

Evaluación de diferentes métodos para la ruptura de la latencia en la semilla de la maleza del arroz,  
zacate manchado (*Ischaemum rugosum*) Salisb.

Mary Pamela Portuguez García

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE PROFESIONAL DE INGENIERO AGRÓNOMO CON EL  
GRADO DE LICENCIADO EN AGRONOMÍA

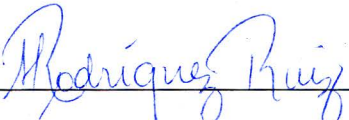
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS  
ESCUELA DE AGRONOMÍA

2017

Evaluación de diferentes métodos para la ruptura de la latencia en la semilla de la maleza del arroz,  
zacate manchado (*Ischaemum rugosum*) Salisb.

Mary Pamela Portuguez García

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE PROFESIONAL DE INGENIERO AGRÓNOMO CON EL  
GRADO DE LICENCIADO EN AGRONOMÍA

  
\_\_\_\_\_


M.Sc. Ana María Rodríguez Ruiz

DIRECTORA DE TESIS

  
\_\_\_\_\_

Ph.D. Franklin Herrera Murillo

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

  
\_\_\_\_\_

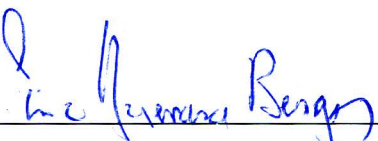
M.Sc. Carolina Porras Martínez

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

  
\_\_\_\_\_

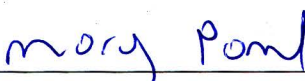
Lic. Paúl Solórzano Cascante

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

  
\_\_\_\_\_

Ph.D. Eric Guevara Berguer

DIRECTOR DE ESCUELA

  
\_\_\_\_\_

B.Sc. Mary Pamela Portuguez García

SUSTENTANTE

## DEDICATORIA

A Dios todo poderoso por darme la fuerza, todas las bendiciones y ser el motor de mi vida.

A mi familia, mis padres Silvia García Jiménez y Paul Daniel Portuguez Méndez, mis hermanos Paul, Paula, Niamh, Gabriel Portuguez García, a mis sobrinas Samanta y Zoe y a mi sobrino Luciano y a mis abuelas, primas y primos, tías y tíos, por ser la razón de mi vida y lo más valioso que tengo.

A todos los agricultores que día a día trabajan la tierra y nos proveen de alimentos.

## AGRADECIMIENTOS

A mi directora de tesis M.Sc. Ana María Rodríguez Ruiz, por confiar siempre en mí, agradezco que me haya dado la oportunidad de ejecutar este trabajo de investigación y además agradezco su amistad, apoyo, sus consejos, su colaboración, su buena disposición, su excelente manera de trabajar, su amabilidad y todo el conocimiento que me ha transmitido en el ámbito profesional. Todo este proceso de formación académica lo he logrado, en gran parte gracias a ella.

Al Dr. Franklin Herrera Murillo, como miembro de mi tribunal examinador por todo su apoyo incondicional, su buena disposición, su excelente forma de trabajar, su amistad, sus consejos, por transmitirme parte del conocimiento, gracias por formar parte de este trabajo de investigación, sin duda alguna, sin él no hubiese sido posible culminarlo.

A la M.Sc. Carolina Porras Murillo, como miembro de mi tribunal examinador. Agradezco su enorme apoyo para llevar a cabo este trabajo de investigación, agradezco su colaboración, sus buenos consejos, su excelente forma de trabajar, su buena disposición, su atención y todos los aportes que hicieron posible la culminación exitosa de este trabajo.

A la M.Sc. Maria Isabel González Lutz, le agradezco todo su enorme apoyo en la parte estadística de este trabajo así como otros aportes que hicieron posible la culminación exitosa del mismo. Agradezco su buena disposición, sus consejos, su amistad y todo su apoyo incondicional.

Al Lic. Paul Solorzano Cascante, como miembro de mi tribunal examinador, por ser parte de este proceso, por sus aportes y su buena disposición.

Al grupo de investigación de malezas de la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno (EEAFBM) a los profesores, Dr. Robin Gómez Gómez y Dr. Renán Agüero Alvarado, a los señores Juan Carlos Alfaro y Gerardo García, a los asistentes Pilar Castillo, Silvia Marín, Maria Castro y Eric Chavés por brindarme el apoyo necesario para llevar a cabo de forma exitosa este trabajo de investigación.

Al personal del Laboratorio Oficial de Análisis de Calidad de Semillas del Centro para Investigaciones en Granos y Semillas (CIGRAS).

A todas las personas que directa o indirectamente ayudaron llevar a cabo este proceso, a mi familia, a mis amigos, con apoyo incondicional.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	14
JUSTIFICACIÓN.....	15
OBJETIVO GENERAL.....	16
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
MARCO TEÓRICO.....	17
• Aspectos biológicos de <i>Ischaemum rugosum</i> Salisb.....	17
• Latencia y tipos de latencia.....	20
• Presencia de latencia en malezas.....	21
• Métodos de ruptura de latencia.....	22
• Modelo de Regresión logística.....	24
MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
• Localización del estudio.....	26

• Material experimental.....	26
• Metodología de los experimentos .....	27
• Variable respuesta .....	34
• Análisis estadístico .....	35
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
• Experimento 1. Influencia de diferentes porcentajes de sombra sobre la germinación del zacate manchado ( <i>I. rugosum</i> ). .....	36
• Experimento 2. Evaluación del efecto del nitrato de potasio (KNO <sub>3</sub> ) sobre la germinación del zacate manchado ( <i>I. rugosum</i> ). .....	42
• Experimento 3. Influencia de la temperatura en la germinación del zacate manchado ( <i>I. rugosum</i> ). .....	44
• Experimento 4. Efecto de diferentes grados de temperatura del agua de imbibición sobre la germinación del zacate manchado ( <i>I. rugosum</i> ).....	47
• Experimento 5. Obtención de la curva de imbibición en semillas del zacate manchado ( <i>I. rugosum</i> ) escarificadas y no escarificadas.....	50
DISCUSIÓN GENERAL.....	51
CONCLUSIONES .....	53
LITERATURA CITADA.....	54

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Descripción de los tratamientos empleados en el experimento realizado en la estación seca. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica, 2016. ....	27
<b>Cuadro 2.</b> Descripción de los tratamientos empleados en el experimento realizado en la estación transición a lluviosa. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica, 2016.....	28
<b>Cuadro 3.</b> Características químicas del suelo empleado en el primer experimento realizado en la estación seca y en la estación de transición a lluviosa. Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA), San José, Costa Rica, 2016.....	30
<b>Cuadro 4.</b> Descripción de los tratamientos empleados para medir el efecto del tipo de sustancia y tiempo de imbibición sobre la germinación de la semilla de <i>I. rugosum</i> . CIGRAS, San José, Costa Rica, 2016.....	31
<b>Cuadro 5.</b> Descripción de los tratamientos empleados para estimular la germinación en <i>I. rugosum</i> bajo condiciones controladas. CIGRAS, San José, Costa Rica, 2016. ....	32
<b>Cuadro 6.</b> Temperaturas del agua de imbibición para estimular la germinación en <i>I. rugosum</i> bajo condiciones controladas. CIGRAS, San José, Costa Rica, 2016. ....	33
<b>Cuadro 7.</b> Descripción de los tratamientos empleados en el experimento número cinco para realizar la curva de imbibición de <i>I. rugosum</i> . CIGRAS, San José, Costa Rica, 2016.....	34
<b>Cuadro 8.</b> Efectos y probabilidades asociadas con la germinación de <i>I. rugosum</i> a los 15 dds del experimento efectuado en la estación seca. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica, 2016. ....	36

<b>Cuadro 9.</b> Efectos y probabilidades asociadas a la germinación de <i>I. rugosum</i> a los cuatro dds y 15 dds, experimento efectuado en estación transición a lluviosa. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica, 2016.	36
<b>Cuadro 10.</b> Proporción de semillas germinadas de <i>I. rugosum</i> en las escarificadas y en las no escarificadas de acuerdo con los porcentajes de sombra empleados en el experimento realizado en la estación seca a los 15 dds. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica, 2016.	37
<b>Cuadro 11.</b> Proporción de semillas germinadas escarificadas o no escarificadas de acuerdo con los porcentajes de sombra empleados en en el experimento realizado en la estación transición a lluviosa. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica, 2016.	37
<b>Cuadro 12.</b> Razones de ventaja de germinación para semilla escarificada y semilla no escarificada bajo los porcentajes de sombra utilizados en el experimento realizado en la estación seca. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica, 2016.	39
<b>Cuadro 13.</b> Razones de ventaja de germinación para semilla escarificada y semilla no escarificada encontrada bajo los porcentajes de sombra utilizados en la estación transición a lluviosa. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica, 2016.	39
<b>Cuadro 14.</b> Promedio de temperatura, humedad relativa, radiación solar, el cociente de luz roja y roja lejana encontrada durante la estación seca. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica, 2016.	40
<b>Cuadro 15.</b> Promedio de temperatura, humedad relativa, radiación solar, el cociente de luz rojo y rojo lejano encontrada en época transición a lluviosa. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica, 2016.	41
<b>Cuadro 16.</b> Razones de ventaja y probabilidad asociada de acuerdo con el tratamiento empleado para realizar la imbibición en las semillas de <i>I. rugosum</i> . CIGRAS, San José, Costa Rica, 2016.	42



<b>Cuadro 17.</b> Efecto de la imbibición en agua y nitrato de potasio (KNO <sub>3</sub> ) a dos periodos, sobre la proporción de semillas germinadas de <i>I. rugosum</i> . CIGRAS, San José, Costa Rica, 2016.....	42
<b>Cuadro 18.</b> Razones de ventaja y probabilidades asociadas de acuerdo con las diferentes temperaturas utilizadas para estimular la germinación de <i>I. rugosum</i> . CIGRAS, San José, Costa Rica, 2016.....	44
<b>Cuadro 19.</b> Efecto de la temperatura empleada sobre la proporción de semillas germinadas de <i>I. rugosum</i> . CIGRAS, San José, Costa Rica, 2016.....	45
<b>Cuadro 20.</b> Razones de ventaja y probabilidades asociadas de acuerdo con los tratamientos de diferentes temperaturas del agua de imbibición para estimular la germinación de <i>I. rugosum</i> . CIGRAS, San José, Costa Rica, 2016.....	48
<b>Cuadro 21.</b> Efecto de la temperatura del agua de imbibición sobre la proporción de semillas germinadas de <i>I. rugosum</i> . CIGRAS, San José, Costa Rica, 2016.....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> A) Inflorescencias de <i>Ischaemum rugosum</i> que iniciaron la etapa de maduración. B) Espigas maduras. C) Espiguilla (semilla no escarificadas) D) Cariópsides (semillas escarificadas). .....	19
<b>Figura 2.</b> Definición de cada tipo de latencia y la manera de superarla. ....	21
<b>Figura 3.</b> Micro-túneles colocados en campo abierto para observar la influencia del porcentaje de sombra sobre la germinación de semillas escarificadas y no escarificadas de <i>I. rugosum</i> . EEAFBM, Alajuela, Costa Rica, 2016. ....	28
<b>Figura 4.</b> Unidad experimental empleada en el primer experimento. A) Semilla no escarificada. B) Semilla escarificada. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica, 2016. ....	29
<b>Figura 5.</b> Germinación alcanzada a los 15 dds en el tratamiento de semilla no escarificada con 30 % y 50 % de sombra. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica, 2016. ....	38
<b>Figura 6.</b> Germinación alcanzada en el tratamiento de semilla escarificada con 50 % de sombra durante la estación transición a lluviosa a los 4 dds (A) y a los 15 dds (B) y en el tratamiento de semilla escarificada con 70 % de sombra (sarán verde) a los 4 dds (C) y a los 15 dds (D). EEAFBM, Alajuela, Costa Rica, 2016. ....	38
<b>Figura 7.</b> Germinación alcanzada a los ocho dds en las 10 repeticiones de los tratamientos de imbibición por 16 h y 24 h en nitrato de potasio (KNO <sub>3</sub> ). CIGRAS, San José, Costa Rica, mayo 2016. ....	43
<b>Figura 8.</b> Germinación alcanzada a los 8 dds mediante la aplicación de los diferentes tratamientos de temperatura. CIGRAS, San José, Costa Rica, 2016. ....	45

<b>Figura 9.</b> Germinación alcanzada a los 8 dds mediante la aplicación de los tratamientos de temperatura del agua de imbibición. CIGRAS, San José, Costa Rica, 2016. ....	49
<b>Figura 10.</b> Tendencia muestral de la masa promedio a través del tiempo, en semilla de <i>I. rugosum</i> Escarificada o No escarificada. CIGRAS, San José, Costa Rica, 2016. ....	51

## RESUMEN

La maleza *Ischaemum rugosum* produce semillas en cantidad suficiente como para infestar un campo cultivado de arroz, sin embargo; su germinación es muy desuniforme debido a la presencia de latencia; proceso que afecta su manejo, a la vez que los trabajos de investigación sobre la misma. Para comprobar este fenómeno y lograr la ruptura de esta latencia se realizaron cinco experimentos de forma independiente y de este modo obtener métodos para estimular la germinación de las semillas, para luego poder utilizarlas en distintos trabajos. Las pruebas se realizaron entre febrero a julio del 2016. El primer experimento se realizó en campo abierto en la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno (EEAFBM) y los demás experimentos se ejecutaron en el Laboratorio Oficial de Análisis de Calidad de Semillas (CIGRAS), como variable de respuesta se realizó un conteo de semillas germinadas (del primer al cuarto experimento) y se determinó la masa (g) de las semillas escarificadas y no escarificadas (quinto experimento). El primer experimento se realizó en dos estaciones, en la seca y en la transición a lluviosa, la estación seca, se utilizaron los porcentajes de sombra: 0 %, 30 %, 50 %, 70 % (sarán verde) y 100 %, (sarán negro). En el primer experimento que se efectuó en la estación transición a lluviosa, se utilizaron los mismos porcentajes de sombra pero se cambió el sarán negro por 70 % (sarán blanco); en ambos experimentos se emplearon semillas escarificadas y no escarificadas. En el segundo experimento se probaron dos sustancias de imbibición (agua y nitrato de potasio) y dos tiempos de imbibición (16 horas y 24 horas) y un testigo sin imbibición. En el tercer experimento se sometieron las semillas durante tres semanas a cuatro regímenes de temperatura constante, un grupo de semillas se colocó a 15 °C, otro grupo a ciclos alternos de 15 °C (12 horas) y 30 °C (12 horas), otro grupo a 30 °C y un testigo a temperatura ambiente (alrededor de 26 °C). En el cuarto experimento las semillas se embebieron durante una hora en agua a temperatura ambiente (alrededor de 23 °C) y agua previamente calentada a 30 °C, 45 °C y 65 °C y se utilizó un testigo sin imbibición. En el quinto experimento se efectuó una curva de imbibición para semillas escarificadas y no escarificadas. En el primer experimento en ambas estaciones el efecto del porcentaje de sombra y la escarificación fueron significativos. En la estación seca el mejor tratamiento fue el uso de semillas no escarificadas y el 50 % de sombra, en la estación transición a lluviosa la mayor germinación se encontró inicialmente (4 dds) bajo el 50 % de sombra y con semilla escarificada y a los 15 dds se encontró con el porcentaje de sombra 70 % con el sarán verde y semilla escarificada, en este experimento se comprobó la influencia de la escarificación sobre la velocidad de germinación. En el segundo trabajo se encontró como mejor tratamiento 16 horas y 24 horas de imbibición con nitrato de potasio. Para el tercer experimento la temperatura fue un factor significativo, se obtuvieron altos niveles de germinación con las tres temperaturas empleadas, mientras que a 15 °C no hubo germinación. En tanto que en el cuarto estudio la temperatura en el agua fue un factor significativo, la mayor germinación ocurrió en el tratamiento con agua a temperatura ambiente, el uso de temperatura a 65 °C pudo causar la muerte del embrión. La

curva de imbibición demostró que el aumento de peso de las semillas ocurrió de forma similar en las semillas escarificadas y no escarificadas, el aumento fue ligeramente mayor en semillas escarificadas en comparación con las no escarificadas.

## INTRODUCCIÓN

El cultivo de arroz participa en un 2,5 % en la producción agropecuaria del país. Para el año 2016 se reportó una producción promedio de 203 931 toneladas métricas de arroz granza; para el 2016 se informó que habían 48 101 hectáreas cultivadas de arroz en el país, distribuidas en las regiones: Chorotega, Pacífico Central, Brunca, Huetar Norte y Huetar Atlántica (SEPSA, 2017).

El periodo de cultivo varía según la región donde es cultivado el grano; en la región Chorotega se establece en dos periodos, el primero comprende los meses de junio a agosto y el segundo de diciembre a marzo. En las regiones Pacífico Central, Brunca, Huetar Norte y Huetar Atlántica, también se cultiva arroz en dos diferentes periodos, el primero ocurre alrededor de los meses de abril a julio y el segundo se da aproximadamente en los meses de agosto a diciembre (Tinoco y Acuña, 2009).

La principal limitante en la producción de arroz es la presencia de malezas en el cultivo. Se estima que los daños directos por malezas rondan en un 15 %, superando las pérdidas causadas por insectos y enfermedades que son del 8 % y 7 % respectivamente (Smith, 1983; Smith, 1988 citado por Agüero, 1996; Valverde, 2000; Fuentes *et al.*, 2006).

En general, al inicio del ciclo del cultivo del arroz predominan especies competidoras de la familia Poaceae y más tarde especies de la familia Cyperaceae y de hoja ancha de diferentes familias. Se ha demostrado que la competencia al cultivo por parte de las especies de la familia Poaceae es más dañina que aquella causada por las ciperáceas y las de hoja ancha (Agüero, 1996).

Una de las principales poáceas que se encuentra asociada al cultivo del arroz en Costa Rica es *Ischaemum rugosum*, una maleza anual que afecta en especial al arroz de secano (Agüero, 1996; Tinoco y Acuña, 2009). Actualmente, se ha visto que esta maleza presenta problemas de resistencia a algunos de los herbicidas con que normalmente se controlaba, pero los estudios en este campo se han retrasado porque esta especie presenta problemas de latencia una vez que es recolectada para ser utilizada en estudios posteriores (Ortiz *et al.*, 2013).

La latencia en las malezas es bastante común y representa un problema para su manejo en el campo, porque provoca la germinación en forma discontinua. Dicho mecanismo constituye un método de sobrevivencia de las semillas en el suelo, mediante la formación del banco de semillas, el cual le confiere a las malezas la oportunidad de infestar sucesivamente el campo (Vargas, 1994; Labrada *et al.*, 1996).

La presencia de la latencia en *I. rugosum* está relacionada con la influencia de las glumas, las cuales impiden la germinación de las semillas una vez que las espiguillas se desprenden de la planta (Pabón, 1983; Jarma *et al.*, 2007; Marengo y Santos, 1999 y Awan *et al.*, 2014).

Varios estudios indican que para la ruptura de la latencia en *I. rugosum*, pueden emplearse métodos como la escarificación y la aplicación de sustancias metabólicas. Además, el proceso de germinación se encuentra relacionado con la cantidad de radiación solar que reciba la especie, debido a que dicha radiación es un estímulo necesario que permite que se dé la germinación en dicha maleza ya que se considera una especie fotoblástica. Otros factores que también pueden desencadenar la germinación de *I. rugosum*, son los regímenes de temperatura aplicados a las semillas (Pabón, 1983; Bakar y Nabi, 2003; Jarma *et al.*, 2007).

## JUSTIFICACIÓN

El arroz es un complemento fundamental en la alimentación de la población mundial y forma parte indispensable en la dieta de los costarricenses. Es preciso mencionar que una importante cantidad de personas dependen económicamente del cultivo del arroz, de este modo, con el propósito de mejorar la producción de este grano, se debe recurrir a la investigación de ciertos aspectos para abrir una posibilidad a la solución de las limitantes que se dan en este cultivo.

*I. rugosum* es una maleza que pertenece a la misma familia del arroz, lo que conlleva a que puede causar un mayor impacto al cultivo, en comparación con las malezas de otras familias. La aparición de *I. rugosum* en el cultivo es generalmente tardía, sin embargo logra sobrepasarlo y causar daños principalmente por competencia y volcamiento (Rodríguez, 2015 com. pers.). También, causa pérdidas por bajar calidad del grano, debido a que sus semillas se mezclan con las de arroz, y se hace difícil separarlas, lo cual disminuye el valor comercial del producto. *I. rugosum* es considerada huésped natural del virus del moteado del arroz (RYMV) (Konate *et al.*, 1997), el cual causa las agallas de la hoja del arroz y del maíz, y, del hongo *Pyricularia* sp. (Alghazali y Domingo, 1982 citado por Richards, 2015).

Dentro de las medidas que se toman para el control de *I. rugosum* está el uso del herbicida bispiribac sodio, no obstante, se ha presentado una limitante con respecto a su eficacia, la cual posiblemente se debe a la presencia de resistencia de estas plantas a dicho herbicida (Valverde, 2007; Hernández, 2011; Ortiz *et al.*, 2013). Para confirmar esto, es necesario someter las plantas a diversas pruebas pero para ello, primero se deben obtener poblaciones uniformes de *I. rugosum* (Heap, 2016).

La obtención de estas poblaciones se dificulta, ya que las semillas que se cosechan no siempre germinan (Vargas, 1994; Jarma *et al.*, 2007; Ortiz *et al.*, 2013). La no germinación de esta semilla puede estar asociada a procesos de latencia de la misma y/o a las condiciones de almacenamiento. En el caso del proceso de latencia bajo nuestras condiciones, no se ha encontrado un método eficaz para la ruptura de la misma (Vargas, 1994). Por lo tanto, se requiere disponer de un método que permita romper la latencia y así obtener poblaciones uniformes en cuanto a la densidad y estado de desarrollo de las plántulas.

De acuerdo con lo anterior, se pretende indagar sobre los posibles métodos o el método que determine la ruptura de la latencia en las semillas de *I. rugosum*, ya que, conociendo estos aspectos posteriormente se podrán llevar a cabo pruebas que permitan comprobar la ocurrencia o no de la resistencia de esta maleza al bispiribac sodio u otros herbicidas, y así establecer medidas acertadas dentro de un programa de manejo de malezas.

### **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar métodos para la ruptura de latencia en semillas de *I. rugosum* que permitan la germinación uniforme de estas en condiciones controladas.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Comparar la influencia de diferentes porcentajes de sombra sobre la germinación de semillas escarificadas y no escarificadas.
- Evaluar el efecto del nitrato de potasio sobre la germinación.
- Comprobar la influencia de cuatro regímenes de temperatura sobre la germinación.
- Probar el efecto que tienen diferentes temperaturas del agua de imbibición sobre la germinación.
- Obtener la curva de imbibición en semillas escarificadas y no escarificadas.



## MARCO TEÓRICO

### Aspectos biológicos de *Ischaemum rugosum* Salisb.

- Taxonomía

Reino: Vegetal; Subreino: Traqueobionta; Superdivisión: Angiosperma; División: Magnoliophyta; Clase: Monocotyledonae; Subclase: Commelinidae; Orden: Poales; Subfamilia: Panicoideae; Tribu: Andropogoneae; Género: *Ischaemum*; Especie: *Ischaemum rugosum* (Richards, 2015; USDA, NRCS. 2015). Comúnmente se le denomina zacate manchado, zacate peludo, falsa caminadora, popa (Ocampo, 1985).

- Origen y distribución

Esta planta es originaria de Asia tropical y se encuentra ampliamente distribuida en todo el trópico; crece desde el nivel del mar hasta 2.400 m. Fue introducida en Costa Rica en 1950. Se encuentra distribuida en países de Asia, África, Centroamérica, Caribe, Sudamérica, y Oceanía. Es catalogada como una especie invasora (Ocampo, 1985; Bakar y Manidool, 1992; Richards, 2015).

- Hábitat y biología

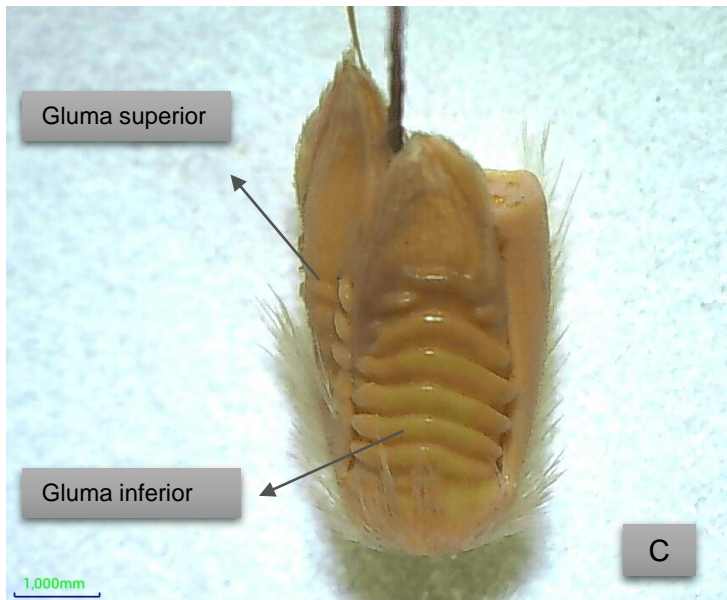
Puede encontrarse en regiones cálidas y húmedas; es una planta colonizadora oportunista que puede crecer en áreas abiertas, perturbadas o recientemente chapeadas como en pantanos, arrozales y pastizales húmedos (Mannetje y Jones, 1992 citado por Richards, 2015; USDA, NRCS. 2015).

Es una hierba anual, vigorosa que se reproduce por semillas. Es una especie altamente prolífica, puede llegar a generar hasta 18.000 semillas por planta al año (Vargas, 1994; Bakar y Nabi, 2003). En condiciones de anegamiento y alta fertilidad, una sola planta puede producir hasta 44.000 semillas (Pabón, 1983).

*I. rugosum* es una planta con mecanismo fotosintético de tipo C<sub>4</sub>; tiene exigencias similares a las del arroz, lo que la hace altamente competitiva para este. Posee semillas muy similares a las de este cultivo, esto provoca contaminación de las semillas del arroz, lo cual disminuye la calidad de este; otras características que favorecen la competitividad con el arroz son la capacidad de poseer plasticidad fenotípica y la habilidad de generar una muy fuerte competencia interespecífica (Marenco y Santos, 1999; Giraldo, 2009; Awan *et al.*, 2014).

- Morfología y descripción

**Plantas:** Es una planta erecta, con crecimiento cespitoso. **Culmos:** son erectos o decumbentes de 55,0 cm a 130 cm. de altura, ramificados de coloración púrpura, los entrenudos fistulosos y glabros, con nudos pilosos. **Láminas foliares:** se caracterizan por ser alternas, formadas por vaina y lámina; la vaina es más corta que el entrenudo, regularmente pilosa en los márgenes cerca del extremo superior, con lígula membranácea de 2,0 mm a 5,5 mm fusionada con aurículas; la lámina es suave papilosa y pilosa en ambas superficies, lanceolada, de ápice agudo de 8,0 cm a 20 cm de largo y 7,0 mm a 15 mm de ancho **Sistema radical:** la raíz es fibrosa, además puede poseer raíces aéreas con función respiratoria. **Inflorescencias:** se producen en racimos en la parte terminal de los culmos y en las axilas de las láminas foliares, se encuentran en racimos emparejados presionados firmemente entre sí, con apariencia de una espiga solitaria, los cuales se separan al iniciar la maduración de las semillas, la espiga tiene forma cilíndrica de 5,0 mm de diámetro y de 3,0 cm a 10 cm de largo; posee espiguillas sésiles con una flor masculina y una femenina. **Espiguillas:** de 3,0 mm a 4,5 mm de largo, posee una arista geniculada en la parte basal, de 2 mm de longitud, las espiguillas vienen en pares, la inferior es sésil y la superior es pedicelada. Espiguilla sésil: de 3,0 mm a 6 mm de largo, con una flor masculina y una femenina, son glabras, la gluma inferior es de 3,8 mm a 5,0 mm, tiene los dos tercios inferiores endurecidos esta parte es rugosa en vista transversal y de color amarillento; mientras que, en la misma gluma inferior las dos quintas partes superiores son herbáceas, de color verde, con ápice obtuso. La gluma superior ligeramente más larga que la inferior, es aguda y débilmente nervada. Espiguilla pedicelada: de 3,0 mm a 4,0 mm similar a la espiguilla sésil, generalmente con flor masculina, pero la primera gluma es asimétrica, es de forma ovada, la mitad inferior es amarilla, es rígida y veces ligeramente ondulada. **Cariópside:** se encuentran envueltas por las glumas, generalmente se encuentran en pares, que son morfológicamente distintas, por lo que a partir de dichas semillas se puede producir dos plantas nuevas, que en forma natural van en una sola unidad de dispersión, las cariópsides más grandes miden de 2,5 mm a 3,0 mm de largo, 1,0 mm a 1,5 mm de ancho, y las más pequeñas pueden medir 2,0 mm de largo y 0,6 mm ancho; son de forma triangular en sección transversal, punta pequeña oblonga, ligeramente cóncava cerca del punto de unión, de coloración roja a amarillenta (Figura 1) (Pohl, 1980; Pabón, 1983; Ocampo, 1985; Holm *et al.*, 1991; Kissmann, 1997; Konate *et al.*, 1997; Longhi, 2001).



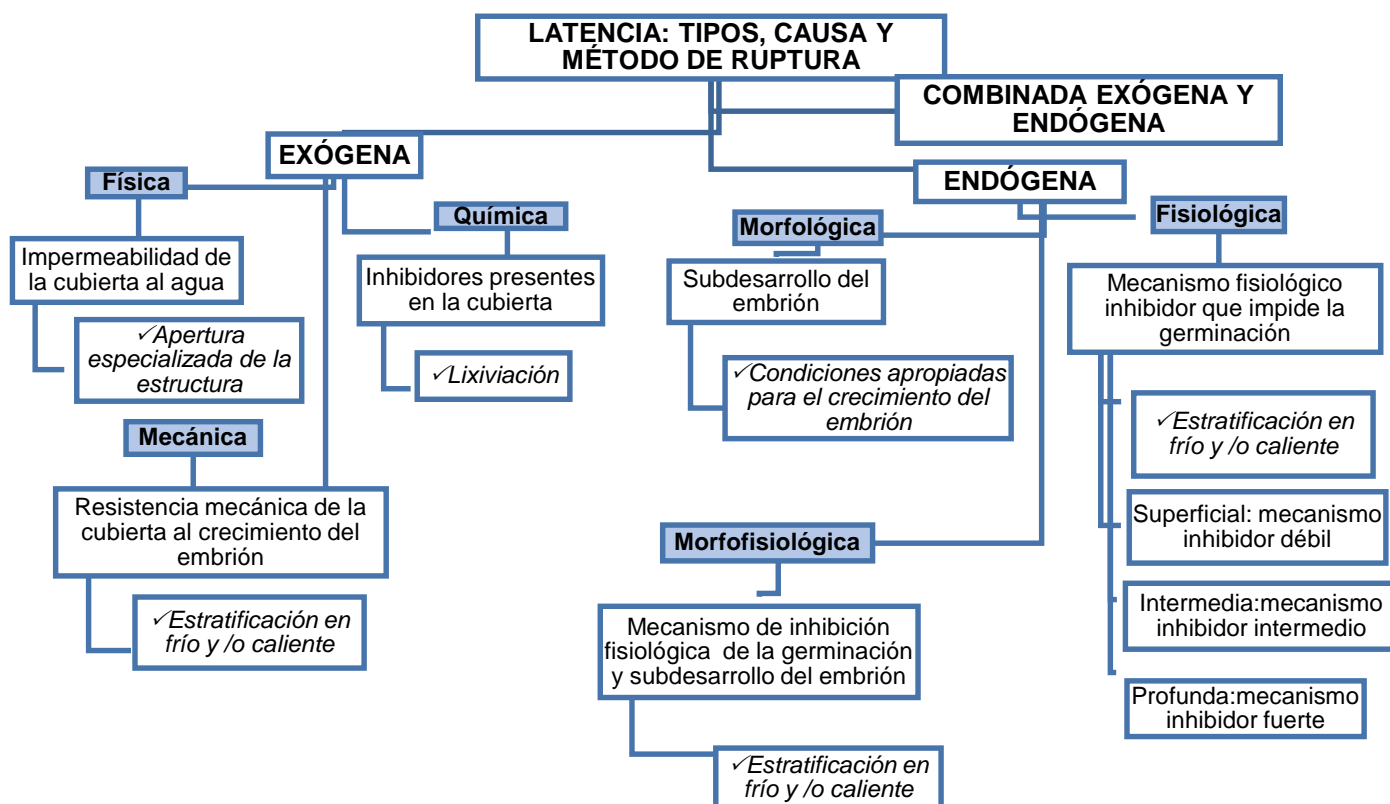
**Figura 1.** A) Inflorescencias de *Ischaemum rugosum* que iniciaron la etapa de maduración. B) Racimos maduros. C) Espiguilla (semillas no escarificadas) D) Cariópsides (semillas escarificadas).

## Latencia y tipos de latencia

La latencia es un periodo que experimentan algunas semillas en el cual son incapaces de germinar, a pesar de que se encuentran sanas, viables y bajo las condiciones adecuadas para que inicie el proceso de germinación. La incapacidad de germinar también ocurre cuando las condiciones ambientales no son las más óptimas, de esta forma la semilla conserva su capacidad germinativa hasta que las condiciones mejoren y esta pueda germinar (Cuadra, 1993; Benech *et al.*, 2000; Moreno, 2003; Varela y Arana, 2011).

La latencia es un proceso dinámico mediado principalmente por la temperatura, la humedad y el ambiente gaseoso. Una especie puede experimentar rangos de intensidades de latencia, desde latencia absoluta (no ocurre germinación bajo ninguna condición), latencia intermedia (la semilla germina bajo un rango específico de condiciones ambientales) y al contrario de las dos anteriores, cuando la semilla no presenta latencia y puede germinar bajo un amplio rango de condiciones ambientales. El nivel de latencia también varía con la procedencia de las semillas, el año de cosecha y puede variar dentro de un mismo lote de semillas (Benech *et al.*, 2000; Varela y Arana, 2011).

Existen varios tipos de latencia, una clasificación que se da es por el origen de la ésta, es decir si la latencia se origina durante el desarrollo y la maduración de la semilla, cuando aún ésta se encuentra en la planta madre, a este tipo de latencia se le denomina latencia primaria o innata. En otros casos, las semillas desarrollan latencia cuando ya están maduras y se desprendieron de la planta madre, este tipo de latencia se desencadena por que las condiciones ambientales no son las más adecuadas, a este tipo de latencia se le denomina latencia secundaria. Además, depende del tipo de condición de la semilla esta puede experimentar varios mecanismos para mantener la latencia entre ellos se encuentran la latencia endógena, exógena o la combinación de ambas, los cuales se detallan en la Figura 2 (Willam, 1991; Cuadra, 1993; Moreno, 2003; Baskin y Baskin, 2014).



**Figura 2.** Definición de cada tipo de latencia y la manera de superarla.

### Presencia de latencia en malezas

La alta tasa de germinación en una especie es resultado de la domesticación, como en semillas de plantas comestibles. Las especies cultivadas presentan poca o ninguna latencia, lo cual hace que sea fácil de predecir el número de individuos establecidos (éxito de emergencia) de una población de cultivos. Por lo tanto, su distribución temporal de emergencia puede describirse fácilmente con relación a los factores que son conocidos para modular la tasa de germinación de las semillas no latentes (Benech *et al.*, 2000; Dürr *et al.*, 2015).

En contraste, la inactividad es un atributo común de muchas poblaciones de semillas de malas hierbas y esto dificulta la tarea de predecir la oportunidad y alcance de la emergencia de éstas. La cantidad de plantas malezas emergidas del banco de semillas está influenciada tanto por su dinámica como por su intensidad de liberación de latencia. La latencia y la germinación son importantes estrategias de supervivencia de las plantas; se puede decir también, que es una característica clásica de adaptación a entornos con condiciones adversas para el crecimiento y la reproducción durante una parte del año (Vázquez *et al.*, 1997; Benech *et al.*, 2000; Forcella *et al.*, 2000).

Los factores ambientales que afectan la latencia de poblaciones de semillas se pueden dividir en dos categorías: (a) los que modifican el nivel de latencia de las poblaciones (es decir, aquellos que, como la temperatura y el contenido de agua del suelo, pueden aumentar o reducir la gama de condiciones ambientales que permiten la germinación); (b) los que terminan la latencia o eliminan la restricción final para la germinación una vez que el grado de latencia está en su mínimo (es decir la densidad de flujo de luz y la calidad, la fluctuación de temperaturas, la concentración de nitrato) (Benech *et al.*, 2000). Para Chauhan y Johnson, (2010) la temperatura y la humedad son factores importantes en la regulación de la latencia, el porcentaje máximo de germinación y la tasa de germinación de las malezas.

- Características de la germinación y latencia en *I. rugosum*

El porcentaje de germinación en semillas de *I. rugosum* recién cosechadas varían de 4 % a 8 %. En condiciones de campo la germinación de *I. rugosum* se retrasa por algunas semanas en comparación con el ciclo del arroz, lo cual provoca infestaciones tardías en el cultivo, esto a causa de la presencia de latencia innata en dicha especie. Este tipo de latencia también se menciona como latencia primaria, las semillas la presentan al desprenderse de la planta madre y puede ocurrir cuando las propiedades físicas y químicas de la cubierta seminal impiden la germinación. (Pabón, 1983; Bakar y Manidool, 1992; Vargas, 1994; Marengo y Santos, 1999; Benech *et al.*, 2000; Doria, 2010; Baskin y Baskin, 2014).

### **Métodos de ruptura de latencia**

- Escarificación

En ciertos casos la ruptura de la cubierta que rodea a las semillas de las malezas produce un incremento en la germinación, para ello, comúnmente se emplea la escarificación o la inmersión de las semillas en diferentes soluciones. Otros métodos para eliminar cubiertas pueden ser mediante una incisión, punción y lijado (Bilbao, 2010; Chauhan y Johnson, 2010; Dürr *et al.*, 2015). En semillas de *I. rugosum* se obtuvo un 70 % de germinación cuando fueron escarificadas de forma mecánica, mientras que con la escarificación manual mediante punteadura se alcanzó un 10 % y fue 0 % cuando en la escarificación se empleó el ácido sulfúrico (Jarma *et al.*, 2007). En semillas de *I. rugosum* recién cosechadas, el porcentaje de germinación a los 10 dds, al ser escarificadas y no escarificadas fue de 62 % y 15 % respectivamente (Pabón, 1983).

- Imbibición

Para la ruptura de latencia es común utilizar el proceso de imbibición con las siguientes sustancias como medio: agua, nitrato de potasio, etileno, giberelinas, kinetina, óxido nítrico, alcohol etílico, acetona, glicol de polietileno, peróxido de hidrógeno, ácido salicílico y vinagre (Merola y Díaz, 2012; Sobrevilla *et al.*, 2013; Baskin y Baskin, 2014). El objetivo de la imbibición es lograr la activación del metabolismo de las semillas, mediante la hidratación de las membranas el cual es un paso importante en el proceso de la germinación, también se neutralizan o eliminan los inhibidores de la germinación, presentes en la cubierta de ciertas semillas; los inhibidores de la germinación más importantes son el ácido abscísico y la cumarina (Moreira y Nakawa, 1988; Herrera *et al.*, 2006; Merola y Díaz, 2012).

Las semillas de *I. rugosum* presentaron una germinación a los 10 dds del 72 % al ser embebidas en agua durante 16 h y 42 h, en contraste con el testigo sin imbibición que fue de 16 %. Por otra parte, la imbibición de *I. rugosum* en agua a altas temperaturas (60 °C) durante una hora provocó un 63 % de germinación (Pabón, 1983). La aplicación de otras sustancias como medio de imbibición estimulan la germinación de *I. rugosum*, tal es el caso de nitrato de potasio en un 96 %, seguida por la tiourea en un 86 %, así como la aplicación de giberelinas en combinación con Kinetina con resultados de 83 % de germinación.

- Temperatura

A nivel de campo la semilla es capaz de percibir y acumular información sobre la temperatura, por lo que este factor se convierte en un estímulo disparador de la germinación (Finch y Leubner, 2006; Hilhorst y Cohn, 2000 citado por Ortiz y Castillo, 2007). Las semillas provenientes del Trópico germinan a una mayor temperatura en comparación con las semillas que se originan en un clima frío (Dürr *et al.*, 2015). Someter las semillas a diferentes niveles de temperatura es un método empleado para la ruptura de latencia endógena específicamente la latencia fisiológica. Cuando las semillas son recién cosechadas pueden ser tratadas con temperaturas alternas, entre 3 °C a 30 °C durante 24 horas, (Bilbao, 2010; Merola y Díaz, 2012; Baskin y Baskin, 2014). Sin embargo, en semillas de *I. rugosum* recién cosechadas que fueron sometidas durante una hora a 40 °C y a 60 °C no se obtuvo germinación, mientras que bajo los mismos tratamientos en semillas almacenadas durante un año a 5 °C con 70 % de humedad relativa se alcanzaron porcentajes de germinación de 92 % y 100 %, respectivamente (Vargas, 1994). Por otra parte, semillas de *I. rugosum* con un mes después cosechadas, fueron expuestas a varias temperaturas y con el tratamiento de 30 °C por un lapso de cuatro horas se obtuvo el mayor porcentaje de germinación (41,9 %) (Jarma *et al.*, 2007). En otro estudio las semillas colocadas en un rango de temperaturas de 25 °C a 30 °C se obtuvo un porcentaje de germinación de 43 % a 100 % (Bakar y Nabi, 2003).

- Radiación solar

En algunas especies la germinación es favorecida por el ingreso de la radiación solar. A estas especies se les denomina fotoblásticas positivas, y este proceso se encuentra regulado por los fitocromos (fitocromo A y fitocromo B), los cuales son pigmentos responsables de la captación de la radiación solar que ocurre en un rango de longitud de onda de 660 nm a 730 nm, sin embargo, ya a una longitud de onda de 730 nm los fitocromos se encuentran de forma inactiva y en ese caso, las semillas podrían entrar en periodo de latencia. Dentro de las especies de la familia Poaceae que se clasifican como fotoblásticas positivas, se encuentra *I. rugosum*, *Digitaria horizontalis*, *Rhynchelitrum repens* y *Setaria geniculata* (Klein y Martins, 1991; Bakar y Nabi, 2003; Jarma *et al.*, 2007).

- Curvas de imbibición

Por otra parte, para determinar la permeabilidad de las semillas al agua, se realizan curvas de imbibición, si las semillas luego de que son humedecidas sufren un incremento en el peso, esto indica que las semillas son permeables, mientras que el no incremento se traduce como la presencia de latencia exógena de tipo física, debido a que las cubiertas son impermeables (Baskin y Baskin, 2014). También, otro objetivo a la hora de realizar las curvas es determinar el tiempo que requiere la especie para completar su proceso de imbibición.

En general, en una curva de absorción de agua en semillas ocurre un patrón trifásico. La fase I es un periodo de rápida absorción, la fase II es una fase de reposo y en la fase III ocurre un aumento adicional en la absorción de agua, que indica que el proceso de germinación ha culminado (protrusión de la radícula) (Bewley, 1997). En *I. rugosum*, ocurrió un aumento de peso a partir del quinto día de colocar las cariósides en imbibición (Jarma *et al.*, 2007).

### **Modelo de Regresión logística**

Como respaldo al tipo de análisis estadístico utilizado en este trabajo, se mencionan a continuación algunos trabajos donde se utiliza el modelo de regresión logística y las razones de ventaja para la interpretación de los datos:

En un experimento factorial (tipo de suelo y tipo de luz) que se llevó a cabo bajo condiciones controladas, con el objetivo de determinar la influencia de dichos factores sobre la supervivencia de plántulas de dos especies de la familia Cactaceae, para el análisis de datos se aplicó un modelo estadístico de regresión logística y el cálculo de la probabilidad de éxito de plantas vivas después del experimento. No se encontró interacción significativa entre los dos factores, por lo tanto la interpretación



de datos se realizó con cada factor por separado y se estimaron las razones de ventaja, en este experimento solo se presentó valor significativo con el factor de luz (con sombra y sin sombra), con el cálculo de las razones de ventaja bajo las condiciones de sombra se obtuvieron 0,9 en *Haageocereus pseudomelanostele* y 0,86 *Melocactus peruvianus*, en cuanto a condiciones sin sombra se obtuvieron 0,46 y 0,4 para *H. pseudomelanostele* y *M. peruvianus* respectivamente, estos resultados indican que la condición de sombra es más beneficiosa para el establecimientos de plántulas de estas especies que la condición de luz (Castro *et al.*, 2006).

En el siguiente estudio se aplicó la regresión logística para analizar los datos en un trabajo cuyo objetivo fue evaluar la influencia de salinidad (Testigo a 3,5 dS/m, 15 dS/m, 30 dS/m) en el tiempo sobre la emergencia de plántulas de *Prosopis alba*, la variable respuesta fue el conteo de plántulas emergidas, esta es una variable binaria, en tanto el modelo de regresión logística permite estimar la probabilidad de éxito de emergencia, con el uso de razones de ventaja se interpretaron las diferencias de emergencia encontradas entre tratamientos, de acuerdo con los resultados, las variables tratamiento y tiempo tuvieron efecto en la probabilidad de emergencia, ya que sus coeficientes fueron significativos, los resultados muestran que en la quinta semana la probabilidad de germinación fue de 0,6114 (testigo), 0,2395 (tratamiento con 15 dS/m), 0,0729 (tratamiento con 30 dS/m) esto se interpreta como que la probabilidad de emergencia es mayor en el testigo, no obstante, las plántulas pueden sobrevivir bajo condiciones de salinidad de 15 dS/m y 30 dS/m (Pece *et al.*, 2012).

En otro trabajo, que consistió en evaluar la probabilidad de germinación de 213 especies de plantas después de atravesar el intestino de diferentes animales, se utilizaron diferentes variables como predictoras entre ellas el tipo de animal (aves, murciélagos, mamíferos no voladores y reptiles), tipo de frutos (secos y carnosos), tipo de especies vegetales (árboles, arbustos y hierbas), tamaño de semillas (grandes, medianas y pequeñas), hábitat de las semillas (cultivados, pastizales, bosques y matorrales) y origen de las especies vegetales (Zona templada y Zona Tropical) para el análisis de datos se empleó la regresión logística, las variables se analizaron por separado, por ejemplo el tipo de animal fue una variable que resultó significativa, por lo tanto esta influye sobre la probabilidad de germinación y al estimar las razones de ventaja se obtuvieron 0,4 (murciélagos y aves), menor a 0,1 (mamíferos no voladores y reptiles), se interpreta como que las semillas que tienen la mayor probabilidad de germinar son las que travesaron el intestino de murciélagos y aves, el tipo de fruto resultó significativo y se encontró diferencia entre la germinación de frutos secos y carnosos, estos últimos germinaron más, las razones de ventaja fueron de alrededor de -0,3 y alrededor de 0,3 respectivamente, para ver mayores detalles de este estudio se puede consultar a Levey *et al.*, (2002).

## MATERIALES Y MÉTODOS

- **Localización del estudio**

Los experimentos se efectuaron en dos lugares, el primero de ellos fue la Estación Experimental Agrícola Fabio Baudrit Moreno (EEAFBM), ubicada en el distrito La Garita perteneciente al cantón Central de la provincia de Alajuela, a una altitud de 840 msnm, presenta en promedio una temperatura ambiente anual de 22 °C y una precipitación de 1940 mm distribuidos de mayo a noviembre. En la Estación se llevó a cabo el primer experimento, el cual se colocó en micro túneles a nivel de campo. El resto de experimentos (segundo al quinto) se ejecutaron en el Laboratorio Oficial de Análisis de Calidad de Semillas del Centro para Investigaciones en Granos y Semillas (CIGRAS) de la Universidad de Costa Rica.

- **Material experimental**

La semilla de *Ischaemum rugosum* fue recolectada en el mes de noviembre del 2015 de un lote de arroz ubicado en Playa Bandera, la cual se encuentra situada en el cantón de Parrita de la provincia de Puntarenas, a 41 msnm, entre las coordenadas 9°30'32.28"N y 84°23'4.82"O.

Para la recolección de semillas se recorrió el lote de forma aleatoria, la semilla se tomó de los racimos cuyas semillas estuvieran a punto de desprenderse, esto se utilizó como indicador de que las semillas se encontraban maduras (Figura 1 A y B). El conjunto de racimos (o semillas) se introdujeron en una bolsa plástica, se mezclaron y para su secado se dejaron durante una semana en una casa malla. Posteriormente se trasladaron al Laboratorio de Malezas en la EEAFBM, donde se almacenaron en frascos de plástico los cuales se mantuvieron a temperatura ambiente durante el desarrollo de los experimentos.

Según el objetivo del experimento, una parte del lote de semillas se escarificó y otra se mantuvo sin escarificar. La semilla escarificada y la no escarificada se emplearon en el primer experimento en ambas estaciones (seca y transición a lluviosa), y en el quinto experimento. En el segundo, tercero y cuarto experimento solamente se empleó semilla no escarificada (Figura 1 C y D).

- **Metodología de los experimentos**

**Experimento 1: Influencia de diferentes porcentajes de sombra sobre la germinación de la semilla del zacate manchado (*I. rugosum*).**

Este experimento se llevó a cabo en la EEAFBM, se realizó en dos ocasiones, uno dio inicio durante la estación seca y el otro durante la estación de transición e inicios de la lluviosa.

Se evaluó el efecto de la escarificación bajo cinco porcentajes de sombra. Se emplearon cuatro tipos de sarán que permitieron a las semillas recibir los siguientes porcentajes de sombra: 30 %, 50 %, 70 % (color verde) y 100 % (color negro), además se incluyó un tratamiento a plena exposición sin uso de sarán (0 % de sombra) (Cuadro 1). Para el experimento en estación de transición a lluviosa se sustituyó el tratamiento con 100 % de sombra por uno color blanco (70 % de sombra) porque en el experimento ejecutado en estación seca no se obtuvo germinación bajo dicho tratamiento (Cuadro 2).

**Cuadro 1.** Descripción de los tratamientos empleados en el experimento realizado en estación seca. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica, 2016.

<b>Porcentaje de sombra (%)</b>	<b>Semilla</b>
0	No escarificada
0	Escarificada
30	No escarificada
30	Escarificada
50	No escarificada
50	Escarificada
70	No escarificada
70	Escarificada
100	No escarificada
100	Escarificada

**Cuadro 2.** Descripción de los tratamientos empleados en el experimento realizado en la estación transición a lluviosa. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica, 2016.

Porcentaje de sombra (%)	Semilla
0	No escarificada
0	Escarificada
30	No escarificada
30	Escarificada
50	No escarificada
50	Escarificada
70 a	No escarificada
70 a	Escarificada
70 b	No escarificada
70 b	Escarificada

a= Sarán color verde; b= Sarán color blanco

Cada sarán se colocó sobre tubos de “PVC” (policloruro de vinilo) de 1/2 pulgada, y se aseguró con prensas. Los tubos se encontraban en forma de arco a un ancho de aproximadamente 90,0 cm y 70,0 cm de altura sobre una mesa construida a base de acero y en la parte superior con malla metálica tejida galvanizada. Las medidas de la mesa eran de 4,0 m de largo, 1,0 m de ancho y 0,6 m de alto. Cada micro-túnel se replicó dos veces, para un total de diez micro-túneles, los cuales fueron colocados en un campo al aire libre siguiendo la dirección de norte a sur, en dos filas, con una separación entre ellas de 2,0 m. La separación entre micro-túneles fue de 3,0 m (Figura 3).



**Figura 3.** Micro-túneles colocados en campo abierto para observar la influencia del porcentaje de sombra sobre la germinación de semillas escarificadas y no escarificadas de *I. rugosum*. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica, 2016.

La escarificación de la semilla se hizo de forma manual. Con una pinza y un bisturí se desprendieron las glumas de la semilla, siempre con cuidado de no maltratar el embrión o alguna otra parte de la cariósida. Dado que cada unidad de dispersión posee dos cariósidas, se escogió la de mayor tamaño de las semillas, la cual proviene de la gluma inferior (Figura 1 C y D).

Las semillas se sembraron en un plato plástico de 16,5 cm de diámetro y 3,6 cm de altura y en el fondo de cada plato se colocaron 700 g de suelo. La siembra se realizó de forma manual y se llevó a cabo dentro de cada micro-túnel. Se sembraron 20 semillas escarificadas o 20 semillas no escarificadas (según correspondiera el tratamiento); en el experimento realizado en estación seca las semillas se sembraron de forma superficial mientras que, en el experimento en época transición a lluviosa se recubrieron con una pequeña capa de suelo de manera que no se enterrarán. En cuanto al riego, en época transición a lluviosa, no fue necesario, porque la caída de lluvia fue suficiente para que las semillas tuvieran suficiente humedad; mientras que época seca el riego se realizó por capilaridad. Para ello los platos se colocaron dentro de una bandeja plástica de 50,0 cm de largo, 24,5 cm de ancho y 6,0 cm de alto; en el fondo de la bandeja se agregaron 2,0 L de agua, y se colocaron dos platos por bandeja. Para la entrada de agua en el fondo de los platos se les realizaron cuatro agujeros con clavos de dos pulgadas (Figura 4).



**Figura 4.** Unidad experimental empleada en el primer experimento. A) Semilla no escarificada. B) Semilla escarificada. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica, 2016.

El suelo empleado en ambos experimentos se tomó de un lote ubicado en la EEAFBM y se esterilizó con vapor según la metodología descrita por Castillo y Gómez, (2016), el análisis químico se puede observar en el cuadro 3. En cuanto a la textura el suelo se clasifica como franco arenoso (arena 65 %, limo 20 %, 15 % arcilla).

**Cuadro 3.** Características químicas del suelo empleado en el primer experimento realizado en la estación seca y la estación de transición a lluviosa. Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA), San José, Costa Rica, 2016.

Característica*	Unidad	Nivel crítico	Medición
pH del agua	a	5,5	6,2
Acidez	cmol(+)/L	0,5	0,18
Calcio	cmol(+)/L	4	11,89
Magnesio	cmol(+)/L	1	2,92
Potasio	cmol(+)/L	0,2	0,66
CICE <sup>1</sup>	cmol(+)/L	5	15,65
Saturación de acidez <sup>2</sup>	%	a	1
Fosforo	mg/L	10	8
Zinc	mg/L	3	2,3
Cobre	mg/L	1	10
Hierro	mg/L	10	114
Manganeso	mg/L	5	81
Conductividad eléctrica	mS/cm	1,5	0,1

\* Para extraer los elementos se utilizó la solución KClOlsen Modificado

<sup>1</sup>Capacidad de intercambio de Cationes Efectiva=Acidez+Ca+Mg+K

<sup>2</sup>Porcentaje de Saturación de Acidez (SA)= (Acidez/CICE)\*100

Durante todo el experimento se monitoreó dentro de cada micro-túnel la temperatura (°C), la humedad relativa (%), la longitud de onda (nm) roja (R), la longitud de onda roja lejana (RL) y la radiación solar (W/m<sup>2</sup>). El monitoreo se realizó tres veces al día a las 8:30 a.m.; a las 11:30 a.m. y a la 1:30 p.m. (estación seca) y a las 8:00 a.m.; 10:00 a.m. y a las 12:00 p.m. (estación transición a lluviosa). La temperatura y la humedad relativa se tomaron a partir de un registrador de datos marca HOBO de entrada externa modelo MX1101. La longitud de onda roja y la longitud de onda roja lejana se registraron con un registrador de datos portátil marca LI-COR modelo LI-1000 con sensor para la lectura de la longitud de onda 660 nm/730 nm. En caso de la radiación solar (W/m<sup>2</sup>) se midió con piranómetro marca LI-COR modelo LI-250 A.

El diseño del experimento fue un diseño de parcelas divididas con bloques. El factor en la parcela fue el tipo de sarán y el factor en la sub-parcela fue la escarificación y los bloques cada micro-túnel. Los saranes se asignaron a los micro-túneles en forma aleatoria. En total se realizaron 10 réplicas (10 platos) por tratamiento.

El número de semillas germinadas se registró a los 15 días después de siembra (dds) (estación seca) y a los 4 dds y 15 dds (estación transición a lluviosa). Las semillas contadas como germinadas fueron las que tenían una hoja verdadera.

## Experimento 2. Evaluación del efecto del nitrato de potasio sobre la germinación de la semilla del zacate manchado (*I. rugosum*).

En total se realizaron cinco tratamientos y cada tratamiento se replicó 10 veces. El diseño estadístico del experimento fue un irrestricto al azar. El detalle de los tratamientos se observa en el Cuadro 4.

**Cuadro 4.** Descripción de los tratamientos empleados para medir el efecto del tipo de sustancia y tiempo de imbibición sobre la germinación de la semilla de *I. rugosum*. CIGRAS, San José, Costa Rica, 2016.

Tratamiento	Tipo de sustancia	Tiempo de imbibición (h)
T1	Sin sustancia (Testigo)	0
T2	Agua destilada	16
T3	Nitrato de potasio	16
T4	Agua destilada	24
T5	Nitrato de potasio	24

El siguiente procedimiento se realizó para cada uno de los tratamientos: se pesaron 1,5 g de semillas no escarificadas en una balanza analítica, esto para obtener grupos de alrededor de 200 semillas. Cada grupo de semillas se envolvió en una tela tipo organza, y fue asegurado con una goma elástica, con el objetivo de mantener todas las semillas dentro de la tela y que recibieran de forma uniforme la humedad proporcionada. Seguidamente los grupos de semillas envueltas (1,5 de semillas por tratamiento) se colocaron individualmente dentro de un beaker de 250 ml. A cada beaker se le añadió un volumen de 40 ml de H<sub>2</sub>O destilada o la solución de KNO<sub>3</sub> (0,25 % p/v) (g/ml) según correspondiera, excepto al testigo el cual se dejó sin sustancia y sin imbibición. Las semillas se dejaron sumergidas en cada una de las soluciones durante 16 h o 24 h según el tratamiento asignado.

Una vez transcurrido el periodo de 16 h y 24 h, la sustancia colocada en cada envase se desechó y las semillas fueron mantenidas en reposo dentro del beaker durante 24 horas. Transcurridos las 24 h, se procedió a realizar la siembra, la cual se ejecutó siguiendo el mismo procedimiento para cada uno de los tratamientos. Las semillas se colocaron de forma manual, 20 semillas por plato Petri de 9,0 cm de diámetro y 1,5 cm de alto. En el fondo de cada plato se colocó un papel filtro y se agregaron 3,0 ml de agua destilada. Los platos Petri se colocaron en un cuarto de germinación con una temperatura constante de 30 °C, 99,9 % humedad relativa y 12 h luz y 12 h oscuridad.

La germinación se evaluó a los 4 dds, 8 dds, 15 dds y 22 dds. La evaluación consistió en contar cada semilla germinada y no germinada. Las semillas contadas como germinadas fueron las que tenían una

hoja verdadera, estas se descartaron y se dejaron dentro del plato aquellas semillas que no habían germinado, para el siguiente conteo.

### **Experimento 3. Influencia de la temperatura en la germinación de la semilla del zacate manchado (*I. rugosum*).**

En total se realizaron cuatro tratamientos y cada tratamiento se replicó 10 veces. El diseño estadístico del experimento fue un irrestricto al azar. El detalle de los tratamientos se observa en el Cuadro 5.

**Cuadro 5.** Descripción de los tratamientos empleados para estimular la germinación en *I. rugosum* bajo condiciones controladas. CIGRAS, San José, Costa Rica, 2016.

<b>Tratamiento</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
T1	15
T2	15 y 30
T3	26
T4	30

El procedimiento para la obtención de los grupos de semilla y la siembra en cada tratamiento, se efectuó de la misma forma que se describió para el experimento anterior (experimento 2).

Al culminar la siembra se asignó de forma aleatoria el tratamiento a cada plato Petri. Un grupo de 10 platos Petri se colocó a 15 °C en una cámara de germinación (Hotech modelo 624, Nueva ciudad de Taipei, Taiwán), otro grupo igual, se colocó en otra cámara de germinación (de la misma marca y modelo que la anterior), a 15 °C y 30 °C, en este caso para que las semillas recibieran ambas temperaturas se programó la cámara de germinación de manera que cada día las semillas recibieran 12 horas la temperatura de 15 °C y las otras 12 horas la temperatura de 30 °C durante todo el periodo del experimento, otro grupo se colocó en un cuarto de germinación a temperatura constante de 30 °C. Los niveles de temperaturas fueron constantes y uniformes durante un periodo de tres semanas.

La humedad relativa bajo los tres niveles de temperaturas fue de 99,9 % y los periodos de luz y oscuridad fueron de 12 horas y 12 horas, respectivamente. Además, se incluyó un testigo, el cual se colocó en el laboratorio, fuera de la cámara de germinación a temperatura ambiente, la cual fue en promedio de 26 °C con una humedad relativa de alrededor de 72,5 % (Cuadro 5.5).

La germinación se evaluó a los 8 dds, 15 dds y 22 dds. La evaluación se realizó de la misma forma que se describió para el segundo experimento.



**Experimento 4. Efecto de la temperatura del agua de imbibición sobre la germinación de la semilla del zacate manchado (*I. rugosum*).**

En total se realizaron cinco tratamientos y cada tratamiento se replicó 10 veces. El diseño estadístico del experimento fue un irrestricto al azar. El detalle de los tratamientos se observa en el Cuadro 6.

**Cuadro 6.** Temperaturas del agua de imbibición para estimular la germinación en *I. rugosum* bajo condiciones controladas. CIGRAS, San José, Costa Rica, 2016.

Tratamiento	Temperatura del agua (°C)
T1	23
T2	30
T3	45
T4	65
T5	Testigo sin embeber

El grupo de semilla correspondiente, en cada tratamiento se obtuvo de la misma manera que se describió en el experimento 2.

Luego de reunir los grupos de semillas, el agua se calentó en un baño María (Cole-Parmer modelo SB-11000, Illinois, Estados Unidos), el cual hizo posible que la temperatura del agua de imbibición fuera constante durante una hora y dentro de este aparato cada grupo de semillas se sometió durante una hora a imbibición en agua destilada a diferentes grados: 30 °C, 45 °C, 65 °C y a temperatura ambiente sin previo calentamiento (alrededor de 23 °C), además se incluyó un testigo sin imbibición.

Transcurrida la imbibición, las semillas se dejaron en reposo sin agua durante 24 horas, luego se sembraron y se acondicionaron de la misma forma que se describió para el experimento 2.

La germinación se evaluó a los 8 dds, 15 dds y 22 dds y se hizo de igual forma que en los dos experimentos anteriores.

**Experimento 5. Obtención de la curva de imbibición en semillas del zacate manchado (*I. rugosum*) escarificadas y no escarificadas.**

Para realizar esta prueba, se escarificaron 200 semillas (de la misma forma que se realizó para el primer experimento) y se repartieron en 10 platos Petri (20 semillas por plato) con medidas de 9,0 cm de diámetro y 1,5 cm de alto. Se midió la masa de la semilla en una balanza analítica. En el fondo del plato se colocó un papel filtro y se agregaron 5,0 ml de agua destilada por plato. Se añadió esta cantidad para que se iniciara el proceso de imbibición.

Se realizó el procedimiento anterior para las semillas sin escarificar. Después de agregar el agua destilada, se registró la masa de las semillas al cumplirse 1 h, 3 h, 5 h, 7 h, 8 h, 10 h, 24 h y 48 h después de dicha aplicación (Cuadro 7).

**Cuadro 7.** Descripción de los tratamientos empleados en el experimento número cinco para realizar la curva de imbibición de *I. rugosum*. CIGRAS, San José, Costa Rica, 2016.

Tiempo transcurrido después de imbibición (h)	Semilla
0	No escarificada
0	Escarificada
1	No escarificada
1	Escarificada
3	No escarificada
3	Escarificada
5	No escarificada
5	Escarificada
7	No escarificada
7	Escarificada
8	No escarificada
8	Escarificada
10	No escarificada
10	Escarificada
24	No escarificada
24	Escarificada
48	No escarificada
48	Escarificada

En el caso de las semillas sin escarificar, se les agregó 1,0 ml de agua destilada adicional a las siete horas de imbibición, debido a que a esta hora perdieron humedad.

Para pesar las semillas, cada repetición de 20 semillas se colocó en un papel toalla absorbente para secar la humedad exterior. Una vez que las semillas se secaron, se procedió a anotar la masa y se devolvieron al plato para la próxima evaluación.

El diseño estadístico fue un irrestricto al azar. Los tratamientos fueron asignados al azar. Cada tratamiento de replicó 10 veces.

- **Variable respuesta**

La variable respuesta del primer experimento al cuarto experimento fue el conteo acumulado de semillas germinadas, en el primer experimento efectuado durante la época seca, dicho conteo se hizo a los 15 dds y en caso del que se realizó en época transición a lluviosa fue a los 4 dds y a los 15 dds.

En el segundo, tercero y cuarto experimento este se llevó a cabo a los 22 dds. La variable respuesta del quinto experimento fue la masa (g) de las semillas.

- **Análisis estadístico**

Los datos del primero al cuarto experimento se analizaron mediante un modelo de regresión logística. Este modelo utiliza una prueba de hipótesis para el coeficiente de regresión. Además, se utilizó un nivel de significancia del 5 %. Para interpretar los resultados se calcularon las ventajas de semillas germinadas y las razones de ventaja de semillas germinadas. La ventaja se refiere la proporción ( $p$ ) de semillas germinadas versus la proporción de semillas no germinadas:

$$\text{Ventaja de germinada} = \frac{p^{\text{germinada}}}{1 - p^{\text{no germinada}}}$$

Para obtener la razón de ventaja (RV), se empleó el resultado calculado de la ventaja de semillas germinadas, con este, según correspondiera el experimento, se calcularon las razones de ventaja, se realizaron todas las combinaciones necesarias de factores. Es decir, todas las razones de ventaja (RV) de semillas germinadas versus las semillas no germinadas se compararon contra el testigo y también entre cada tratamiento. Se empleó la probabilidad ( $p$ ) asociada a las pruebas de hipótesis de que la  $RV=1$ ; si la RV es positiva o mayor que 1, hay una ventaja del número de semillas germinadas. Por el contrario, si la RV es negativo o menor a 1, hay una desventaja del número de semillas germinadas. Por ejemplo, en el caso del primer experimento, la razón de ventaja de semillas escarificadas versus semillas no escarificadas se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Razón de ventaja (RV)} = \frac{\text{Ventaja de germinada en semilla escarificada}}{\text{Ventaja de germinada en semilla no escarificada}}$$

Para mayor información del modelo de regresión logística y el uso de razones de ventaja se puede consultar a Agresti, (2013) y revisar los trabajos mencionados en el marco teórico.

Los datos del quinto experimento se analizaron mediante ANOVA para mediciones repetidas. Se utilizó un nivel de significancia del 5 %.

El procesamiento de los datos de los cinco experimentos se efectuaron mediante el programa JMP versión 9 (SAS Institute Inc: [http://www.jmp.com/en\\_us/software/jmp.html](http://www.jmp.com/en_us/software/jmp.html)).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Experimento 1. Influencia de diferentes porcentajes de sombra sobre la germinación del zacate manchado (*I. rugosum*).

En el experimento ejecutado en la estación seca a los 15 dds y en la época de transición a lluviosa, tanto a los cuatro dds como a los 15 dds, la interacción tipo de semilla y el porcentaje de sombra fue significativa (Cuadro 8 y Cuadro 9). La significancia de la interacción indica que el efecto de la escarificación fue diferente de un porcentaje de sombra a otro. Para interpretar la interacción se utilizaron las razones de ventaja de germinación calculadas.

**Cuadro 8.** Efectos y probabilidades asociadas con la germinación de *I. rugosum* a los 15 dds del experimento efectuado en la estación seca. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica, 2016.

Efectos	Probabilidad
% sombra	<0,0001*
Escarificada	0,461
% sombra*Escarificada	0,0097*
Micro túnel	0,1273

\*Significativo al 5 %

**Cuadro 9.** Efectos y probabilidades asociadas a la germinación de *I. rugosum* a los cuatro dds y 15 dds, experimento efectuado en estación transición a lluviosa. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica, 2016.

Efectos	Probabilidad	
	Cuatro dds	Quince dds
% sombra	0,3045	0,8106
Escarificada	<0,0001*	<0,0001*
% sombra*Escarificada	<0,0001*	<0,0001*
Micro túnel	0,7784	<0,0001*

\*Significativo al 5 %

En la época seca hubo una menor proporción de semillas germinadas en comparación con la que se encontró en la época transición a lluviosa (Cuadro 10 y Cuadro 11). Además en la época seca la germinación ocurrió a partir de los 15 dds, con 0 % y 70 % la proporción de semillas germinadas con escarificación incrementó levemente en comparación con las no escarificadas, mientras que con 30 % y 50 % la mayor proporción de semillas germinadas se encontró en semillas no escarificadas (Figura 5), no obstante, con el uso de ambos tipos de semilla bajo el 100 % de sombra, no se obtuvo germinación (Cuadro 10). En cuanto a la época transición a lluviosa, las semillas escarificadas germinaron más rápido que las semillas no escarificadas. Estas últimas tardaron 11 días más después que las primeras para alcanzar la germinación uniforme y sobrepasar el número de semillas germinadas

que las escarificadas alcanzaron a los cuatro dds (Cuadro 11). A los 15 dds la mayor proporción de semillas germinadas se encontró con los tratamientos semilla escarificada con 50 % y 70 % de sombra (sarán color verde) (Cuadro 11), sin embargo, bajo este último las plántulas de *I. rugosum* resultaron elongadas en comparación con las que se observaron bajo 50 % de sombra (Figuras 6).

**Cuadro 10.** Proporción de semillas germinadas de *I. rugosum* en las escarificadas y en las no escarificadas de acuerdo con los porcentajes de sombra empleados en el experimento realizado en la estación seca a los 15 dds. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica, 2016.

Porcentaje de sombra (%)	Tipo de semilla	
	Escarificada	No escarificada
0	0,15	0,12
30	0,13	0,18
50	0,18	0,24
70	0,11	0,04
100	0	0

**Cuadro 11.** Proporción de semillas germinadas escarificadas o no escarificadas de acuerdo con los porcentajes de sombra empleados en el experimento realizado en la estación transición a lluviosa. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica, 2016.

Porcentaje de sombra (%)	Días después de siembra (dds)			
	Cuatro		Quince	
	Escarificadas	No escarificadas	Escarificadas	No escarificadas
0	0,5	0,18	0,5	0,51
30	0,58	0,09	0,68	0,59
50	0,66	0,08	0,81	0,56
70 a	0,7	0,07	0,78	0,29
70 b	0,62	0,06	0,72	0,37

a= Sarán color verde; b= Sarán color blanco



**Figura 5.** Germinación alcanzada a los 15 dds en el tratamiento de semilla no escarificada con 30 % y 50 % de sombra. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica, 2016.



**Figura 6.** Germinación alcanzada en el tratamiento de semilla escarificada con 50 % de sombra durante la estación transición a lluviosa a los 4 dds (A) y a los 15 dds (B) y en el tratamiento de semilla escarificada con 70 % de sombra (sarán verde) a los 4 dds (C) y a los 15 dds (D). EEAFBM, Alajuela, Costa Rica, 2016.

Lo descrito anteriormente, se vio reflejado al obtener las razones de ventaja en la muestra, dado que en la época seca las razones de ventaja fueron mucho menores a las que se encontraron en la época transición a lluviosa. En época seca la germinación de acuerdo al porcentaje de sombra ocurrió de mayor a menor en el siguiente orden: 50 % > 30 % > 0 % > 70 % y en la época de transición a lluviosa a los 4 dds fue de 50 % > 70 % (sarán verde) > 70 % (sarán blanco) > 30 % > 0 % y a los 15 dds fue de 70 % (sarán verde) > 70 % (sarán blanco) > 50 % > 30 % > 0 %. En la época seca, bajo todos los porcentajes de sombra hubo ventaja de germinación de semillas no escarificadas vs. escarificadas aunque en 0 % y 70 %, este valor fue ligeramente menor en comparación con los anteriores, lo cual demuestran que bajo estos porcentajes de sombra, la germinación también estuvo favorecida por la escarificación. En contraste con lo anterior, en la época transición a lluviosa, las razones de ventaja obtenidas en la muestra a los cuatro dds, al emplear todos los porcentajes de sombra, hubo ventaja de germinación para la escarificación vs. la no escarificación, y la mayor razón de ventaja se encontró con el 50 % de sombra. A los 15 dds todas la razones de ventaja disminuyeron, y en este periodo la mayor razón de ventaja ocurrió en el 70 % de sombra con serán verde. Lo anterior significa que las semillas no escarificadas tardaron más en germinar y necesitaron más luz para hacerlo (Cuadro 12 y Cuadro 13).

**Cuadro 12.** Razones de ventaja de germinación para semilla escarificada y semilla no escarificada bajo los porcentajes de sombra utilizados en el experimento realizado en la estación seca. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica, 2016.

Días después de siembra (dds)	Razón de ventaja del tipo de semilla	Porcentaje de sombra (%)			
		0	30	50	70
15	No escarificada /Escarificada	0,98 /1	1,47/1	1,49/ 1	0,96/1

**Cuadro 13.** Razones de ventaja de germinación para semilla escarificada y semilla no escarificada encontrada bajo los porcentajes de sombra utilizados en la estación transición a lluviosa. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica, 2016.

Días después de siembra (dds)	Razón de ventaja del tipo de semilla	Porcentaje de sombra (%)				
		0	30	50	70 a	70 b
4	Escarificada/ No escarificada	4,66/1	14,58/1	157,59/1	30,56/1	26,57/1
15	Escarificada/ No escarificada	0,94/1	1,49/1	3,25/1	8,67/1	4,57/1

a= Sarán color verde; b= Sarán color blanco

Según los resultados descritos, la germinación de semillas escarificadas y no escarificadas de *I. rugosum* estuvo influenciada positivamente por el porcentaje de sombra. Sin embargo con el 100 % de sombra no ocurrió germinación. Esto posiblemente se deba a que la semilla de esta maleza requiere de un estímulo lumínico para germinar y por lo que se podría catalogar como fotoblástica positiva (Bakar y Nabi, 2003; Jarra *et al.*, 2007). Se ha reportado que la emergencia de plántulas de *I. rugosum* puede verse favorecida por porcentajes de 50 % y 70 % sombra (Marengo y Reis, 1998).

La diferencia del efecto de la sombra sobre la probabilidad de germinación en semillas escarificadas vs. las no escarificadas que resultó de una época a otra, probablemente se deba a que dicho efecto estuvo influenciado por el nivel de latencia en que se encontraba la semilla en cada época, es posible que en la época seca este nivel estuviera más alto y por ello hubo una baja germinación (Rossetti, 2014), además las condiciones imperantes en dicha época fueron más limitantes para permitir la germinación, por ejemplo, uno de los factores más influyentes para la ruptura de latencia es la humedad relativa (Baskin y Baskin, 2014), en la época seca fue menor en comparación con la que se registró en la época transición a lluviosa (Cuadro 14 y Cuadro 15), y esta condición quizás pudo influir de forma positiva en la germinación de semillas en la época transición a lluviosa.

**Cuadro 14.** Promedio de temperatura, humedad relativa, radiación solar, el cociente de luz roja y roja lejana encontrada durante la estación seca. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica, 2016.

Hora	Variable	Porcentaje de sombra (%)				
		0	30	50	70	100
08:30 a.m.	Temperatura (°C)	31,7	31,7	31,8	31,3	30,2
	Humedad relativa (%)	45	44	44	45	48
	Radiación solar (W/m <sup>2</sup> )	729,7	551,0	421,2	187,8	0,4
	Cociente de luz Rojo/Rojo lejano	1,2	1,1	0,9	0,9	0,9
11:30 a.m.	Temperatura (°C)	35,3	35,6	35,2	34,9	36,2
	Humedad relativa (%)	39	38	39	40	37
	Radiación solar (W/m <sup>2</sup> )	957,7	682,4	477,4	239,1	0,5
	Cociente de luz Rojo/Rojo lejano	1,1	1,1	1,0	0,8	0,9
01:30 p.m.	Temperatura (°C)	35,59	34,49	34,54	34,15	35,47
	Humedad relativa (%)	44	45	46	46	42
	Radiación solar (W/m <sup>2</sup> )	766,9	554,6	362,1	192,6	0,4
	Cociente de luz Rojo/Rojo lejano	1,1	0,9	0,8	0,8	0,7



**Cuadro 15.** Promedio de temperatura, humedad relativa, radiación solar, el cociente de luz rojo y rojo lejano encontrada en época transición a lluviosa. EEAFBM, Alajuela, Costa Rica, 2016.

Hora	Variable	Porcentaje de sombra (%)				
		0	30	50	70 (a)	70 (b)
8:00 a.m.	Temperatura (°C)	31,4	30,8	30,8	30,7	32,9
	Humedad relativa (%)	58	59	59	59	57
	Radiación solar	465,1	365,0	259,0	123,3	375,0
	Cociente de luz Rojo/Rojo lejano	1,2	1,1	1,1	1,0	1,2
10:00 a.m.	Temperatura (°C)	34,3	34,2	33,6	33,7	35,0
	Humedad relativa (%)	52	52	53	53	51
	Radiación solar	552,8	457,7	287,3	148,1	469,3
	Cociente de luz Rojo/Rojo lejano	1,2	1,2	1,1	1,0	1,2
12:00 p.m.	Temperatura (°C)	32,58	32,83	31,74	31,82	34,17
	Humedad relativa (%)	55	56	58	57	54
	Radiación solar	342,2	693,5	163,7	90,4	288,3
	Cociente de luz Rojo/Rojo lejano	1,2	1,2	1,2	1,0	1,2

a= Sarán color verde; b= Sarán color blanco

El efecto de la escarificación fue más influyente en la época transición a lluviosa en comparación con la época seca, este es un buen método para romper latencia de las semillas que poseen latencia física, ya que este permite que se dé el intercambio gaseoso, el proceso de imbibición y el ingreso de luz (Jarma *et al.*, 2007; Sobrevilla *et al.*, 2013). Ciertos componentes en las cubiertas de las semillas pueden concederle impermeabilidad al agua y al intercambio gaseoso, como suberina, lignina, tanino, pectina y derivados de la quinona (Moreira y Nakawa, 1988), por ello la escarificación cumple un papel importante para la remoción de las cubiertas, las cuales pueden además, impedir el paso del oxígeno, que es indispensable para que ocurra germinación (Herrera *et al.*, 2006).

En otras especies de la familia Poaceae, como es el caso del arroz rojo la escarificación resultó un tratamiento efectivo para liberar latencia debido a que el complejo pericarpo y la testa restringen la disponibilidad de oxígeno a los tejidos embrionarios (Delouche *et al.*, 2007). Duclos *et al.*, (2013) demostraron que la remoción de las glumas, la lema y la palea en *P. virgatum* L. bajo una atmósfera modificada inyectada con 100 % de oxígeno aumentaron al 100 % la germinación, en comparación con la semillas a las cuales no se les removieron dichas estructuras y que también fueron colocadas bajo las mismas condiciones.

Un aspecto a considerar sobre la escarificación es la velocidad de germinación, según Pabón (1983), en un estudio de germinación con *I. rugosum* se comprobó que la velocidad de germinación es mayor cuando se eliminan las cubiertas al mostrar que la semilla sin escarificar tardó 50 días para alcanzar la

emergencia que la semilla escarificada había tenido a los 10 días. Esto coincide con lo que se encontró en este experimento, bajo estas condiciones.

A pesar de las ventajas que se han mencionado de la escarificación, ésta presenta como desventaja que a la hora de ejecutar el método se consume mucho tiempo, en especial si se requieren grandes cantidades de semilla y también podría dar paso a la entrada de hongos. Sin embargo el efecto de la contaminación puede reducirse empleando métodos de desinfección con el uso de fungicidas a la hora de realizar las pruebas de germinación (Merola y Díaz, 2012; Sobrevilla *et al.*, 2013; Baskin y Baskin, 2014; Vázquez *et al.*, 1997), lo cual implicaría un mayor costo.

**Experimento 2. Evaluación del efecto del nitrato de potasio (KNO<sub>3</sub>) sobre la germinación del zacate manchado (*I. rugosum*).**

El uso de KNO<sub>3</sub> al 0,25 % por 16 horas y por 24 horas mostró razones de ventaja de germinación significativas y mayores que 1 al compararlas con las del testigo (sin imbibición). Al emplear KNO<sub>3</sub> no se produjo ventaja de 16 horas vs. 24 horas (p=0,3488), por ello ambos tratamientos tendrían el mismo efecto sobre la germinación (Cuadro 16 y Cuadro 17) (Figura 7).

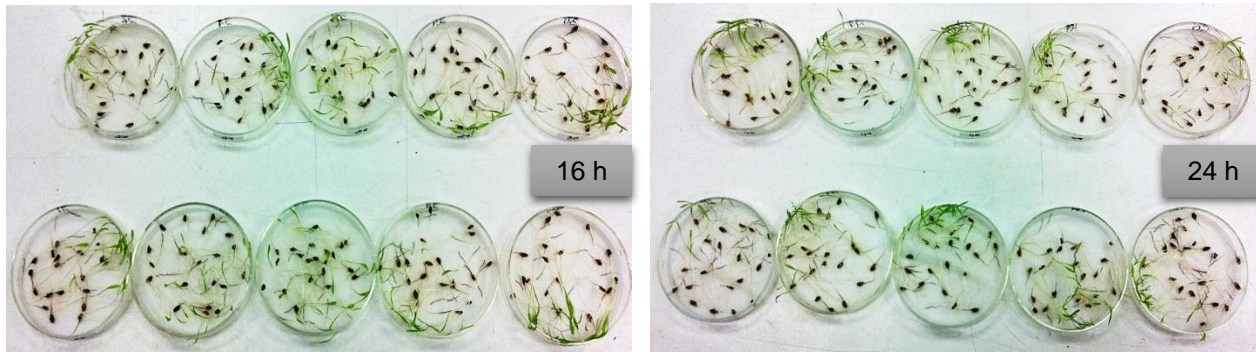
**Cuadro 16.** Razones de ventaja y probabilidad asociada de acuerdo con el tratamiento empleado para realizar la imbibición en las semillas de *I. rugosum*. CIGRAS, San José, Costa Rica, 2016.

Tratamientos	Razón de ventaja	Probabilidad
KNO <sub>3</sub> 16 h vs. Testigo	4,4372502	<0,0001*
KNO <sub>3</sub> 24 h vs. Testigo	6,3126727	<0,0001*
KNO <sub>3</sub> 24 h vs.KNO <sub>3</sub> 16 h	1,4226542	0,3488
H <sub>2</sub> O 16 h vs. Testigo	1,8708822	0,0075*
H <sub>2</sub> O 24 h vs. Testigo	1,2821272	0,2652
H <sub>2</sub> O 16 h vs. H <sub>2</sub> O 24 h	1,4592017	0,1176
KNO <sub>3</sub> 16 h vs.H <sub>2</sub> O 16 h	2,3717421	0,0036*
KNO <sub>3</sub> 24 h vs.H <sub>2</sub> O 24 h	4,923593	<0,0001*

\*Significativo al 5 %

**Cuadro 17.** Efecto de la imbibición en agua y nitrato de potasio (KNO<sub>3</sub>) a dos periodos, sobre la proporción de semillas germinadas de *I. rugosum*. CIGRAS, San José, Costa Rica, 2016.

Tiempo de imbibición (h)* Tipo de sustancia	Proporción
Testigo	0,70
H <sub>2</sub> O 16 h	0,81
KNO <sub>3</sub> 16 h	0,91
H <sub>2</sub> O 24 h	0,75
KNO <sub>3</sub> 24h	0,94



**Figura 7.** Germinación alcanzada a los ocho dds en las 10 repeticiones de los tratamientos de imbibición por 16 h y 24 h en nitrato de potasio ( $\text{KNO}_3$ ). CIGRAS, San José, Costa Rica, 2016.

Se ha demostrado la eficacia de la aplicación externa de  $\text{KNO}_3$  al 0,25 % para romper latencia de las semillas de *I. rugosum* sin escarificar (Ortiz *et al.*, 2013). Cuando se comparó el uso de  $\text{KNO}_3$  con el  $\text{H}_2\text{O}$  tanto en 16 horas como en 24 horas, las razones de ventaja fueron significativas y mayores que 1 (Cuadro 16), lo cual coincide con lo que Jarma *et al.*, 2007 reportaron para esta especie, que al aplicar  $\text{KNO}_3$  al 10 % durante 24 h sobre semillas escarificadas de *I. rugosum* resultó en un 96 % de germinación mientras que la imbibición de semillas durante 24 h en agua produjo un 20 % de germinación. El tratamiento 24 horas en agua y el testigo no tuvieron diferencia significativa ( $p=0,2652$ ), y la proporción de semillas germinadas obtenidas en ambos tratamientos fue muy similar (Cuadro 16 y Cuadro 17), es muy probable que en esta etapa experimental, la semilla se encontraba con un nivel de latencia muy bajo y en ese estado las semillas tienen la capacidad de germinar bajo una mayor amplitud de condiciones, siempre y cuando dichas condiciones sean óptimas para la germinación (Baskin y Baskin, 2014).

En otras especies de la familia Poaceae también se ha comprobado la eficacia de la aplicación de  $\text{KNO}_3$  a una dosis de 0,2 % tales como en *Cenchrus ciliaris* (Bilbao y Matías, 1979), *Holcus lanatus*, *Poa pratensis*, *Dactylis glomerata*, *Anthoxanthum odoratum* (Balocchi *et al.*, 1999) y en semillas de maíz aunque en ese caso fue a una dosis de 0,5 % (Siadat *et al.*, 2011). Asimismo, la aplicación de  $\text{KNO}_3$  en especies de otras familias como Solanaceae ha resultado eficaz para romper latencia, 0,2 % de  $\text{KNO}_3$  en *Capsicum chinense* (Andrade y Laurentin, 2015) y 2,5 %  $\text{KNO}_3$  en *Solanum sessiliflorum* (Moreno, 2012).

En resumen, el efecto del  $\text{KNO}_3$  sobre la germinación de *I. rugosum* provocó aumentos significativos comparado con el testigo y con agua (Cuadro 16). Se conoce que el uso de esta sustancia estimula el proceso germinativo de las semillas fotoblásticas, dado que este compuesto puede actuar sobre el fitocromo A (Batak *et al.*, 2002). Además, el  $\text{KNO}_3$  rompe la latencia en muchas de las semillas de las

poáceas, debido a la acción estimuladora del nitrato sobre la vía pentosa fosfato (la vía que genera NADPH en tejidos no fotosintéticos como en semillas en proceso de germinación) y por lo tanto influye en la fase inicial de la germinación (Moreira y Nakawa, 1988), dicha molécula puede aumentar indirectamente la oxidación de NADPH (Nonogaki *et al.*, 2010). Por otra parte, en semillas latentes de *Arabidopsis* se comprobó que el nitrato funciona como señal para la actividad del ácido abscísico y el ácido giberélico (Alboresi *et al.*, 2005). No obstante, el mecanismo de acción del KNO<sub>3</sub> aún se desconoce (Siadat *et al.*, 2011).

**Experimento 3. Influencia de la temperatura en la germinación del zacate manchado (*I. rugosum*).**

El efecto de la temperatura fue significativo ( $p < 0,0001$ ) sobre la germinación de semillas. La temperatura alterna (15 °C y 30°C), el testigo (temperatura ambiente a 26 °C) y la temperatura constante de 30 °C muestran razones de ventaja muy elevadas y significativas cuando se comparan con 15 °C, dado que bajo esta temperatura no ocurrió el proceso germinativo. De acuerdo con ello, las temperaturas aplicadas pueden acomodarse en dos grupos, el primero incluye la temperatura a 15 °C que no permitió germinación y el segundo las tres temperaturas, fluctuación 15 °C y 30 °C, 30 °C y testigo que tuvieron un efecto similar entre sí y positivo sobre la germinación, no obstante la fluctuación tuvo un efecto significativamente mayor que el testigo, el efecto de 30 °C y el testigo fue significativamente el mismo, al igual que el efecto de la fluctuación y 30 °C (Cuadro 18 y Cuadro 19) (Figura 8).

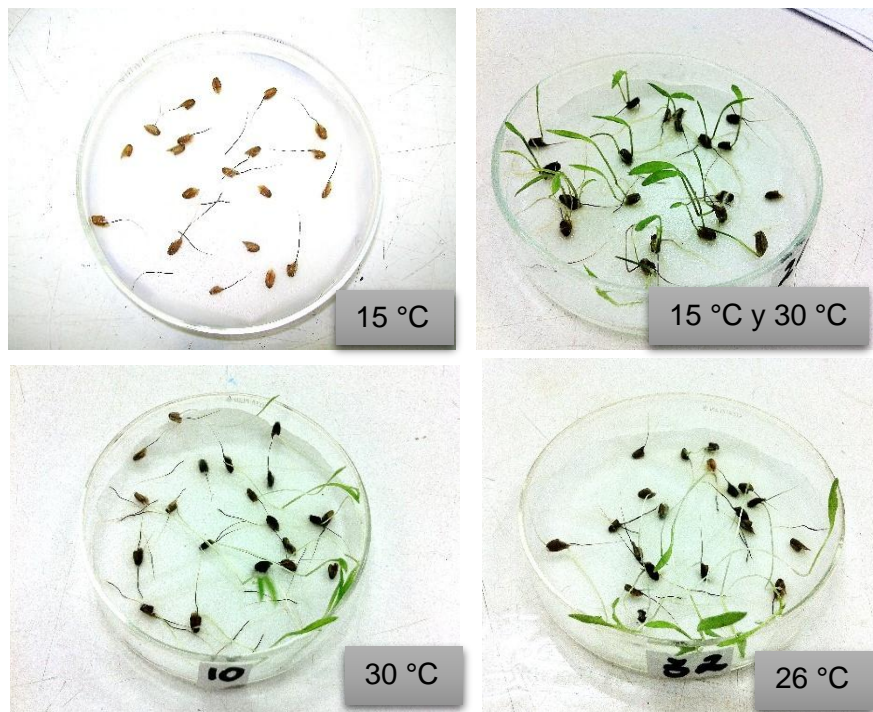
**Cuadro 18.** Razones de ventaja y probabilidades asociadas de acuerdo con las diferentes temperaturas utilizadas para estimular la germinación de *I. rugosum*. CIGRAS, San José, Costa Rica, 2016.

Tratamientos	Razón de ventaja	Probabilidad
15 °C y 30 °C vs. 15 °C	2,5336e+9	<0,0001*
15 °C y 30 °C vs. 30 °C	1,2734108	0,3258
15 °C y 30 °C vs. 26 °C	1,8270677	0,0103*
30° C vs. 15 °C	1,9896e+9	<0,0001*
30° C vs. 26 °C	1,4347826	0,1123
26° C vs. 15 °C	1,3867e+9	<0,0001*

\*Significativo al 5 %

**Cuadro 19.** Efecto de la temperatura empleada sobre la proporción de semillas germinadas de *I. rugosum*. CIGRAS, San José, Costa Rica, 2016.

Temperatura (°C)	Proporción
15	0,00
15 y 30	0,81
26	0,70
30	0,77



**Figura 8.** Germinación alcanzada a los 8 dds mediante la aplicación de los diferentes tratamientos de temperatura. CIGRAS, San José, Costa Rica, 2016.

De acuerdo con lo anterior, la alta proporción de semillas germinadas en el testigo respecto a los tratamientos con fluctuación de temperaturas y 30 °C (segundo grupo), podría indicar que la influencia de la temperatura sea para la germinación y no para la ruptura de latencia, y en ese caso las temperaturas óptimas para la ruptura de latencia y para la germinación no son necesariamente similares (Hilhorst y Toorop, 1997). Las semillas latentes requieren percibir temperaturas más específicas que puedan asegurar que ocurra la supervivencia de las plántulas, generalmente las temperaturas imperantes en la estación lluviosa, no obstante, si las semillas no se encuentran latentes pueden germinar bajo un rango más amplio de temperaturas, siempre y cuando éstas sean óptimas, y otros factores como humedad y luz no sean limitantes (Baskin y Baskin, 2014).

En contraste con la fluctuación de temperaturas, la temperatura constante es más efectiva para romper latencia física (Baskin y Baskin, 2014), probablemente se deba a que una temperatura óptima active la síntesis de  $AG_3$  y este compuesto active las enzimas hidrolasas que permiten la emergencia de la radícula (Herrera *et al.* 2006). En este trabajo la temperatura constante de 30 °C no tuvo diferencia con el testigo ni con la fluctuación (15°C y 30°C), aunque se reporta un aumento ligeramente significativo de la fluctuación con respecto al testigo, este efecto pudo ocurrir debido a que, se asocia al cambio de temperaturas que ocurre entre el día y la noche, lo cual simula el hábitat natural en que crecen las especies; o en caso de semillas que crecen en climas estacionarios el cambio de temperatura que se da en las distintas estaciones sirve para indicar la finalización de la latencia. Otras razones por las cuales algunos procesos germinativos se encuentran influenciados por la temperatura alterna, son porque las semillas la emplean como un mecanismo para detectar la profundidad, la presencia de vacíos en la vegetación y el cambio en las estaciones (Pérez y Martínez, 1994; Labrada *et al.*, 1996; Baskin y Baskin, 2014).

En algunas especies de la familia Poaceae la fluctuación de temperatura ha resultado un método eficaz, por ejemplo, al someter semillas de *P. virgatum* L. a la fluctuación (15°C y 30°C) de temperaturas durante un mes resultó en un 58 % de germinación, mientras que este porcentaje fue de 2 % y 7 % al someter las semillas a temperatura constante de 15 °C y 30 °C, respectivamente (Duclos *et al.*, 2014). En *Sorghum halepense* la latencia innata se redujo gradualmente al aplicar ciclos fluctuantes de temperatura (Benech *et al.*, 1990).

La ausencia de germinación bajo 15 °C coincide con lo que reportaron Bakar y Nabi, (2003) quienes tampoco encontraron germinación al someter la semilla de *I. rugosum* a 15 °C. Probablemente, esta temperatura causó la muerte del embrión o prolongó la latencia, ya que bajo una temperatura no óptima para la germinación ya sea que esta se encuentre por encima de la máxima o debajo de la mínima tolerada por la especie, puede llegar a estimular el desarrollo de latencia secundaria impidiendo así la germinación, este tipo de latencia es muy común en semillas de malezas (Mérola y Díaz, 2012). Los mecanismos fisiológicos por los que se puede inducir a una latencia secundaria, es porque la temperatura posee influencia sobre fitohormonas, específicamente las vías ABA / GA. La pérdida de latencia bajo temperaturas adecuadas se asocia con una reducción en la síntesis del ácido abscísico (ABA) y un aumento en la síntesis del ácido giberélico ( $GA_3$ ). Contrario a ello, una temperatura no óptima para la germinación puede aumentar la tasa de biosíntesis del ABA y se considera que el proceso germinativo se ve inhibido por dicha hormona que además puede imponer latencia, por ello es importante conocer las temperaturas que se producen bajo el hábitat natural de las especies puede ser

de gran utilidad para seleccionar la temperatura adecuada para romper latencia (Bewley, 1997; Yoshioka *et al.*, 1998; Baskin y Baskin, 2014; Duclos *et al.*, 2014).

Las semillas de *I. rugosum* es originaria de Asia tropical, pero se encuentra extendida por Asia, África, Centroamérica, Caribe, Sudamérica, y Oceanía (Bakar y Manidool, 1992), y aunque la temperatura influye en la germinación, los requerimientos para la ruptura de los procesos de latencia se basan en el origen de la especie; en general las semillas de origen tropical necesitan de elevadas temperaturas para interrumpir el reposo (Herrera *et al.* 2006). En cambio, en otras especies de la familia Poaceae como *Setaria faberi* las semillas pueden germinar y sus plántulas se pueden establecer bajo temperaturas constantes de 15 °C y 30 °C, no obstante esta maleza es de origen europeo y se encuentra extendida en América del Norte y en algunos países de clima templado (Vanden, 1971; Douglas *et al.*, 1985; Mester y Buhler, 1991).

En comparación con los resultados encontrados en este trabajo también se ha reportado influencia positiva de la temperatura sobre la germinación de *I. rugosum*. En otros trabajos donde las semillas fueron sometidas por tiempos menos prolongados, Jarma (*et al.*, 2007) encontraron un 41,9 % de germinación bajo temperatura constante de 30 °C, por un lapso de cuatro horas. Vargas, (1994) obtuvo un 92 % y un 100 % de germinación al exponer la semilla a de 40 °C y 60 °C, respectivamente durante una hora. Bakar y Nabi, 2003 utilizaron un tiempo más prolongado el cual fue de seis días, y determinaron que el rango de temperaturas óptima fue de 25 °C a 30 °C ya que este produjo valores de 43 % a 100 % de germinación.

#### **Experimento 4. Efecto de diferentes grados de temperatura del agua de imbibición sobre la germinación del zacate manchado (*I. rugosum*).**

Con el agua de imbibición a temperatura ambiente (sin previo calentamiento a 23 °C) se obtuvieron razones de ventaja de germinación mayores que 1 y significativas cuando se comparó con los tratamientos de 30 °C, 45 °C, 65 °C y el testigo (sin imbibición). Todos los tratamientos incluyendo el testigo (sin imbibición) tienen razones de ventaja mayores que 1 y significativas al compararlas con 65 °C, ya que la germinación con esta temperatura fue prácticamente nula (Cuadro 20 y Cuadro 21) (Figura 9). Los resultados encontrados en este experimento difieren de los que reportó Pabón, (1983) quien al pre-tratar semillas de *I. rugosum* con agua que se calentó durante una hora a temperaturas de 20 °C, 40 °C y 60 °C se encontró un aumento significativo de la germinación a los 10 dds con la temperatura a 60 °C.

**Cuadro 20.** Razones de ventaja y probabilidades asociadas de acuerdo con los tratamientos de diferentes temperaturas del agua de imbibición para estimular la germinación de *I. rugosum*. CIGRAS, San José, Costa Rica, 2016.

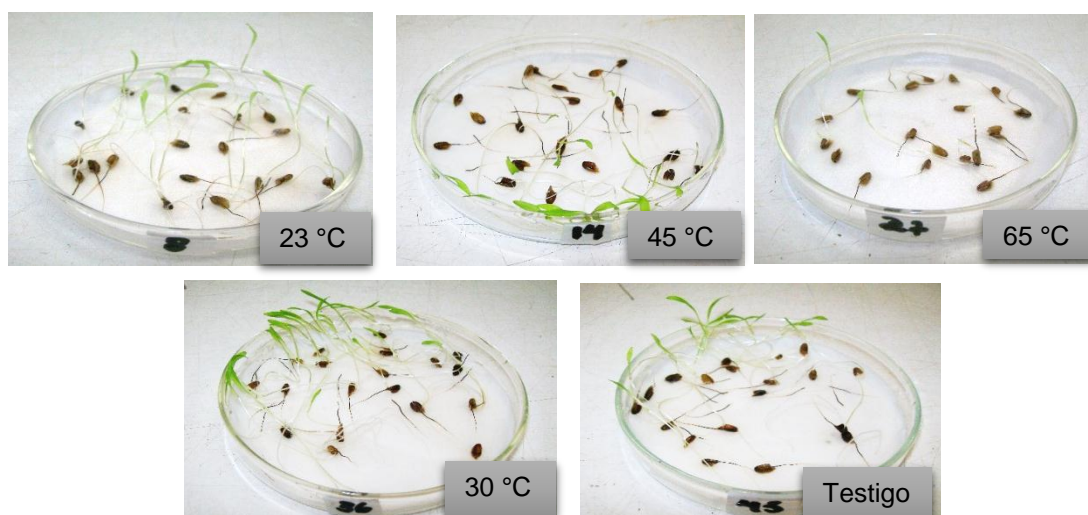
Tratamientos	Razón de ventaja	Probabilidad
23 °C vs. 30 °C	2,4917695	0,0003*
23 °C vs. 45 °C	2,0792249	0,0048*
23 °C vs.65 °C	121,74074	<,0001*
23 °C vs. Testigo	2,0233918	0,0068*
30 °C vs. 65 °C	48,857143	<,0001*
45 °C vs. 65 °C	58,55102	<,0001*
45 °C vs. 30 °C	1,1984127	0,4262
Testigo vs.30 °C	1,2314815	0,3616
Testigo vs. 45 °C	1,0275938	0,9071
Testigo vs. 65 °C	60,166667	<,0001*

\*Significativo al 5 %

**Cuadro 21.** Efecto de la temperatura del agua de imbibición sobre la proporción de semillas germinadas de *I. rugosum*. CIGRAS, San José, Costa Rica, 2016.

Temperatura (°C)	Proporción
23	0,87
30	0,72
45°	0,76
65°	0,05
Testigo	0,76





**Figura 9.** Germinación alcanzada a los 8 dds mediante la aplicación de los tratamientos de temperatura del agua de imbibición. CIGRAS, San José, Costa Rica, 2016.

En este trabajo como se indicó anteriormente, el tratamiento temperatura ambiente (sin previo calentamiento a 23 °C) tuvo mayor razón de ventaja cuando se comparó contra cada uno de los tratamientos (Cuadro 20) (Figura 9). No obstante, la razón de ventaja en los tratamientos testigo vs. 30 °C y testigo vs 45 °C no fue significativa (Cuadro 20), en esta etapa del experimento, la semilla puede que tuviera una condición no latente, cuando esto sucede, las semillas pueden germinar bajo una amplitud de condiciones adecuadas para la germinación (Baskin y Baskin, 2014).

Aunque vale la pena recalcar, que hubo efecto del tratamiento bajo imbibición a temperatura ambiente (sin previo calentamiento a 23 °C) vs. el testigo, lo cual podría indicar que el método de embeber las semillas, puede contribuir a mejorar el proceso germinativo sin necesidad de calentar el agua de imbibición (Pabón, 1983). Debido a que, mediante éste se da la hidratación de las membranas y con ello ocurre la activación del metabolismo (Herrera *et al.* 2006).

Además, el método de calentar el agua de imbibición no estimuló la germinación y un aumento de hasta 65 °C fue inhibitorio. Una posible explicación es que al someter las semillas a altas temperaturas tales como 65 °C, pudo provocar la muerte del embrión o bien pueden desencadenar el proceso de termo-inhibición que ocasiona la síntesis del ácido abscísico (ABA) lo cual evita la biosíntesis ácido giberélico ( $GA_3$ ) por lo que se previene la germinación (Franklin, 2009).

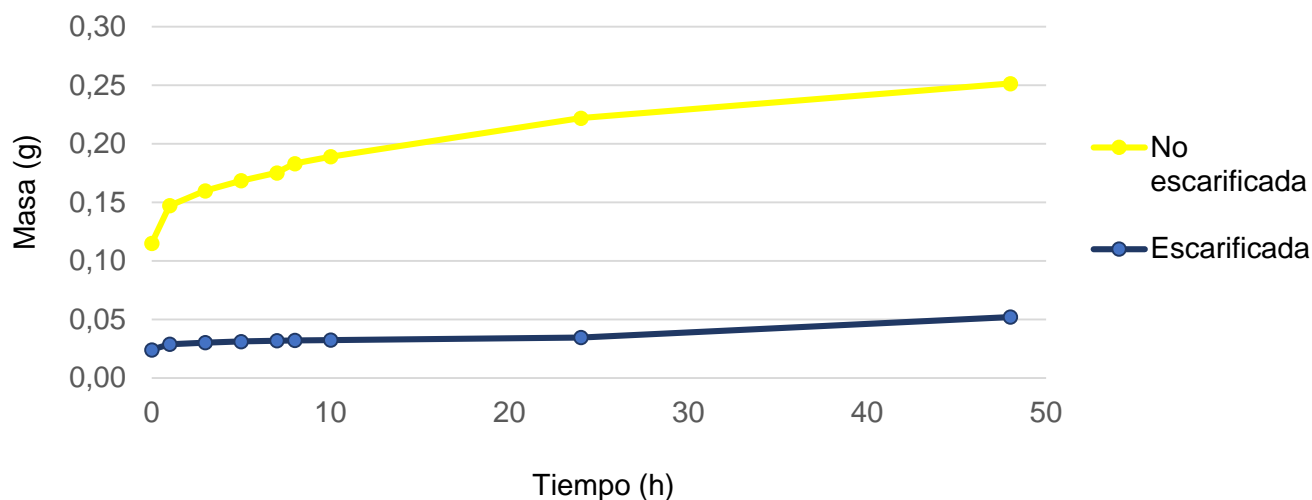
### **Experimento 5. Obtención de la curva de imbibición en semillas del zacate manchado (*I. rugosum*) escarificadas y no escarificadas.**

Exisitíó diferencia significativa entre la curva de semillas escarificadas y no escarificadas. La duración de cada fase encontrada en la muestra fue diferente entre los dos tipos de semilla. En semillas no escarificadas la primera se completó a las tres horas, la segunda a las 10 horas y la tercera a las 48 horas. En las semillas escarificadas, la fase I y la fase II no se diferenciaron entre sí, la fase III se da entre las 24 h y 48 h, en ese lapso las semillas iniciaron la emergencia de la radícula. (Figura 10).

La tendencia muestral del peso en el tiempo demuestra que hubo un ligero aumento en semillas no escarificadas más que en las escarificadas (Figura 10). Además, las diferencias encontradas en la duración de cada fase para cada tipo de semilla indican que la cubierta juega un papel fundamental para regular el ingreso del agua, ya que esta podría funcionar como reservorio de agua (Jarma *et al.*, 2007). La ganancia de peso es ligeramente mayor en semillas no escarificadas porque en esta semillas contienen dos carióspsides, además de la presencia de las cubiertas y su potencial hídrico, lo cual hace que la ganancia de peso sea mayor en comparación con la semillas escarificada (una sola carióspside) (Moreno *et al.*, 2006). Por otra parte, en la semilla escarificada la ganancia de peso es más estable en comparación con la no escarificada, posiblemente porque no hay presencia de cubierta y esto hace que la toma de agua por parte de la semilla sea más constante.

Esto no coincide con los resultados de Moreno *et al.*, (2006), los cuales trabajaron con escarificadas y escarificadas de *Hevea brasiliensis* (Euphorbiaceae), en donde las semillas no escarificadas presentaron la tendencia muestral del peso registrado mucho más estable, lo cual comprueba que en dicha especie hay influencia de la cubierta en el proceso de germinación. En caso de *I. rugosum* según los resultados encontrados, la presencia de las cubiertas no impidió el ingreso del agua, sino que esta afecta porque posiblemente posee inhibidores que impiden la germinación, como ácido abscísico y la cumarina (Moreira y Nakawa, 1988; Herrera *et al.*, 2006; Merola y Díaz, 2012).

Otro aspecto a considerar es que las semillas que se encuentran en condición latente pueden alcanzar todos los procesos metabólicos requeridos para completar la germinación (Fase I y Fase II), excepto la fase III (protrusión de la radícula) (Bewley, 1997). En este caso, ambos tipos de semillas experimentaron la fase III, lo cual podría indicar que para este periodo las semillas pudieron superar la latencia (Figura 10).



**Figura 10.** Tendencia muestral de la masa promedio en el tiempo, en semilla de *I. rugosum* escarificada o no escarificada. CIGRAS, San José, Costa Rica, 2016.

## DISCUSIÓN GENERAL

En el presente estudio se demostró que la sombra pudo favorecer el proceso de ruptura de latencia (experimento uno evaluado en época seca y época de transición a lluviosa), pero que un 100 % de sombra puede inhibir la germinación, no obstante, las semillas que requieren de luz para germinar son catalogadas como fotoblásticas positivas, este es un factor que se debe tomar en cuenta para germinar semillas de esta especie.

Para la ruptura de latencia en semillas de *I. rugosum* se pudo observar que los tratamientos de imbibición tuvieron efectos positivos sobre la germinación. Esto se comprobó en el experimento dos mediante los resultados del tratamiento de imbibición en agua (16 horas), así como en el de imbibición en  $KNO_3$  (16 horas y 24 horas), aunque ya para este periodo del experimento se observó que el nivel de latencia se disminuyó, lo anterior, se pudo constatar debido a la alta proporción de semillas germinadas en el testigo al cual no se le aplicó un pre-tratamiento germinativo. Además el efecto positivo de imbibición encontrado en el experimento dos, también se pudo corroborar en el experimento cuatro, donde la imbibición en agua a temperatura ambiente durante una hora, provocó aumentos en la germinación, en comparación con el testigo sin previo tratamiento pre-germinativo. De acuerdo con lo anterior, el efecto de imbibición alternativamente podría estar estimulando la germinación. En caso del

uso de  $\text{KNO}_3$ , los reportes de Bilbao y Matías, 1979, Balocchi *et al.*, 1999, Siadat *et al.*, 2011, Andrade y Laurentin, 2015, Moreno, 2012 indican que el uso de dicha sustancia permite la ruptura de latencia en semillas, aunque en este trabajo se podría decir que el nitrato de potasio también estimuló el proceso de germinación ya que la latencia en este periodo del experimento estuvo a un nivel muy bajo.

Por otra parte la temperatura fue un factor influyente en la respuesta germinativa de esta especie, el uso de temperaturas alternas (15 °C y 30 °C) y la temperatura constante (30 °C) tuvieron un efecto positivo. Sin embargo vale la pena mencionar que las temperaturas de 15 °C (experimento tres) y la de 65 °C (experimento cuatro) no provocaron germinación, en el caso de la primera se podría suponer que esta temperatura desencadenó un proceso de latencia secundaria la cual sucede cuando un factor, en este caso temperatura, no es ideal por lo tanto, la semilla percibe que no habrá condiciones idóneas para el crecimiento de sus plántulas y por ello, esta no inicia el proceso germinativo (Franklin, 2009; Herrera *et al.* 2006). Por otra parte, las bajas temperaturas rompen latencia de semillas que provienen de climas estacionarios, la cual ocurre en el de invierno, para así poder germinar en la primavera (Baskin y Baskin, 2014). En cuanto a la temperatura del agua de imbibición a 65 °C, pudo generar inhibición sobre la germinación, sin embargo, para estudios posteriores se podría comprobar esto mediante la aplicación de una prueba de tetrazolio, esta prueba permite conocer si el embrión se encuentra muerto o vivo (Patil y Dadlani, 2009; ISTA, 2017).

La escarificación en semillas de *I. rugosum* estimuló la germinación, según los resultados en el experimento uno evaluado en la época de transición lluviosa, pero no se estimuló en la época seca. Además se encontró que en el experimento cinco la cubierta pudo funcionar como reservorio. Por lo tanto podría considerarse que a pesar de que la escarificación aumenta la velocidad de la germinación, la cubierta también juega un papel importante para hacer disponible el agua al embrión. Por otro lado, para ejecutar el método de escarificación se requiere de mano de obra especializada y más tiempo en comparación con otros métodos, por lo cual éste se puede considerar, cuando la semilla es recién cosechada ya que es determinante en este periodo por su alto grado de latencia.

## CONCLUSIONES

- En ambas épocas de ejecución (seca, transición a lluviosa), se comprobó la influencia positiva del porcentaje de sombra sobre la proporción de semillas germinadas. No obstante el 100 % de sombra influyó de forma negativa sobre la germinación.
- El efecto de escarificación sobre la germinación fue distinto de una época a otra, y este fue más fuerte en la época transición a lluviosa, este método permitió aumentar la velocidad de germinación, por lo que se recomienda cuando se desea obtener una rápida germinación. A pesar de ello, para realizar este método se debe considerar el objetivo del trabajo que se desee cumplir, la disponibilidad de tiempo y de mano de obra y con base en ello efectuar o no el procedimiento.
- Hubo mayor proporción de semillas germinadas en la época transición a lluviosa que en la época seca, esto podría relacionarse al nivel de latencia y a las condiciones ambientales imperantes en cada época.
- Al evaluar el efecto del  $\text{KNO}_3$  al 0,25 %, este tuvo un efecto favorable sobre la germinación de *I. rugosum* y es más eficaz que utilizar agua, podría ser empleado como pre-tratamiento para germinar. Si no se cuenta con  $\text{KNO}_3$ , se podría emplear imbibición en agua por 16 h, ya que este tratamiento se diferenció con el testigo (sin imbibición).
- Se comprobó la influencia positiva de la temperatura sobre la germinación de *I. rugosum*, de esta forma, puede emplear como método para promover la germinación, no obstante con los resultados encontrados no se pudo distinguir la mejor temperatura, ya que el efecto fue muy similar entre tratamientos, excepto la temperatura a 15 °C la cual no tuvo efecto positivo sobre la germinación.
- La imbibición en agua a temperatura ambiente, sin previo calentamiento (23 °C) resultó más adecuada en comparación las temperaturas de imbibición a 30 °C y 45 °C y el testigo. La temperatura de imbibición a 65 °C provocó un efecto negativo sobre la germinación.
- La curva de imbibición para semillas escarificadas y no escarificadas demostró que en semillas no escarificadas el aumento de peso fue ligeramente mayor que en semillas escarificadas.

## LITERATURA CITADA

- Agresti, A. 2013. Categorical data Analysis. 3 ed. Wiley Interscience. New Jersey, United States. 792 p.
- Agüero, R. 1996. Malezas del arroz y su manejo. Centro de Investigaciones en Protección de Cultivos. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 246 p.
- Alboresi, A., Gestin, C., Leydecker, M., Bedu, M., Meyer, C. and Truong, H. 2005. Nitrate, a signal relieving seed dormancy in Arabidopsis. *Plant Cell and Environment* 28: 200-512.
- Andrade, S., Laurentin H. 2015. Efecto del nitrato de potasio sobre la germinación de semillas de tres cultivares de ají dulce (*Capsicum chinense* Jacq.). *Revista Unellez Ciencia y Tecnología* 33: 25-29.
- Awan, T., Chauhan, B., Cruz, P. 2014. Physiological and Morphological Responses of *Ischaemum rugosum* Salisb. (Wrinkled Grass) to Different Nitrogen Rates and Rice Seeding Rates. *PLoS One* 9(6).
- Bakar, B., Nabi, L. 2003. Seed germination, seedling establishment and growth patterns of wrinklegras (*Ischaemum rugosum* Salisb.). *Weed Biology and Management* 3(18): 8-14.
- Bakar B.B., Manidool C. 1992. *Ischaemum rugosum* Salisb. Plant Resources of South-East Asia. 4. Forages. Pudoc Scientific Publishers, Wageningen, The Netherlands 146-148.
- Balocchi, O., López, I., Pfister, M. 1999. Características físicas y germinativas de la semilla de especies prateras nativas y naturalizadas del dominio húmedo de Chile. *Anthoxanthum odoratum*, *Holcus lanatus*, *Poa pratensis* y *Lotus uliginosus*. *Revista Agro Sur* 27(2):37-47.
- Baskin, C., Baskin, J. 2014. Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination. 2 ed. Elsevier. Amsterdam. 1586 p.
- Batak, I., Dević, M., Gibal, Z., Grubišić, D., Poff, K. L., & Konjević, R. 2002. The effects of potassium nitrate and NO-donors on phytochrome A and phytochrome B-specific induced germination of *Arabidopsis thaliana* seeds. *Seed Science Research* 12(04): 253-259.
- Benech, A., Ghersa, C., Sanchez, R., Insausti, P. 1990. Temperature effects on dormancy release and germination rate in *Sorghum halepense* (L.) Pers. seeds: a quantitative analysis. *Weed Research* 30: 81-89.
- Benech, R., Sánchez, R., Forcella, F., Kruk, B., Ghersa, C. 2000. Environmental control of dormancy in weed seed banks in soil. *Field Crops Research* 67 (2): 105-122.

- Bewley, D. 1997. Seed Germination and Dormancy. *The Plant Cell* 9: 1055-1066.
- Bilbao, B., Matías, C. 1979. Efecto de diferentes métodos de escarificación sobre la germinación de las semillas de *Cenchrus ciliaris* cv. Biloela. *Pastos y Forrajes* 2 (2): 225-238.
- Bilbao, E. 2010. Estudio de tratamientos pre-germinativos en semilla de *Fagus sylvatica* L. Universidad Pública de Navarra. Navarra, España. 65 p.
- Castillo, M., Gómez, R. 2016. Efecto de la esterilización del suelo con vapor de agua sobre semillas de malezas. *Agronomía Mesoamericana* 27(2): 409-413.
- Castro, V., Eyzaguirre, R., Ceroni, A. 2006. Supervivencia de plántulas de *Melocactus peruvianus* Vaupel y *Haageocereus pseudomelanostele* subsp. *aureispinus* (Rauh & Backeberg) Ostolaza, en condiciones experimentales. cerro Umarcata, Valle del Río Chillón, Lima. *Ecología Aplicada* 5(1,2): 61-66.
- Chauhan, B., Johnson, D. 2010. The Role of Seed Ecology in Improving Weed Management Strategies in the Tropics. *Advances in Agronomy* 105: 221-262.
- Cuadra, C. 1993. Germinación, latencia y dormición de las semillas (en línea). Consultado el 2 de agosto del 2017. Disponible en: [http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd\\_1992\\_03.pdf](http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1992_03.pdf)
- Delouche, J., Burgos, N., Gearly, D., Zorrilla, G. 2007. Arroces maleza, origen, biología, ecología y control. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (FAO). Roma, Italia. 157 p.
- Doria, J. 2010. Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales* 31(1): 74-75.
- Douglas BJ, Thomas AG, Morrison IN, Maw MG, 1985. The biology of Canadian weeds. 70. *Setaria viridis* (L.) Beauv. *Canadian Journal of Plant Science* 65(3): 669-690.
- Duclos, D., Ray, D., Johnson, D., Taylor, A. 2014. Investigating seed dormancy in switchgrass (*Panicum virgatum* L.): understanding the physiology and mechanisms of coat imposed seed dormancy. *Industrial Crops and Products* 45: 377-387.
- Dürr, C., Dickie, J., Yang, X.aY., Pritchard, H. 2015. Ranges of critical temperature and water potential values for the germination of species worldwide: Contribution to a seed trait database. *Agricultural and Forest Meteorology* 200 (15): 222-232.

- Finch, W., Leubner, G. 2006. Latencia de las semillas y el control de la germinación. *New Phytologist* 171 (3): 501-523.
- Forcella, F., Benech, R., Sanchez, F., Ghersa, C. 2000. Modeling seedling emergence. *Field Crops Research* 67(2): 123-139.
- Fuentes, A., Segundo, G., Granados, J., Piedrahita, W. 2006. Flora arvense asociada con el cultivo del arroz en el Departamento de Tolima. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 256p.
- Franklin, K. 2009. Light and temperature signal crosstalk in plant development. *Current Opinion in Plant Biology* 12: 63–68.
- Giraldo, D. 2009. Distribución e invasión de gramíneas C<sub>3</sub> y C<sub>4</sub> (POACEAE) en un gradiente altitudinal de los Andes de Colombia. *Caldasia* 32(1): 65-86.
- Heap, I. 2016. Criteria for Confirmation of Herbicide Resistant Weeds with specific emphasis on confirming low level resistance (en línea). Consultado el: 29 de Agosto del 2016. Disponible en: <http://hracglobal.com/herbicidearesistance/confirmingaresistance>.
- Hilhorst, H., Toorop, P. 1997. Review on Dormancy, Germinability, and Germination in Crop and Weed Seeds. *Advances in Agronomy, Academic Press* 61: 111-165.
- Hernández, F. 2011. Evaluación de la resistencia de poblaciones de *Ischaemum rugosum* salisb. a bispiribac sodio en lotes arroceros de la zona del Ariari, Meta. Msc. en Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Colombia. 96 p.
- Herrera, J., Guevara, E., Alizaga, R., Jiménez, V. 2006. Germinación y crecimiento de la planta. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 108 p.
- Holm, L., Pucknett, D., Pancho, J., Herberger, J. 1991. The world's worst weeds. Krieger. Florida, USA. 609 p.
- International Rules for Seed Testing Association (ISTA). 2017. Seed Vigour Testing. International Rules for Seed Testing, Zurich, Switzerland. 296 p.
- Jara, L. 1996. Biología de semillas forestales. CATIE. Prosefor: Danida Forest Seed Centre. 32 p.
- Jarma, A., Arbelaez, J., Clavijo, J. 2007. Germinación de *Ischaemum rugosum* Salisb. En respuesta a estímulos ambientales y químicos. *Temas agrarios* 12(2): 31-41.
- Kissmann, K.G. 1997. Plantas infestantes e nocivas Tomo I. 2ª ed. BASF, São Paulo, Brasil. 978 p.



- Klein, A., Martins, G. 1991. Efeito da luz na germinação de sementes de ervas invasoras. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 26(7): 955-966.
- Konaté G., Traoré O., Coulibaly M.M. 1997. Characterization of Rice Yellow Mottle Virus isolates in Sudano-Sahelian areas. *Archives of Virology* 142: 1117-1124.
- Labrada, R., Caseley, J., Parker, C. 1996. Manejo de malezas para países en desarrollo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (FAO). Roma, Italia. 395 p.
- Levey, D., Silva, W., Galetti, M. 2002. Seed Dispersal and Frugivory: Ecology, Evolution and Conservation A. CAB International. New York, USA. 530 p.
- Longhi, H. 2001. Flora Fanerogâmica do Estado de São Paulo: Poaceae (en línea). Consultado el 23 de julio. Disponible en: [http://botanica.sp.gov.br/files/2016/06/FFESP-Volume-I\\_06\\_24.pdf](http://botanica.sp.gov.br/files/2016/06/FFESP-Volume-I_06_24.pdf)
- Marenco, R., Santos, R. 1999. Wrinkledgrass and rice intra and interspecific competition. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal* 11(2): 107-111.
- Mérola, R., Díaz, S. 2012. Métodos, técnicas y tratamientos para inhibir latencia en semillas de plantas forrajeras. Universidad de la Empresa. Montevideo, Uruguay. 41 p.
- Mester, T., Buhler, D. 1991. Effects of Soil Temperature, Seed Depth, and Cyanazine on Giant Foxtail (*Setaria faberi*) and Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) Seedling Development Source. *Weed Science* 39(2): 204-209.
- Moreira, N., Nakagawa, J. 1988. Semillas. Ciencia, tecnología y producción. 1ed. Agropecuaria Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. 660 p.
- Moreno, P. 2003. Vida y Obra de Granos y Semillas. Fondo De Cultura Economica 2 ed. México. 208 p.
- Moreno, F., Plaza, G., Magntskiy. 2006. Efecto de la testa sobre la germinación de semillas de caucho (*Hevea basiliensis* Muell.). *Agronomía Colombiana* 24(2): 290-295.
- Moreno, C. 2012. Efecto de ácido giberélico (AG<sub>3</sub>), nitrato de potasio (KNO<sub>3</sub>) y rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPRS), sobre el desarrollo temprano de *Solanum sessiliflorum* (cocona). Tesis de grado. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia. 42 p.
- Nonogaki, H., Basselb, G., Bewleyc, D. 2010. Germination Still a mystery. *Plant Science* 179: 574-581.

- Ocampo, R. 1985. Incidencia de plantas indeseables en el cultivo de arroz (*Oryza sativa*) en el cantón de Aguirre y Parrita. Licenciado. Tesis. Universidad de Costa Rica. 102 p.
- Ortiz, A., Blanco, S., Arana, G., López, L., Torres, S., Quintana, Y., Pérez, P., Zambrano, C., Fischer, A. 2013. Estado actual de la resistencia de *Ischaemum rugosum* Salisb. al herbicida bispiribac-sodio en Venezuela. *Bioagro* 25(2): 79-89.
- Ortiz, A., Castillo, L. 2007. Ruptura de latencia de la semillas en poblaciones de arroz maleza y silvestres de Venezuela. *Agronomía Tropical* 57(3): 219-229.
- Pabón, R. 1983. Algunos aspectos biológicos de la maleza falsa caminadora (*Ischaemum rugosum*). *COMALFLI* 84(34): 3-47.
- Patil, V., Dadlani, M. Tetrazolium test for seed viability and vigour. 2009. *Handbook of Seed Testing*, 209–241 p.
- Pece, M; Acosta, M.; Saavedra, S., Bruno, C. 2012. Aplicación de la regresión logística en un estudio de emergencia de plántulas de Algarrobo blanco (*Prosopis alba* Griseb.) en vivero, bajo diferentes concentraciones salinas. *Quebracho* 20(1,2): 78-84.
- Pérez, F. Martínez, J. 1994. "Introducción a la Fisiología Vegetal". Ediciones Mundi-Prensa. 218 p.
- Pohl, R.W. 1980. Flora costarricensis, Family # 15, Gramineae. Field Museum of Natural History, Illinois, USA. 596 p.
- Richards, G. 2015. *Especies Invasoras Compendio*. Wallingford, Reino Unido. Consultado el 5 de marzo del 2015. Disponible en: CAB Internacional <http://www.cabi.org/isc/datasheet/28909>
- Rossetti, S. 2014. Análisis de factores que afectan la germinación de semillas de *Panicum coloratum* (en línea). Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina. Consultado el 11 de septiembre del 2017. Disponible en: <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/analisis-factores-germinacion-panicum.pdf>
- SEPSA (Secretaría Ejecutiva de planificación Sectorial Agropecuaria CR). 2017. Boletín estadístico agropecuario N° 27. (en línea). Consultado el 2 de agosto del 2017. Disponible en: <http://www.infoagro.go.cr/BEA/BEA27.pdf>
- Siadat, S., Moosavi, Zadeh, M., Fotouhi, F., Zirezadeh, M. 2011. Effects of halo and phytohormone seed priming on germination and seedling growth of maize under different duration of accelerated ageing treatment. *African Journal of Agricultural Research* 6(31): 6453-6462.

- Sobrevilla, J., López, M., López, A., Romero, L. 2013. Evaluación de diferentes tratamientos pregerminativos y osmóticos en la germinación de semillas *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. Ex Willd) M.C. Johnston. Estudios científicos en el estado de Hidalgo y zonas aledañas 2: 83-95.
- Smith, R. 1983. Weeds of major economic importance in rice and yield losses due to weed competition. In: Proceedings of the conference on weed control in rice. International Rice Research Institute / International Weed Science Society. Manila, Philippines. 19-36 p.
- Smith, H. 1995. Physiological and ecological function within the phytochrome family. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 46: 289-315.
- Tinoco, R., Acuña, A. 2009. Manual de recomendaciones del cultivo de arroz. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA). San José, Costa Rica. 78 p.
- USDA, NRCS. 2015. The PLANTS Data base. National Plant Data Team, Greensboro, NC 27401-4901 USA. Consultado el: 15 de septiembre del 2015. Disponible en: <http://plants.usda.gov>
- Valverde, B. 2000. Prevención y manejo de malezas resistentes a herbicidas en arroz: experiencias en Centro América con *Echinochloa colona*. Cámara de Insumos Agropecuarios. San José, Costa Rica. 136 p.
- Valverde. B. 2007. Status and Management of Grass Weed Herbicide Resistance in Latin America. Weed Technology 21(2): 310–323
- Vanden, W. 1971. Green foxtail: seed dormancy, germination and growth. Canadian Journal of Plant Science 5: 53-59.
- Varela, S., Arana, V. 2011. Latencia y germinación de semillas. Tratamientos pregerminativos. Serie técnica: "Sistemas Forestales Integrados", Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Bariloche, Argentina. 10 p.
- Vargas, M. 1994. Estudio del comportamiento de semillas de la maleza "La Falsa Caminadora" (*Ischaemum rugosum*) bajo diferentes condiciones de siembra, temperatura y humedad. BOLTEC 27(1): 52-58.
- Vázquez, C., Orozco, A., Rojas, M., Sánchez, M., Cervantes, V. 1997. La reproducción de las plantas: semillas y meristemas. Fondo de Cultura Económica. San Lorenzo, México. 167 p.
- Willan, R. 1991. Guía para la manipulación de semillas forestales (en línea). Consultado el 16 de septiembre del 2015. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/006/ad232s/ad232s00.htm#TOC>.

Yoshioka, T., Endo, T., Satoh, S. 1998. Restoration of seed germination at supra optimal temperatures by furidone, an inhibitor of abscisic acid biosynthesis. *Plant Cell Physiology* 39: 307-312.