

VIABILIDAD, CONDICIONES REQUERIDAS PARA LA GERMINACIÓN Y MÉTODOS DE INTERRUPCIÓN DE DORMANCIA EN SEMILLAS DE *Echinochloa colona* (L.) LINK

Carolina Vega-Jarquín^{1*}, Rodolfo Munguía Hernández², Rosana Salgado³, Marvin Fornos², Carlos F. Mendoza⁴

¹ Dra. Departamento de Producción Vegetal, Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua

² MSc. Departamento de Producción Vegetal, Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua

³ MSc. Departamento de Protección Agrícola y Forestal, Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua

⁴ (Graduado) Departamento de Producción Vegetal, Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua

* Autor para correspondencia carolina.vega@una.edu.ni



RESUMEN

En la búsqueda de alternativas ecológicas para enfrentar los problemas de malezas en los agroecosistemas, estudiamos viabilidad, contenido de humedad, condiciones requeridas para la germinación (Fase 1), y el efecto de métodos de interrupción de dormancia sobre las semillas de *Echinochloa colona* (L.) Link (Fase 2) colectadas en la comunidad de Malacatoya, Granada, Nicaragua. La Fase 1, fue un experimento bifactorial en un Diseño Completo al Azar (DCA), con cuatro réplicas. Los factores estudiados fueron: condición de siembra y posición de la semilla. En esta fase se investigó la germinación de semillas precalentadas a 60°C. Los resultados mostraron, aproximadamente un 90% de viabilidad de las semillas, determinada con Trifeniltetrazolium; sin embargo, éstas no germinaron, aunque se encontró un 4% de germinación en semillas precalentadas. Finalmente, se evaluaron ocho métodos para interrumpir la dormancia (Factor A), a dos niveles de temperatura (20°C y 26°C) (Factor B). El control fue colocado en condiciones ambientales sin ningún tratamiento previo. La prueba Duncan para tasa y porcentaje de germinación, señala que los mejores tratamientos para la interrupción de dormancia fueron etanol (0.5 M) más luz roja continua, y luz continua. Esto sugiere que la germinación de esta especie requiere del factor luz, en contraste, es posible que el uso de cobertura sea una opción a considerar como

ABSTRACT

In the search of ecological alternatives to face weed problems in agro ecosystems, we studied in laboratory conditions, humidity, viability and conditions required for germination of *Echinochloa colona* (L.) Link (Phase 1), as well as, effect of different methods of dormancy interruption on seeds of this specie (Phase 2). Seeds were collected in Malacatoya community, Granada, Nicaragua. In Phase 1, the laboratory trial was a bifactorial, layout in a Randomized Completely Design with four replicates. The two factors were condition of planting, and seed position. In this phase, the germination of preheated seeds (60°C) was also studied. The seeds showed approximately 90% of viability, when Triphenyltetrazolium was used. Nevertheless, the seeds did not germinate, regardless of 4% of germination observed in preheated seeds. In Phase 2, eight methods to interrupt dormancy (Factor A) at 20°C and 26°C of temperature (Factor B) were evaluated. The control was set up in the environment without previous treatment. The Duncan test for rate and percentage of germination indicated that the best treatments for interruption of dormancy were ethanol (0.5 M) plus continuous red light, and continuous light. Our findings suggest that light is required for germination of this specie. In contrast, it is possible that the use of cover crop could be an important component in the ecological management of *E.*

componente importante en el manejo ecológico de *E. colona*, que puede tener efectos físicos y químicos, y reducir la germinación de las malezas. Los resultados permiten también postular que para el manejo ecológico de esta arvense es importante controlarla en los primeros dieciséis días después de su emergencia.

Palabras clave: malezas, luz, manejo ecológico, dormancia

La agricultura, en relación a sus métodos de trabajo para producir alimentos, está en la actualidad altamente cuestionada, principalmente por los efectos negativos directos e indirectos provocados al medio ambiente y a la salud. En este sentido, la ciencia agraria moderna no sólo se enfrenta al desafío de disminuir el daño ambiental y los riesgos a la salud humana provocados por los agroquímicos. También debe resolver el problema generado por el incremento de poblaciones de malezas resistentes a herbicidas y mantener o mejorar los niveles de producción.

Los desafíos señalados anteriormente requieren un mayor entendimiento y manipulación de la competencia por nutrientes y energía, de la repuesta a la manipulación de semillas y plántulas, así como de las potencialidades del uso de la alelopatía. Todos estos elementos conducen a diseñar el manejo ecológico de malezas, como una alternativa para disminuir el uso de herbicidas (Liebman *et al.*, 2001). Lo anterior implica el estudio de los temas mencionados, principalmente aquellos que conduzcan a diseñar prácticas de control que ayuden a establecer manejos con un mínimo uso de herbicidas.

Posiblemente, por este auge del uso de agroquímicos, pocos estudios sobre biología y ecología de las malezas se han realizado, pero, ha sido reconocida la contribución que el conocimiento de la biología de las malezas podría hacer en la búsqueda y diseño de controles efectivos y para ello, de acuerdo con FAO (1996), es clave comprender las características ecológicas y biológicas de las malezas, con énfasis en el potencial reproductivo y la habilidad competitiva. Para Bernal Valverde¹ (2006) el estudio serio y a profundidad de la biología de una especie, sobre todo las perniciosas, ayuda a encontrar oportunidades de manejo eficiente y con menos impacto nocivo al entorno. Adicionalmente, Bond y Grundy (2001) mencionan que para idear un control orgánico de malezas, se debe tener en cuenta la contribución que puede hacer la biología de la maleza.

Es posible entonces deducir la importancia de conducir estudios sobre la biología de una especie nociva, como es el caso de *Echinochloa colona*

because it can have physical and chemical effects that may reduce the germination rate of the weed. In addition, our results indicate that for ecological management of *E. colona*, it is important to control it during the first sixteen days after emergence.

Keywords: weed, light, ecological management, dormancy

(L.) Link, la cual en América Latina y en particular Nicaragua, es una especie ubicua en arrozales. Valverde *et al.* (2000), afirman que éstos en América Central están infestados con *E. colona* (L.) Link, alcanzando resistencia al Propanil 3,4-diclopropianilina causando así serias pérdidas en la cosechas.

Uno de los medios por el cual las malezas sobreviven, es su capacidad de acumular semillas en el suelo (banco de semilla) y la dormancia en estas especies podría contribuir a dicha acumulación (Noronha *et al.*, 1997). Mientras Foley (2001), afirma que la dormancia puede hacer que se incremente la distribución de la germinación en el tiempo; dicha característica según Holm *et al.* (1977), en *E. colona* desaparece en menos de ocho semanas.

En 1974, Baker señaló que la dormancia en semillas es de interés intrínseco para los científicos en malezas debido a que es una de las características de adaptabilidad que éstas poseen. Por lo tanto, se puede decir, que la dormancia podría ser responsable de la sobrevivencia de *E. colona* (L.) Link en los campos cultivados, y este comportamiento puede constituirse en un medio de interferencia del crecimiento y desarrollo óptimo del cultivo. La bibliografía también reporta que la germinación de *E. colona* se ve favorecida por condiciones de luz y disponibilidad de agua (Holm *et al.*, 1977; Valverde 1996; FAO 1996), siendo el primero el factor más destacado.

La presencia de dormancia y el mecanismo fotosintético C₄ en esta especie podrían contribuir a su interferencia con el cultivo por lo que para idear una posible alternativa de manejo, amigable con el ambiente, es importante estudiar su biología. Con el conocimiento de las condiciones requeridas para la germinación de esta maleza, de los factores que interrumpen su dormancia y la deducción de sus posibles estrategias de sobrevivencia se pretende abrir una línea de investigación enmarcada en tácticas ecológicas que fortalezcan el uso de la alelopatía- como una alternativa futura del control biológico (Lovett, 1991)- que permita manejar ésta y otras especies de arvenses y no necesariamente erradicarlas de los campos cultivados.

¹ Dr. Bernal Valverde, comunicación personal

Los estudios de laboratorio relacionados con efectos alelopáticos requieren la disponibilidad de especies blanco o receptoras y el conocimiento de su biología. El objetivo de este trabajo inicial consistió en analizar las condiciones requeridas para la germinación y el efecto de diferentes métodos de interrupción de dormancia sobre las semillas de *E. colona* (L.) Link.

MATERIALES Y MÉTODOS

Procedimientos generales. Para el cumplimiento de los objetivos propuestos se establecieron experimentos en el Laboratorio de Semilla, del Programa de Recursos Genéticos Nicaragüenses (REGEN), de la Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua.

Inicialmente semillas de *E. colona* (L.) Link fueron colectadas en la comunidad de Malacatoya localizada en coordenadas 12° 01' 40'' LN y 86° 01' 55'' Oeste, a una altura de 30 msnm, del departamento de Granada, en enero del 2006. Considerando observaciones de productores se estableció como criterio para colectar las semillas, el que éstas procedieran de panículas de color amarillo grisáceo, y en las que además las semillas se desprendieran con facilidad al roce de la panícula con la mano. La precipitación anual de la zona es de 1753.9 mm, con una temperatura de 27.6°C y humedad relativa anual de 68.8% (INETER, 1998).

El trabajo de investigación se llevó a cabo en dos Fases. La Fase 1 consistió en realizar pruebas preliminares a las semillas de la especie en estudio, tales como pruebas de viabilidad, de contenido de humedad y pruebas de germinación, realizadas con el objetivo de obtener información básica, no encontrada en la literatura revisada, de la germinación de las semillas colectadas. La Fase 2 consistió en interrumpir por diversos métodos la dormancia de semillas de *E. colona* (L.) Link.



Figura 1. Planta de *Echinochloa colona* (L.) Link en el plantío de arroz donde fueron colectadas, enero, 2006. Malacatoya, Granada, Nicaragua.

Fase 1. Pruebas preliminares

Prueba de viabilidad: esta prueba se realizó de acuerdo al test de 2,3,5 cloruro de trifeniltetrazolium (TTC) (Sigma) propuesto por las reglas internacionales del ISTA (1996). El procedimiento consistió en introducir semillas en un recipiente con agua destilada por 18 horas, trascurrido este tiempo se realizó un corte transversal a las semillas para dejar expuesto el embrión. Posteriormente, estas semillas fueron colocadas en un recipiente conteniendo una solución de TTC (0.2%), durante 24 horas. Para esta prueba se hicieron cuatro réplicas de 50 mitades de semilla cada una.

El porcentaje de viabilidad para cada réplica se determinó a través de la siguiente fórmula (Fernández y Johnston, 1986):

$$\text{Viabilidad (\%)} = \frac{\text{(Mitades en tinción)}}{\text{Mitades totales}} * 100$$

De un promedio de las cuatro réplicas se obtuvo un porcentaje definitivo de la viabilidad de las semillas de *E. colona*.

Contenido de humedad: para esta prueba se utilizó el método del horno propuesto por las reglas internacionales del ISTA (1996). Se utilizaron dos niveles de temperatura para secar las semillas, una temperatura alta constante (130°C durante 4 horas) y una temperatura baja constante (103°C durante 23 horas). Pero, adicionalmente se utilizó una temperatura de 60°C por 48 horas. Para cada nivel de temperatura se establecieron dos réplicas de 7.5 g cada una. Las muestras sometidas a 130°C fueron pesadas cada hora; a las 2, 5, 8, 11, 14, 17, 20 y 23 horas, fueron realizadas las pesadas de las muestras colocadas a 103°C; mientras que a las muestras sometidas a 60°C se le realizaron a las 6, 12, 18, 24, 36 y 48 horas.

Se seleccionó la temperatura de 60°C debido a experiencias previas por parte de investigadores del REGEN, en ensayos con semillas de pitahaya (*Hylocereus undatus* L.), especie que en su germinación aún mantiene comportamiento similar al de semillas silvestres. Ellos observaron germinación de esta especie aunque las semillas hubieran sido previamente secadas a 60°C.

El contenido de humedad (%) para cada muestra fue calculado según lo recomendado por ISTA, (1996):

$$\frac{M_2 - M_1}{M_2 - M_1} * 100$$

M_1 = Peso en gramos del contenedor y su tapa; M_2 = Peso en gramos del contenedor, su tapa y la muestra antes de secada; M_3 = Peso en gramos del contenedor, su tapa y muestra después del secado.

Prueba de germinación. las pruebas de germinación fueron realizadas en placas petri, en cada placa fueron colocadas 25 semillas de *E. colona* (L.) Link (Figura 2). Se determinaron tres condiciones para germinar: papel filtro, sustrato BIO-GREEN® (pH 7-8.5, a base de gallinaza), y BIO-GREEN® colocado previamente en autoclave durante 25 minutos a una presión de 15 lb/pulg² y 121°C de temperatura para eliminar posible actividad biológica. Adicionalmente, se estudió el factor posición de las semillas siendo superficial y enterrada (semillas colocadas entre dos papeles filtro). En todas las pruebas de germinación realizadas, Fase 1 y Fase 2, del estudio se adicionó agua destilada y esterilizada en cantidad suficiente para garantizar la capacidad de campo (CC), de acuerdo a pruebas realizadas previamente. En la Fase 1, la interacción de las condiciones utilizadas resultó en 6 tratamientos, y se realizaron cuatro réplicas por tratamiento, para un total de 24 tratamientos.

Finalmente, los tratamientos fueron introducidos en una cámara de germinación (Chelean, International INC, modelo 1 000) a una temperatura de 26°C durante treinta días en condiciones de oscuridad; cada cinco días se observó la germinación. Condiciones de germinación similares fueron reportadas por Noronha *et al.*, (1997), quienes estudiaron dormancia en semillas de diferentes especies de malezas.

El diseño utilizado para esta prueba fue un DCA (Diseño Completo al Azar) para un bifactorial, condición de siembra (Factor A) y posición de la semilla (Factor B).

Prueba de germinación con semillas precalentadas.

Se utilizaron temperaturas de 60°C por 48 horas y 130°C por 4 horas, para precalentar las semillas. Los contenedores de vidrio (uno para cada temperatura con 600 semillas) fueron colocados en los hornos (Fisher Scientific, modelo 655G) correspondientes y previamente calibrados a las temperaturas mencionadas. Posteriormente, las semillas provenientes de cada temperatura, fueron colocadas en las condiciones de germinación descritas en la prueba anterior. La germinación, para cada tratamiento fue determinada realizando observaciones cada cinco días por un periodo de treinta días.



Figura 2. Semillas de *E. colona*, colocadas en placas petri y sobre papel filtro humedecido, en cámara de germinación a 26° C.

Fase 2. Evaluación de métodos de interrupción de dormancia en semillas de *E. colona* (L.) Link.

Fueron evaluados ocho tratamientos para interrumpir la dormancia en *E. colona* (L.) Link, situados en dos niveles de temperatura (20°C y 26°C), más un tratamiento como testigo (al ambiente). En cada uno de los tratamientos utilizados fueron colocadas 120 semillas:

a) Agua hirviendo. Fueron sumergidas las semillas, durante 30 minutos, manteniéndolas en agitación constante.

b) Ácido sulfúrico (60% V/V). Se colocaron las semillas durante 30 minutos, en un vaso de precipitado en el que se vertió la cantidad de ácido sulfúrico suficiente para cubrirlas. Transcurrido este tiempo las semillas se enjuagaron con agua destilada esterilizada, repitiendo las veces necesarias para limpiar todo residuo del ácido.

c) Escarificación mecánica. Las semillas fueron frotadas con lijas granuladas con el objetivo de romper la cubierta de las mismas. La actividad duró hasta cumplir con el objetivo.

d) Etanol (0.5 M). Las semillas fueron sumergidas en una solución de Etanol (0.5 M), en la que permanecieron durante tres días. Posteriormente, fueron lavadas con agua destilada esterilizada para eliminar todo residuo de la solución.

e) Luz continua. Se colocaron, las semillas correspondientes, en cada placa petri con papel filtro

humedecido con 2 mL de agua estéril. A continuación se procedió a introducir las placas petri en la cámara de germinación, en condiciones de luz blanca fluorescente.

f) Estratificación más luz continua. Se colocaron las semillas sobre placas petri, luego se agregaron 14 g de BIO-GREEN®, a continuación se adicionaron a cada placa petri 15 mL de agua destilada esterilizada. Seguidamente, las placas fueron introducidas a la cámara de germinación en condiciones de luz blanca fluorescente.

g) Estratificación más cinco segundos de luz. Después de preparar las placas petri con el sustrato de la manera descrita en el inciso f, y previo a enterrar las semillas de cada placa, éstas fueron expuestas cinco segundos a luz blanca fluorescentes. Finalmente, se envolvieron en papel aluminio (condiciones de oscuridad).

h) Etanol (0.5 M) más luz roja. Se colocaron 120 semillas en un vaso de precipitado donde se vertió la cantidad de alcohol necesaria para cubrirlas. Las semillas permanecieron en la solución durante tres días. Posteriormente, fueron lavadas con agua destilada esterilizada para eliminar todo residuo de la solución y después se colocaron en placas petri que fueron envueltas con papel celofán de color rojo (dos capas) para obtener, al iluminar, una longitud de onda de 580-680 nm (Fernández y Johnston, 1986). Finalmente, se procedió a introducir las placas en la cámara de germinación acondicionada con luz blanca fluorescente.

Descripción del tratamiento control. Se colocaron las semillas en placas petri sin realizar ningún tratamiento antes de ser colocadas a germinar. Este tratamiento fue utilizado para comparar el comportamiento de las semillas a los diferentes métodos de interrupción de dormancia.

En todos los casos, se prepararon tres réplicas para cada tratamiento, posterior al mismo se trasladaron las semillas a cada placa petri y se colocaron 20 semillas sobre papel filtro previamente humedecido con 2 mL de agua destilada esterilizada. Finalmente, las placas fueron introducidas en una cámara doble de germinación previamente calibrada a la temperatura correspondiente.

En la Fase 2 se midió la germinación, realizándose observaciones a los 8, 16 y 24 días, por réplica en cada tratamiento. Las placas petri con semillas que no se les aplicó tratamiento con luz se les envolvió con papel

aluminio, previo a la introducción de éstos a la cámara, para mantenerlos en condiciones de oscuridad.

El diseño experimental fue un DCA para un bifactorial, los factores evaluados fueron, A: métodos de interrupción de dormancia y B: temperatura, más un testigo relativo.

Análisis estadístico. A partir de los datos de germinación se determinó el porcentaje y la tasa de germinación. La que fue obtenida en base a la siguiente fórmula:

Tasa de germinación = germinación total/total de días de observación. Se aplicó prueba de ANDEVA y separación de medias por DUNCAN ($\alpha=0.05$). Se utilizó el software SAS (v. 9.1).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

FASE 1

Prueba de viabilidad. Las semillas de *E. colona* (L.) Link mostraron altos porcentajes de viabilidad. Los valores obtenidos fueron de 84 y 86% respectivamente para las réplicas 1 y 4, mientras las réplicas 2 y 3 presentaron un 100% de viabilidad.

El resultado de esta prueba indica que el embrión de las semillas está vivo, lo que se corresponde con la tinción observada en la Figura 3. La tinción de los tejidos de la semilla permite visualizar el embrión axial lineal, elongado y teñido por la solución de TTC, indicando de esta manera la actividad bioquímica presente en la semilla y su potencial para producir una plántula normal (ISTA, 1996). Se ha reportado que este tipo de embriones usualmente presenta requerimientos de luz (Flores, 1989).

Por otro lado, Bradbeer (1988) menciona que cuando en más del 90% de las semillas sometidas a la prueba de TTC se observa una intensa tinción, es posible asegurar, en el caso de cultivos, un excelente establecimiento en el campo. Así que los valores obtenidos en la prueba de viabilidad, podrían hacer deducir el comportamiento de *E. colona* en campo.

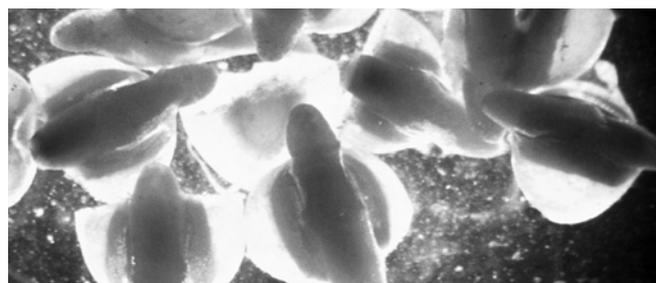


Figura 3. Semillas viables y embrión axial lineal de *E. colona*, teñidas con TTC (0.2%). Microscopio electrónico 10x.

Pérdidas de agua. Las pruebas realizadas para determinar humedad siguiendo la metodología del ISTA (1996) no dieron los resultados deseados. Aunque después de dos horas de exposición a 130°C (datos no mostrados), el contenido de humedad encontrado en las semillas se estabiliza aproximadamente a 10.36%, sin embargo, a temperatura de 103°C no fue posible observar un comportamiento similar (Figura 4). Por estos resultados diferentes, además porque no se encontró información en la literatura disponible respecto al uso de estos métodos en semillas de malezas, no es posible aún, recomendar el uso del método a temperatura alta constante, 130°C por 4 horas, para determinación de humedad en este tipo de especie.

La exposición de semillas a 60°C fue de interés principalmente para obtener información sobre la capacidad de *E. colona* (L.) Link para germinar. Pero, adicionalmente se intentó corroborar si esta temperatura también podría ser utilizada para diseñar una metodología de determinación de contenido de humedad en especies de malezas. A este respecto, se observó que las semillas secadas a temperatura de 60°C y 130°C dejan de perder humedad en determinado tiempo, y ésta se establece en un mismo valor (10.36%), no obstante, más estudios serán necesarios en este tema.

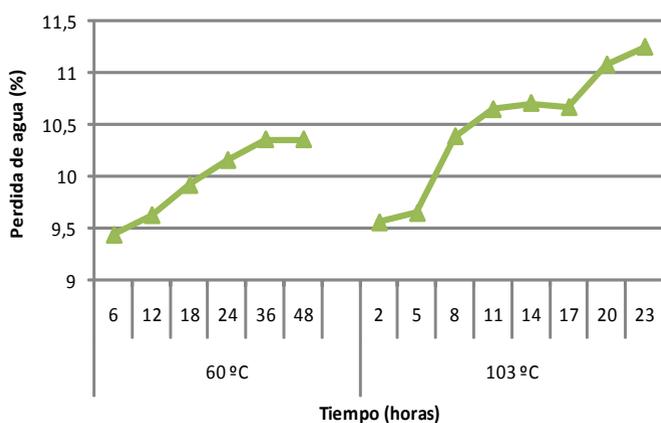


Figura 4. Variación del contenido de humedad en semillas de *E. colona* secadas a 60°C y 103°C.

Pruebas de germinación. No se observó germinación en los resultados de esta prueba, por lo que no se realizó ningún análisis estadístico. Aunque, este resultado sugiere que las condiciones de las pruebas no son favorables para la germinación de *E. colona* (L.) Link, sin embargo, en similares condiciones de estratificación, papel filtro y turba en oscuridad, Noronha *et al.*, (1997) encontraron una reducción del 75 % en la germinación de semillas de la maleza *Stellaria media* lo que ejemplifica la variedad de respuestas de especies arvenses.

Por otro lado, Pons (1982) no encontró germinación de *E. colona* (L.) Link, al enterrar la semilla a 2 cm en suelo embebido hasta la superficie, lo que se asemeja al comportamiento reflejado por las semillas de nuestro estudio, al haber sido enterradas en el sustrato agregando agua a CC. Es probable que con este comportamiento las semillas de *E. colona* (L.) Link estén mostrando la presencia de dormancia o una dependencia a concentraciones específicas de oxígeno para germinar (Mujer *et al.*, 1993).

Pruebas de germinación con semillas sometidas a precalentamiento. Como se mencionó antes, las pruebas realizadas a 60°C fueron con el interés de observar si las semillas de esta maleza tendrían posibilidades de germinar. En los resultados obtenidos se observó, en semillas secadas a 60°C durante 48 horas, un 4% de germinación bajo condiciones en las que las semillas estaban sobre la superficie de papel filtro, y un 1% en el tratamiento donde las semillas fueron colocadas entre papel filtro. Estos resultados podrían mostrar de manera discreta un posible efecto positivo del precalentamiento de las semillas de *E. colona* (L.) Link, con respecto a la germinación. Diferentes autores (Ascard, 1998; Rask y Kristoffersen, 2007) han reportado un efecto favorable de tratamientos térmicos al beneficiar el crecimiento de algunas especies de pastos y dicotiledóneas.

Aunque estos datos no fueron suficientes como para realizar un análisis estadístico, sin embargo, el comportamiento observado sugiere que las semillas de esta especie pueden perder cierta cantidad de humedad y aún preservar la necesaria para la actividad metabólica interna, posiblemente como parte de su estrategia de sobrevivencia en el medio ambiente donde se encuentre. Adicionalmente, se puede pensar que el hilio de las semillas de esta especie se cierra evitando que se pierda humedad y se ponga en peligro la vida de la misma, estrategia de sobrevivencia que se conoce existe en algunas especies tolerantes a la sequía.

Los resultados obtenidos en las dos pruebas anteriores corroboran, como se había previsto, que la germinación de *E. colona* (L.) Link está regulada por la combinación de una serie de factores o características y posiblemente por la presencia de dormancia. Es probable que la ausencia de luz haya incidido en la falta de germinación o que las condiciones no hayan sido las favorables para germinar, lo que puede inducir a una dormancia secundaria en las semillas de esta especie; Foley (2001) menciona que la dormancia secundaria en semillas resulta usualmente de la exposición de las mismas, durante períodos prolongados, a condiciones desfavorables para la germinación.

Los resultados de la Fase 1 y la posible presencia de dormancia en las semillas de *E. colona* utilizadas en nuestro estudio, fundamentan la Fase 2 de este estudio.

FASE 2 Evaluación de métodos de interrupción de dormancia en semillas de *E. colona* (L.) Link. El ANDEVA realizado al porcentaje de germinación muestra diferencias estadísticas para el factor interrupción de dormancia ($p = <0.0001$), mientras que para el factor temperatura no muestra diferencias ($p = 0.3153$), así de igual manera para la interacción de ambos factores con una probabilidad de 0.3599.

Tabla 1. Valores de $Pr > F$ para las variables porcentaje y tasa de germinación en cada factor en estudio

Factores de Estudio	Porcentaje de Germinación (Pr>F)	Tasa de Germinación (Pr>F)
MID	<0.0001	<0.0001
Temperaturas	0.3153	0.3153
Interacción		
*MID - Temperatura	0.3599	0.3599

*MID = métodos de interrupción de dormancia.

Los resultados de la prueba DUNCAN para las variables tasa y porcentaje de germinación, señalan que los mejores tratamientos para la interrupción de dormancia fueron etanol (0.5 M) más luz roja continua, y el tratamiento luz continua.

Se observa (Figura 5) como los resultados de germinación (%) de las semillas de *E. colona* (L.) Link en los tratamientos Etanol (0.5 M) más luz roja, y luz continua; sugieren que esta especie necesita el factor luz para que la semilla germine lo que coincide con lo postulado por Holm et. al., (1977). Por su respuesta a este factor las semillas de esta especie se pueden clasificar como fotoblásticas positivas (Bradbeer, 1988), o fotolátentes (Salisbury y Ross, 1992). La respuesta positiva de la germinación, que observamos en las semillas de *E. colona* (L.) Link expuestas al tratamiento con etanol se podría explicar por el efecto de este compuesto en el mejoramiento de la permeabilidad de las cubiertas y membranas de las semillas (Khan 1975; Khan 1977).

La respuesta observada en los tratamientos de ácido sulfúrico y escarificación mecánica, también sugieren algún efecto en las cubiertas de las semillas que mejoró la permeabilidad de éstas. Los resultados obtenidos en los dos tratamientos de estratificación en presencia de luz son similares a los observados en las pruebas de

germinación en oscuridad con este mismo sustrato (BIO-GREEN®). Tal comportamiento indica que probablemente el sustrato utilizado posee algún compuesto o quizás posibles metabolitos que ocasionaron un efecto inhibitorio de la germinación. En contraste, es importante destacar que algunos investigadores han señalado un efecto activador de las sustancias fenólicas presentes en el humus, sobre la respiración y el metabolismo vegetal (Primavesi, 1982). Benvenuti (2003), reportó en sus pruebas de laboratorio con *Datura stramonium* L. que las propiedades físicas del sustrato tienen un fuerte efecto sobre la ecología de las semillas de malezas y consecuentemente sobre la dinámica de los bancos de semillas de los agroecosistemas; pero, son necesarios más estudios que confirmen los resultados obtenidos con semillas de *E. colona* (L.) Link.

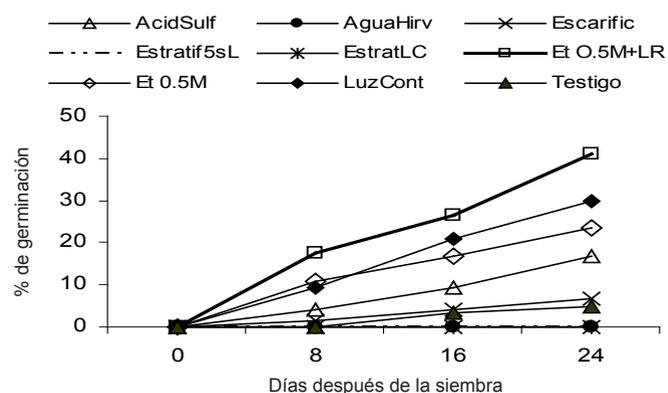


Figura 5. Porcentaje de germinación de semillas de *E. colona* (L.) Link sometidas previamente a diferentes métodos de interrupción de dormancia.

En el tratamiento con agua hirviendo, no se observó germinación de las semillas estudiadas, lo cual coincide con los resultados de Kristoffersen *et al.*, (2007) quienes reportaron la importancia de combinar el tratamiento térmico con métodos físicos de remoción de malezas e intervalos de aplicación para obtener en campo resultados significativos de control de las mismas.

No obstante, de acuerdo con Camacho (1994), los mecanismos de impermeabilidad y fotolátencia (fotoblastismo positivo) mostrados por las semillas de *E. colona*, podrían ser indicios de que esta especie posee una dormancia fisiológica leve, y es posible que pueda inducirse una dormancia secundaria, si las semillas no reciben la señal o señales externas necesarias para germinar (Copeland, 1976; Hartman y Kester, 1976; Jann y Amen, 1977). De manera que los resultados de nuestra investigación permiten postular y alertar sobre la presencia de una dormancia secundaria en las semillas de *E. colona* estudiadas.

Bleasdale (1977) menciona que la importancia de la dormancia secundaria radica en que es un mecanismo que impide que las semillas pierdan viabilidad en un medio que propicia su muerte y puede presentarse en semillas de cultivos bajo condiciones de suelos encharcados, siembra profunda, y altas temperaturas. Las semillas de *E. colona* (L.) Link utilizadas en nuestro estudio provienen de campos cultivados con arroz, de manera que esta arvense podría entonces estar utilizando la dormancia secundaria no sólo para garantizar su sobrevivencia aprovechando las condiciones del cultivo sino también para asegurar la distribución de su germinación en el tiempo.

El posible efecto inductor de la luz que parecen presentar las semillas estudiadas aquí se complementa con lo reportado por Ramakrishnan (1960) quien menciona que en condiciones de oscuridad la interrupción de dormancia y la estimulación de la germinación en semillas de *E. colona* (L.) Link no ocurre. Recientemente, se ha señalado que la luz como estimulante de la germinación colabora en la eliminación de la dormancia secundaria de las semillas (Matilla, 2008).

Los tratamientos Etanol (0.5 M) más luz roja y luz continua obtuvieron su mayor tasa de germinación entre los 8 y 16 días después de la siembra (Figura 6), lo que hace pensar que si este comportamiento pudiera extrapolarse a campo se podría creer que esta especie puede alcanzar su mayor población en el período de tiempo observado en este estudio. Se ha propuesto que la elaboración de modelos que predicen el porcentaje de plántulas de una maleza que se producirá a partir de una determinada población de semillas, permitirán decidir con mayor exactitud el momento correcto para la aplicación de algún método de control (Benech et al., 1990).

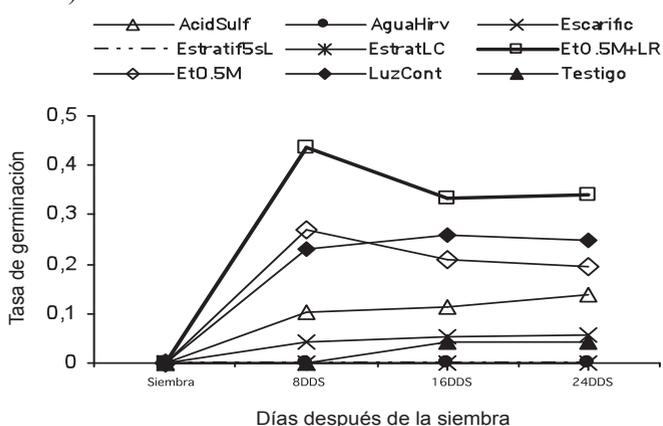


Figura 6. Tasa de germinación de semillas de *E. colona* (L.) Link sometidas a diferentes métodos de interrupción de dormancia.

Lo anterior concuerda con lo observado por Evert Ocón^{2*} (2006), quien indicó que esta especie a los dieciséis días después de germinada alcanza una población suficiente en campo como para afectar el cultivo del arroz. Esto justifica aún más la necesidad de profundizar los estudios de laboratorio y de realizar investigaciones en campo que permitan identificar las fases del ciclo de vida en que esta maleza puede ser más vulnerable a diversas tácticas de control ecológico. En la semilla se reflejan todos los procesos adaptativos de las plantas superiores, de manera que profundizar el conocimiento acerca de los índices poblacionales de una determinada maleza es crucial para el agrónomo que intente realizar un manejo ecológico de estas especies.

Con los resultados obtenidos hasta el momento es posible postular que para el manejo ecológico de *E. colona* (L.) Link es importante controlar esta especie en los primeros dieciséis días después de su emergencia, controlando su mayor población, y evitando así la competencia de esta especie (por luz, agua, nutrientes) durante el establecimiento y desarrollo del cultivo.

Adicionalmente, para idear un control ecológico de esta especie se deben tomar en consideración aquellas labores que permiten simular condiciones de oscuridad en campo. Como ejemplo, puede pensarse en una variedad de arroz de crecimiento rápido, que cierre calle y origine así condiciones de oscuridad que impidan una mayor germinación de *E. colona*. Incluso podría también estudiarse la posibilidad de adicionar al suelo algún tipo de materia orgánica o realizar pastoreo para crear una capa que cubra superficialmente el mismo e inhiba el crecimiento de semillas de esta maleza. El uso de coberturas es una importante alternativa para el control de malezas en los cultivos y existen estudios que han señalado los diversos efectos positivos de tipo físico, químico y biológico que se generan en el agroecosistema (Erenstein, 2002).

CONCLUSIONES

Las pruebas preliminares de germinación, Fase 1, corroboraron la presencia de dormancia en semillas de *Echinochloa colona* (L.) Link y condujeron a identificar en ellas un embrión axial lineal. En la Fase 2, se detectó que el mejor tratamiento de interrupción de dormancia fue etanol (0.5 M) más luz roja, lo cual sumado a la presencia del embrión axial lineal, permiten postular la importancia del factor luz en la germinación de esta arvense.

² Ing. Agrónomo, especialista en arroz, comunicación personal

El comportamiento del porcentaje y tasa de germinación observados ante los tratamientos con luz y escarificación química permitieron identificar una dormancia fisiológica leve y postular la capacidad de estas semillas para desarrollar una dormancia secundaria. Adicionalmente, aunque el tratamiento con agua hirviendo afectó negativamente la germinación, no obstante, se observó una ligera repuesta positiva (1 - 4%) cuando las semillas fueron previamente expuestas a 60°C. Los resultados conducen a pensar que existe un complejo mecanismo de sobrevivencia presente en las semillas *E. colona* (L.) Link, probablemente como una estrategia que asegure su sobrevivencia en los campos y su distribución en el tiempo.

Los resultados que hemos obtenido permiten señalar la importancia de tener en cuenta el profundizar en el conocimiento de la regulación de la germinación de las semillas de *E. colona* (L.) Link para idear estrategias o métodos de control ecológicos, que permitan manejarla y no necesariamente erradicarla de los campos, y que al ser amigables con el ambiente contribuyan a reducir los riesgos de contaminación de reservorios o fuentes de agua y a mantener o incrementar la calidad de los suelos.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al programa de apoyo al Consejo de Investigación de la Universidad Nacional Agraria (PACI) y al gobierno y pueblo de Suecia, por el apoyo económico brindado para llevar a cabo este trabajo de investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ascard, J. 1998. Comparison on flaming and infrared radiation techniques for termal weed control. *Weed Research* 38:69-76.
- Baker, H. 1974. The evolution of weed. *Annals Review Ecological Systems* 5:1-24.
- Benech Arnold, R.L.; Ghersa, C.M.; Sánchez, R.A.; Insausti P. 1990. A mathematical model to predict Sorghum halepense (L) Pers seedling emergence in relation to soil temperature. *Weed research* 30:91-99
- Benvenuti, S. 2003. Soil texture involvement in germination and emergence of buried weed seeds. *Agrono. J.* 95:191-198.
- Bleasdale, K. 1977. Plant physiology in relation to the horticulture. The Avi Publishing Company. (EEUU). 2-22 p.
- Bond, W. y Grundy, A. 2001. Non-chemical weed management in organic farming systems. *Weed Research* 41:383-405.
- Bradbeer, J. 1988. Seed dormancy and germination. Chapman and Hall, New York. 66, 100 p.
- Camacho, M. 1994. Dormición en semillas: causas y tratamientos. Ed. Trillas. México. 125 p.
- Copeland, L. 1976. **Principle of seed science and technology.** Burger Publishing Company (EEUU). 369 p.
- Erenstein, O. 2002. Crop residue mulching in tropical and semitropical countries: An evaluation residues availability and others technological implications. *Soil and Tillage Research* 67:115-133
- Fernandez, H. y Johnston, M. 1986. Fisiología Vegetal Experimental. IICA, serie de libros y materiales educativos # 58. San José (Costa Rica). 347, 408, 409 p
- Flores, E. 1989. La Planta: Estructura y Función". Primera edición, Editorial Tecnológico de Costa Rica (C.R.). 450-451 p.
- Foley, M. 2001. Seed Dormancy: an update terminology, physiological, genetics and quantitative trait loci regulating germinability. *Weed Science* 49:305-317.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 1996. Weed management in rice. FAO. Technical papers plant productions and protection. Paper # 139. Rome (Italia). 9, 10, 11-17 p.
- Hartmann, H. y Kester, D. 1976. Propagación de plantas, principios y practicas. CECSA, México. 809 p.
- Holm, L; Plucknett, D.; Pancho, J; Herberger, JP. 1977. The world's worst weed: distribution and Biology. Honolulu (Hawaii). 41-46 p.
- Instituto Nicaraguense de Estudios Territoriales (INETER). 1998. Direccion de Meteorologia. Managua (Nicaragua). 1-4 p.

- International Seed Testing Association (ISTA). 1996. *International Rules for seed testing*. Zürich, Switzerland. 6:203-245; 9:49-52.
- Jann, R. y Amen, D. 1977. What is germination?. In *Physiology and Biochemistry of seed dormancy and germination*. Elsevier/ North Holland Biomedical Press, Holland. 7-27 p.
- Khan, A. 1975. Primary, preventive and permissive role hormonal in plants systems". *Bot. Rev.* 41:391-420.
- Khan, A. 1977. *Physiology and Biochemistry of seed dormancy and germination*. Elsevier North Holland Biomedical Press, Holland. 29-49, 283-316 p.
- Kristoffersen, P; Rask, AM; Larsen SU. 2007. Non-chemical weed control on traffic islands: a comparison of the efficacy of five weed control techniques. *Weed Research* 48:124-130
- Liebman, M; Moler CL; Staver, CP. 2001. *Ecological management of agricultural weeds*. Cambridge: Cambridge University press. 532 p.
- Lovett, J. 1991. Changing perceptions of allelopathy and biological control. *Biological Agriculture and Horticulture*. 8:89-100.
- Matilla, A. 2008. Desarrollo y germinación de las semillas. In *Fundamentos de Fisiología Vegetal 2.ª Edición*. Coordinación J. Azcón-Bieto y M. Talón. McGRAW-HILL INTERAMERICANA DE ESPAÑA p. 549
- Mujer, C; Rumpho, M; Jih Jing, L; Kennedy R. 1993. Constitutive and inducible aerobic and anaerobic stress proteins in the *Echinochloa* complex and rice. *Plant Physiol.* 101:217-226.
- Noronha, A; Andersson, L; Milberg, P. 1997. Rate of change in Dormancy level and light requirement in weed seeds during stratification. *Annals of Botany* 80:795-801.
- Pons, T. 1982. Factors affecting weed seed germination and seedling growth in lowland rice in Indonesia. *Weed Research* 22:155-161.
- Primavesi, M. 1982. *Manejo ecológico del suelo*. Libreria Novel, S. A. Sao Paulo. Brasil. Quinta Edición, 499 p.
- Ramakrishnan, P. 1960. Ecology of *Echinochloa colonum* Link. *Indian Academy of Science Proceeding B.* 52:73-90.
- Rask, AM. y Kristoffersen, P. 2007. A review of non-chemical weed control on hard surfaces. *Weed Research* 47:370-380.
- Salisbury, F. y Ross, C. 1992. *Fisiología Vegetal*. Editorial Iberoamericana. México D.F., México. 501 p.
- Valverde, E. 1996. Management of herbicide resistant weeds in Latin America: The case of propanil-resistant *Echinochloa colona* in rice. In *Proceeding 1996 Second International Weed Control Conference*. Copenhagen, Denmark, 415-420 p.
- Valverde, E. Riches, Ch; Caseley, J. 2000. Prevención y manejo de malezas resistentes a herbicidas en arroz: Experiencias en Centro América con *Echinochloa colona* L. Primera edición, San José, Costa Rica. 24-25 p.