



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES,
UNIDAD MORELIA**

**“Fisiología ecológica de la germinación de semillas de la especie invasora
zacate buffel (*Cenchrus ciliaris*)”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

P R E S E N T A:

FERNANDO VILLA REYES

DIRECTOR DE TESIS: DR. ERICK DE LA BARRERA MONTPELLIER

**Morelia, Michoacán
Julio, 2011**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Licenciatura en Ciencias Ambientales



DR. ISIDRO ÁVILA MARTÍNEZ
DIRECTOR GENERAL DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR, UNAM
PRESENTE.

Por medio de la presente me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico de la Licenciatura en Ciencias Ambientales, celebrada el día 31 de marzo del 2011, se acordó poner a su consideración el siguiente jurado para el Examen Profesional del alumno **Fernando Villa Reyes** con número de cuenta **407005840** con la tesis titulada: "**Fisiología ecológica de la germinación de semillas de la especie invasora zacate buffel (*Cenchrus ciliaris*)**" bajo la dirección del Tutor.- **Dr. Erick De la Barrera Montppellier.**

Presidente:	Dr. Roberto Antonio Lindig Cisneros
Vocal:	Dra. Ek Del Val de Gortari
Secretario:	Dr. Erick De la Barrera Montppellier
Suplente:	Dr. Rafael Bello Bedoy
Suplente:	M. en C. Whaleeha Abril Gudiño González

Sin otro particular, quedo de usted.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Morelia, Michoacán a, 19 de mayo del 2011.

Dr. Alejandro Casas Fernández
Coordinador de la Licenciatura

CAMPUS MORELIA

Apartado Postal 27-3 (Sta. Ma. de Guído), 58090, Morelia, Michoacán Antigua Carretera a Patzcuaro No. 8701, col. Ex-hacienda de San José de la Huerta 58190, Morelia, Michoacán, México Tel. (443)322.38.03 y (55) 5623.2803, fax. (443)322.27.19 y (55)5623.2719 www.oikos.unam.mx



Agradecimientos

Al financiamiento otorgado por PAPIIT al proyecto registrado con el número IN221407 e IN224910 y al proyecto CONACYT SNI-Estudiantes 102189, apoyos sin los cuales esta investigación no hubiera podido realizarse.

En la realización de esta tesis de Licenciatura conté con ayudas de diversa índole, la orientación, los consejos y la supervisión que realiza el director de tesis son esenciales, y por ello el primer agradecimiento a señalar corresponde al Dr. Erick De la Barrera Montppellier, que además de haberme guiado eficazmente en la elaboración de esta investigación me brindo su amistad y apoyo en todo momento. Muchas gracias Erick.

A mis sinodales, Dra. Ek Del Val, Dr. Roberto Lindig, Dr. Rafael Bello y Dra. Whaleeha Abril Gudiño por haber tomado parte de su tiempo en la revisión de esta tesis y por las sugerencias en la escritura de la misma.

A mi mamá y mi papá por ayudarme a ser cada día mejor ser humano y por alentarme a terminar mis estudios profesionales. A mis hermanas por todo el apoyo que me han dado.

A Jesy por su cariño y apoyo. Un agradecimiento muy especial a la Dra. Willelmira Castillejos López por su valiosa ayuda para ver realizado éste proyecto de vida.

A mis compañeros y sobre todo amigos del Laboratorio de Fisiología Ecológica y Agroecología; Whalecha Abril Gudiño, Juan Tenopala y especialmente a Rodrigo Orozco (*el chavo*) por su ayuda en los análisis estadísticos de esta investigación. A Alejandro Rebollar quien me ayudo a agilizar los trámites de titulación.

A todos mis compañeros de generación de la Licenciatura en Ciencias Ambientales, cada uno de ellos apporto gratificantes momentos durante mi estancia en la universidad. A todos los profesores del CIEco que me brindaron sus conocimientos y consejos en mi formación profesional.

ÍNDICE

I. Resumen	1
Resumen	1
Abstract	1
II. Introducción	3
III. Objetivos	5
IV. Sistema de estudio	6
Descripción de la especie	7
El zacate buffel como especie invasora	8
El zacate buffel como fuente de forraje	9
Germinación	10
Temperatura	12
Potencial hídrico	13
Luz	14
Agua de humo	15
V. Materiales y métodos	18
Material vegetal	18
Experimentos y germinación	18
Respuesta a la temperatura	19
Respuesta al potencial hídrico	19
Respuesta a la luz	19
Respuesta al agua de humo	20
Análisis estadísticos	20
VI. Resultados	21

VII. Discusión y conclusiones	26
VIII. Consideraciones finales	30
IX. Bibliografía	32

I. RESUMEN

Resumen

El impacto de las especies invasoras ha sido identificado como la segunda causa a nivel global de pérdida de biodiversidad. Se considera que un número importante de especies introducidas puede llegar a ser invasora. Tal es el caso de *Cenchrus ciliaris*, un pasto invasor proveniente del este de África, actualmente establecido en regiones áridas del norte de México, introducido en el país como especie forrajera. Este estudio examinó experimentalmente la influencia de la temperatura, potencial hídrico, luz y un pretratamiento de germinación (agua de humo) sobre la germinación de *C. ciliaris*, para conocer las condiciones óptimas de germinación y establecimiento potencial. La germinación fue óptima entre los 15 °C y 35 °C y fue nula en las temperaturas extremas de 5 °C y 45 °C. El porcentaje de germinación fue más alto con potenciales hídricos de -0.03 MPa y -0.05 MPa y las semillas no germinaron con -1.0 MPa. La germinación de las semillas se observó en todas las longitudes de onda, en luz blanca y con obscuridad total. El agua de humo tuvo un efecto inhibitorio en la germinación de *C. ciliaris*. La luz, temperatura y la humedad son factores ambientales muy importantes que presentan una compleja interacción y son decisivos para activar o desactivar el proceso de la germinación para esta especie. Finalmente, las condiciones ambientales necesarias para la germinación de *C. ciliaris* fueron similares al clima reportado en su hábitat natural.

Abstract

The impact of invasive species has been identified as the second cause of global biodiversity loss. A significant number of introduced species can become invasive. Such is the case of *Cenchrus ciliaris*, a forrage grass from east Africa, currently invading arid regions of northern Mexico. This study examined experimentally the influence of temperature, water potential, light, and a germination pretreatment (smoke water) on germination of *C. ciliaris* to determine the optimal conditions for germination and establishment potential. Germination was optimal between 15 °C and 35 °C and was zero in the extreme temperatures of 5 °C and 45 °C. Germination percentage was higher with water potentials of -0.03 MPa and -0.05 MPa and the seeds did not germinate under -1.0 MPa. Germination of the seeds was observed in all tested wavelengths, in white light, and in complete darkness. The

smoke water had an inhibitory effect on the germination of *C. ciliaris*. Light, temperature, and humidity are important environmental factors that have a complex interaction and are critical to activate or inhibit the process of germination for this species. Finally, the environmental conditions necessary for the germination of *C. ciliaris* were similar to the climate reported in their natural habitat.

II. INTRODUCCIÓN

El impacto por las especies invasoras ha sido identificado como la segunda causa a nivel global, de pérdida de biodiversidad (Vitousek, 1996; Leung *et al.*, 2002 en IMTA-CONABIO, 2007). Se considera que entre el 10 y el 20 % de las especies introducidas pueden llegar a ser invasoras (McLaughlin, 2002 en Arriaga *et al.*, 2004). Tal es el caso del zacate buffel (*Cenchrus ciliaris*), una especie nativa del este de África, que fue introducida a los Estados Unidos de América y después a México como pasto forrajero (Arriaga *et al.*, 2004). Su expansión a otras zonas debería considerarse como peligro de muy alta prioridad, ya que facilita la generación y dispersión de incendios de alta intensidad que, aún en ecosistemas adaptados al fuego, son demasiados severos y conllevan a una severa pérdida de biodiversidad (CONABIO, 2006).

El zacate buffel es una especie invasora ya ratificada como tal por la CONABIO (2006). Según este organismo, el zacate buffel se distribuye en todo el norte del país y las partes áridas y semihúmedas del centro, y también hacia las partes frías (ya se registró en el valle de México), también está comenzando su expansión a matorrales xerófilos y selva baja caducifolia abierta. Paradójicamente, en muchas ocasiones la introducción de especies exóticas en determinadas áreas obedece a cuestiones de mayor producción o rendimiento en cultivos trayendo beneficios locales o regionales (Richardson 1999; Saundlund *et al.*, 1999 en Arriaga *et al.*, 2004), y se ha confirmado que el zacate buffel es una especie forrajera que en comparación con las plantas nativas del norte del país, resulta ser mucho más productiva en términos de biomasa de forraje (Ibarra *et al.*, 2005).

Como parte del estudio global de las plantas es necesario intensificar la investigación de las semillas, sus características fisiológicas, sus mecanismos de latencia y germinación, su longevidad (ecológica y potencial) y su posible uso para la propagación y conservación (Vázquez-Yanes *et al.*, 1997). Cada comunidad vegetal presenta mecanismos de germinación características que responden al efecto de la selección natural inducida por las condiciones ambientales predominantes sobre la naturaleza y fisiología de las semillas (Nobel, 1999). Así, la germinación de las semillas es una fase crítica en el ciclo de vida de las plantas, pues muestra una gran vulnerabilidad a la influencia de factores desfavorables, por lo que durante esta etapa se presenta una alta mortalidad (Angevine y Chavot, 1979 en Ruedas *et al.*, 2000).

El establecimiento exitoso de muchas especies de plantas, a menudo depende de las respuestas de las semillas a su medio ambiente (Vázquez-Yanes y Orozco Segovia, 1996). Se ha comprobado que las semillas responden a combinaciones específicas de luz, temperatura y humedad del suelo que son más favorables para su establecimiento (Baskin y Baskin, 1998). Por ejemplo, algunas semillas pueden germinar fácilmente en el verano cuando las temperaturas y las lluvias son óptimas, pero no germinan en las lluvias de invierno a causa de las bajas temperaturas (Larcher, 1980). Se sabe que la deficiencia de agua o estrés hídrico es un factor que limita la germinación y el establecimiento de las plantas (Torres, 2004).

La luz puede tener efectos inhibitorios o desencadenantes en la germinación, este es uno de los casos más claros del control de un proceso fisiológico por un factor ambiental (Vázquez-Yanes *et al.*, 1997). Por otra parte, los incendios son una característica natural de varios tipos de ecosistemas y se ha investigado que muchas especies de plantas han evolucionado con dichas perturbaciones (Keeley, 1994 en Keeley y Fotheringham, 1998). Estudios previos han reportado que el humo generado después de un incendio estimula la germinación en varias especies de plantas (Keeley, 1991).

En el caso del zacate buffel, información relativa a los límites ambientales puede ayudar a predecir su distribución potencial y a identificar áreas que son más vulnerables a la invasión. Por ello en este trabajo se llevaron a cabo una serie de experimentos en el laboratorio para determinar las condiciones ambientales necesarias para la germinación del pasto invasor *C. ciliaris*. Con la información de la literatura las hipótesis de trabajo fueron las siguientes: (1) la temperatura óptima para la germinación será similar a las que imperan durante el verano en el desierto de Sonora; (2) el potencial hídrico óptimo requerido para la germinación será similar al de capacidad de campo en los suelos arenosos donde se establece; (3) si las semillas del zacate buffel tienen características fotoblásticas, debido a una respuesta mediada por el fitocromo, la germinación será mayor bajo luz azul y será inhibida por el rojo lejano; (4) el pretratamiento con agua de humo reflejará la ventaja competitiva (respuesta de germinación alta) que tiene *C. ciliaris* a condiciones de estrés por fuego.

III. OBJETIVOS

Objetivo general

- Determinar cuáles son las condiciones ambientales necesarias para la germinación de semillas de zacate buffel (*Cenchrus ciliaris*).

Objetivos particulares

- Determinar cuáles son las temperaturas óptimas para la germinación de *C. ciliaris*, en un gradiente de temperatura.
- Determinar el potencial hídrico óptimo para la germinación de *C. ciliaris*, en un gradiente de presión osmótica.
- Determinar el espectro de acción para la germinación de *C. ciliaris*.
- Determinar si un pretratamiento con agua de humo modifica significativamente la capacidad germinativa de *C. ciliaris*.

IV. SISTEMA DE ESTUDIO

Las especies invasoras desplazan a las especies nativas de flora y fauna por competencia directa, depredación, transmisión de enfermedades, modificación del hábitat, alteración de la estructura de los niveles tróficos, de sus condiciones biofísicas, y por alteración en los regímenes de fuego (CONABIO, 2006), tal es caso del zacate buffel (Arriaga *et al.*, 2004).

Cenchrus ciliaris (zacate buffel), es un pasto africano resistente a la sequía que fue introducido en el norte del país como fuente de forraje (Stair *et al.*, 1998; De la Barrera, 2008). El origen de este pasto en territorio mexicano data de cuando el departamento de agricultura de Sudáfrica colectó semillas de zacate buffel en regiones semiáridas del noreste de África entre 1940 y 1945, para ser sembradas y evaluadas según su establecimiento, persistencia y producción forrajera. Semillas provenientes de Kenia se llevaron al sur de Texas en los Estados Unidos en 1946, y poco tiempo después el departamento de agricultura y conservación del suelo (USDA-SCS) la difundió como T-44644 Buffel grass en 1949 (Cox *et al.*, 1988 en Lizarazo, 2002).

Con el tiempo las praderas de buffel han aumentado en extensión provocando la alteración de la dinámica de comunidades vegetales nativas, por ejemplo, aumentando la frecuencia y severidad de incendios (D' Antonio, 2000) o desplazando a especies nativas (Búrquez *et al.*, 1999; Ehleringer, 1985). Debido a que *C. ciliaris* es actualmente cultivado en Sonora, con un área que aumenta exponencialmente (Castellanos *et al.*, 2002; Franklin *et al.*, 2006), este pasto representa una amenaza severa para el desierto Sonorense considerado el bioma de desierto más biodiverso a nivel mundial (Búrquez *et al.*, 1999). Sin embargo, los mecanismos fisiológicos (Castellanos *et al.*, 2002), ecológicos y sociales que son responsables de su invasión en comunidades nativas no son del todo claros (Búrquez, 2002).

Descripción de la especie

Cenchrus ciliaris es una planta perenne que forma macollas, sus tallos son erectos y robustos, la altura de estos oscila entre los 25 a 100 cm, las láminas son planas y largas, ligeramente pilosas de 2.8 a 24 cm de largo. Su inflorescencia es una espiga densa y cilíndrica de 6 a 12 cm de largo y el fruto es ovoide de 1 a 2 mm de largo (SAGAR, 1998 en Lizarazo, 2002).

El Buffel tiene una estructura rizomática característica llamada cormo, que le da la posibilidad de acumular sustancias de reserva y ser resistente a la sequía. Sus tallos son alargados y suaves, con bases hinchadas lo que le permite almacenar más hidratos de carbono que otras especies (López, 1982 en Lizarazo, 2002).

De acuerdo con Ayerza (1981) el zacate Buffel es clasificado de la siguiente forma:

Familia: Gramineae

Subfamilia: Panicoideae

Tribu: Paniceae

Género: *Cenchrus*

Especie: *ciliaris*

En diferentes países y regiones el zacate buffel recibe diversos nombres tales como: Buffel, pasto salinas, Buffel grass, African foxtail o Bunchgrass (Ayerza, 1981).

En su distribución geográfica nativa (Kenia), *C. ciliaris* se establece en regiones de baja altitud (Rango: 150 a los 700 msnm). Las temperaturas varían entre los 21 y 36°C y la precipitación puede variar de 200 a 400 mm. Las hojas crecen en el verano cuando las temperaturas mínimas son de 15 a 20°C y la máxima alcanza los 40°C (Ibarra *et al.*, 1995 en Lizarazo, 2002). Donde el zacate buffel se propaga y predomina, la temperatura promedio mensual en el invierno es rara vez menor a 5°C (Ibarra, 1991 en Lizarazo, 2002). Para América del norte se reporta que este pasto se propaga con rangos de precipitación de 350 mm a 500 mm y la especie puede morir cuando la precipitación supera los 1200 mm (Ibarra *et al.*, 1995 en Lizarazo, 2002).

El zacate buffel como especie invasora

Se puede definir a las especies invasoras como a todas aquellas que prosperan sin ayuda del ser humano y amenazan hábitats naturales o seminaturales, fuera de su área habitual de distribución (CDB, 2009 en CONABIO, 2010), además, muchas veces afectan negativamente en las acciones de restauración ecológica, de conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales (Chornesky *et al.*, 2005)

Para México, el Sistema Nacional sobre Especies Invasoras de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), ha identificado de manera preliminar al menos un total de ochocientas especies invasoras que incluyen a 665 plantas, 77 peces, 10 anfibios y reptiles, 30 aves y 6 mamíferos, a estas cifras habría que sumarles el número de especies invasoras que, sin estar aún verificadas con presencia en territorio nacional, representan un serio riesgo por tener ocurrencia en países y regiones vecinas, además de las que ya se encuentran en el país y no han sido monitoreadas (CONABIO, 2006)

Las especies invasoras afectan y dañan a las comunidades originales de un determinado sitio, en el caso del zacate buffel, este está dañando drásticamente la vegetación nativa del norte del país al provocar regímenes anómalos de fuego. Por esta razón, la conservación de la biodiversidad en un país debe contemplar a la prevención, detección temprana, manejo, control, erradicación, conciencia pública, regulación, legislación, y la investigación sobre especies invasoras como una alta prioridad (CONABIO, 2006).

La distribución y establecimiento del zacate buffel se ha incrementado rápidamente en años recientes (Castellanos *et al.*, 2002), poniendo en peligro comunidades vegetales nativas en México (CONABIO, 2006). Su éxito como especie invasora puede deberse a una gran capacidad de propagación, por ejemplo, sus semillas han colonizado sitios que no habían sido sembrados en Kenia el noreste de México y sur de Texas (Ibarra *et al.*, 1991 en Lizarazo, 2002). Esta especie ha tenido impactos importantes a nivel de estructura en las comunidades naturales, en la diversidad biológica, en el flujo de materia en los ecosistemas, erosión del suelo, desplazamiento y disminución en la riqueza de especies (Castellanos *et al.*, 2009 en Yanes *et al.*, 2009).

En 1940, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) introdujo el zacate buffel en América como una planta promisorio para el control de la erosión, 20 años después, este pasto inició su exitosa invasión con consecuencias importantes en las comunidades nativas del desierto y matorral, introduciendo una nueva dinámica con el proceso conocido como “ciclo pasto-fuego”, donde se incendia el follaje seco e inflamable del pasto y se eliminan las especies nativas para incrementar la presencia de los pastos adaptados al fuego. Se ha documentado que los sitios transformados o severamente invadidos presentan en promedio diez veces menos riqueza de especies vegetales que los lugares más o menos intactos del desierto (Búrquez, 2007), así, el desierto arborescente y los matorrales del norte del país, rápidamente se transforman en sabanas (Búrquez, 2007).

El zacate buffel como fuente de forraje

Se tiene documentado que a finales de los años cincuenta se inició el uso de praderas artificiales de zacate buffel en el norte del país (Aguirre, 1994 en Yanes *et al.*, 2009). Esta actividad, fue justificada argumentando la necesidad de aumentar la baja productividad intrínseca de los ecosistemas sobre todo Sonorenses utilizados en la ganadería (Aguirre, 1994 en Yanes *et al.*, 2009), la introducción de este pasto constituyó una verdadera revolución en la ganadería sobre todo de Sonora. Se introdujo primero en ranchos privados, y fue hasta finales de los años 70 cuando el gobierno otorgó financiamiento para la introducción de esta especie forrajera a los ejidatarios (Castellanos *et al.*, 2009 en Yanes *et al.*, 2009).

Sin embargo, en la transformación a gran escala realizada por el capital privado y los apoyos gubernamentales, está ausente el entorno ecológico, nunca se incluye en las evaluaciones de costo, los servicios que prestan los ecosistemas, como el costo de pérdida de suelo, de materia orgánica y de biomasa vegetal. Se ignora el valor de la diversidad biológica como reguladora de los ciclos biogeoquímicos en escalas regionales y globales (Búrquez, 2007).

La siembra de buffel involucró primero la creación de pastizales monoespecíficos en similitud a la agricultura intensiva mediante la remoción total de la cubierta vegetal (Castellanos *et al.*, 2009 en Yanes *et al.*, 2009). El pasto buffel se considera como el pasto perenne más utilizado en algunas regiones del norte del país, debido a su excelente resistencia a la sequía, producción forrajera y su probada adaptabilidad a las zonas semiáridas (Ocumpaugh y Rodríguez, 1998 en Lizarazo, 2002).

Martín *et al.* (1995), observaron que el zacate buffel en Sonora, México, inicia la producción de hojas cuando hay humedad disponible en el suelo, y la temperatura es superior a los 15 °C. La producción puede alcanzar más de 300 Kg. MS/ha en los meses de más altas temperaturas (julio, agosto y septiembre), asociado con un crecimiento de las precipitaciones en estos mismos meses (Lizarazo, 2002)

La producción de zacate Buffel varía considerablemente con el sitio, la variedad, la estación y la cantidad de precipitación. De acuerdo a Martín *et al.* (1995), el zacate buffel produce tres veces más forraje verde que los forrajes nativos de (*Bouteloua cutipendula*, *Bouteloua gracilis*) en el noroeste de México. Y se ha documentado que el zacate buffel, como forraje para el ganado, incrementa entre dos y cinco veces el coeficiente de agostadero (o la capacidad de carga) (Lizarazo, 2002).

Los promedios de producción de Biomasa varían desde 465 Kg MS/ha hasta 3045 Kg MS/ha. En sitios elegidos del noroeste de México y el sur de Texas. Este zacate produjo 25 % más forraje que los pastos más productivos de Norte América (Lizarazo, 2002).

Germinación

Las plantas vasculares han desarrollado en el curso de su evolución una estructura reproductiva única en el reino vegetal, la semilla; ésta se forma a partir del óvulo, generalmente después de la fertilización y es la estructura portadora, protectora y dispersora del material genético, por lo que es el vehículo natural para la reproducción de las plantas, así como para la recolección, transporte, manejo y almacenamiento del germoplasma, con la ventaja de que éstas preservan la variabilidad genética resultante de la reproducción sexual (Vázquez-Yanes *et al.*, 1997). La semilla presenta además una cierta cantidad de reservas de valor calórico y nutricional que sostendrán las primeras etapas del crecimiento de la nueva planta, por un tiempo mucho más largo que las estructuras reproductivas de vegetales que antecedieron a las plantas con semillas (Vázquez-Yanes y Orozco-Segovia, 1990).

El recurso clave para iniciar los cambios fisiológicos que conducen a la germinación es el agua, que resulta indispensable para activar el metabolismo y el crecimiento de las células vivas de los tejidos de las semillas. La cantidad de agua que absorbe una semilla y la velocidad a la que lo hace, no sólo dependen de las características de la semilla, como la permeabilidad de sus cubiertas, la composición química de sus reservas, su tamaño y su contenido de humedad, sino que también están determinadas por condiciones ambientales como la humedad del suelo, la humedad del aire, la temperatura y la luz (Vázquez-Yanes *et al.*, 1997; Nobel, 1999).

La germinación es un proceso que presenta tres fases (Fig. 1): Fase I) inicia con la absorción de agua y el reinicio del metabolismo, esto es un aumento en la tasa de respiración y una rehidratación de las proteínas, a este proceso se le llama imbibición. Fase II) se presenta una profunda transformación metabólica y una considerable reducción en la absorción de agua, a esta fase se le llama estacionaria. Fase III) se caracteriza por que se presenta un incremento considerable en la absorción de agua y en la actividad respiratoria, por lo que se empiezan a apreciar cambios morfológicos visibles, en concreto la elongación de la radícula (Bewley y Black, 1994; Salisbury y Ross, 1994).

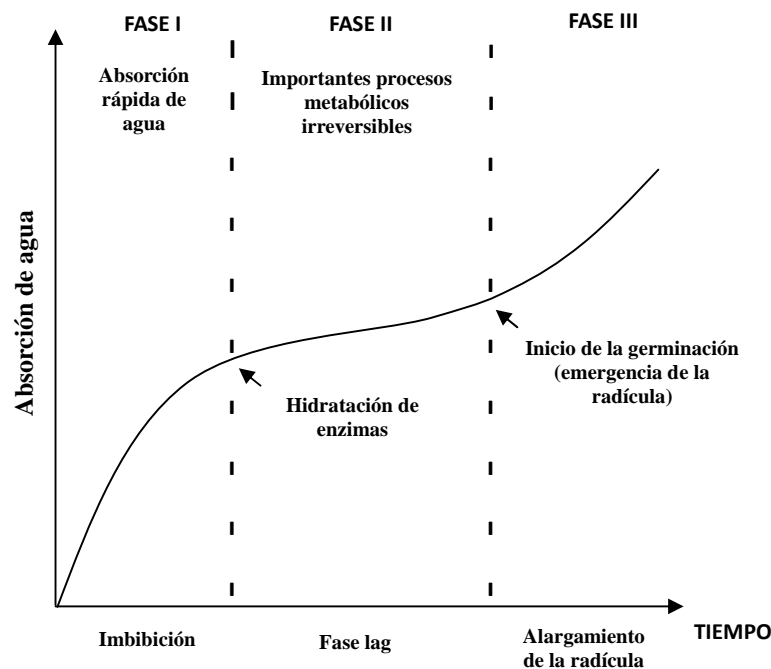


Figura 1. Etapas de la germinación que conducen a la emergencia de la radícula, modificado por Bewley, 1997 en Vázquez-Yanes *et al.*, 1997.

Por otra parte, la latencia en la semilla es un periodo en el cual se presenta una interrupción del desarrollo debido a un bloqueo químico, fisiológico o estructural que impide la germinación, es decir cuando una semilla viable no germina en condiciones adecuadas de humedad, luz y temperatura o viceversa, se dice que se encuentra en estado de latencia (Salisbury y Ross, 1994; Baskin y Baskin, 1998).

Se han distinguido varios tipos de latencia expuestos por diferentes autores, en este trabajo se utiliza la que fue presentada por Harper (1957), que es: A) innata o endógena, la cual se presenta cuando hay algún impedimento fisiológico de la semilla; B) inducida a secundaria, que se desarrolla cuando el medio presenta alguna característica muy desfavorable después de la diseminación; C) impuesta o exógena está controlada por características físicas específicas del ambiente como son: luz, oxígeno y/o temperatura y se presenta en semillas que se encuentran en el suelo.

Temperatura

Algunos cambios metabólicos que ocurren durante la germinación se asocian con la variación en la temperatura ambiental. Su efecto se expresa en la capacidad germinativa o en la velocidad de germinación. El intervalo térmico en el que las semillas germinan son características sujetas a la selección natural. Incluso, con frecuencia se presenta variación geográfica intra-específica altamente relacionada con las condiciones ambientales a nivel local (Vázquez-Yanes *et al.*, 1997).

En algunas plantas existen respuestas bimodales ante la temperatura, es decir, dos temperaturas óptimas separadas por temperaturas menos favorables. En muchas especies se ha observado que una o varias alternancias de temperatura pueden favorecer o disparar la germinación (Vázquez-Yanes *et al.*, 1997). La fluctuación de temperatura permite la activación de ciertas enzimas y hace permeables a algunas membranas, lo que finalmente trae consigo el desencadenamiento de la germinación (Bewley y Black, 1994). El uso de un gradiente térmico es muy útil para el conocimiento de las temperaturas óptimas de cada especie (Onwueme, 1979).

Las temperaturas extremas pueden limitar el potencial de distribución de una especie vegetal (Nobel *et al.*, 2002; Stair *et al.*, 1998; De la Barrera y Castellanos, 2007). Se ha observado que diversas

especies vegetales poseen semillas capaces de tolerar altas temperaturas y aumentar su germinación bajo los efectos de estas. Especies con estas características son frecuentes en las sabanas tropicales y los pastizales templados (Vázquez-Yanes *et al.*, 1997; Onwueme, 1979).

Potencial hídrico

La deficiencia de agua o estrés hídrico es un factor que limita la germinación y el crecimiento de las plantas (Torres, 2004). En alguna parte de su vida, las plantas están expuestas a desecación debido a causas como: una cantidad inadecuada de humedad en el suelo por periodos cortos o largos, escasa o errática precipitación, retraso en el inicio de la precipitación, lluvias muy tempranas con periodos cortos, temperaturas altas del suelo y aire, o bien, a que la tasa de transpiración es mayor que la tasa de absorción de agua (Kuruvadi y Cortinas, 1987 en Madueño-Molina *et al.*, 2006).

La disponibilidad de agua en el suelo se mide mediante su potencial hídrico, cuyos valores varían entre 0 y $-\infty$, y sus unidades son el megapascal (MPa). Cuanto más negativo el potencial hídrico del suelo menos agua disponible para las plantas contiene un suelo. El potencial hídrico del suelo depende básicamente de dos componentes: (Madueño-Molina *et al.*, 2006).

1. Del potencial matricial o mátrico del suelo. Es debido a las fuerzas de adsorción y de capilaridad de las partículas sólidas del suelo, sus valores varían entre 0 y $-\infty$ y su unidad es el MPa. Representa el grado de retención del agua, debido a las interacciones con matrices sólidas o coloidales, puede valer cero si no hay interacciones o ser negativo.
2. Del potencial osmótico. Es debido a los solutos (sales) disueltos en el agua del suelo. Al igual que el potencial matricial, varía entre 0 y $-\infty$ y su unidad es el MPa. Representa la disminución de la capacidad de desplazamiento del agua debido a la presencia de solutos. A medida que la concentración de soluto (es decir, el número de partículas de soluto por unidad de volumen de la disolución) aumenta, el potencial osmótico se hace más negativo. Sin la presencia de otros factores que alteren el potencial hídrico las moléculas de agua de las disoluciones se moverán desde los lugares con poca concentración de solutos a lugares con mayor concentración de soluto. El potencial osmótico se considera 0 para el agua pura.

La semilla de cada especie posee un nivel crítico de humedad, el cual puede ser factor para inhibir la emergencia de la radícula, al respecto se ha procurado evaluar la imbibición de las semillas por medio del manejo de la presión osmótica existente en soluciones salinas, las cuales son capaces de disminuir la absorción de agua por parte de la semilla (Laboriau, 1983 en Torres, 2004). Este fenómeno puede ser reproducido en condiciones controladas de laboratorio, el uso de sustancias osmóticamente activas como medio para reducir el potencial hídrico durante la germinación ha sido investigado ampliamente (Torres, 2004). Compuestos como manitol, glicerol o sacarosa han sido utilizados para esos fines, pero con resultados muy variables, el polietilen glicol (PEG), por ser fisiológicamente más inerte que los demás ha sido utilizado con más éxito, pues no afecta en el metabolismo de la planta durante la germinación (Talavera-Williams *et al.*, 1991 en Torres, 2004). Este tipo de compuesto simula satisfactoriamente las condiciones de campo similares a las condiciones de humedad para la germinación, haciendo decrecer el potencial hídrico en el medio radicular de la planta, y con ello inducir el déficit hídrico durante la germinación de semillas (Falusi *et al.*, 1983 en Torres, 2004)

Luz

El estudio del efecto de la luz sobre la germinación se ha mantenido en el primer plano del interés de los fisiólogos y ecofisiólogos al ser uno de los casos más claros del control de un proceso fisiológico por un factor ambiental (Vázquez-Yanes *et al.*, 1997). Existen evidencias que indican que el porcentaje de especies con semillas fotoblásticas positivas (las semillas son fotoblásticas positivas cuando requieren luz para germinar y fotoblásticas negativas cuando su germinación se inhibe con la luz. Existen muchas semillas que son insensibles a la luz y se denominan neutras), es particularmente alto entre las plantas anuales (Vázquez-Yanes *et al.*, 1997), tal es el caso de *C. ciliaris* (SAGAR, 1998 en Lizarazo, 2002).

El fotoblastismo positivo puede desencadenar la interrupción de la dormitancia de la semilla, proveer ventajas competitivas a muchas especies de plantas, y ayudar a determinar la estructura de una comunidad (Vázquez-Yanes y Orozco-Segovia, 1996; Baskin y Baskin, 1998; Gallagher y Cardina, 1998; Restrepo y Vargas, 1999 en De la Barrera y Nobel, 2003), las semillas responden a cambios en la composición espectral o en la cantidad de luz resultado del disturbio causado por el dosel (Vázquez-Yanes y Orozco-Segovia, 1996).

Son tres las principales bandas del espectro lumínico que tienen acción sobre la germinación, y corresponden a la franja de 650 nanómetros (rojo), 700 nanómetros (rojo lejano) y luz comprendida entre los 400 y 500 nanómetros (azul), aunque con efectos mucho menos claros. Tanto el rojo como el rojo lejano son absorbidos por un compuesto denominado fitocromo, que es una cromoproteína que actúa como sensor. Este pigmento en su forma activa es inductor de la germinación e interviene en procesos de permeabilidad, activación de enzimas y expresión genética. La conversión del fitocromo inactivo (P_r) a fitocromo activo (P_{fr}) por lo general se lleva a cabo bajo el efecto de la luz roja, y la reacción opuesta ocurre bajo el efecto del rojo lejano. Estas dos formas del fitocromo corresponden a cada uno de sus picos de absorción de luz. Esta reacción de conversión en ambos sentidos está relacionada con la inducción y la inhibición de la germinación (Vázquez-Yanes *et al.*, 1997).

La intensidad de la luz, el fotoperiodo y la cantidad de rojo en relación con el rojo lejano presente (denominada relación R: RL) modulan la respuesta de las semillas a la luz a través de este pigmento. La cantidad de fitocromo activo presente en una semilla en el momento de su liberación determina si esta puede germinar en la oscuridad o si requerirá luz para iniciar el proceso (Vázquez-Yanes *et al.*, 1997).

Agua de humo

Uno de los principales problemas para el establecimiento de algunas plantas es la latencia de las semillas, varias técnicas de escarificación han demostrado su efectividad para disminuir la dureza de las semillas y acelerar el proceso de germinación (Burbano, 1990; Fariñas *et al.*, 1997 en Sanabria *et al.*, 2001). Las técnicas de escarificación química, física y térmica son de especial valor para acelerar el proceso de germinación; sin embargo, diversas especies de plantas responden en forma diferente a dichas técnicas, dependiendo además de su origen, época de cosecha y tiempo de almacenamiento (Cruz y Takaki, 1983; Corral *et al.*, 1990 en Sanabria *et al.*, 2001)

El conocimiento sobre el medio ambiente en el que viven las semillas y sus diferentes tipos de disturbios o estrés a los que puede responder conducirán al éxito para lograr la germinación (Vázquez-Yanes *et al.*, 1997). El número de investigaciones dirigidas al estudio de los factores que inducen la germinación de las semillas de diferentes especies es inmenso y se han propuesto numerosas

alternativas para romper la latencia de las semillas afectadas fisiológicamente, envejecidas o inmaduras (Vázquez-Yanes *et al.*, 1997).

El fuego es un factor (o estrés), ambiental natural que el hombre ha favorecido, pues al parecer los fuegos naturales son menos frecuentes que los inducidos. Actualmente el fuego ha actuado y esta actuando cada vez en mayor escala sobre el medio ambiente debido a que los incendios forman parte de del mantenimiento de pastizales y campos de cultivos colindante con la vegetación natural (Vázquez-Yanes *et al.*, 1997).

Después de un incendio, las plantas sobrevivientes regeneran sus órganos y recolonizan el territorio por medio de semillas, se han reportado respuestas positivas de las plantas después de un incendio, asociadas al incremento de la productividad primaria, de la floración, de la dispersión de semillas, la germinación y del establecimiento de las plántulas (Juárez y Cano, 2007).

Se ha observado que diversas especies vegetales poseen semillas capaces de tolerar altas temperaturas y aumentar su germinación bajo los efectos de éstas. Especies con estas características son frecuentes en las sabanas tropicales y los pastizales templados (Vázquez-Yanes *et al.*, 1997). El fuego puede provocar la germinación producto de un golpe de calor o por los efectos químicos productos de la combustión, varias especies de plantas de varios tipos de ecosistemas parecen utilizar uno u otro de estos efectos para desencadenar su germinación (Ballard, 1973 en Keeley y Fotheringham, 1998).

Es muy probable que todas las semillas resistentes al calor presenten latencia de tipo tegumentario, debido que su tegumento es impermeable al agua, ya que las semillas hidratadas son más susceptibles a sufrir daños al calentarse. La estructura del tegumento cambia con el calentamiento húmedo o seco a temperaturas variables, según la especie, lo cual permite la entrada del agua o los gases al interior de la semilla. Este tipo de latencia es particularmente frecuente entre las fabáceas, malváceas, y otras plantas que germinan abundantemente en el suelo de bosques recientemente incendiados o de otras comunidades, como el chaparral de California, ciertos pinares y las sabanas tropicales (Juárez y Cano, 2007; Onwueme, 1979).

Se ha investigado que el agua de humo puede romper la latencia y promover la germinación de semillas en algunas especies de plantas (Soós *et al.*, 2009), se ha visto que esta solución (humo disuelto en agua), puede ser aplicada a las semillas para promover su germinación (Soós *et al.*, 2009). El humo actúa como un estimulante químico para la germinación de varias especies de plantas, esto según lo demostrado por Lange y Boucher (1990) para diferentes arbustos en el sur de África. Por su parte Baxter y Van Staden (1994) estudiaron el efecto del humo en varios pastos la sabana africana y Dixon *et al.* (1995) ha hecho lo mismo para varios arbustos Australianos. Para *C. ciliaris* se investigará si la estimulación por humo tiene un efecto significativo en su germinación.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Las semillas de *Cenchrus ciliaris* se obtuvieron en Enero del 2009 con un proveedor comercial (Al pasto, Morelia, Mich.). La viabilidad de las semillas fue verificada haciendo pruebas de germinación, las cuales consistieron en agregar en vasos con sustrato, 1 g de semillas de pasto buffel, posteriormente se añadió un centímetro de sustrato sobre las semillas y se hidrataron con 10 ml de agua. La germinación resulto exitosa con lo que se garantizó la latencia del material.

Experimentos y germinación

La germinación fue ensayada incubando las semillas en cajas de petri de 55 mm de diámetro y 15 mm de altura, cubriendo con 2 ml de agua destilada una lamina de papel filtro de 0.5 mm de espesor y selladas con Parafilm para prevenir la desecación, excepto para el experimento de potencial hídrico, donde fueron puestas en soluciones de determinada concentración de polietilen glicol, y el experimento de agua de humo, donde se preparó una solución especial. Las semillas fueron colocadas en agua destilada durante 24 horas antes de ser sembradas, excepto para el experimento de potencial hídrico.

Las unidades experimentales consistieron en 50 semillas en cada una de 10 cajas petri. En los experimentos de temperatura, potencial hídrico y agua de humo las semillas fueron incubadas en una cámara de germinación I-35LL (PERCIVAL SCIENTIFIC, Inc. Boone, Iowa, E.U.A.), equipadas con lámparas incandescentes tubulares (OSRAM, Universal, de 20 W), ubicada en el centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM, Campus Morelia. Con un fotoperiodo de 12 h d⁻¹.

En el experimento de luz, las semillas fueron incubadas en cajas de madera de 32.5 × 32.5 × 57.0 cm (largo × ancho × alto), pintadas de blanco por dentro, e iluminadas con focos incandescentes Philips, 42 W (Philips Electronics N. V. the Netherlands), con emisión de luz de 2650 lm, conectadas a un temporizador para crear un fotoperiodo de 12 h d⁻¹. Las cámaras de germinación se ubican en el Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM, Campus Morelia.

En los experimentos de temperatura, potencial hídrico y agua de humo, se contaron las semillas germinadas diariamente. Para el experimento de luz, se contaron las semillas germinadas a los 3, 6, 10 y 15 días en todos los casos, se considero cómo semilla germinada aquella que presentara la emergencia completa de la radícula.

Respuesta a la temperatura

Para determinar el rango óptimo de temperaturas para la germinación de *C. ciliaris*, se evaluaron las siguientes temperaturas: 15 °C durante el día y 5 °C durante la noche (15/5 °C), 20/10 °C, 25/15 °C, 30/20 °C, 35/25 °C, 40/30 °C y 45/35 °C.

Respuesta al potencial hídrico

Se realizó un experimento bajo condiciones controladas para simular déficit hídrico, utilizando polietileno glicol (PEG 20000, J. T. Baker, Phillipsburg, NJ. E.U.A.). Se prepararon soluciones con potenciales hídricos de 0.0 MPa, -0.01 MPa, -0.03 MPa, -0.05 MPa, -0.10 MPa y -1.0 MPa. La cantidad de PEG utilizada para cada solución fue calculada con SPMM (Michel y Radcliffe, 1985), para una temperatura de 25 °C. El potencial hídrico de la solución fue verificada en el laboratorio con un osmómetro PSYPRO (Wescor, INC. E.U.A.). Se evaluó la germinación de semillas incubadas en estas soluciones y se obtuvo el porcentaje final de germinación y la velocidad de germinación. La incubación se llevo acabo a una temperatura día/noche 30/20 °C.

Respuesta a la luz

El efecto de la luz en la germinación de semillas de *C. ciliaris* se evaluó según Lindig y Zedler (2001). Las semillas fueron expuestas a diferentes longitudes de onda generadas con filtros ópticos de plástico (Edmund Scientific Co., Barrington NJ) de 10 × 12.5 cm de diámetro, los valores de interferencia de los filtros son los siguientes: para el verde; ($T_{\max} = 510 \text{ nm}$), azul ($T_{\max} = 460 \text{ nm}$), rojo ($T_{\max} = 650 \text{ nm}$) y rojo lejano ($\lambda_p = 700 \text{ nm}$).

Mientras que el fotoblasticismo (el requerimiento lumínico para la germinación; Vázquez-Yanes, 1997) se determinó germinando semillas expuestas a luz blanca y en oscuridad total (forradas con papel aluminio). La incubación se llevó a cabo a una temperatura día/noche 30/20 °C.

Respuesta al agua de humo

El efecto del agua de humo en la germinación de *C. ciliaris* se estudio incubando semillas en una solución preparada que intentó simular condiciones post-incendio.

La respuesta germinativa de *C. ciliaris* fue hecha comparando 2 tratamientos, el primero, hecho con semillas incubadas en agua de humo, y el segundo, con semillas incubadas en agua destilada con potencial hídrico de 0.0 MPa. El agua de humo fue hecha colocando en un ahumador de aluminio aproximadamente 200 g de semillas de zacate buffel para su carbonización sobre una parrilla eléctrica, fue sellado con un embudo conectado a una manguera, y en el otro extremo conectado a un recipiente de vidrio con capacidad de 5 L. Previamente se habían vertido 500 ml de agua destilada para que se depositara el humo proveniente de la carbonización de las semillas. Se agregaron 2 ml de agua de humo a cada lámina de papel filtro puesta en las cajas de petri como fuente de humedad para estimular la germinación. La incubación se llevo a cabo a una temperatura día/noche 30/20 °C.

Análisis estadísticos

Debido a que los datos obtenidos en los experimentos de temperatura, potencial hídrico y agua de humo no fueron normales, su análisis fue hecho con pruebas de Friedman de medidas repetidas, seguido de pruebas pareadas de Tukey. Por su parte, el experimento de luz se analizó mediante un ANOVA de dos vías, donde el tiempo y la longitud de onda fueron los factores explicativos, seguido de pruebas pareadas de Holm-Sidak ($P < 0.05$). Todos los análisis fueron realizados con el paquete estadístico SIGMASTAT 3.5 (Systat Software, Richmond, California, EEUU). Los datos se presentan como promedio \pm 1 E.E. (n= tamaño de muestra)

VI. RESULTADOS

Temperatura

La germinación de semillas de *Cenchrus ciliaris* en ningún caso fue mayor al 30%. Las semillas no germinaron cuando fueron incubadas a temperaturas 15/5 °C y 45/35 °C, a los 21 días (Fig. 2). La germinación más alta fue para las semillas incubadas a temperaturas 25/15 °C y 30/20 °C, a los 21 días, y no mostraron diferencias significativas entre si, pero sí con las demás temperaturas ($P < 0.05$). La germinación final para estas temperaturas fue de 23.8 ± 0.87 y 18.2 ± 0.86 % respectivamente. Las semillas incubadas a temperatura 35/25 °C, mostraron diferencias significativas con los demás tratamientos a los 21 días ($P < 0.05$), con una germinación final de 14.2 ± 1.20 %.

La germinación final de semillas incubadas en las temperaturas 20/10 °C y 40/30 °C, no mostró diferencias significativas entre si, pero sí con las demás temperaturas ($P < 0.05$), la germinación final para estas temperaturas fue de 5 ± 0.37 y 3 ± 0.52 % respectivamente.

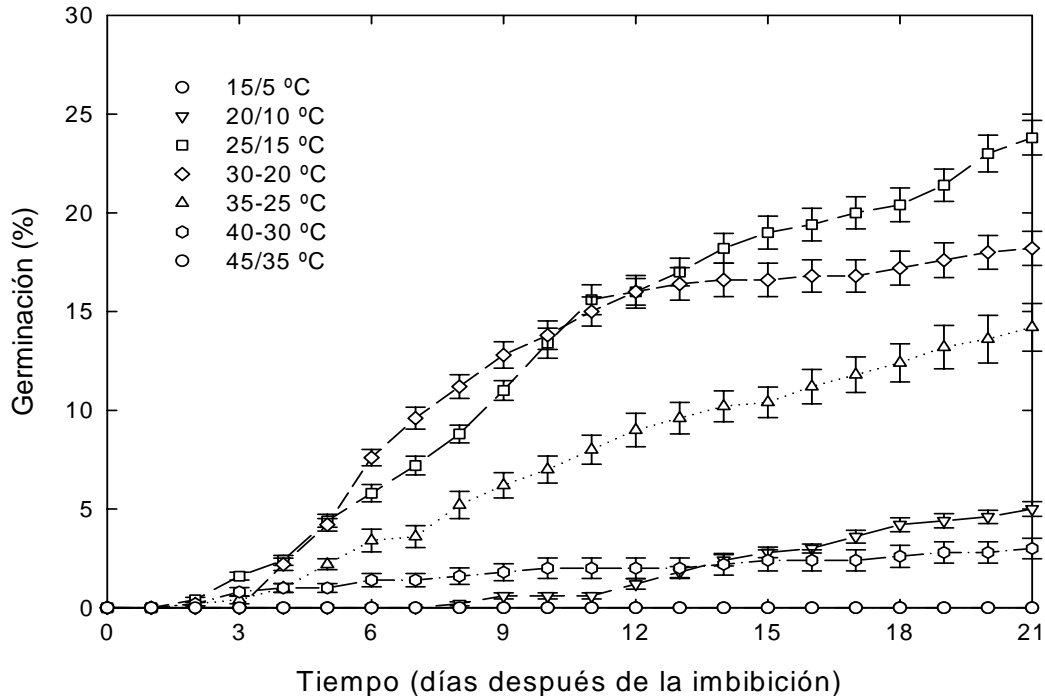


Figura 2. Efecto de la temperatura en la germinación de semillas de *Cenchrus ciliaris*, se incubaron con los tratamientos indicados y fotoperiodo de 12 h d^{-1} . Los datos se muestran como promedio ± 1 E.E. ($n=10$ caja de petri con 50 semillas cada una).

Potencial hídrico

Se observaron diferencias significativas entre todos los tratamientos evaluados ($P < 0.05$). Una excepción fueron las semillas incubadas en soluciones de -0.05 MPa y -0.01 MPa, los cuales no mostraron diferencias significativas entre si, pero sí con todas las demás temperaturas ($P < 0.05$). La germinación final para estos tratamientos fue de 19 ± 1.03 y 18.6 ± 1.36 % respectivamente.

El tratamiento con -0.03 MPa obtuvo el mayor porcentaje de germinación con 25.2 ± 1.22 %. Los tratamientos de 0.0 MPa y -0.10 MPa, tuvieron una germinación final de 12.2 ± 0.92 y 5 ± 0.42 % respectivamente. Las semillas de *C. ciliaris* no germinaron cuando fueron incubadas en una solución de -1.0 MPa (Fig. 3).

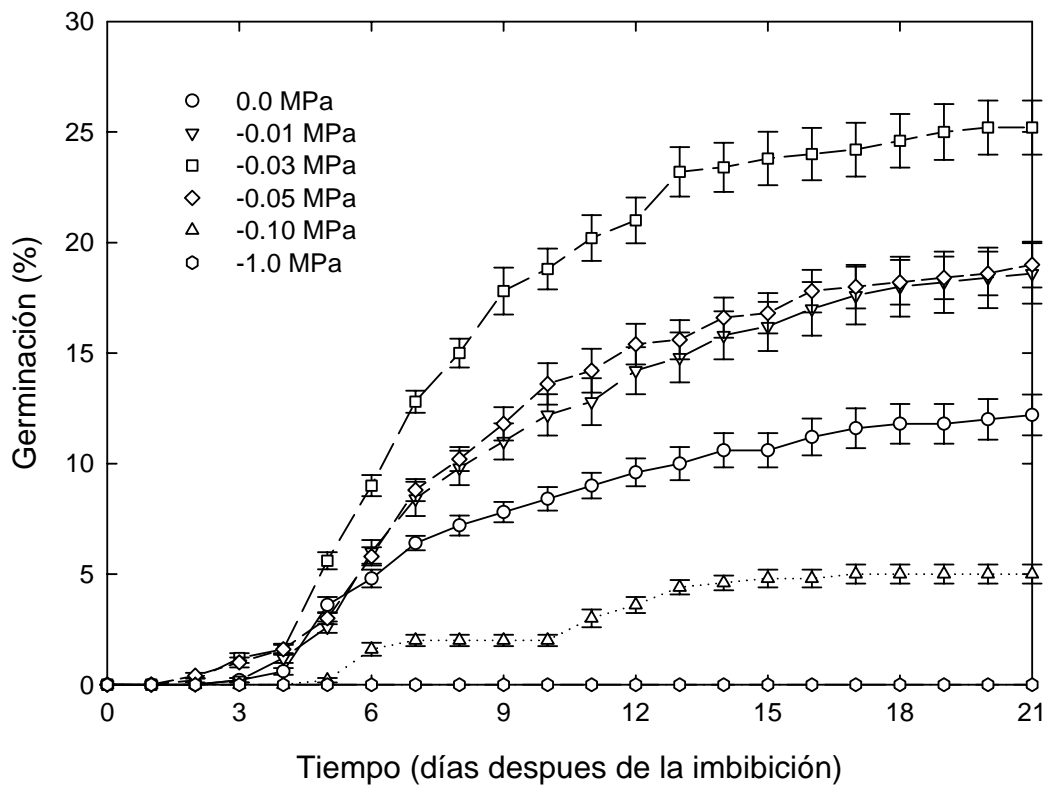


Figura 3. Efecto de la presión osmótica en la germinación de semillas de *C. ciliaris*, se incubaron con fotoperiodo de 12 h d^{-1} y temperatura $30/20$ °C. Los datos se muestran como promedio ± 1 E.E. ($n=10$ caja de petri con 50 semillas cada una).

Luz

Las semillas de *C. ciliaris* germinaron en todas las longitudes de onda utilizadas, en obscuridad y con luz blanca. El porcentaje de germinación más alto se presentó en las semillas incubadas en obscuridad, rojo (650 nm), y rojo lejano (700 nm) (Fig. 4A, 4B), al día 15 con 24 ± 0.69 , 26.8 ± 1.00 y 28.8 ± 1.06 % respectivamente.

La germinación más alta en el azul (460 nm), fue en el día 15 observando diferencias significativas con los demás días ($P < 0.05$), la germinación final fue de 18.4 ± 1.05 %. En el verde (510 nm), la germinación más alta fue en el día 15 observando diferencias significativas con los demás días ($P < 0.05$), la germinación final fue de 21 ± 1.58 %.

En el día 3 todos los tratamientos no mostraron diferencias significativas entre sí (Fig. 4A, 4B). En el día 6 la germinación más alta sucedió en las semillas incubadas en obscuridad, observando diferencias significativas con los demás tratamientos ($P < 0.05$), su germinación en este día fue de 18.6 ± 0.61 %. En el día 10 el rojo lejano, rojo y obscuridad no mostraron diferencias significativas entre si, estos tratamientos tuvieron los porcentajes de germinación más altos con 16.4 ± 0.77 , 17.4 ± 0.71 y 20.0 ± 0.81 % respectivamente.

Las semillas incubadas en obscuridad mostraron una germinación más alta en comparación con las semillas incubadas con luz blanca ($P < 0.05$; Fig. 4B). Las semillas incubadas en obscuridad no mostraron diferencias significativas en los 10 y 15 días, la germinación más alta fue en el día 15 con una germinación final de 24 ± 0.69 %. Las semillas incubadas en luz blanca no mostraron diferencias significativas en los 10 y 15 días, pero si con los días 3 y 6 ($P < 0.05$). La germinación más alta fue al día 15 con 13.6 ± 0.71 %.

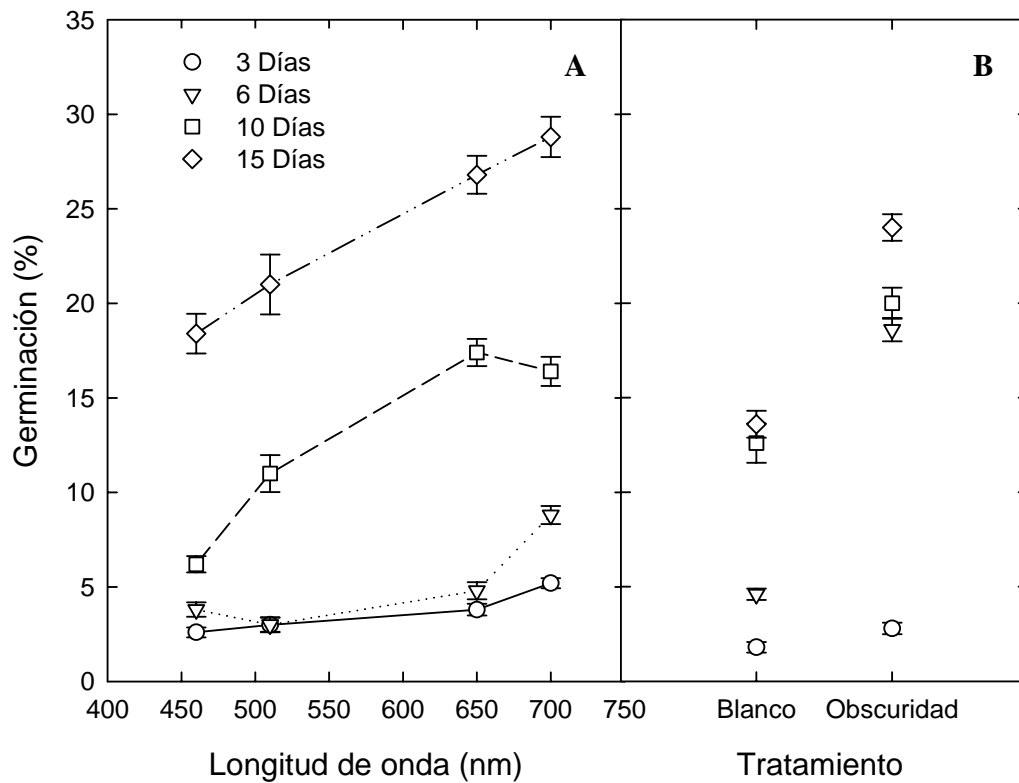


Figura 4. Efecto de la acción espectral y de los tratamientos con luz y oscuridad en la germinación de semillas de *C. ciliaris*, se incubaron con fotoperiodo de 12 h d⁻¹ y temperatura 30/20 °C Los datos se muestran como promedio ± 1 E.E. (n=10 caja de petri con 50 semillas cada una).

Agua de humo

Se observaron diferencias significativas en la germinación de semillas de *C. ciliaris* que fueron incubadas en una solución con *agua de humo* en comparación con las semillas que fueron incubadas en agua destilada con potencial hídrico de 0.0 MPa ($P < 0.05$; Fig. 5). Las semillas que fueron incubadas en agua de humo tuvieron una germinación final de 10.6 ± 1.02 %, mientras que las semillas incubadas en agua destilada tuvieron una germinación final mayor con 12.2 ± 0.92 %.

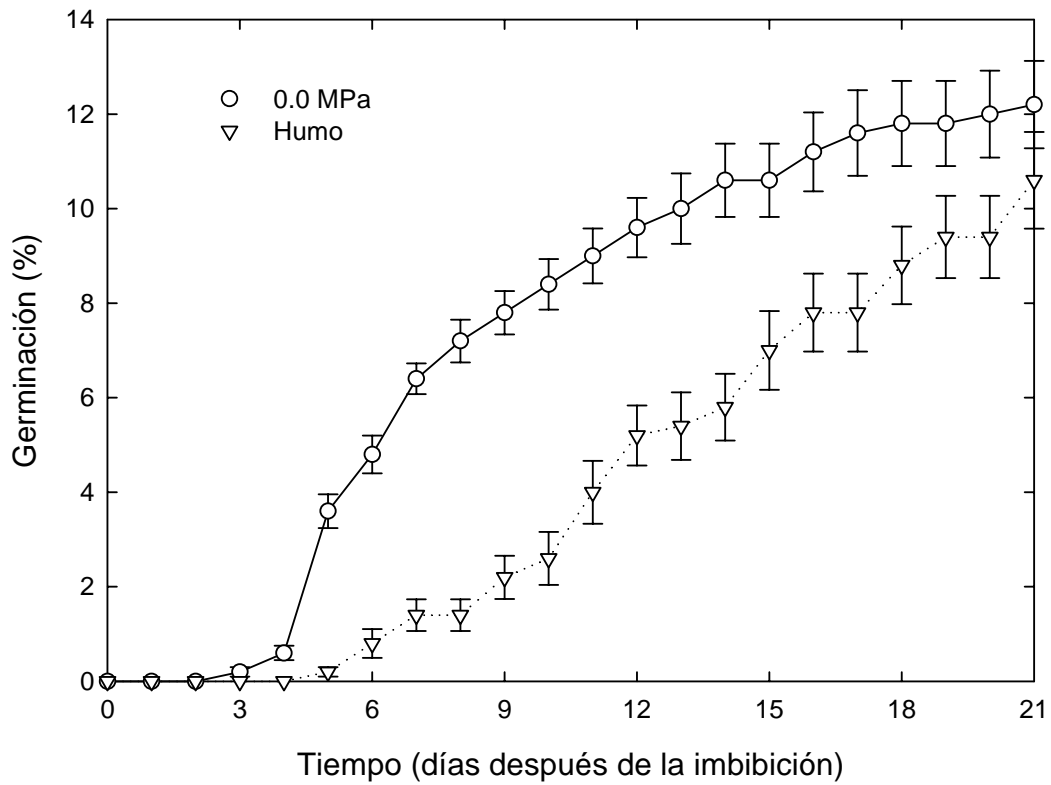


Figura 5. Efecto del agua de humo en la germinación de semillas de *C. ciliaris*, se incubaron con fotoperiodo de 12 h d^{-1} y temperatura 25 °C. Los datos se muestran como promedio \pm 1 E.E. (n=10 caja de petri con 50 semillas cada una).

VII. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Para *Cenchrus ciliaris* la germinación más alta se observó en las temperaturas día/noche 30/20 °C y 25/15 °C y la germinación más baja ocurrió en las temperaturas 40/30 °C y 20/10 °C. Las semillas de *C. ciliaris* no germinaron en las temperaturas extremas que fueron de 45/35 °C y 15/5 °C. En muchos casos se ha visto que las semillas sólo germinan en los intervalos de temperaturas que caracterizan precisamente a las épocas del año más favorables o adecuadas para el establecimiento de las plantas (Vázquez -Yanes *et al.*, 1997). Los resultados obtenidos concuerdan con las condiciones en su hábitat natural en África donde su establecimiento se lleva a cabo en lugares con temperaturas que oscilan entre los 21 y 36 °C (Ibarra *et al.*, 1995 en Lizarazo, 2002), y con los sitios del desierto de Sonora donde ha invadió (De la Barrera, 2008).

A partir de los resultados obtenidos en el gradiente de temperatura, podemos decir que la temperatura es un factor que determina la germinación de *C. ciliaris* y que en temperaturas extremas se observó una disminución considerable en la tasa germinativa de las semillas en comparación con las temperaturas medias, las cuales mostraron una germinación más alta.

La germinación final para *C. ciliaris* fue 50 % menor en semillas incubadas en potencial hídrico de 0.0 MPa comparadas con las semillas que fueron incubadas a -0.03 MPa, las cuales presentaron la germinación más alta, y se presentó una germinación más alta en semillas incubadas en potenciales de -0.01 MPa y -0.05 MPa en comparación con las semillas incubadas en un potencial hídrico de 0.0 MPa. Las semillas no germinaron cuando fueron puestas en una solución de -1.0 MPa. El hecho que *C. ciliaris* no germinó en una solución con un potencial más negativo (-1.0 MPa), concuerda con los resultados de Bonvissuto y Busso (2007), encontraron que la gramínea *Leymus erianthus* no germinaba en potenciales hídricos muy negativos (menores a -0.74 MPa). Los resultados también son similares a los obtenidos por Dood y Donovan (1999), en dos diferentes especies de arbustos del desierto, su germinación era menor conforme el potencial hídrico se hacia más negativo.

En el hábitat natural de *C. ciliaris* la precipitación promedio es de 200 a 400 mm, con lo que se afirma que necesita sólo un poco de agua para iniciar el proceso de germinación en las semillas (Lizarazo, 2002). Con los resultados obtenidos se puede confirmar que con poca agua se activa el proceso metabólico para la germinación de *C. ciliaris*. Los resultados de temperatura y potencial

hídrico concuerdan con lo reportado por Vázquez-Yanes *et al.*, (1997), al mencionar que las semillas solo germinan en condiciones adecuadas de humedad y temperatura media, es decir, adecuadas al hábitat que ocupan.

En los desiertos hay un periodo muy corto en el que las condiciones ambientales son adecuadas para permitir la germinación y el establecimiento de las plantas. Por este motivo en los desiertos predominan las plantas perennes de larga vida, tal es el caso de *C. ciliaris*, que tienen muchas oportunidades de reproducirse a lo largo de su existencia, y en el cual las semillas presentan una quiescencia que les permite germinar en cuanto hay humedad (Vázquez -Yanes *et al.*, 1997). Young y Nobel (2003) reportaron datos acerca del cambio en el potencial hídrico del suelo en relación al tiempo después de la precipitación en el noroeste del desierto de Sonora, se reporta que con una lluvia de 20 mm, el potencial hídrico del suelo a 5 cm de profundidad tarda en ser de -1.0 MPa (donde se inhibe la germinación de las semillas de *C. ciliaris*) aproximadamente 9 días. El promedio de lluvia en el sur del desierto de Sonora para los meses de julio a septiembre es de aproximadamente 80 mm (De la Barrera, 2008), con lo que el potencial hídrico del suelo se mantiene apto (mayor a -1.0 MPa) por un periodo largo de tiempo para la germinación de semillas de *C. ciliaris*. Por el contrario, en los meses de marzo a junio la precipitación en este lugar es aproximadamente de 10 mm, teniendo el suelo menos tiempo el potencial hídrico necesario (mayor a -1.0 MPa) para que las semillas de *C. ciliaris* germinen.

Las semillas de *C. ciliaris* tuvieron una mayor tasa de germinación en el rojo (650 nm) y rojo lejano (700). Germinaron en obscuridad y en luz blanca, con lo que se demuestra que no hay requerimiento lumínico para su germinación (fotoblastismo neutro; Vázquez-Yanes *et al.*, 1997). Para *C. ciliaris* la conversión del fitocromo (cromoproteína que en su forma activa es inductor de la germinación), de su forma inactiva (P_r), a su forma activa (P_{fr}), es llevada a cabo con luz y en obscuridad total. En la literatura se ha reportado que hay especies de plantas que son indiferentes a la presencia de luz u obscuridad (Moreno, 2003; Baskin y Baskin, 1988). Probert y Smith (1986), sugieren que la capacidad de germinar en la obscuridad puede explicarse por la sensibilidad de algunos individuos a niveles bajos preexistentes de P_{fr} .

Las semillas de *C. ciliaris* incubadas en obscuridad tuvieron una germinación 43% mayor respecto a las semillas germinadas en luz blanca. Se ha reportado que varias especies de plantas (aunque pocas) presentan una germinación más alta en obscuridad que con luz (Baskin y Baskin,

1988). Entre las especies que han reportado esta característica están: *Anemone coronaria* (Bullock *et al.*, 1975), *Bromus sterilis* (Hilton, 1982), *Eryngium creticum* (Hammouda and Bakr, 1969), *Galium spurium* (Malik y Vanden Born, 1987), *Spinifex sericeus* (Maze y Whalley, 1992) y *Launaea glomerata* (Datta y Seen, 1987).

En diferentes investigaciones se ha estudiado la relación temperatura-luz (Baskin y Baskin 1988). Se reportó que las semillas de *Aster pilosus* fueron sometidas a luz en el invierno y su germinación se realizó en obscuridad en la primavera. Se ha investigado también que el frío puede romper la latencia de las semillas y con esto anular los requerimientos de luz para llevar a cabo la germinación. Entre las especies en las que se ha estudiado este fenómeno están: *Picea mariana* (Farmer *et al.*, 1984), *Pinus palustris* (Mclemore y Hansbrought, 1970) y *Spergularia media* (Ungar y Binet, 1975). También se ha visto el caso contrario en que las temperaturas altas (28,40°C) quitaron el requerimiento de luz para las semillas de *Hygrophila auriculata* (Amritphale *et al.*, 1989).

Las semillas de *C. ciliaris* incubadas en agua de humo tuvieron una germinación 13 % menor en comparación con las semillas incubadas en agua destilada, con lo que se demostró que el agua de humo no aumenta la tasa germinativa de esta especie. Se ha investigado que un incendio puede tener un efecto inhibitorio o desencadenante en la germinación (Vázquez-Yanes *et al.*, 1997), y que el humo generado después de un incendio puede estimular la germinación en varias especies de plantas (Keeley y Fotheringham, 1998). Para *C. ciliaris* se mostró un efecto inhibitorio al presentar una germinación significativamente más baja respecto a las semillas incubadas en agua destilada.

El hecho que *C. ciliaris* esté desplazando a la vegetación nativa en el desierto del norte de México puede explicarse como una adaptación evolutiva de este pasto al fuego (Keeley, 1991), y no por un aumento en la tasa germinativa producto de un incendio (Pausas y Keeley, 2009). Keeley y Fotheringham (1998), han sugerido que la adaptación evolutiva de algunas plantas al fuego está en su capacidad de rebrote después de un incendio. Para *C. ciliaris* esta puede ser una posible respuesta al éxito en su establecimiento y expansión, puede tener un rápido rebrote de plántulas o de adultos en comparación con las plantas locales nativas que no tienen estas adaptaciones al fuego (Pausas y Keeley, 2009).

Los humanos han afectado los regímenes de incendios directamente al usar el fuego para preparar el terreno agrícola (Orozco y Cano, 2007). Los incendios inducidos son los responsables de que varias especies de plantas exóticas (incluido el pasto buffel) desestabilicen los ecosistemas en los cuales han sido introducidos (Pausas y Keeley, 2009). El pasto buffel ha sido beneficiado con estas prácticas agrícolas de quemadas inducidas en la región norte de México y con sus mecanismos de adaptación al fuego le resulta en una ventaja competitiva respecto a la vegetación local nativa (Búrquez, 2002).

La presencia de gramíneas africanas ha modificado fundamentalmente la composición, dinámica y funcionamiento de los pastizales naturales semiáridos de México. La adaptación de *C. ciliaris* a determinadas condiciones de humedad, temperatura, luz y disturbios por fuego le permiten prosperar y superar a sus competidores (Lizarazo, 2002), con lo que se desplaza a la vegetación original e induce una pérdida de biodiversidad.

Con base en los resultados obtenidos podemos decir que los requerimientos generales para la germinación de las semillas de *C. ciliaris* son temperaturas medias que oscilen entre 15 y 35 °C. El potencial hídrico donde se presenta el mayor porcentaje de germinación oscila entre los -0.01 a los -0.05 MPa, y su germinación fue llevada a cabo con luz blanca y en oscuridad total. Se afirma entonces que la luz, temperatura y la humedad son factores ambientales muy importantes que presentan una compleja interacción y son decisivos para activar o desactivar el proceso de la germinación para esta especie (Salisbury y Ross, 1994). Por su parte, el agua de humo tuvo un efecto inhibitorio en la germinación de *C. ciliaris*, por lo que se deben establecer nuevas hipótesis acerca de las causas del éxito de su establecimiento y expansión en el desierto del norte de México. Finalmente, los factores ambientales desencadenantes de la germinación de *C. ciliaris* son similares con el clima reportado en su hábitat natural.

VIII. CONSIDERACIONES FINALES

En los años setenta cuando la revolución verde cambio drásticamente la organización de la producción agraria en México, al introducir tecnología que incluía el uso de fertilizantes, herbicidas, pesticidas y energía barata, las políticas de transformación del campo para incrementar la productividad también modificaron la producción pecuaria de los estados del norte del país. En el afán de ser más competitivos a nivel internacional en cuanto a la producción pecuaria se refiere, se buscaron estrategias para aumentar la producción sobre todo en la región norte del país. Una de las tantas medidas tomadas consistió en transformar el matorral desértico y semidesértico en praderas de pastos exóticos, principalmente de zacate buffel con el fin de incrementar la producción de forraje para ganado (Burquez, 2007). Todo ello alteró el patrón tradicional del uso de la tierra y desató un acelerado proceso de conversión social y ecológica que se manifestó en la transformación del paisaje, el cambio de uso de suelo y la alteración de la dinámica de los ecosistemas naturales (Arriaga *et al.*, 2004).

Actualmente el zacate buffel es un pasto de uso pecuario en la región norte de México, es utilizado más que otros pastos nativos por su alto valor nutrimental y acumulación rápida de biomasa en comparación con otras especies forrajeras locales (Lizarazo, 2002). Sin embargo, es también una agresiva planta invasora de porciones importantes de las comunidades nativas del desierto y matorral (Castellanos *et al.*, 2002), que está dañando a la vegetación local nativa al introducir una nueva dinámica con el proceso conocido como ciclo pasto-fuego, alterando drásticamente los procesos naturales del ecosistema, quemando vastas zonas y originando pérdida de biodiversidad en los ecosistemas áridos de la región (D' Antonio, 2000). El uso del fuego como forma de manejo agrícola para el zacate buffel es una práctica tan agresiva como los incendios naturales, quedando demostrado en las investigaciones hechas por Ibarra *et al* (1987), al concluir que las quemas inducidas disminuyen y acaban con la riqueza biológica del desierto, además de estimular el crecimiento del zacate buffel.

Tan sólo en el año 2005 se cultivaron en Sonora 60,000 hectáreas de zacate buffel (De la Barrera, 2008), aunque en realidad este pasto ha invadido mas de un millón de hectáreas de matorrales con elevada diversidad biológica en este estado (Burquez, 2007; Arriaga *et al.*, 2004). Como en muchos otros casos, en esta transformación a gran escala realizada por el capital privado y los apoyos gubernamentales no se tomó en cuenta el impacto ecológico, no se consideraron los servicios ambientales que brindan los ecosistemas como el control de la erosión, recarga de mantos acuíferos,

formación de materia orgánica y biomasa vegetal, además del valor de la diversidad biológica como reguladora de los ciclos biogeoquímicos en las escalas regionales y globales (Balvanera y Cotler, 2007).

Ante el problema ecológico que el zacate buffel representa y como parte de una solución, debe haber impulsado por parte del gobierno declarando áreas naturales protegidas en el que se conserve y vigile la vegetación local y en el que el zacate buffel no debe establecerse. El desarrollo de alternativas de manejo que consideren el uso de gramíneas nativas de México como la especie *Bouteloua gracilis* (pasto navajita), nativa de los estados del norte de México, que ha demostrado ser una especie con gran valor forrajero y resistente a la sequía (García-Sánchez y Monroy-Ata, 2005), es una necesidad urgente que debe ser promovida en esas regiones, seguido de un sistema de manejo del pasto buffel que ponga en marcha los lineamientos de monitoreo, prevención, erradicación y control de esta agresiva especie invasora (Arriaga *et al.*, 2004). Sin embargo, en los lugares donde ya se ha establecido el zacate buffel es necesario mantener elementos estabilizadores como son individuos o fragmentos de vegetación leñosa intercaladas en el pastizal (manches de matorral, bosquetes), para que el impacto a la diversidad biológica sea la menos posible (Rebollo y Gómez-Sal, 2003).

El escenario del buffel es poco prometedor y habría que reconsiderar los beneficios costo-ambientales. Es un hecho que en la actualidad los ganaderos y pobladores locales de la región se benefician con la siembra de este pasto, por esta razón, se debe alcanzar un estado donde sea compatible el aprovechamiento del zacate buffel y la conservación de la biodiversidad local, es decir, un manejo integral y adecuado de este pasto acompañado de alternativas de uso de otras especies forrajeras que permita lograr un desarrollo sustentable en la región sin comprometer la diversidad biológica local. Esto sólo se lograra si se toman en cuenta los aspectos sociales, ecológicos y económicos en torno a esta gramínea.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Arriaga L., Castellanos-V A., Moreno E. y Alarcón J. 2004. Potential ecological distribution of alien invasive species and risk assessment: A case study for buffel grass in arid regions of Mexico. *Conservation Biology* 18: 1504-1514.
- Ayerza R. 1981. El buffel grass. Utilidad y manejo de una promisorio gramínea. 1ª edición. Hemisferio sur. Buenos Aires, Argentina. 139 pp.
- Balvanera P. y Cotler H. (2007). Acercamiento al estudio de los servicios ecosistémicos. *Gaceta Ecológica* Número especial 84-85.
- Barioglio, CF. 2006. Diccionario de las ciencias agropecuarias. Ed. Brujas, México 495 pp.
- Baskin JM. Y Baskin CC. 1998. *Seed. Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination*, San Diego, CA: Academy Press. 666 pp.
- Baxter BJ. y Van Staden J. 1994. Plant-derived smoke: an effective seed pre-treatment. *Plant Growth Regulation* 14:279-282.
- Bewley JD. y Black M. 1994. *Seeds. Physiology of development and germination*, 2ª edición. Plenum press, New York.
- Bonvissuto GL. y Busso CA. 2007. Germination of grasses and shrubs under various water stress and temperature conditions. *Revista experimental de botánica experimental* 76: 119-131.
- Búrquez A. 2002. Buffel grass invasion on Sonoran Desert plant communities. Ecological society of America Annual Meeting.
- Búrquez A. 2007. El zacate buffel: Transformación Ecológica y Social. *Biodiversitas* 74:8-12.

- Búrquez A., Martínez-Yrizar A, Felger RS, y Yetman A. 1999. Vegetation and habitat diversity at the southern edge of the Sonoran Desert. In: Robichaux RH (ed.) *Ecology of Sonoran Desert plants and plant communities*. University of Arizona Press. Tucson. Pp. 36-67.
- Castellanos-V AE., Yanes G, y Valdez-Zamudio D. 2002. Drought tolerant exotic buffel-grass and desertification. In: Tellman B (ed.) *Weeds across borders. Proceeding of a North American Conference*. Tucson. Pp. 99-112.
- Chornesky EA., Bartuska AM., Aplet G.H., Britton R., Cummingscarlson J., Davis F., Eskow J., Gordon D., Gottschalk KW., Haack RA., Hansen AJ., Mack R., Rahel F., Shannon MA., Wainger LA. y Wigley B. 2005. Science Priorities for Reducing the Threat of Invasive Species to Sustainable Forestry. *BioScience* 55 (4): 335-348.
- CONABIO, Aridamérica, GECI, TNC, 2006. Especies invasoras de alto impacto a la biodiversidad: Prioridades en México. Ciudad de México. Mayo 2006. 41 pp. + Anexos.
- CONABIO. 2010. Estrategia nacional sobre especies invasoras en México, *prevención, control y erradicación*. Comité Asesor Nacional sobre Especies Invasoras, Comisión Nacional de Áreas Protegidas, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 114 pp.
- Datta S. y Seen S. 1987. A comparison of the germination characteres of *Desmodium* species. *Acta Bot. Hung.* 33:125-131.
- D'Antonio CM. 2000. Fire, plant invasions, and global changes. In: Mooney HA y Hobbs RJ (eds.) *Invasive species in a changing world*. Islan Press, Washington. D. C. Pp. 65-93.
- De la Barrera E. 2008. Recent invasion of buffel grass (*Cenchrus ciliaris*) to a natural protected area from the southern Sonoran Desert. *Revista mexicana de Biodiversidad* 79: 385-392.
- De la Barrera E. y Nobel PS. 2003. Physiological ecology of seed germination for the columnar cactus *Stenocereus queretaroensis*. *Journal of Arid Environments* 53: 297-306.

- De la Barrera E. y Castellanos AE. 2007. temperatures effects on gas exchange for the invasive buffel grass (*Pennisetum ciliare*). *Weed Biology and Management* 7: 128-131.
- Dixon KW., Roche S. y Pate JS. 1995. The promotive effect of smoke derived from burnt native vegetation on seed germination of Western Australian plants. *Oecologia* 101: 185-192.
- Dood GL. y Donovan LA. 1999. Water potential and ionic effects on germination and seedling growth of two cold desert shrubs. *American Journal of Botany* 86 (8): 1146-1153.
- Ehleringer J. 1985. Annuals and prernnials of warm deserts. In: Chabot B.F. y Mooney H.A. (eds.) *Physiological Ecology of North American Plant Communities*. Chapman and hall, NY. Pp. 162-180.
- Franklin KA., Lyons K., Nagler PL., Lampkin D., Glenn EP., Molina-Freaner F., Markow T. y Huete AR. 2006. Buffel grass (*Pennisetum ciliare*) land conversion and productivity in the plains of Sonora, México. *Biological Conservation* 127: 62-71.
- García-Sánchez R. y Monroy-Ata A. 2005. Micrositios del pasto navajita *Bouteloua gracilis*, en comunidades de pastizal y de matorral del altiplano mexicano. *Revista especializada en Ciencias Químico-Biológicas* 8(2). 61-70.
- Harper JL. 1957. The ecological significance of dormancy and its importance in weed control. Proc. 4th Int. Conf. P1. Protección Hamburg. Pp. 415-420.
- Ibarra F., Moreno S., Martín M., Denogean F. y Gerlach LE. 2005. La siembra de zacate buffel como una alternativa para incrementar la rentabilidad de los ranchos ganaderos de la sierra de Sonora. *Técnica pecuaria en México* 43(2): 173-183.
- Ibarra, FF., Martín RM., Cox, JR. y Silva OMF. 1987. Uso del fuego para control de arbustos en praderas de zacate buffel. Reunión de investigación pecuaria en México 1987.

- IMTA, CONABIO, GECI, Aridamérica, The Nature Conservancy. 2007. *Especies invasoras de alto impacto a la biodiversidad. Prioridades en México*, Jiutepec, Morelos.
- Juárez S. y Zenón C. 2007. Ecología del fuego. *Ciencias* 85: 4-12.
- Keeley JE. 1991. Seed germination and life history síndromes in the California Chaparral. *Botanical Review* 57:81-116.
- Keeley JE. y Fotheringham CJ. 1998. Smoke-induced seed germination in California Chaparral. *Ecology* 79 (7): 2320-2336.
- Lange JH. y Boucher C. 1990. Autoecological studies on *Audovinia capitata* (*Bruniaceae*). I. Plant-derived smoke as a seed germination cue. *South African Journal of Botany* 56: 700-703.
- Larcher W. 1980. *Physiological Plant Ecology*, 3rd. Edn. Springer, NY.
- Lindig R. y Zedler J. 2001. Effect on light on seed germination in *Phalaris arundinacea* L. (reed canary grass). *Plant Ecology* 155:75-78.
- Lizarazo C. 2002 Efecto del tipo e intensidad de utilización y del nivel de humedad en la producción y calidad nutricional de zacate Buffel en Marín Nuevo León. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León, México. 92 pp.
- Madueño A., García J., Martínez J. y Rubio C. 2006. Germinación y crecimiento de frijolillo *Rhynchosia minima* (L.) DC con diferentes potenciales osmóticos. *TERRA Latinoamericana* 24 (2): 187-192.
- Martín M., Ibarra F. y Cox R. 1995. Climatic effects on buffel grass productivity in the Sonoran desert. *Journal of Range management* 48: 60-63.
- Moreno P. 2003. Vida y obra de granos y semillas. La ciencia para todos. Ed. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 208 pp.

- Nobel PS. 1999. *Physicochemical and Environmental Plant physiology*, 2nd. edn. Academic Press, San Diego.
- Nobel PS, De la Barrera E., Beilman DW., Doherty JH. y Zutta BR. 2002. Temperature limitations for cultivation of edible cacti in California. *Madroño* 49: 228-236.
- Onwueme IC. 1979. Rapid, plant-conserving estimations of heat tolerance in plants. *Journal of Agricultural Science* 92: 527-536.
- Orozco S. y Cano Z. 2007. El cuarto elemento y los seres vivos: ecología del fuego. *Ciencias* 85: 4-12.
- Pausas JG. y Keeley JE. 2009. A burning story: The role of fire in the history of live. *Bioscience* 59 (7): 593-601.
- Rebollo S. y Gómez-Sal A. 2003. Aprovechamiento sostenible de los pastizales. *Ecosistemas* Año XII, Núm. 3.
- Ruedas M., Valverde T. y Castillo AS. 2000. Respuesta germinativa de plántulas de *Mammillaria magnimamma* (Cactaceae) bajo diferentes condiciones ambientales. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 66:25-35.
- Salisbury FB., y Ross CW. 1994. Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamericana S. A. de C.V., México, D.F.
- Sanabria D., Silva-Acuña R., Oliveros MA. y Barrios R. 2001. Escarificación química y térmica de semillas subterráneas de *Centrosema rotundifolium*. *Bioagro* 13 (3): 117-124.
- Soós V., Juhász A., Light EM., Staden J. y Balázs E. 2009. Smoke-water-induced changes of expression pattern in Grand Rapids lettuce achenes. *Seed Science Research* 19:37-49.

- Stair DW., Dahmer ML., Bashaw EC., y Hussey MA. 1998. Freezing tolerance of selected *Pennisetum species*. *International Journal of Plant Sciences* 159: 599-605.
- Torres G. 2004. Respuesta de la germinación de semillas de *Esenbeckia leiocarpa* Engl. (guaranta) al osmocondicionamiento. *Kuru: Revista forestal* 1(3): 1-13.
- Vázquez-Yanes C., Orozco A., Rojas M., Sánchez MS., y Cervantes V. 1997. La Reproducción de las Plantas: Semillas y Meristemos. La ciencia para todos. Ed. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 167 pp.
- Vázquez-Yanes C. y Orozco-Segovia A. 1990. Ecological significance of light controlled Seed Germination in two contrasting tropical habitats. *Oecologia* 88:171-175.
- Vázquez-Yanes C. y Orozco-Segovia A. 1996. Physiological ecology of seed dormancy and longevity in the tropical forest. En Mulkey S., Chazdon RL., Smith AP (Eds.) physiological ecology of tropical forest. ED. Chapman and Hall Pp. 535-554.
- Yanes G., Castellanos EA. y Enríquez A. 2009. El uso de los SIG en el monitoreo de especies invasoras: El zacate buffel en la parte central de Sonora. *Sociedad Latinoamericana de Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial, Capítulo México*. Reunión nacional 2009.
- Young DR. y Nobel PS. 1986. Predictions of soil-water potentials in the north-western Sonoran desert. *Journal of Ecology* 74:143-154.