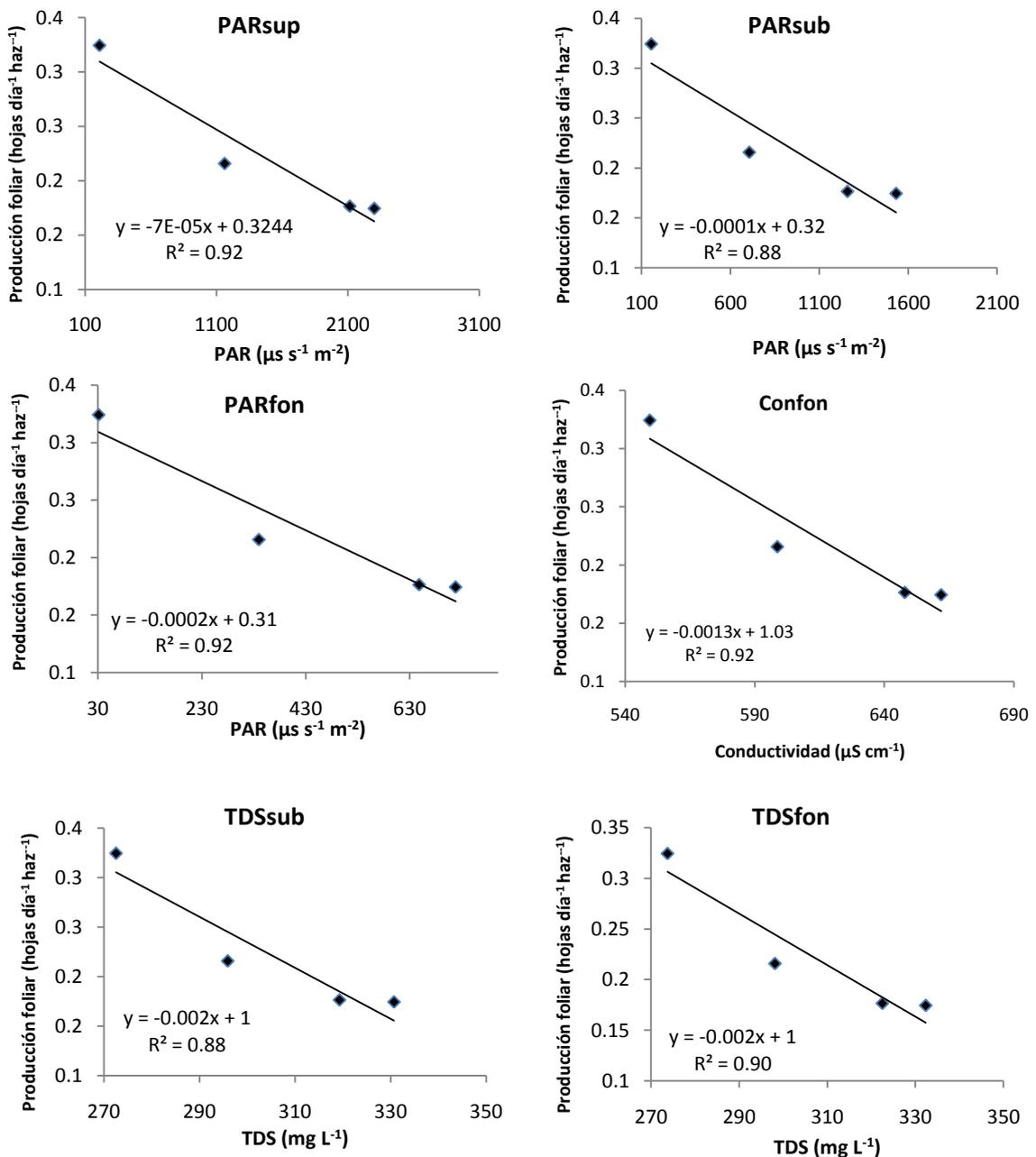


Figura 38. Resultados del coeficiente de determinación de las variables con correlación significativa ($p < 0.01$); para producción de los haces.

Para la producción foliar en cuanto al número de hojas de los haces se pudo observar que de acuerdo con los datos ajustados al modelo de regresión lineal simple, una evidente tendencia a la disminución de la producción foliar en correspondencia al aumento de la PAR, conductividad de fondo y sólidos disueltos totales sub-superficiales y de fondo; una tendencia positiva con el pH sub-superficial y de fondo y con el amonio de fondo, lo que confirma la disposición de la variable a incrementar a medida que estos factores también lo hacen (Tabla VIII; Figura 39).



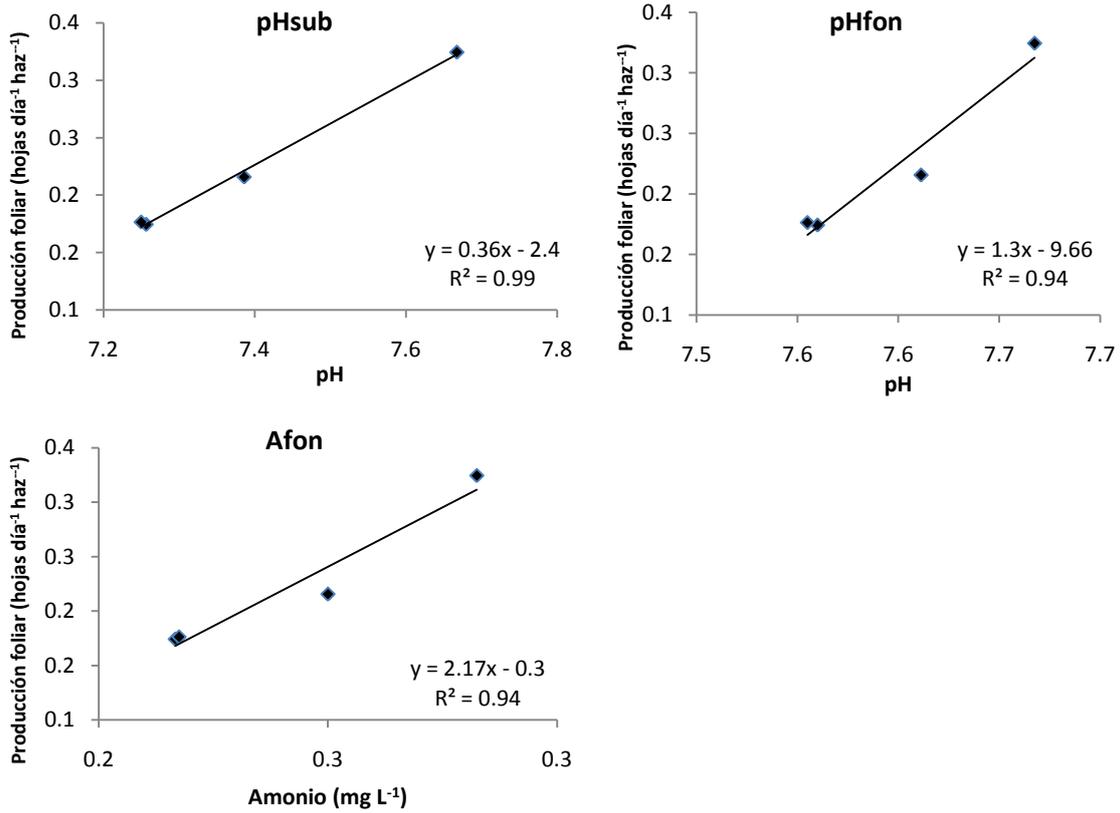
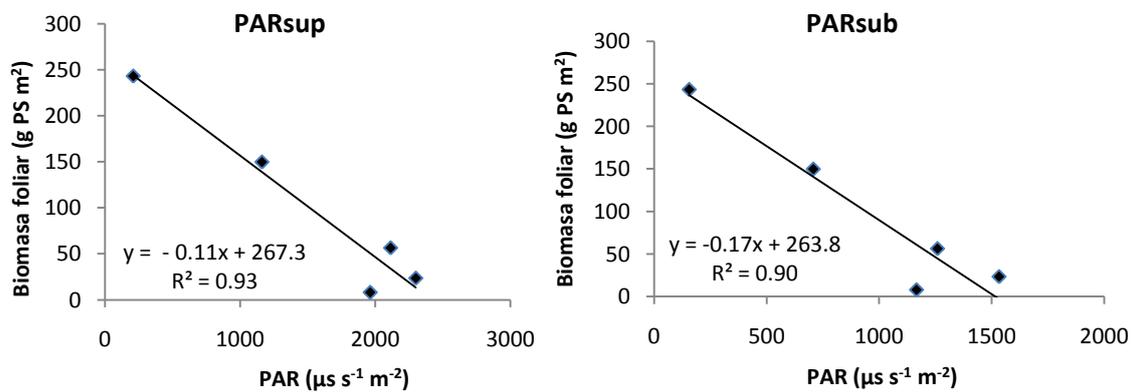
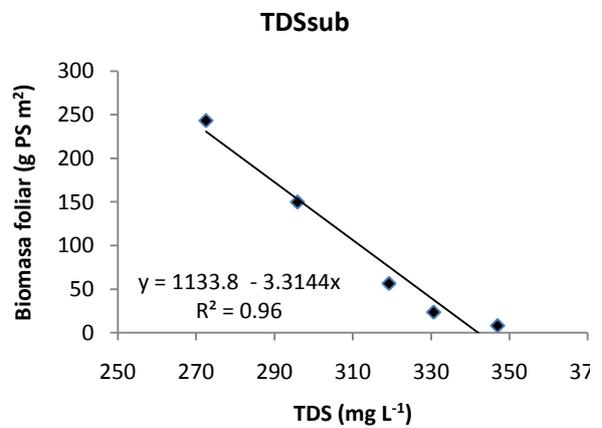
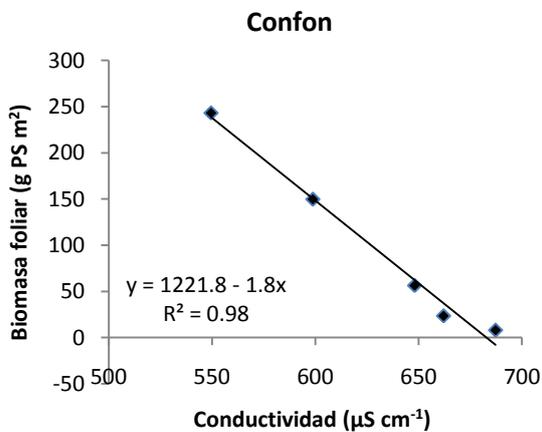
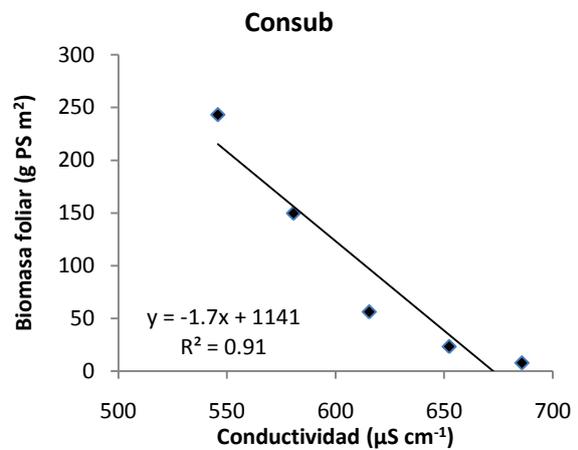
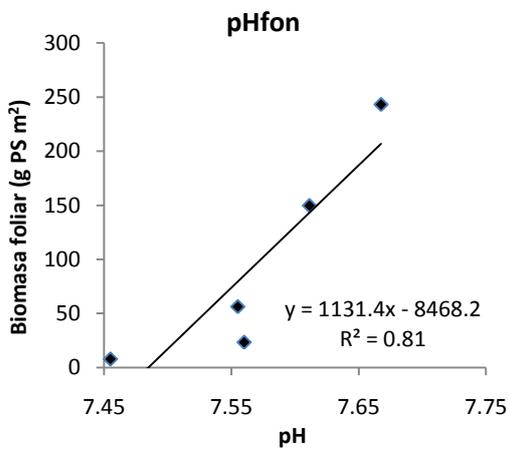
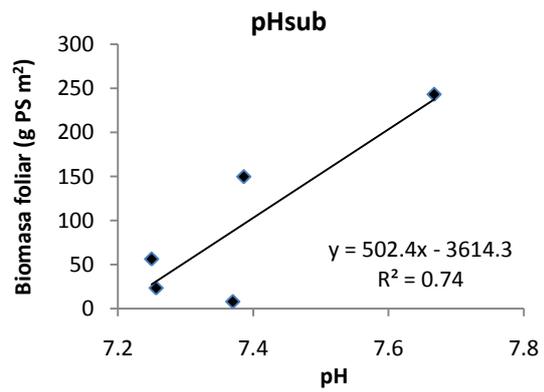
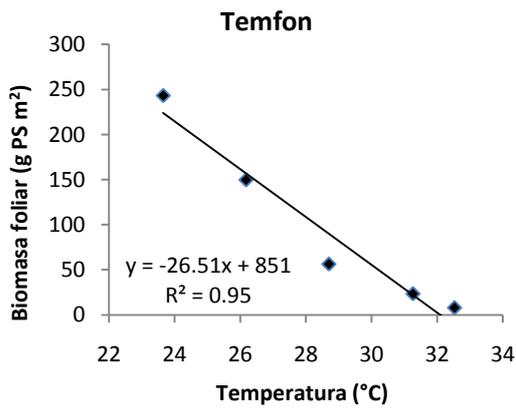
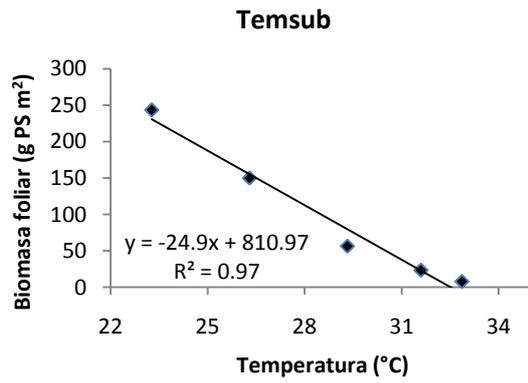
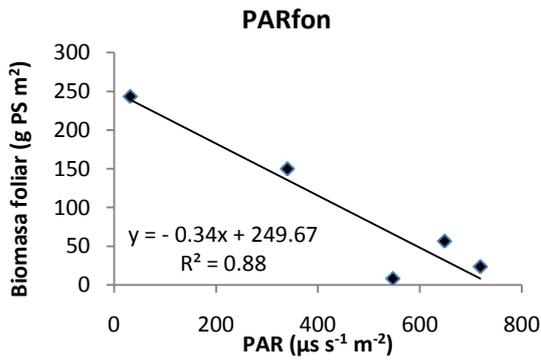


Figura 39. Resultados del coeficiente de determinación de las variables con correlación significativa ($p < 0.01$); para producción foliar.

En cuanto a la biomasa foliar se observó una notable tendencia a la disminución a medida que aumentaba la PAR, temperatura, conductividad y TDS. Por el contrario se notó una preferencia con el pH, aumentando al mismo tiempo que este lo hace (Tabla VIII; Figura 40).





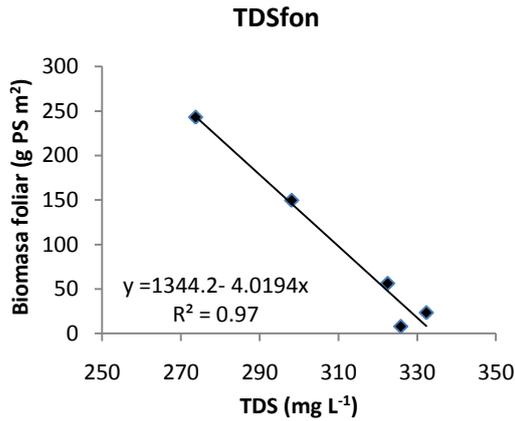


Figura 40. Resultados del coeficiente de determinación de las variables con correlación significativa; para la biomasa foliar.

La densidad de haces tuvo una clara tendencia al aumento con la concentración de ortofosfatos pero no se observó asociación significativa con los demás factores (Tabla VIII; Figura 41).

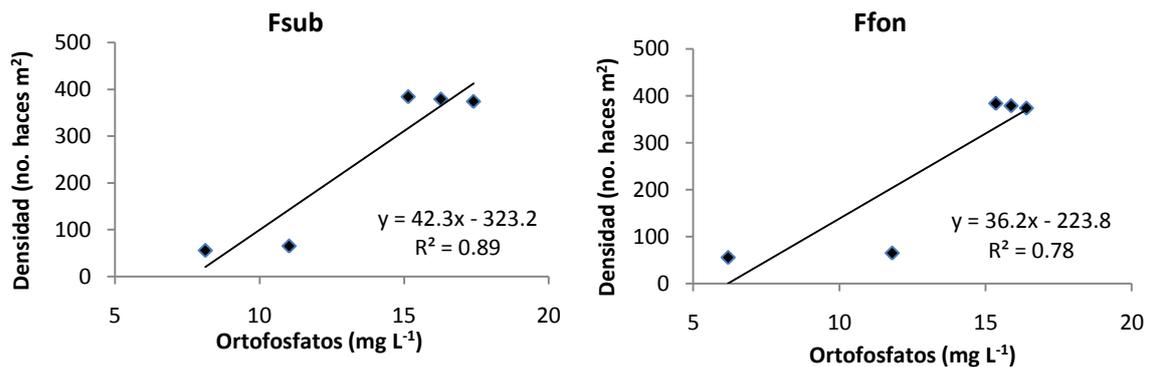


Figura 41. Resultados del coeficiente de determinación de las variables con correlación significativa; para la densidad.

VIII. DISCUSIÓN

Stuckenia pectinata tuvo un rango de cobertura del 100% en el área de estudio, que comprende la clase seis de acuerdo con Ramos *et al.* (2004) donde esta especie, en general, domina el área de estudio.

Las plantas presentes en las parcelas de muestreo bajo tratamiento de sombra mostraron una disminución total en el crecimiento y producción de biomasa, a tal grado que llegaron a desaparecer de la parcela y, a pesar de que fueron retirados los paneles de sombra, no se observaron nuevos brotes en los siguientes meses de estudio, incluso a

partir de semillas o tubérculos; lo que probablemente se debe a que el éxito de la planta está concentrado principalmente en la reproducción vegetativa.

En general, el aumento en la atenuación de la luz se traducirá en menores tasas de crecimiento y, como consecuencia, en una biomasa inferior, siempre y cuando la cantidad de radiación fotosintéticamente activa (PAR) sea inferior al punto de compensación de luz (LCP; $\sim 40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Chatterton y Silvious (1979) definieron un período fotosintético como el periodo durante el cual los niveles de radiación eran lo suficientemente altos para sostener la fotosíntesis neta. *Stuckenia pectinata* tiene un LCP de $\sim 40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y un nivel de saturación de luz de $\sim 400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Van Dijk y Van Vierseen, 1991). Con los niveles experimentales de luz, el período de fotosíntesis se vio afectado considerablemente por la sombra. Por lo que al disminuir en su totalidad la PAR, las plantas presentes de *Stuckenia pectinata* fueron eliminadas, ya que la sombra no permitió la penetración de luz, lo que provocó que la fotosíntesis no excediera el punto de compensación con lo que las tasas metabólicas y el crecimiento, fueron afectados negativamente.

Por el contrario las parcelas sin tratamiento tuvieron un crecimiento promedio de 1.2 cm día^{-1} equivalente a una producción de $0.03 \text{ g PS m}^{-2} \text{ día}^{-1}$, y una producción foliar de $0.2 \text{ hojas día}^{-1} \text{ haz}^{-1}$. También una biomasa foliar promedio de 96 g PS m^{-2} ; y una densidad de 252 haces m^{-2} (aproximadamente $350 \text{ ton ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$).

El crecimiento promedio fue acelerado por lo que se puede decir que *Stuckenia pectinata* en la zona de estudio tiende a tener un comportamiento malezoide. Debido a que la velocidad de crecimiento le favorece en la competencia por el espacio y la hidrófita tiende a dominar el área.

Asimismo las malezas sumergidas son sólo a menudo de importancia local; sin embargo, sus efectos son con frecuencia drásticos si su crecimiento vigoroso no es controlado. A veces, las malezas son especies extrañas que parecen reproducirse y extenderse con más fuerza que en su área de distribución natural (Sculthorpe, 1985). De acuerdo con Sculthorpe (1985), se puede hablar de plantas que invaden áreas en las cuales no se tenían registradas, basados principalmente en los daños que generan hacia el hombre. Sin embargo, es interesante subrayar que una maleza no necesariamente posee todas (o algunas) estas características, e inversamente, una planta que posee algunas (o todas) de estas características no necesariamente es una maleza; aunado a esto una maleza puede requerir ciertas características para invadir, pero una comunidad debe ser capaz de ser invadida para que la maleza sea exitosa. Una maleza no siempre lo es y depende estrictamente en donde y bajo qué circunstancias este creciendo (Booth *et al.*, 2003). Por lo anterior es importante resaltar que dentro de este trabajo *Stuckenia pectinata* es considerada de crecimiento con comportamiento -malezoide- debido a que la especie tiene algunas de las características propias de una maleza. También es elemental destacar que hablar de una planta que se comporta como maleza no significa que se tenga que eliminar del ecosistema ya que juega un papel importante como componente de la comunidad. Cuando tiende a dominar el área puede llegar a modificar las interacciones naturales en el ecosistema y por lo tanto crear un problema local. Incluso a pesar de ser en un ecosistema artificial, como en el presente estudio que, siendo este un canal fabricado, ha pasado a formar parte del área de distribución de muchas especies acuáticas del Río Balsas, debido a la cercanía y a la conexión que hay entre ambos. Por lo que el estudio de los factores que detonan este comportamiento es indispensable para poder localizar las causas y posteriormente encontrar un método para tratar de reconstruir la composición original del ecosistema, sin eliminar por completo

la vegetación ya que cualquier alteración o eliminación de las plantas acuáticas puede causar ambientes desfavorables ocasionados por la alteración de la comunidad.

La producción de los haces observada en los cuadros control se puede relacionar con la obtenida por Westlake (1963) quién expone que la productividad primaria neta de las macrófitas sumergidas tiene un intervalo de 5 a 10 t ha⁻¹ año⁻¹. Los valores más bajos son más comunes en aguas oligotróficas y moderadamente fértiles y los valores más altos en los lagos fértiles (Westlake, 1963). Denny (1985) contabilizó la productividad primaria y demostró que dentro de un género se pueden tener diferentes estimaciones anuales de producción; *S. pectinata* 25 t ha⁻¹ año⁻¹, *Potamogeton crispus* 0.5 t ha⁻¹ año⁻¹ y *P. schweinfurthii* 2-40 t ha⁻¹ año⁻¹. Westlake (1963) reportó una productividad de 17 t ha⁻¹ año⁻¹ para macrófitas sumergidas. En este estudio se encontró una productividad de 27.6 t ha⁻¹ año⁻¹ el cuál excede las reportadas por Westlake (1963) y Denny (1985) para macrófitas sumergidas y *S. pectinata*, respectivamente. También es importante destacar que este estudio solo se realizó durante una tercera parte del año y durante la época en la que el crecimiento de la especie es menos favorable (final de año) debido a que las fuertes lluvias aumentan el caudal y la velocidad de corriente desprendiendo el material establecido de *Stuckenia pectinata*, por lo que es pertinente indagar acerca de los meses en los cuales se presenta el auge de la planta en esta zona.

La producción foliar está relacionada intrínsecamente con la propagación vegetativa que, debido a la abundancia del ion bicarbonato, y al amortiguamiento que el agua proporciona a las macrófitas contra la luz intensa y las fluctuaciones de la temperatura, conduce a una fotosíntesis activa y al desarrollo constante de las hojas, una vez que la estación de crecimiento se ha iniciado (Sculthorpe, 1985). La producción foliar encontrada fue de 0.2 hojas día⁻¹ haz⁻¹ y para este estudio es equivalente a 73 hojas

año⁻¹, si comparamos este dato con los reportados para otras plantas acuáticas como *Thalassia hemprichii* y *Cymodocea terrulata*, que apenas rebasan las 30 hojas haz⁻¹ año⁻¹ (Duarte, 1994), podríamos señalar que *Stuckenia pectinata* mostró un alto valor de producción primaria.

La biomasa foliar promedio fue de 96 gPS m⁻². Van Wijk (1988), obtuvo una biomasa máxima de 326.8 g PS m⁻² en el mes de septiembre para un cuerpo de agua caudaloso con una velocidad promedio de 0.5 m s⁻¹, en Holanda (Países Bajos). También encontró una producción de biomasa máxima de 77.8 g PS m² para un cuerpo de agua con una velocidad de corriente promedio de 0.3 m s⁻¹. De acuerdo con estos resultados se puede decir que la biomasa foliar promedio obtenida en el Canal de Llamada es baja en comparación con los datos obtenidos por Van Dijk. Sin embargo si se toma en cuenta la biomasa foliar máxima obtenida para el Canal de Llamada 243 g PS m⁻² en el mes de febrero, esta aumentó considerablemente 30 veces en solo cinco meses. Además también es importante destacar que el marcaje y muestreo se realizó durante el otoño e invierno, estación en la cual esta especie, normalmente anual, tiende a debilitarse y por lo cual no alcanzó las dimensiones esperadas; lo que se debe probablemente a que las condiciones en aguas caudalosas en otoño provocan una decadencia total y el desprendimiento de los haces de la planta; excepto los propágulos (Van Wijk, 1988).

La forma de crecimiento de *Stuckenia pectinata* se lleva a cabo por medio de producción de haces foliares así como por la ramificación de los mismos y del rizoma; el crecimiento clonal es común entre plantas acuáticas superiores puesto que mantiene grandes poblaciones (Wetzel, 2001).

La arquitectura de las plantas es determinada por la densidad de brotes y puede variar considerablemente; en algunas poblaciones se forman tallos largos y la ramificación es más fuerte al final de los brotes (den Hartog, 1982), debido principalmente a las condiciones ambientales bajo las que se encuentra la hidrófita, principalmente la luz y el caudal. En este caso se observó una densidad de 252 haces m^{-2} . Por lo que se puede decir que el número de haces obtenido, es de gran importancia para el establecimiento y crecimiento de la especie.

Es importante destacar que al extrapolar los datos al área del Canal (3 ha aproximadamente) se puede calcular una biomasa de 2.85 ton PS y un crecimiento de aproximadamente $4 m haz^{-1} año^{-1}$. Es interesante reconocer que este crecimiento a pesar de que no alcanza las dimensiones observadas, en cuanto a la biomasa foliar, por otros autores es un problema local que se tiene que limitar debido a que ocasiona grandes pérdidas económicas.

La composición física y química del medio en el que se desarrolla la vegetación es de gran importancia ya que dependiendo de los recursos de los cuales disponga la vegetación, así como de los factores ambientales bajo los cuales se establezca tiende a tener una dinámica de crecimiento probablemente propia del medio en el que se desarrolle.

La longitud de brotes y ramas parecen ser características intrínsecas de ciertas poblaciones, pero también puede estar influenciada por las condiciones ambientales, tales como la luz (van Wijk et al. 1988) y velocidad de la corriente (van Wijk, 1986). Las plantas vasculares a través de la fotosíntesis y respiración, su forma y tasa de crecimiento, pueden modificar localmente algunos factores ambientales tales como la

concentración de oxígeno disuelto, dióxido de carbono y amonio, suministro de nutrientes minerales, valor de pH, penetración de la luz, velocidad de corriente y tasas de sedimentación (Sculthorpe, 1985).

La PAR superficial promedio fue de $1549.7 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$, $963.6 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ la sub-superficial y $457 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ la de fondo. La radiación solar es uno de los factores físicos más importantes por que interviene directamente en la productividad de los ecosistemas acuáticos ya que es utilizada por los organismos fotosintéticos para reducir CO_2 . Para los meses de enero y febrero se observó una disminución importante de la PAR, así como también se observó una diferencia entre la PAR superficial y la de fondo, esto se debe a que de la energía de la luz total que entra en el agua, una parte se dispersa y el resto es absorbido por el agua misma, compuestos disueltos, y partículas suspendidas (Wetzel, 2001) por lo tanto va disminuyendo con la profundidad. Las hidrófitas sumergidas muestran un patrón de respuesta a la luz que está, en gran parte comparado con las plantas terrestres (Spence, 1975; Jeffrey, 1981); ya que tienden a mostrar características propias de plantas de “sombra” obligadas, es decir cuando los puntos de compensación de luz (LCP) bajan, también lo hacen las tasas fotosintéticas, aunque habitan en aguas poco profundas para recibir la luz solar (Bowes y Salvucci 1989). En este caso se observó una correlación negativa entre la PAR, producción foliar ($\text{hojas m}^{-2}\text{día}^{-1}$) y la biomasa foliar. Lo cual significa que a mayor PAR menor número de hojas; la productividad de las macrófitas varía con los cambios estacionales en la temperatura y radiación dentro de ambientes naturales, la eficiencia fotosintética, la fijación de carbono y foto-respiración varía notablemente con la luz y la temperatura. Todas las especies sumergidas de las plantas acuáticas superiores son, fisiológicamente, plantas de sombra donde la fotosíntesis es saturada por una fracción de la irradiación, a pleno sol. La saturación de la fotosíntesis en las plantas va del 10 al 50% a pleno sol

($200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). La exposición de algunas hidrófitas sumergidas a altas intensidades de luz ($<1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) no presenta alteraciones significativas en las tasas fotosintéticas; otras especies están claramente adaptadas al crecimiento en niveles bajos de luz de $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Spence y Chrystal, 1970). La correlación negativa de la PAR con el número de hojas y la biomasa foliar se debe probablemente a que *Stuckenia pectinata* a una baja radiación, tiende a tener las mejores tasas fotosintéticas y por lo tanto mejor productividad, pues se comporta como una planta de sombra; sin embargo a una mayor radiación (como la obtenida de $1550 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en la superficie) tiende a la saturación fotosintética, debido probablemente a que las intensidades de luz relativamente altas en la superficie puede tener algún efecto de fotoaclimatación en los órganos fotosintéticos y reducir así su eficacia (Sculthorpe, 1985).

Los cuerpos de agua están sometidos a variaciones de temperatura, estas variaciones se producen estacionalmente y en algunos cuerpos de agua someros en periodos de 24 horas. Las fluctuaciones de temperatura en hábitats acuáticos son generalmente mucho menos violentas que en el aire por lo que tienen una pequeña influencia en la distribución de muchas hidrófitas. Aun así, la temperatura es importante para el metabolismo de cualquier especie ya que influye en la tasa fotosintética y respiratoria, así mismo tienen una relación inversa en la concentración de oxígeno (Sculthorpe, 1985). En este estudio se halló una temperatura promedio sub-superficial de 29°C y 28°C en el fondo, esta temperatura mostró una correlación negativa con la biomasa. Según Wetzel (2001) la temperatura óptima entre macrófitas sumergidas adaptadas al verano esta en el rango de $25\text{-}37^\circ\text{C}$. La fotosíntesis y respiración disminuye en relación al aumento de temperatura particularmente por encima de los 20°C , aunque existen variaciones. También la radiación puede contribuir con la

correlación negativa entre la producción foliar y la temperatura, ya que influye directamente en las variaciones de temperatura.

La producción primaria en aguas corrientes es generalmente alta comparada con ecosistemas lénticos porque existe un mayor intercambio de sustancias disueltas como el fósforo, nitrógeno, oxígeno y carbono (Carr, 1997). A grandes velocidades (10 - 100 cm s^{-1}), el crecimiento y fotosíntesis de las plantas sumergidas es usualmente inhibida por la corriente. Estudios de campo han demostrado una correlación negativa entre la biomasa, porcentaje de la cobertura, número de especies emergentes presentes y la velocidad (Carr, 1997). La velocidad de corriente promedio encontrada fue de 0.5 m s^{-1} . A velocidades más altas, el crecimiento y la fotosíntesis de las macrófitas sumergidas suele ser inhibido. Esto fue demostrado en un estudio de laboratorio por Madsen *et al.* (1993) donde la fotosíntesis neta de ocho especies de macrófitas disminuyó y la respiración aumentó con la velocidad en un intervalo de 0.1 a 0.8 m s^{-1} .

El pH de la mayoría de las aguas naturales se encuentra entre 6 y 8.5, aunque los valores más ácidos se producen en aguas diluidas con alto contenido orgánico, y los alcalinos en aguas eutrofizadas y lagos de agua salada. Algunas variaciones en el pH pueden ser causadas por la fotosíntesis y ciclos de respiración algal en aguas eutrofizadas. El pH es principalmente controlado por el balance entre el dióxido de carbono, carbonato e iones de bicarbonato. El pH indica la intensidad del carácter ácido o básico de una solución y es controlado por los componentes químicos disueltos y sus procesos bioquímicos (Chapman, 1992). En este estudio se encontró un pH promedio de 7.4. El pH encontrado se encuentra en un rango medio para aguas naturales según Chapman (1992). Se observó una correlación positiva del pH con la biomasa y la

producción foliar debido probablemente a que a valores alcalinos, se eleva el contenido de los bicarbonatos en los cuerpos de agua.

La conductividad en la mayoría de las aguas dulces va de los 10 a los 100 $\mu\text{S cm}^{-1}$ pero pueden exceder los 1000 $\mu\text{S cm}^{-1}$, especialmente en aguas contaminadas, o reservorios (Chapman, 1992). Para la conductividad se encontró un valor de 621 $\mu\text{S cm}^{-1}$ para la sub-superficie y 633 $\mu\text{S cm}^{-1}$ para el fondo. La conductividad promedio observada a lo largo del estudio indica que excede el rango para aguas dulce propuesto por Chapman (1992). Se pudo observar una correlación negativa de la conductividad con el número de hojas y la biomasa foliar. Lo cual se debe probablemente al contenido de sales minerales ya que la conductividad es una medida de la habilidad del agua de conducir una corriente eléctrica. Esta es sensible a las variaciones en los sólidos disueltos, sobretodo sales minerales (Chapman, 1992); las cuales al aumentar pueden afectar la producción foliar y biomasa.

Relacionada con la conductividad se encuentran los TDS. En este caso se encontró una concentración de TDS de 315 y 311 mg l^{-1} . Los sólidos suspendidos totales (TSS) y sólidos disueltos totales (TDS) corresponden a los no filtrados y residuos filtrados, respectivamente (Chapman, 1992). En este caso solo se tomaron los TDS los cuales se encuentran en un rango inferior a los 1000 mg l^{-1} . Sin embargo se encontró una correlación negativa entre los TDS y el número de hojas y la biomasa foliar, que al igual que la conductividad probablemente se debe a la cantidad y el tipo de minerales disueltos.

El nitrógeno es esencial para la vida de los organismos, y también es un importante constituyente de las proteínas, incluyendo el material genético. Plantas y microorganismos convierten el nitrógeno inorgánico en formas orgánicas. En el

ambiente, el nitrógeno inorgánico se encuentra en un rango de estados de oxidación como nitratos (NO_3^-) y nitritos (NO_2^-), iones de amonio (NH_4^+) y nitrógeno molecular (N_2). Los niveles naturales rara vez exceden los $0.1 \text{ mg l}^{-1} \text{ NO}_3\text{-N}$, pero estas concentraciones pueden elevarse por las aguas residuales municipales e industriales, incluyendo los lixiviados de vertederos y rellenos sanitarios (Chapman, 1992). Las tasas de asimilación de nitratos por el follaje de varias macrófitas sumergidas son considerablemente menores que las tasas de asimilación de amonio, especialmente a altos valores de pH (Wetzel, 2001).

Se observó una considerable diferencia entre el mes de febrero con los demás meses para la PAR y la temperatura, lo cual se debe a que la primera influye directamente en la segunda y a que en este mes se observó la entrada de un frente frío el cual contribuyó a la presencia de nubosidades y por consiguiente a una menor temperatura y luz. También se observó una diferencia de este mismo mes en la conductividad y la concentración de TDS, variables que de igual forma están íntimamente ligadas debido a que varían con el contenido iónico del agua, y que su vez pueden estar influenciadas con la temperatura.

Se observó una concentración promedio de nitratos de 0.4 mg L^{-1} . Cuando es afectada por actividades humanas, la superficie del agua normalmente contiene concentraciones de nitrato por encima de $5 \text{ mg L}^{-1} \text{ NO}_3\text{-N}$, pero a menudo se detectan menos de $1 \text{ mg L}^{-1} \text{ NO}_3\text{-N}$. Niveles superiores a 5 mg L^{-1} usualmente indican contaminación por residuos humanos o animales (Chapman, 1992); de acuerdo con esto la concentración obtenida en el Canal de Llamada no excede el rango propuesto por Chapman (1992). Sin embargo se pudo observar una correlación positiva con el crecimiento de *Stuckenia pectinata*, debido probablemente a que las altas

concentraciones de nitrógeno son requeridos por muchas plantas sumergidas para el mantenimiento de la asimilación de carbono (Wetzel, 2001).

El amonio es uno de los estados de oxidación del nitrógeno. El amonio se produce naturalmente en cuerpos de agua, derivado de la descomposición de nitrógeno orgánico y materia inorgánica en suelo y agua, la excreción por la biota, la reducción del gas de nitrógeno en agua por microorganismos y desde el intercambio de gases con la atmósfera. Los iones de amonio son fácilmente absorbidos por las raíces y trasladadas a los tejidos apicales (Wetzel, 2001). También se descargan en cuerpos de agua por parte de algunos procesos industriales y también como componente de los residuos municipales o de la comunidad. Concentraciones totales de amonio medidas en las aguas superficiales son generalmente inferiores a 0.2 mg L^{-1} (Chapman, 1992).

La concentración promedio de amonio fue de 0.28 mg L^{-1} y 0.26 mg L^{-1} respectivamente para la sub-superficie y el fondo. Las concentraciones obtenidas rebasan el promedio general según Chapman (1992); puede indicar contaminación orgánica debida a los procesos de biodegradación de las aguas residuales así como desechos de la agricultura.

Se encontró una correlación positiva del contenido de amonio con el crecimiento y producción foliar debido probablemente a que antes de ser asimilado por las plantas, el amonio es una fuente de energía eficiente de nitrógeno. La mayor parte del nitrógeno es asimilado como NH_4 y puede permanecer durante largos períodos en los tejidos vivos y partículas de detritus después de la senescencia (Wetzel, 2001).

El fósforo es un nutriente esencial para la vida de los organismos y existe en los cuerpos de agua disuelto y en partículas. En aguas naturales y aguas residuales, el fósforo se encuentra sobre todo disuelto como ortofosfatos, polifosfatos y ligado. Cambios entre estas formas se producen continuamente debido a la mineralización de

las formas orgánicas. Las fuentes naturales de fósforo son, principalmente la erosión de las rocas que contienen fósforo y la descomposición de materia orgánica (Chapman, 1992), y en cierto sitios muy particulares de forma directa del guano.

Entre la mayoría de las macrófitas acuáticas sumergidas, las tasas de absorción de fosfato por follajes son proporcionales y dependientes de las concentraciones en el agua; grandes cantidades (mg L^{-1}) son rápidamente asimilados por encima de las necesidades hasta que las concentraciones en el agua se reduce a cerca de $10 \mu\text{g l}^{-1}$ (Wetzel, 2001).

El fósforo asociado a componentes orgánicos y minerales de los sedimentos en las masas de agua también puede ser movilizado por las bacterias y liberado a la columna de agua. El fósforo rara vez se encuentra en altas concentraciones en las aguas dulces, ya que está activamente ocupado por la planta. Como consecuencia de ello puede haber considerables fluctuaciones estacionales de las concentraciones en las aguas superficiales. La concentración total de fósforo de muchas aguas no contaminadas está entre 10 a $50 \mu\text{g P l}^{-1}$. La forma inorgánica más significativa del fósforo son los ortofosfatos. Una proporción mayor al 90% del fósforo en agua dulce se produce como fosfatos orgánicos, son constituyentes celulares en la biota o se encuentran absorbidos en materia particulada inorgánica y muerta (Wetzel, 2001). En el sitio de estudio se encontró una concentración de ortofosfatos promedio de 13.9 mg l^{-1} en la sub-superficie y 13.5 mg l^{-1} en el fondo, esta concentración excede las contracciones de fosforo total normales de aguas superficiales con un máximo de 5 mg l^{-1} (Chapman, 1992), este excedente en la concentración normal de ortofosfatos probablemente se debe a la influencia de actividades humanas, como la descarga de aguas residuales o actividades agrícolas. Aunado a la alta concentración de ortofosfatos se pudo encontrar una correlación positiva con el crecimiento y densidad de *Stuckenia pectinata* la cual se

debe a que los ortofosfatos son la única forma directamente utilizable de fósforo inorgánico soluble por las hidrófitas (Wetzel, 2001), y es generalmente un nutriente limitante que por lo tanto controla la productividad primaria del cuerpo de agua (Chapman, 1992), por lo cual las altas concentraciones favorecen el crecimiento y la densidad de haces de la hidrófita.

Las concentraciones detectadas de ortofosfatos nos dan un indicio de la calidad del agua, la cual caracteriza al cuerpo de agua estudiado como eutrófico. La palabra eutrófico en general significa un enriquecimiento de nutrientes como es el fosforo y el nitrógeno; principalmente por parte de descargas de drenajes (Wetzel, 2001).

Stuckenia pectinata es una planta que tiene un crecimiento excesivo, que causa un problema local y permite considerar a la hidrófita como maleza. Los factores físicos y químicos del agua, así como la radiación a la cual está expuesta son, los ideales para su crecimiento. Sin embargo, se logró demostrar que al someter a la planta a un estrés tal como es la eliminación de la radiación, esta presentó una disminución total en su crecimiento. El método de sombreado utilizado resultó ser de gran utilidad, asimismo es importante indagar acerca de cuáles pudieran ser los costos y beneficios del tratamiento a gran escala.

IX. CONCLUSIONES

Stuckenia pectinata es una hidrófita con un desarrollo masivo, ya que la biomasa observada y el crecimiento observado fueron considerables y tiende a dominar la cobertura en este sitio.

La PAR y temperatura tienen una correlación negativa con el número de hojas y biomasa foliar, ambas variables están íntimamente relacionadas y son factores determinantes en el desarrollo de la planta. Se considera que el aumento de ambos factores puede limitar el desarrollo de *Stuckenia pectinata* ya que es una planta que se comporta como de planta de sombra (por la columna de agua) y no es tolerante a una exposición prolongada de gran radiación y a una mayor temperatura.

El pH tuvo una correlación positiva con la producción de los haces, la producción foliar y la biomasa foliar, debido a que el incremento en el contenido de bicarbonato influye en la fotosíntesis realizada por la planta.

La concentración y el tipo de sales minerales influyen en la conductividad y la concentración de TDS por lo que tienen una correlación negativa con la producción foliar y la biomasa foliar de *Stuckenia pectinata* por lo tanto en el desarrollo de la planta.

Las concentraciones de nitratos y ortofosfatos favorecieron el desarrollo masivo de la planta, ya que son nutrientes que se encuentran en altas concentraciones en el sitio de estudio y ante esta situación esta hidrófita muestra una respuesta “oportunista” e incrementa su biomasa.

Los factores físicos juegan un papel fundamental en el desarrollo y crecimiento de *Stuckenia pectinata* ya que para la mayoría de estos se observaron correlaciones negativas, y el aumento de estos contribuye la debilitación de la planta. Sin embargo el aumento de nitratos y ortofosfatos tienden a favorecer este crecimiento, lo cual indica

que esta planta se ve afectada principalmente por los factores químicos, particularmente nitrógeno y fósforo.

El sombreado fue un método eficiente que logró disminuir el crecimiento y la producción de biomasa de *Stuckenia pectinata* pues se demostró que a pesar de que el medio está eutrofizado bajo cualquier factor que favorezca su crecimiento, la disminución total de la radiación influyó directamente en su desarrollo y supervivencia de la hidrófita. Por lo que, bajo un manejo adecuado, se puede utilizar este método para el control sustentable de la hidrófita, ya que no daña directamente el ambiente y puede ser implementado como tratamiento en la Central Termoeléctrica para así controlar su crecimiento y por lo tanto disminuir las pérdidas económicas.

LITERATURA CITADA

- Anderson, L.W.J., 1981. Effect of light on the phytotoxicity of Fluridone in American pondweed (*P. nodosus*) and sago pondweed (*P. pectinatus*). *Weed Science*. 29, 723-728.
- American Public Health Association, Inc. (APHA), 1989. *Standard Methods for Examination of Water and Waste Water*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Nueva York. 1193 pp.
- Barko, J.W., Adams, M.S., Clesceri, N.L., 1986. Environmental factors and consideration in the management of submersed aquatic vegetation: A review. *Journal of Aquatic Plant Management*. 24, 1-10.
- Booth, B.D., Murphy, S.D., Swanton, C.J., 2003. Weed ecology in natural and agricultural systems. CABI Publishing. Wallington Oxon, Reino Unido. pp. 1-13.
- Bowes, G., Salvucci, M.E., 1989. Plasticity in the photosynthetic carbon metabolism of submersed aquatic macrophytes. *Aquatic Botany*. 34, 233-266.

- Börner, C.J.B., 1912. Botanisch-systematische Notizen. *Bremen* pre-impreso por *Abh. Naturwiss. Vereine Bremen* 21:245–282, 1913. En: Kaplan, Z. 2008. A taxonomic revision of *Stuckenia* (Potamogetonaceae) in Asia, with notes on the diversity and variation on genus on a worldwide scale. *Folia Geobotanica*. 43, 159-234.
- Brooker, M.P., Edwards, R.W., 1973. Effects of the herbicide paraquat on the ecology of a reservoir. I. Botanical and chemical aspects. *Freshwater Biology*. 3, 157-175.
- Broken, J.E., Zar, J.H., 1977. Field and laboratory methods for general ecology. WMC Brown Company Publishers. Dubuque, Iowa. 193 pp.
- Brown, C.L., Poe, T.P., French, III J.R.P., Schloesser, D.W., 1988. Relationship of phytomacrobenthos to surface area in naturally occurring macrophyte stands. *Journal of the North American Benthological Society*. 7, 129-139.
- Carpenter, S.R., Lodge, D.M., 1986. Effects of submersed macrophytes on ecosystem processes. *Aquatic Botany*. 26, 341-370.
- Carr, G.M., Duthie, H.C., Taylor, W.D., 1997. Models of aquatic plant productivity: a review of the factors that influence growth. *Aquatic botany*. 59, 195-215.
- Corbus, F.G., 1982. Aquatic weed control with endothall in a salt River project canal. *Journal Aquatic Plant Management*. 20, 1-3.
- Chapman, D. 1992. Water quality assessments a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. University Cambridge. Gran Bretaña. 585 pp.
- Chatterton, N.J., Silviu, J.E., 1979. Photosynthate partitioning into starch in soybean leaves. I. Effects of photoperiod versus photosynthetic period duration. *Plant Physiology*. 64, 749-753.
- Cooke, G.D., Welch, E.B., Peterson, S.A., Newroth, P.R., 1986. Lake and Reservoir Restoration. Butterworths, Boston. 392 pp.
- Cronquist, A., 1988. The evolution and classification of flowering plants. Bronx, Nueva York. 555 pp.
- Den Hartog, C., 1982. Architecture of macrophyte-dominated aquatic communities. En: J.J. Symoens, Hooper, S.S., Compère, P., (Editores), *Studies on Aquatic Vascular Plants*. Royal Botanical Society of Belgium, Bruselas; pp. 222-234.
- Denny, P., 1985. The ecology and management of African wetland vegetation. W. Junk, The Hague. 344 pp.

- Duarte, C.M., Marbá, N., Agawin, N., Cebrián, J., Enríquez, S., Fortes, M.D., Gallegos, M.E., Merino, M., Olesen, B., Sand-Jesen, K., Uri, J., Vermaat, J., 1994. Reconstruction on seagrass dynamics: age determinations and associated tools for the seagrass ecology. *Marine Ecology Progress Series*. 107,195-209.
- Engel, S., 1984. Evaluating stationary blankets and removable screens for macrophyte control in lakes. *Journal Aquatic Plant Management*. 22, 43-48.
- Engel, S., 1990. Ecosystem responses to growth and control of submerged macrophytes: A literature review. Technical Bulletin., 1970, Wisconsin Dept. of Natural Resources, Madison, 20 pp.
- Hogeweg, P., Brenkert, A.L., 1969. Structure of aquatic vegetation: A comparison of aquatic vegetation in India, The Netherlands and Czechoslovakia. *Tropical Ecology*. 10, 139-162.
- Holub, J., 1997. *Stuckenia* Börner 1912 – the correct name for *Coleogeton* (*Potamogetonaceae*). *Preslia* 69:361-366. En: Kaplan, Z., 2008. A taxonomic revision of *Stuckenia* (*Potamogetonaceae*) in Asia, with notes on the diversity and variation on genus on a worldwide scale. *Folia Geobotanica*. 43, 159-234.
- Jeffrey, S.W., 1981. Responses to light in aquatic plants. En: Lange, O.L., Nobel, P.S., Osmond, C.B., Ziegler, H., (Editores) *Physiological Plant Ecology*. I. Responses to the Physical Environment. Springer Verlag, Nueva York. pp. 249-276.
- Les D.H., Haynes, R.R., 1996. *Coleogeton* (*Potamogetonaceae*), a new genus of Pondweeds. *Novon* 6, 389–391.
- Lot, A., Novelo, A.R., Olvera, G.M., Ramírez, G.P., 1999. Catálogo de angiospermas acuáticas de México. Hidrófitas estrictas emergentes, sumergidas y flotantes. *Cuadernos* 33. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 161 pp.
- Madsen, T.V., H.O., Enevoldsen, T.B., Jørgensen, 1993. Effects of water velocity on photosynthesis and dark respiration in submersed stream macrophytes. *Plant Cell & Environment*. 16, 317-322.
- Mayhew, J.K., Runkel, S.T., 1962. The control of nuisance aquatic vegetation with black plastic sheeting. *Proceedings of the Iowa Academy of Science*. 69, 302-307.
- Nichols, S.A., 1974. Mechanical and habitat manipulation for aquatic plant management. Technical Bulletin. No. 77, Wisconsin Dept. Natural Research, Madison, 34 pp.

- Nichols, S.A., 1991. The interaction between biology and the management of aquatic macrophytes. *Aquatic Botany*. 41, 225-252.
- Novelo, A., Lot, A., 1994. Potamogetonaceae. En: Davidse, G., Sousa S.M., Chater, O.A. (Editores) *Flora Mesoamericana*. Vol. 6 Alismataceae a Cyperaceae. Instituto de Biología, UNAM. México. pp. 13-15.
- Onaindia, M., Bikuña, B.G., Benito, I., 1996. Aquatic plants in relation to environmental factors in Northern Spain. *Journal of environmental management*. 47, 123-137.
- Perverly, J., Miller, G., Brown, W.H., Johnson, R.L., 1974. Aquatic weed management in the Finger Lakes. Tech. Rep. 90, Cornell University, Water Resource. Mar. Sci. Center, Ithaca, Nueva York. 50 pp.
- Pieterse, A. H., Murphy, K. J., 1990. Aquatic Weeds. The ecology and management of nuisance aquatic vegetation. Oxford University. New York. 593 pp.
- Pilon, J., Santamaría, L., 2002. Clonal variation in morphological and physiological responses to irradiance and photoperiod for the aquatic angiosperm *Potamogeton pectinatus*. *Journal of Ecology*. 90, 859-870.
- Ramos D. F., Quiroz, A., Ramírez-García, P., Lot, A., 2004. Manual de Hidrobotánica: Procedimientos de Muestreo y Técnicas Analíticas para el Estudio de la Vegetación Acuática. AGT Editores. 185 p.
- Sculthorpe, C.D., 1985. The Biology of Aquatic Vascular Plants. Koeltz Scientific. Königstein, Alemania. 610 pp.
- Short, F.T., Duarte, C.M., 2001. Methods for the measurement of seagrass growth and production. pp. 155-182. En: Short, F.T., Coles, R.G. (Editores) Global Seagrass Research Methods. Elsevier Science B.V., Amsterdam.
- Spence, D.H.N., 1975. Light and plant response in fresh waters. En: Evans, G.C., Rackmand, O. (Editores) Light as an Ecological Factor II. Blackwell Scientific Publications, Oxford. pp. 93-133
- Spence, D.H.N., Chrystal, J., 1970. Photosynthesis and zonation of freshwater macrophytes. I. Depth distribution and shade tolerance. *New Phytologist*. 69, 205-215
- Spencer, D.F., 1986. Early growth of *Potamogeton pectinatus* L. in response to temperature and irradiance: morphology and pigment composition. *Aquatic Botany*. 26, 1-8.
- Thomas, J.D., Daldorph, P.W.G., 1994. The influence of nutrient and organic enrichment on a community dominated by macrophytes and gastropod mollusks

- in a eutrophic drainage channel: relevance to snail control and conservation. *Journal of Applied Ecology*. 31, 571-588.
- Tomlinson, B.C., 1982. Anatomy of the Monocotyledons. VII. Helobiae (Alismataceae) Clarendon Press. Oxford. pp. 270-335.
- Van Wijk, R.J., 1986. Life cycle characteristics of *Potamogeton pectinatus* L. in relation to control. Proc. EWRS/AAB. 7th Symposium on Aquatic Weeds. pp. 375-379
- Van Wijk. R.J., 1988. Ecological studies on *Potamogeton pectinatus* L. I. General characteristics, biomass production and life cycles under field conditions. *Aquatic Botany*, 31, 211-258.
- Van Dijk, G.M., van Vierssen, W., 1991. Survival of a *Potamogeton pectinatus* L. population under various light conditions in a shallow eutrophic lake (Lake Veluwe) in The Netherlands. *Aquatic Botany*. 39, 121-129.
- Van Dijk, G.M., Breukelaar, A.W., Gijlstra, R., 1992. Impact of light climate history on seasonal dynamics of a field population of *Potamogeton pectinatus* L. during a three year period (1986-1988). *Aquatic Botany*. 43, 17-41.
- Wersal. R.M., Madsen, J.D., McMillan, B.R., Gerard, P.D., 2006. Environmental factors affecting biomass and distribution of *Stuckenia pectinata* in the Heron Lake System, Minnesota, E.E.U.U. *Wetlands*. 26:2, 313-321.
- Westerdahl, H.E., Hall, J.F., 1983. Threshold 2, 4 D concentrations for control of Eurasian Watermilfoii and Sagopondweed. *Journal of Aquatic Plant Management*, 21, 22-25.
- Westlake, D. F., 1963. Comparisons of plant productivity. *Biological Reviews*. 38, 385-425.
- Wetzel, R.G., 2000. *Limnological Analyses*. Springer-Verlag. Nueva York. 429 pp.
- Wetzel, R.G., 2001. *Limnology: lake and river ecosystems*. Academic. San Diego. 1006 pp.
- Whitely, J.R., 1964. Control of aquatic weeds in farms fish pounds. Proc. North Cent. Weed Control Conf. 20: 31-32.
- Zindahl, R.L., 1999. *Fundamentals of Weed Science*. Academic press. San Diego. pp. 13-30.