

**Desarrollo, alimentación y reproducción de
Cyrtobagous salviniae Calder y Sands
(Coleoptera: Curculionidae) a diferentes
temperaturas en el estado de Luisiana**

Daniela Alejandra Carrasco Aguirre

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras
Noviembre, 2020**

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**Desarrollo, alimentación y reproducción de
Cyrtobagous salviniae Calder y Sands
(Coleoptera: Curculionidae) a diferentes
temperaturas en el estado de Luisiana**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero Agrónomo en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por:

Daniela Alejandra Carrasco Aguirre

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2020

Desarrollo, alimentación y reproducción de *Cyrtobagous salviniae* Calder y Sands (Coleoptera: Curculionidae) a diferentes temperaturas en el estado de Luisiana

Presentado por

Daniela Alejandra Carrasco Aguirre

Aprobado:



Rogelio Trabanino (Nov 12, 2020 07:11 CST)

Rogelio Trabanino, M.Sc.
Asesor Principal



Rogel Castillo, M.Sc.
Director
Departamento de Ciencia y
Producción Agropecuaria



Rodrigo Díaz (Nov 12, 2020 07:35 CST)

Rodrigo Díaz, Ph.D.
Asesor



Luis Fernando Osorio, Ph.D.
Vicepresidente y Decano Académico



Miguel Cocom (Nov 12, 2020 07:38 CST)

Miguel Cocom, Ing. Agr.
Asesor

Desarrollo, alimentación y reproducción de *Cyrtobagous salviniae* Calder y Sands (Coleoptera: Curculionidae) a diferentes temperaturas en el estado de Luisiana

Daniela Alejandra Carrasco Aguirre

Resumen. *Cyrtobagous salviniae* es un agente de control biológico que controla significativamente la maleza *Salvinia molesta*. Los objetivos de este estudio fueron determinar la temperatura en la que los adultos de *C. salviniae* comienzan su alimentación, comparar las densidades poblacionales de los adultos de *C. salviniae* y el estado reproductivo de las hembras en dos localidades y desarrollar un modelo grados días para la primera generación de larvas. Se utilizaron 160 gorgojos colocados en ocho cámaras de crecimiento con un fotoperiodo de 14:10 horas luz/oscuridad, durante 24 horas. Se determinó el área de alimentación con el programa ImageJ[®]. Se usó un Diseño Completo al Azar con ocho tratamientos y cinco repeticiones, cada unidad experimental constó de cuatro adultos y dos hojas de *S. molesta*. Los datos fueron analizados con el programa Statistical Analysis System (SAS 9.4[®]) y un nivel de significancia de $P \leq 0.05$. Se observó que los gorgojos comenzaron a alimentarse a partir de los 16 °C. La localidad de San Gabriel presentó mayores densidades poblacionales de adultos y porcentajes hembras reproductivas. Los grados días para la primera generación de larvas se calculó usando el programa Estatal de Manejo Integrado de Plagas de la Universidad de California utilizando temperaturas mínimas y máximas diarias del 1 de enero al 31 de mayo de 2020 La aparición de la primera generación de larvas en Cross Lake y San Gabriel fue al acumularse los 86 y 45 grados días respectivamente; estos resultados demuestran la dificultad que tienen las poblaciones de zonas templadas para desarrollarse durante el invierno.

Palabras claves: Comportamiento alimenticio, control biológico, grados día, oviposición, *Salvinia molesta*, tolerancia térmica.

Abstract. *Cyrtobagous salviniae* is a biological control agent that has shown significant control of the *Salvinia molesta* weed. The objectives of this study were to determine the temperature at which *C. salviniae* adults begin their feeding, compare the population densities of *C. salviniae* adults and the reproductive status of females in two locations, and to develop a degree-day model for first generation of larvae. There were 160 weevils placed in eight growth chambers with a photoperiod of 14:10 light / dark hours, for 24 hours. The feeding area was determined with the ImageJ[®] Version program. A Complete Random Design was used with eight treatments and five repetitions, each experimental unit consisted of four adults and two *S. molesta* leaves. Data was analyzed using the Statistical Analysis System program (SAS 9.4[®]), with a significance level of $P \leq 0.05$. The weevils began to feed at 16 °C. San Gabriel showed higher population densities of adults, as well as higher reproductive percentages in females. The calculation of the degree days for the first generation of larvae was carried out using the University of California Statewide Integrated Pest Management Program using daily minimum and maximum temperatures from January 1 to January 31 may, 2020. The first generation of larvae in Cross Lake and San Gabriel was at the accumulation of 86 and 45 degree days respectively; These results demonstrate the difficulty that temperate zone populations have to develop during winter.

Key words: Biological control, degree days, feeding behavior, oviposition, *Salvinia molesta*, thermal tolerance.

ÍNDICE GENERAL

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Índice General	iv
Índice de Figuras y Anexos	v
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	8
4. CONCLUSIONES.....	14
5. RECOMENDACIONES.....	15
6. LITERATURA CITADA	16
7. ANEXOS	19

ÍNDICE DE FIGURAS Y ANEXOS

Figuras	Página
1. Unidades experimentales de <i>C. salviniae</i> con hojas de <i>S. molesta</i> en las cámaras de crecimiento establecidas a un fotoperiodo 14:10 horas luz/oscuridad.....	4
2. Estanques de cría de <i>C. salviniae</i> ubicados en el Centro de Biología Reproductiva LSU AgCenter en San Gabriel, Luisiana.....	5
3. Infestación de <i>S. molesta</i> ubicada al oeste del lago Cross Lake, Luisiana.....	5
4. Fotografías del aparato reproductor femenino (A) y masculino (B) de <i>C. salviniae</i>	6
5. Consumo de follaje por adultos de <i>C. salviniae</i> expuestos ocho temperaturas.....	8
6. Comparación de la densidad poblacional de adultos de <i>C. salviniae</i> /kg de <i>S. molesta</i> recolectados en Cross Lake y San Gabriel, Luisiana, 2020.	10
7. Porcentaje de hembras reproductivas de <i>C. salviniae</i> en San Gabriel y Cross Lake, Luisiana.	11
8. Promedio de larvas de <i>C. salviniae</i> /kg de <i>S. molesta</i> en Cross Lake y San Gabriel.	12
9. Acumulación de grados días en Cross Lake y San Gabriel de enero a mayo 2020 utilizando una temperatura umbral de 19 °C.....	13

Anexos	Página
1. Area consumida (mm ²) por gorgojo a diferentes temperaturas.....	18
2. Promedio de adultos de <i>C. salviniae</i> /kg de <i>S. molesta</i> en las muestras semanales recolectadas en Cross Lake y San Gabriel.	18
3. Porcentaje de hembras reproductivas en cada semana de muestreo entre Cross Lake y San Gabriel.....	19
4. Promedio de larvas de <i>C. salviniae</i> en Cross Lake y San Gabriel.	20

1. INTRODUCCIÓN

La salvinia gigante, *Salvinia molesta* D. S. Mitchell (Salviniales: Salviniaceae), es considerada una de las malezas acuáticas más invasivas del mundo, debido a su rápida tasa de crecimiento y alto potencial de propagación (McFarland *et al.* 2004). Las grandes colonias se establecen a partir de plantas formadas por nodos interconectados a través de tallos ramificados conocidos como rizomas; cada nodo permite el desarrollo de tres brotes axilares; un par da origen a las hojas flotantes y el tercero produce la raíz (Sands *et al.* 1983). Al conjunto de nodo, las dos hojas unidas y la raíz, se le denomina ramet, por lo que cada planta consiste en varios ramets conectados (Knutson y Mukerherjee 2012). Entre los filamentos de la raíz se encuentran los esporocarpos, los cuales contienen en su interior esporas estériles por lo que la reproducción se da únicamente a través de regeneración vegetativa y fragmentación (Julien *et al.* 2009).

Este helecho flotante originario del sureste de Brasil ha invadido vías fluviales de regiones tropicales y subtropicales alrededor del mundo (Julien *et al.* 2009). En los Estados Unidos fue encontrada por primera vez en 1995, específicamente en Carolina del Sur (Johnson 1995). Desde entonces se ha extendido a lagos, estanques y embalses en varios estados, siendo Texas y Luisiana los más afectados (Tipping y Center 2003). Las infestaciones de salvinia, además de provocar desplazamientos de especies de plantas nativas y bloquear el acceso de navegación comercial, también reducen las concentraciones de nutrientes y oxígeno disuelto del agua provocando el detrimento de peces y otras especies acuáticas (Horner 2002).

Para controlar la infestación de *S. molesta* se han utilizado diversos métodos que incluyen control mecánico, biológico y químico. Los métodos de control mecánico en lugares de fácil acceso, se puede realizar con supresión física a través de barreras flotantes y reducción de los niveles de agua (McFarland *et al.* 2004). También se puede realizar extracción física manual o mecánica utilizando máquinas cosechadoras (Thomas y Room 1986). Este método es suficiente para controlar pequeñas infestaciones de la maleza; sin embargo, su implementación a gran escala, además de ser costosa resulta ser ineficaz, sobre todo en áreas inaccesibles que han sido bloqueadas por vegetación (McFarland *et al.* 2004). Las barreras flotantes se utilizan para restringir la migración de *S. molesta* a través de canales y drenes; dichas barreras requieren una constante revisión y mantenimiento (Oliver 1993). Por otro lado, al reducir los niveles de agua, la biomasa de la maleza se ve afectada ya que es expuesta a altas temperaturas que estimulan los procesos de deshidratación (Cooke *et al.* 2005).

La mayoría de las infestaciones en el estado de Luisiana son controladas a través del método químico, actualmente los herbicidas más utilizados son el diquat y glifosato en combinación con un surfactante (Mudge *et al.* 2016). Algunos estudios han demostrado que la *S. molesta* ha desarrollado cierta resistencia al control químico, esto debido a que los tallos y brotes no se encuentran en la superficie, las hojas poseen numerosas vellosidades que actúan como una barrera impermeable, y su estructura vertical impide el contacto completo con los herbicidas. Todas esas condiciones obligan a la utilización de mayores cantidades de surfactantes para asegurar la eficacia del tratamiento herbicida (Martínez 2005). La aplicación no controlada de herbicidas puede provocar la reducción de las poblaciones de enemigos naturales (Center *et al.* 1999).

El control biológico es una alternativa sostenible, amigable con el ambiente y muy rentable en comparación con otros métodos de control, además, es la medida más eficaz en el control de infestaciones de *S. molesta* en áreas inaccesibles (Van Driesche *et al.* 2009). El gorgojo *Cyrtobagous salviniae* Calder y Sands (Coleoptera: Curculionidae), es un agente de control biológico de *S. molesta*, nativo de Brasil, y actualmente muy utilizado en todo el mundo (Forno *et al.* 1983). Es el único método que ha demostrado una actividad de control significativa de la maleza (Thomas y Room 1986). La primera liberación de *C. salviniae* en los EE. UU se realizó en Texas y Luisiana en 1999 (Tipping y Center 2005), pero fue a partir del 2001 cuando se comenzaron a realizar liberaciones masivas del gorgojo en varios Estados cercanos (Johnson *et al.* 2010).

Los adultos de *C. salviniae* se alimentan preferentemente de brotes tiernos apicales, raíces y hojas, provocando cicatrices que suprimen el crecimiento de las plantas. Su rango de alimentación se encuentra entre 13 y 33 °C; el número de cicatrices de alimentación y el área de fronda consumida aumentan linealmente con la temperatura (Forno *et al.* 1983). Las larvas se alimentan en el interior de los rizomas, crean túneles que desconectan la unión raíz-brote y de esta manera impiden la circulación de nutrientes a los brotes y hojas provocando la muerte y desintegración de las plantas (Sands *et al.* 1983).

El control biológico utilizando el gorgojo de salvinia es bastante prometedor, sin embargo, su buen desempeño en el control de la maleza está ligado a las condiciones que favorecen su desarrollo y supervivencia (Tasker 2017). Se considera que una de las limitantes de este método de control en regiones templadas es la mortalidad provocada por las bajas temperaturas en épocas de invierno (Mukherjee *et al.* 2014). Las variaciones en la temperatura ambiental, sin duda, representan una limitante en la reproducción y desarrollo del gorgojo (Forno *et al.* 1983). Durante el invierno de 2010-2011 se reportó una alta tasa de mortalidad en las poblaciones de *C. salviniae* ubicadas al norte de Texas y Luisiana (Mukherjee *et al.* 2014).

Estudios han demostrado que una de las formas más factibles de superar dicha limitante es utilizar poblaciones tolerantes al frío. Las primeras investigaciones sobre el comportamiento de *C. salviniae* determinaron que la reproducción y el desarrollo embrionario eran afectados tanto por las temperaturas altas como por las bajas, deteniendo la oviposición por debajo de los 21 °C y por encima de los 31 °C, e interrumpiendo la eclosión de los huevos por debajo de los 20 °C y por encima de los 36 °C (Forno *et al.* 1983). El umbral de desarrollo más bajo para *C. salviniae* es 16.3 ± 0.8 °C para larvas y 15.6 ± 1.5 °C para pupas (Sands *et al.* 1983).

Los objetivos del estudio fueron:

- Determinar la temperatura en la que los adultos de *C. salviniae* comienzan su alimentación.
- Comparar las densidades poblacionales de los adultos de *C. salviniae* y el estado reproductivo de las hembras en dos localidades en el estado de Luisiana.
- Desarrollar un modelo grados días para la primera generación de larvas en dos localidades.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

El estudio se realizó en el Laboratorio de Entomología, 404 Life Sciences Building de la Universidad Estatal de Luisiana AgCenter en Baton Rouge, LA. La universidad se encuentra ubicada a una altura de 30 msnm con una precipitación media anual de 528 mm y una temperatura media anual de 18 °C.

Estudio I. Comportamiento de alimentación *C. salviniae* a diferentes temperaturas

Se recolectaron adultos de *C. salviniae* de dos estanques de cría ubicados en el Centro de Biología Reproductiva LSU AgCenter en San Gabriel, Luisiana (30.272318 ° N, -91.104525 ° W). Se cosecharon manualmente alrededor de 12 kg de *S. molesta* que fueron colocados de inmediato en embudos de Berlese, localizados en el Centro de Biología Reproductiva LSU AgCenter en San Gabriel, Luisiana. Los brotes de *S. molesta* permanecieron en los embudos durante 72 horas para realizar extracción de los gorgojos adultos vivos. Se recolectó un total de 196 adultos de *C. salviniae* de los cuales se seleccionaron al azar 160 con el propósito de este estudio. Posteriormente, fueron colocados en un recipiente con agua de estanque y plantas frescas de salvinia. Dicho recipiente se mantuvo a temperatura ambiente (23 °C) durante 72 horas para aclimatarse. Una vez aclimatados, fueron expuestos a un período de inanición durante ocho horas antes de que se aplicaran los tratamientos. Después del período de inanición se colocaron cuatro adultos de *C. salviniae* por platos Petri (100 × 15 mm) con papel filtro cualitativo (90 mm, Whatman 1001-090) humedecido con 3 mL de agua de estanque y con dos hojas de *S. molesta*, de aproximadamente 1.5 cm de largo y ancho y de forma redonda. Los platos Petri fueron asignados aleatoriamente en los diferentes tratamientos.

Tratamientos. Los 40 platos Petri se dividieron en ocho tratamientos establecidos en diferentes cámaras de crecimiento a 8, 12, 16, 20, 25, 28, 32 y 36 °C durante 24 horas. Cada tratamiento se replicó cinco veces. El fotoperiodo de las cámaras se estableció de 14:10 horas luz/oscuridad.



Figura 1. Unidades experimentales de *C. salviniae* con hojas de *S. molesta* en las cámaras de crecimiento establecidas a un fotoperiodo 14:10 horas luz/oscuridad

Variable medida y método de evaluación del daño. La variable medida fue presencia o ausencia de cicatrices por alimentación. Para realizar la evaluación del daño de alimentación en las hojas, 24 horas después de haber iniciado el experimento se tomaron una serie de fotografías que posteriormente fueron ingresadas al programa ImageJ[®] Versión 1.53c, para determinar el área de alimentación (mm^2) por gorgojo.

Diseño experimental. Se utilizó un diseño completo al azar (DCA), ocho tratamientos y cinco repeticiones para un total de 40 unidades experimentales. Cada unidad experimental consistió en un plato Petri con dos hojas frescas de *S. molesta* y cuatro gorgojos adultos.

Análisis estadístico. Los datos obtenidos fueron evaluados mediante un modelo lineal generalizado (GLM) con el método de separación de medias Duncan, mediante el uso del programa Statistical Analysis System (SAS 9.4[®]), con un nivel de significancia de $P \leq 0.05$. Los datos fueron estandarizados con la transformación de raíz cuadrada.

Estudio II: Desarrollo de modelo grados días para la primera generación de larvas de *C. salviniae*

Establecimiento del experimento. El experimento se llevó a cabo en dos estanques de cría de 0.05 ha con una profundidad promedio de 0.55 m, ubicados en el Centro de Biología Reproductiva LSU AgCenter en San Gabriel, Luisiana (30.272318 ° N, -91.104525 ° O) y en el oeste del lago Cross Lake ubicado al norte de Luisiana (32.515960 ° N, -93.925038 ° O), donde poblaciones del gorgojo fueron establecidas en una infestación de *S. molesta*.



Figura 2. Estanques de cría de *C. salviniae* ubicados en el Centro de Biología Reproductiva LSU AgCenter en San Gabriel, Luisiana.



Figura 3. Infestación de *S. molesta* ubicada al oeste del lago Cross Lake, Luisiana.

Mantenimiento de los sitios de estudio. Se realizaron fertilizaciones para mantener una concentración de 5 mg N L⁻¹ durante los meses de invierno (diciembre-febrero) y al comenzar la etapa de crecimiento se aumentó la concentración a 10 mg N L⁻¹ en el agua, utilizando aplicaciones de sulfato de amonio cada mes para promover el crecimiento y calidad de las poblaciones de *S. molesta*, así como la reproducción del gorgojo en los estanques ubicados en San Gabriel. En la infestación de salvinia localizada en el oeste del lago Cross Lake no se realizó ningún tipo de mantenimiento, únicamente se aplicaron pequeñas dosis de 2, 4-D para reducir poblaciones de plantas de la familia Juncaceae que obstruían el acceso en bote al área de infestación.

Variables medidas

Densidad poblacional de adultos y larvas de *C. salviniae*. Se recolectaron al azar diez muestras semanales de 0.5 kilogramos de brotes de *S. molesta*, se drenó el agua de las muestras durante dos minutos y se registró el peso fresco, posteriormente las muestras fueron colocadas en embudos de Berlese donde permanecieron durante 72 horas; los adultos y larvas que migraron hacia la parte inferior del embudo fueron recolectados en etanol al 75%. Se contó el número de larvas y adultos de *C. salviniae*.

Densidad poblacional de hembras reproductivas. Se seleccionaron aleatoriamente diez adultos de cada muestra, los cuales fueron disectados bajo un microscopio estereoscópico (Leica MZ125; Leica, Inc., Basil, Suiza) para determinar el sexo; las hembras fueron clasificadas según su estado reproductivo (reproductivas o no reproductivas). El estado reproductivo se determinó separando los ovarios del resto de los órganos internos, luego los ovarios fueron examinados para detectar la presencia o ausencia de huevos. Las hembras reproductivas se caracterizaron por la presencia de huevos en los ovariolos. Se observó la morfología de los ovarios y se identificaron las estructuras utilizando la terminología presentada en los trabajos de Eisenberg *et al.* (2018).

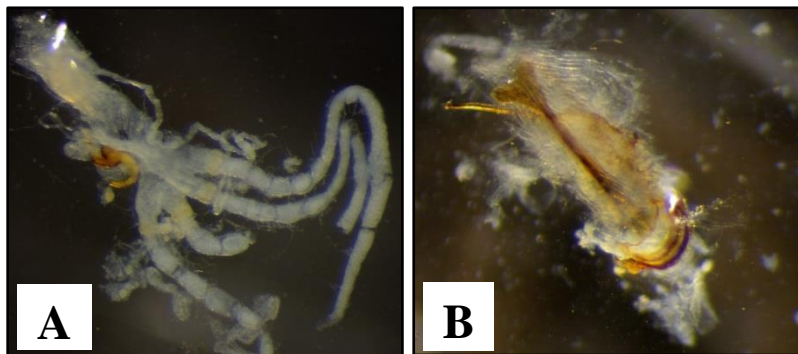


Figura 4. Fotografías del aparato reproductor femenino (A) y masculino (B) de *Cyrtobagous salviniae*.

Análisis estadístico. Los datos obtenidos fueron evaluados mediante pruebas T-test, utilizando el programa Statistical Analysis System (SAS 9.4[®]), con un nivel de significancia de $P \leq 0.05$.

Modelo grados días para la aparición de la primera generación de larvas. La acumulación de los grados días se determinó con datos de temperatura del aire de ambos sitios de estudio. Usando las temperaturas máximas y mínimas diarias desde el 1 de enero hasta el 30 de mayo de 2020. La temperatura se registró cada 30 minutos usando termómetros colgantes HOBO® (precisión ± 0.53 °C; Onset Computer Corporation, Bourne, MA). La temperatura del aire se registró a ~0.15 m sobre la superficie del agua, y el registrador fue colocado en el interior de un Escudo de Radiación Solar (Onset Computer Corporation, Bourne, MA) y el registrador de temperatura del agua se unió debajo de un flotador y se colocó a ~ 5 cm debajo de la superficie del agua. La acumulación de grados días se calculó con el método de seno simple, utilizando el Programa Estatal de Manejo Integrado de Plagas de la Universidad de California. El umbral mínimo para la oviposición del gorgojo, 19 °C (Wahl y Diaz 2020), se utilizó para determinar el número de grados días acumulados hasta que apareció la primera generación de larvas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estudio I. Comportamiento de alimentación *C. salviniae* a diferentes temperaturas

Los resultados de este estudio muestran los daños por alimentación ocasionados por adultos de *C. salviniae* cuando estos fueron expuestos a diferentes temperaturas. Los adultos expuestos a temperaturas entre 8 y 20 °C presentaron el mismo consumo en las hojas significativamente (Figura 5). El mayor daño de alimentación de *C. salviniae* se alcanzó a la temperatura de 25 °C con un área de consumo de 0.114 mm², la cual no fue diferente estadísticamente del consumo al ser expuestos a 32 y 36 °C (Figura 5). Estos resultados concuerdan con los encontrados por Forno y Bourne (1985) en el experimento de alimentación de adultos de *C. salviniae* bajo diferentes regímenes de temperatura, en el cual determinaron que la actividad alimenticia de los gorgojos adultos de *S. molesta* ocurre entre los 15 y 35 °C; sin embargo, esta se reduce sustancialmente a temperaturas menores de los 15 °C.

A pesar de que el gorgojo presenta un mejor comportamiento alimenticio al estar expuesto a temperaturas cálidas; en las hojas colocadas en el tratamiento de temperatura de 36 °C se observó una pequeña reducción en la alimentación de 0.048 mm² en comparación al tratamiento de 25 °C, esto se puede atribuir al límite térmico máximo de la actividad de alimentación del gorgojo, ya que según Forno *et al.* (1983) las actividades de alimentación del gorgojo podrían verse limitadas en áreas donde la temperatura máxima supera los 33 °C (Figura 5).

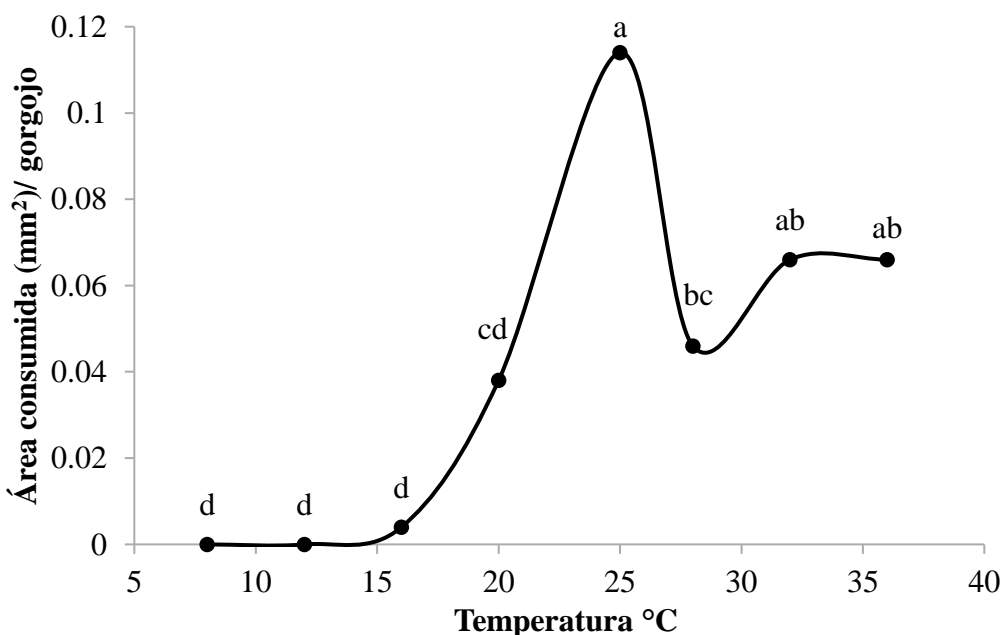


Figura 5. Consumo de follaje por adultos de *C. salviniae* expuestos a ocho temperaturas.

Estudio II. Desarrollo de modelo grados días para la primera generación de larvas de *C. salviniae*

Densidad poblacional de adultos de *C. salviniae*. Los resultados muestran que la población de gorgojos recolectados en San Gabriel fue en promedio de 25 adultos por kilogramo de salvinia durante las semanas 1-7 (enero y febrero), pero disminuyó durante las semanas 8-16 (marzo hasta inicios de mayo) a un promedio de 16 adultos por kilogramo y un pequeño repunte en la semana 17. En Cross Lake el promedio de adultos para las semanas 1-7 fue alrededor de ocho adultos por kilogramo de salvinia, luego se redujo a tres adultos durante las semanas 8-17 (Figura 6). Esta diferencia en la densidad poblacional puede atribuirse a las fluctuaciones en la temperatura, ya que, según los datos recolectados por los registros de temperatura colgantes HOBO® (precisión ± 0.53 °C) en ambos sitios de estudio, los adultos estuvieron expuestos durante las semanas 1-7 a temperaturas mínimas por debajo de los 11 °C. Según estudios realizados por Allen *et al.* (2014) los individuos comienzan a perder la coordinación de sus movimientos cuando las temperaturas son menores a los 12.5 °C; por lo que el descenso poblacional puede atribuirse a la dificultad de los adultos para movilizarse en busca de alimento disminuyendo de esta manera su supervivencia.

La población de adultos localizados en el lago Cross Lake tuvo un tamaño equivalente al 25% de la población de San Gabriel, la baja densidad poblacional de adultos fue significativa para 16 de las 17 semanas evaluadas; esta gran diferencia entre ambos sitios de estudio se debe a una mayor frecuencia de las bajas temperaturas en el norte templado de Luisiana, situación que no solo afecta el comportamiento de los adultos, sino también el desarrollo de las plantas de salvinia. Harley y Mitchell (1981) señalan que la exposición de las plantas de salvinia a temperaturas por debajo de los 10 °C reduce notablemente las tasas de crecimiento. Por lo que la reducción de la biomasa sumado a las bajas temperaturas pudo haber contribuido a la mortalidad de los adultos (Figura 6).

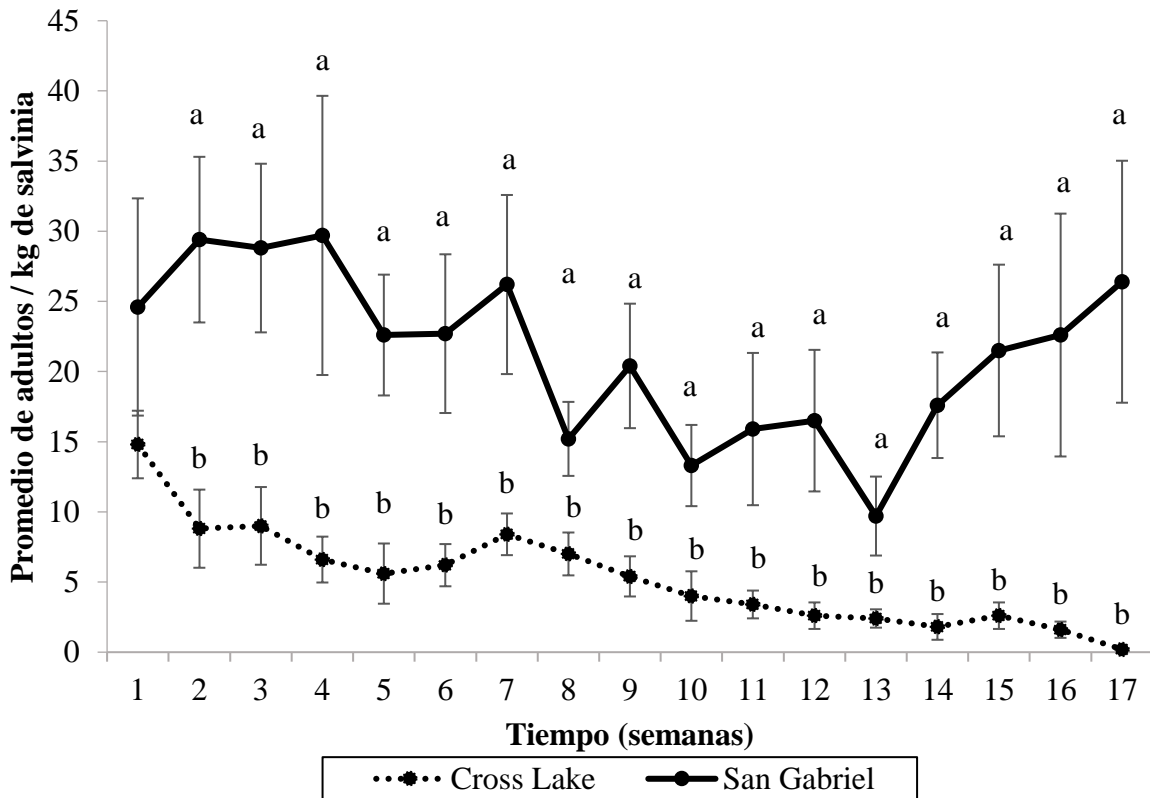


Figura 6. Comparación de densidad poblacional de adultos *C. salviniae*/ kg de *S. molesta* recolectados en Cross Lake y San Gabriel, Luisiana, 2020.

Densidad poblacional de hembras reproductivas. En la Figura 7 se observa el porcentaje de hembras en etapa reproductiva de *C. salviniae* recolectadas en los dos sitios de estudio. Los resultados muestran que la cantidad de hembras reproductivas fue igual en ambos lugares a excepción de las semanas 1, 2, 3, 4, 8, 10, 11 y 17 en las cuales se encontró mayor cantidad significativamente de hembras reproductivas en la localidad de San Gabriel.

La diferencia en el porcentaje reproductivo de las hembras recolectadas en Cross Lake podría ser resultado de las bajas temperatura que se dieron en el norte de Luisiana, sobre todo, en los meses de invierno (Figura 7). Los eventos fríos durante el invierno de 2009-2010 causaron una reducción de gran parte de las poblaciones de *S. molesta* en el norte de Luisiana; cuando esto sucede las plantas muertas se sumergen aumentando la exposición de los adultos a las bajas temperaturas del aire y a un mayor estrés por inanición, afectando indirectamente su supervivencia durante el invierno. Por otro lado, Forno *et al.* (1983) señalan que los regímenes de temperatura más cálidos o fríos que el óptimo dan como resultado hembras menos fecundas.

Las temperaturas en San Gabriel fueron fluctuantes durante los meses del estudio y según Vannote y Sweeney (1980) la fecundidad de las hembras puede ser mayor bajo temperaturas fluctuantes, ya que, están más cerca de las temperaturas experimentadas en el ambiente natural.

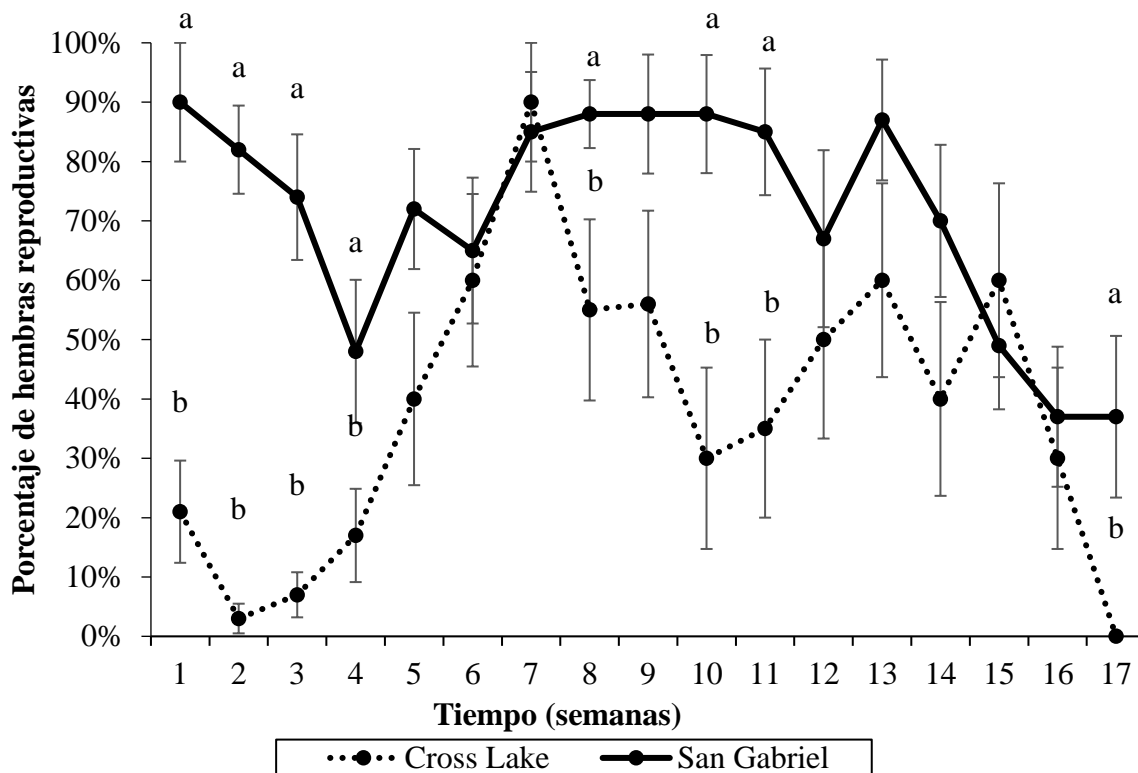


Figura 7. Porcentaje de hembras reproductivas de *C. salviniae* en San Gabriel y Cross Lake, Luisiana.

Densidad poblacional de larvas. De las muestras de brotes de *S. molesta* recolectadas, también se obtuvo la cantidad de larvas de *C. salviniae* presentes para ambas localidades. La población de larvas en Cross Lake fue nula hasta semana 9, se observó la presencia frecuente de las larvas en los muestreos realizados a partir de la semana 14 hasta la 17. Sin embargo, en San Gabriel se encontraron las primeras larvas en la semana 6, y su presencia fue frecuente en las muestras realizadas a partir de la semana 8. Al comparar el promedio de larvas en ambas localidades se encontró un promedio mayor de larvas significativamente en la localidad de San Gabriel en las semanas 6, 12, 13, 14 y 15 (Figura 8).

La mayoría de las hembras de Cross Lake que fueron disectadas tenían huevos en las ovariolas, sin embargo, hubo una evidente ausencia de larvas durante las semanas 1-9. Las posibles explicaciones de esta tendencia podrían ser que las bajas temperaturas afectaron la eclosión de los huevos, ya que según Forno *et al.* (1983) los huevos no eclosionan cuando están expuestos a temperaturas constantes por debajo de los 20 °C. Por otro lado, si algunos de los huevos ovipositados lograron eclosionar, las larvas que emergieron no sobrevivieron a las bajas temperaturas. Estudios realizados por Forno y Semple (1987) señalan que temperaturas constantes por debajo de 16.3 °C afectan la supervivencia de las larvas.

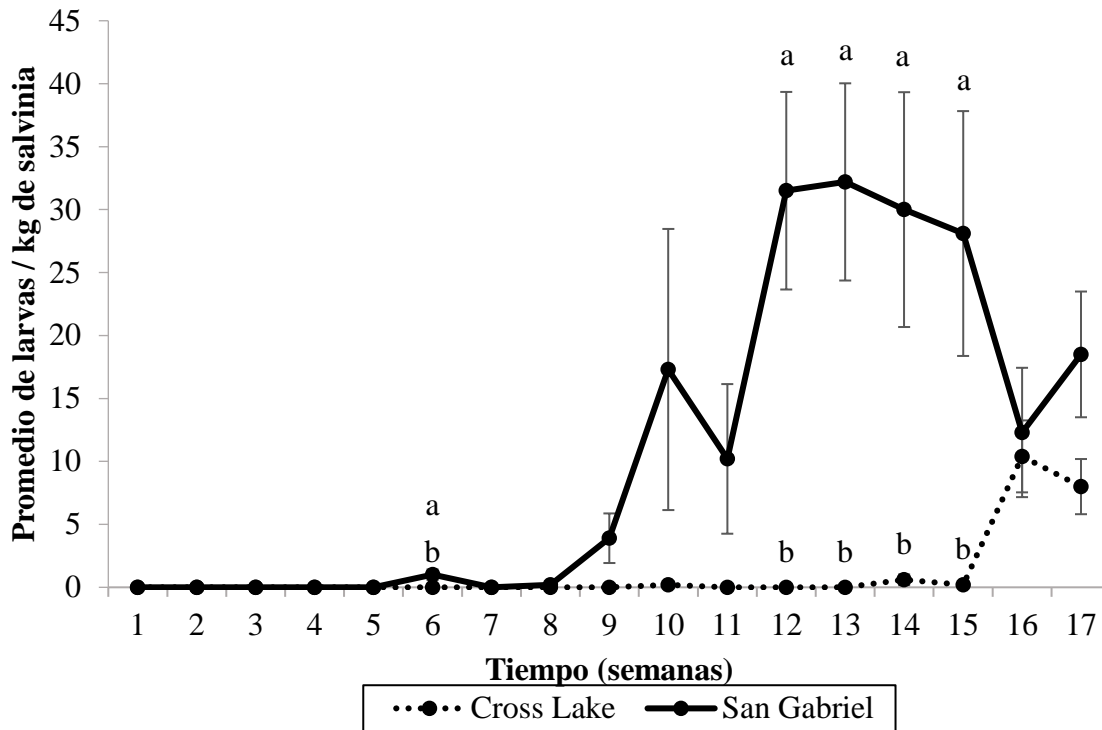


Figura 8. Promedio de larvas de *C. salviniae*/ kg de *S. molesta* en Cross Lake y San Gabriel.

Modelo grados días para la aparición de la primera generación de larvas. Cada etapa de desarrollo de un organismo tiene su propio requerimiento total de calor y los grados días acumulados entre los umbrales de temperatura, desde un punto de partida, pueden ayudar a predecir el momento en el cual el insecto alcanzará una etapa de desarrollo (Zalom *et al.* 1983). El umbral de desarrollo más bajo para una especie es la temperatura a la cual y por debajo de la cual se detiene su desarrollo. Para el gorgojo *C. salviniae* el umbral mínimo para la oviposición es de 19 °C (Wahl y Diaz 2020).

Las bajas temperaturas en el norte de Luisiana durante las semanas 1 y 7 provocaron la muerte de las larvas y por ende reiniciaron el cálculo de grados días, retrasando la aparición de larvas hasta mediados de marzo. La aparición de la primera generación de larvas en Cross Lake fue a los 86 grados días, por el contrario, en San Gabriel se encontraron las primeras larvas a mediados de febrero al acumularse 45 grados días (Figura 9).

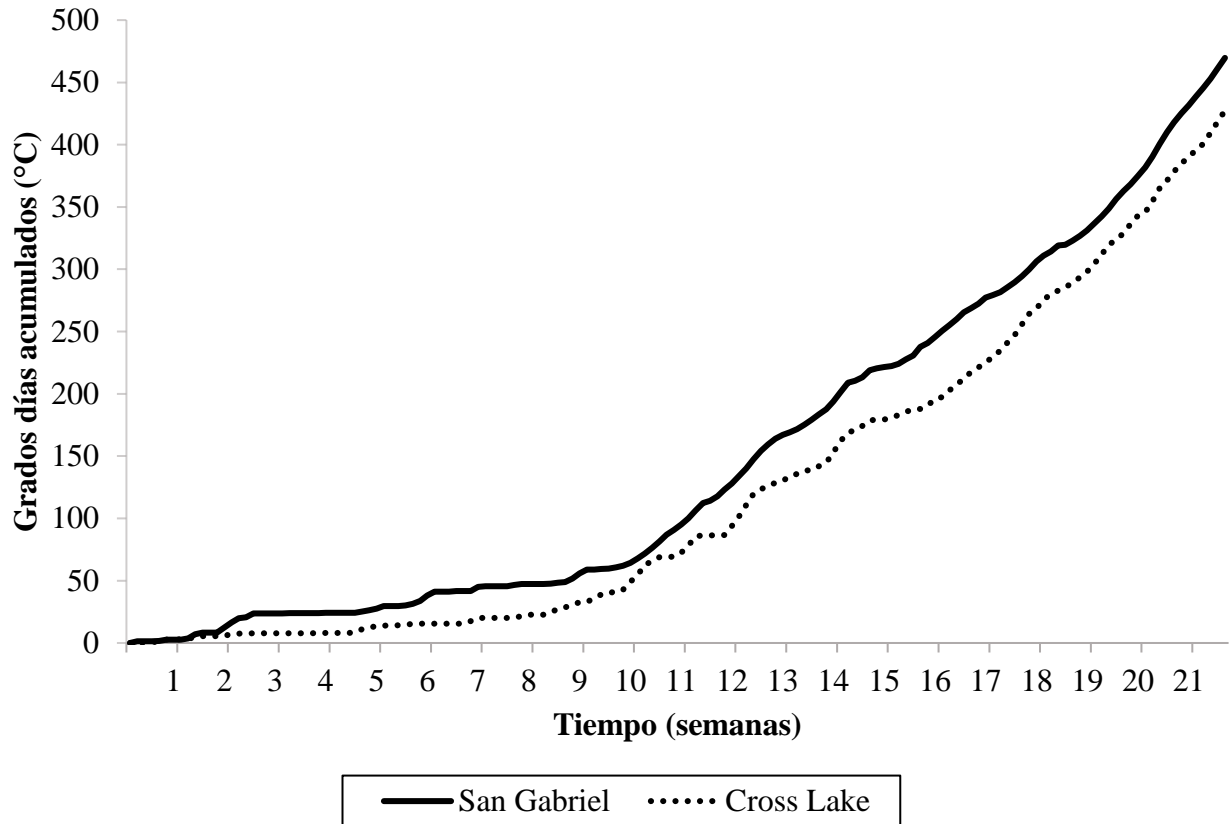


Figura 4. Acumulación de grados días en Cross Lake y San Gabriel de enero a mayo 2020 utilizando una temperatura umbral de 19 °C.

4. CONCLUSIONES

- La actividad alimenticia del gorgojo *C. salviniae* ocurrió a partir de los 16 °C, el mayor daño de alimentación se observó a 25 °C y en temperaturas por debajo los 12 °C el daño fue nulo.
- La localidad de San Gabriel presentó una mayor densidad poblacional de adultos y hembras reproductivas de *C. salviniae* al compararse con la infestación de *S. molesta* recolectada en el oeste de Cross Lake.
- El modelo de grados días determinó la aparición de la primera generación de larvas de *C. salviniae* al acumularse 86 grados días en Cross Lake y 45 grados días en San Gabriel.

5. RECOMENDACIONES

- Realizar crianza masiva de *C. salviniae* en invernaderos bajo temperaturas controladas para asegurar la supervivencia de las poblaciones en zonas donde las temperaturas invernales son muy bajas.
- Evaluar el efecto de temperaturas superiores a los 36 °C en comportamiento alimenticio de los adultos de *C. salviniae*.
- Estudiar la influencia del contenido de nitrógeno de los brotes de *S. molesta* en la actividad alimenticia de los adultos de *C. salviniae*.
- Realizar un estudio para determinar la temperatura en la que las larvas de *C. salviniae* comienzan su alimentación.
- Desarrollar un modelo grados días para determinar la emergencia y desarrollo de las plantas de *S. molesta*.

6. LITERATURA CITADA

- Allen JL, Clusella-Trullas S, Chown, SL. 2014. Thermal tolerance of *Cyrtobagous salviniae*: a biocontrol agent in a changing world. *BioControl*. 59(3):357-366. Doi: 10.1007/s10526-014-9570-2
- Calder AA, Sands DPA. 1985. A new Brazilian *Cyrtobagous Hustache* (Coleoptera: Curculionidae) introduced into Australia to control salvinia. *Australian Journal of Entomology*. 24(1): 57-64. Doi: 10.1111/j.1440-6055.1985.tb00185.x
- Center TD, Dray JrFA, Jubinsky GP, Grodowitz MJ. 1999. Biological control of water hyacinth under conditions of maintenance management: can herbicides and insects be integrated? *Environmental Management*. 23(2): 241-256. Doi: 10.1007/s002679900183
- Cooke, GD, Welch EB, Peterson SA, Nichols SA. 2005. *Lake and Reservoir Restoration*, 3rd ed. Florida, USA, Taylor & Francis Group. [consultado el 8 de jul. de 2020]. http://www.jlakes.org/config/hpkx/news_category/2015-06-01/RestorationandManagementofLakesandReservoirs2005.pdf
- Eisenberg L, Johnson S, Grodowitz MJ. 2018. The reproductive morphology and physiological age grading of the female salvinia weevil, *Cyrtobagous salviniae* Calder and Sands. *International journal of insect science*. 10(1): 1–8. Doi:10. 1179543317751909
- Forno IW, Sands DPA, Sexton W. 1983. Distribution, biology and host specificity of *Cyrtobagous singularis Hustache* (Coleoptera: Curculionidae) for the biological control of *Salvinia molesta*. *Bulletin of Entomological Research*. 73(1): 85-95
- Forno IW, Bourne AS. 1985. Feeding by adult *Cyrtobagous salviniae* on *Salvinia molesta* under different regimes of temperature and nitrogen content and the effects on plant growth. *Entomophaga*. 30(3): 279-286. Doi: 10.1007/BF02372229
- Forno IW, Semple JL. 1987. Response of *Salvinia molesta* to insect damage: Changes in nitrogen, phosphorus and potassium content. *Oecologia*. 73 (1): 71-74
- Harley KLS, Mitchell DS. 1981. The biology of Australian weeds, 6: *Salvinia molesta* DS Mitchell. *Journal of the Australian Institute of Agricultural Sciences (Australia)*. 47(2): 67 -76
- Horner TA. 2002. Field Release of the Salvinia Weevil, *Cyrtobagous salviniae* Calder and Sands (Curculionidae: Coleoptera) for Control of Giant Salvinia, *Salvinia molesta* Mitchell (Hydropteridales: Salviniaceae). Riverdale: United States Department of Agriculture (USDA). [Consultado el 23 de sept. de 2020]. https://www.aphis.usda.gov/plant_health/ea/downloads/salvea2.pdf
- Johnson D.1995. Giant salvinia found in South Carolina. *Aquatics*. 17(4): 22
- Johnson S, Sanders D, Eisenberg L, Whitehead K. 2010. Fighting the Blob: efforts to control giant salvinia. *Louisiana agriculture*. 53 (1): 6-9
- Julien MH, Hill MP, Tipping PW. 2009. *Salvinia molesta* DS Mitchell (Salviniaceae). Cambridge. 1: 378-407
- Knutson A, Mukherjee A. 2012. A guide to mass rearing the salvinia weevil for biological control of giant salvinia. Texas A&M AgriLife Extension Service. [consultado el 12 de ago. de

- 2020]. http://lubbock.tamu.edu/files/2015/06/Mass_Rearing_Salvinia_Weevil-10-15-2012.pdf
- Martínez JM. 2005. Manual para la cría masiva de *Cyrtobagous salviniae* utilizado en el control biológico de *Salvinia molesta*. 1ª Ed. Morelos, México: IMTA; [consultado el 17 de ago. de 2020]. http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/1172/IMTA_081-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- McFarland DG, Nelson LS, Grodowitz MJ, Smart RM, Owens CS. 2004. *Salvinia molesta* D. S. Mitchell (Giant Salvinia) in the United States: A Review of Species Ecology and Approaches to Management. US Army Corps of Engineers. [consultado el 8 de jul. de 2020].
https://www.researchgate.net/publication/235125801_Salvinia_molesta_D_S_Mitchell_Giant_Salvinia_in_the_United_States_A_Review_of_Species_Ecology_and_Approaches_to_Management
- Mudge CR, Perret AJ, Winslow JR. 2016. Evaluation of foliar herbicide and surfactant combinations for control of giant salvinia at three application timings. *Journal of Aquatic Plant Management*. 54: 32-36
- Mukherjee A, Knutson A, Hahn DA, Heinz, KM. 2014. Biological control of giant Salvinia (*Salvinia molesta*) in a temperate region: cold tolerance and low temperature oviposition of *Cyrtobagous salviniae*. *BioControl*. 59(6): 781-790. Doi: 10.1007/s10526-014-9617-4
- Oliver JD. 1993. A Review of the Biology of Giant Salvinia. *Journal of Aquatic Plant Management*. 31: 227–231
- Sands DPA, Schotz M, Bourne AS. 1983. The feeding characteristics and development of larvae of a salvinia weevil *Cyrtobagous sp.* *Entomologia experimentalis et applicate*. 34(3): 291-296. Doi: 10.1111/j.1570-7458.1983.tb03337.x
- Sands DPA, Schotz EM, Bourne FAS. 1986. A comparative study on the intrinsic rates of increase of *Cyrtobagous singularis* and *C. salviniae* on the water weed *Salvinia molesta*. *Entomologia experimentalis et applicate*. 42(3): 231-237. Doi: 10.1111/j.1570-7458.1986.tb01027.x
- Tasker AV. 2017. Demonstration Project: Giant Salvinia. Toledo Bend Reservoir and surrounding areas in Louisiana and eastern Texas. Riverdale. U.S. Department of Agriculture (USDA). [consultado el 11 de jul. de 2020].
http://www.aphis.usda.gov/plant_health/ea/downloads/salvinia.pdf
- Thomas PA, Room PM. 1986. Taxonomy and control of *Salvinia molesta*. *Nature*. 320(6063): 581-584. Doi: 10.1038/320581a0
- Tipping PW, Center TD. 2003. *Cyrtobagous salviniae* (Coleoptera: Curculionidae) successfully overwinters in Texas and Louisiana. *Florida Entomologist*. 86(1): 92-93. Doi: 10.1653/0015-4040(2003)086[0092:CSCCSO]2.0.CO;2
- Tipping PW, Center TD. 2005. Influence of plant size and species on preference of *Cyrtobagous salviniae* adults from two populations. *Biological Control*. 32(2): 263-268. Doi: 10.1016/j.biocontrol.2004.10.005

- Van Driesche R, Hoddle M. Center T. 2009. Control of pests and weeds by natural enemies: an introduction to biological control. 1st ed. Malden, USA, Wiley-Blackwell. [consultado el 8 de jul. de 2020]. <https://books.google.hn/books?hl=es&lr=&id=0sLTMbNswecC&oi=fnd&pg=PR5&dq>
- Vannote RL, Sweeney BW. 1980. Geographic analysis of thermal equilibria: a conceptual model for evaluating the effect of natural and modified thermal regimes on aquatic insect communities. *The American Naturalist*. 115(5): 667-695.
- Wahl CF, Diaz R. 2020. Winter and spring conditions determine the production of the salvinia weevil mass rearing programme. *Biocontrol Science and Technology*. 30(6): 569-580
- Zalom FG, Goodell PB, Wilson LT., Barnett WW, Bentley WJ. 1983. Degree- Days: The Calculation and Use of Heat Units in Pest Management. University of California Division of Agriculture and Natural Resources Leaflet 21373; [consultado el 17 de sept. del 2020]. 1:2-11. <https://www.researchgate.net/publication/262337197>

7. ANEXOS

Anexo 1. Área consumida (mm²) por gorgojo a diferentes temperaturas.

Temperatura °C	Área consumida (mm ²)/gorgojo
25	0.114 a&
36	0.066 ab
32	0.066 ab
28	0.046 bc
20	0.038 cd
16	0.004 d
12	0.000 d
8	0.000 d
Probabilidad	0.0001
R ²	0.69
CV	0.18

CV: Coeficiente de Variación.

& Medias con distintas letras en la misma columna indican que hay diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

Anexo 2. Promedio de adultos de *C. salviniae*/kg de *S. molesta* en las muestras semanales recolectadas en Cross Lake y San Gabriel.

Semana	Cross Lake	San Gabriel	Pr > t
1	14.8	24.6	0.2423
2	8.8 b	29.4 a&	0.0055
3	9.0 b	28.8 a	0.0078
4	6.6 b	29.7 a	0.0342
5	5.6 b	22.6 a	0.0024
6	6.2 b	22.7 a	0.0113
7	8.4 b	26.2 a	0.0141
8	7.0 b	15.2 a	0.0172
9	5.4 b	20.4 a	0.0048
10	4.0 b	13.3 a	0.0152
11	3.4 b	15.9 a	0.0360
12	2.6 b	16.5 a	0.0144
13	2.4 b	9.7 a	0.0210
14	1.8 b	17.6 a	0.0007
15	2.6 b	21.5 a	0.0068
16	1.6 b	22.6 a	0.0263
17	0.2 b	26.4 a	0.0071
CV	6.63	26.89	

CV: Coeficiente de Variación.

& Medias con distintas letras indican que hay diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

Anexo 3. Porcentaje de hembras reproductivas en cada semana de muestreo entre Cross Lake y San Gabriel.

Semana	Cross Lake	San Gabriel	Pr > t
1	0.210 b	0.9000 a	<.0001
2	0.030 b	0.8200 a	<.0001
3	0.070 b	0.7400 a	<.0001
4	0.170 b	0.4800 a	0.0486
5	0.400	0.7200	0.086
6	0.600	0.6500	0.7958
7	0.900	0.8500	0.7117
8	0.550 b	0.8800 a	0.0592
9	0.560	0.8800	0.1115
10	0.300 b	0.8800 a	0.0058
11	0.350 b	0.8500 a	0.0151
12	0.500	0.6700	0.4658
13	0.600	0.8700	0.186
14	0.400	0.7000	0.1647
15	0.600	0.4900	0.5773
16	0.300	0.3700	0.734
17	0.000 b	0.3700 a	0.0135
CV	1.13	0.83	

CV: Coeficiente de Variación.

& Medias con distintas letras indican que hay diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

Anexo 4. Promedio de larvas *C. salviniae* en Cross Lake y San Gabriel.

Semana	Cross Lake	San Gabriel	Pr > t
1	0	0	-
2	0	0	-
3	0	0	-
4	0	0	-
5	0	0	-
6	0 b&	1.0 a	0.0291
7	0	0	-
8	0	0.2	0.3306
9	0	3.9	0.0631
10	0.2	17.3	0.1431
11	0	10.2	0.1032
12	0 b	31.5 a	0.0008
13	0 b	32.2 a	0.0007
14	0.6 b	30 a	0.0055
15	0.2 b	28.1 a	0.0102
16	10.4	12.3	0.7512
17	8.0	18.5	0.0701
CV	2.61	1.14	

CV: Coeficiente de Variación.

& Medias con distintas letras indican que hay diferencias significativas ($P \leq 0.05$).