



CIENCIAS AGRARIAS Y DE LA PESCA

Artículo original de investigación

Bases científico técnicas para la producción de semilla, siembra y establecimiento de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray por vía gámica en Cuba

César Raimundo Padilla Corrales ^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-6828-122X>

Idalmis Dolores Rodríguez García ¹ <https://orcid.org/0000-0001-6365-4501>

Tomás Elías Ruiz Vázquez ¹ <https://orcid.org/0000-0002-0457-0000>

Nadia Báez Quiñones ¹ <https://orcid.org/0000-0001-6499-206X>

Yolaine Medina Mesa ¹ <https://orcid.org/0000-0003-0869-2665>

Magaly Herrera Villafranca ¹ <https://orcid.org/0000-0002-2641-1815>

¹ Instituto de Ciencia Animal. Mayabeque, Cuba

*Autor para la correspondencia: padilla4603@gmail.com

Revisores ^a

Yamila Martínez Zubiaur
Centro Nacional de Sanidad
Agropecuaria. Mayabeque, Cuba

Editor

Lisset González Navarro
Academia de Ciencias de Cuba.
La Habana, Cuba

Traductor

Darwin A. Arduengo García
Academia de Ciencias de Cuba.
La Habana, Cuba

^a N. del E: En este apartado figuran los nombres de los árbitros que accedieron a revelar su identidad, como expresión de apertura progresiva del proceso de revisión por pares. No aparecen aquellos que optaron por el anonimato.

RESUMEN

Introducción: La producción de semilla y establecimiento por vía gámica de *Tithonia diversifolia* es un problema no resuelto aún por la ciencia y existen muchas incógnitas para lograr una tecnología factible que integre de forma multidisciplinaria estos procesos. **Métodos:** Las investigaciones para evaluar la producción de semilla y establecimiento por vía gámica se realizaron en el Instituto de Ciencia Animal. El clima predominante en la zona es tropical húmedo (1200 mm anuales) y se encuentra ubicado en un suelo Ferralítico rojo éutrico. En todos los experimentos de campo, se realizó una preparación convencional del suelo consistente en aradura y cruce con pases de gradas media alternas. Las investigaciones en producción de semilla se desarrollaron partiendo del conocimiento del desarrollo morfológico y fenológico de la flor como un indicador del proceso de formación y maduración fisiológica de las semillas (aquenios). El comportamiento de la germinación se evaluó en laboratorio y condiciones controladas en campo. El porcentaje de germinación se evaluó como lo indica la norma de la Asociación Internacional de Análisis de Semillas (ISTA). **Resultados.** Constituyen los primeros reportes en Cuba acerca de la caracterización de las inflorescencias, así como la evaluación de diferentes métodos para incrementar la germinación y su evaluación en diferentes tipos de sustratos y condiciones (laboratorio y vivero). Se definió la no existencia de dormancia logrando germinaciones de 84 % a los 10 d y se ratificó no extender las pruebas de germinación por más de 21 d. Las semillas almacenadas al ambiente pierden la germinación al año y en cámara fría, perduran hasta 2 años. La conservación puede realizarse en envases de frascos plásticos, bolsas de papel y de nailon. Por primera vez, se define el momento en que las inflorescencias poseen semillas formadas con poder germinativo. Un aporte novedoso fue la definición de un método científico práctico para determinar el mejor momento de cosecha con rendimientos de 24 kg ha⁻¹ de semilla pura germinable y de 50 % a 90 % de germinación. El manejo agronómico integral permitió proponer prácticas que provocan la aparición de flujos uniformes de floración y la utilización de residuos vegetales

y orgánicos en la protección de la semilla. Se demuestran las ventajas de la utilización de semilla gámica con relación a las plantaciones en bolsas y estacas de acuerdo a las poblaciones obtenidas en el establecimiento 10,55 vs 10,88 y 5,88 tallos m², respectivamente y los rendimientos 11,68 vs 9,48 y 9,92 t MS ha⁻¹, respectivamente. Los costos de la siembra se pueden reducir hasta 3 veces con la semilla gámica. El costo del kg de semilla es 273,76 CUP.

Palabras clave: Germinación; reproducción gámica; establecimiento; tithonia; producción de semilla y forrajes

Technical scientific bases for gamic seed production, sowing and establishment of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray in Cuba

ABSTRACT

Introduction: gamic seed production and set up of *Tithonia diversifolia* is an unsolved problem for science and there are several unknowns to achieve a feasible technology that integrates these processes in a multidisciplinary way. **Methods:** research to evaluate gamic seed production and establishment were carried out at the Institute of Animal Science, Mayabeque, Cuba. The predominant climate of the area is tropical humid (1200 mm per year) and it is located on a eutric red ferralitic soil. All the field experiments included conventional soil preparation, consisting of plowing and crossing with alternating middle harrows. Research on seed production was carried out based on knowledge of the morphological and phenological development of the flower as an indicator of the process of formation and physiological maturation of seeds (achenes). Germination performance was evaluated in laboratory and controlled conditions in the field. Germination percentage was evaluated as indicated by the ISTA standard. **Results:** These are the first reports in Cuba about the characterization of inflorescences, as well as the evaluation of different methods to increase germination and their implementation in different types of substrates and conditions (laboratory and nursery). The non-existence of dormancy was defined, achieving germinations of 84% at 10 d and it was ratified not to extend the germination tests for more than 21 d. Seeds stored in the environment lose germination after a year but it last up to 2 years in a cold room. Conservation can be done in plastic containers and paper and nylon bags. For the first time, the moment in which the inflorescences have seeds formed with germinating power is defined. A novel contribution was the definition of a practical scientific method to determine the best moment for harvesting with yields of 24 kg ha⁻¹ of pure germinable seed and 50 to 90 % of germination. The integral agronomic management allowed to propose practices that cause the appearance of uniform flows of flowering and the use of vegetable and organic residues in seed protection. The advantages of the use of gamic seed, in relation to the planting in bags and stakes, are demonstrated according to the populations (10.55 vs. 10.88 and 5.88 stems m², respectively and the yields 11.68 vs. 9.48 and 9.92 t DM ha⁻¹, respectively) obtained, in the establishment. Sowing costs can be reduced up to 3 times with gamic seed. The cost of the kg of seed is 273.76 CUP.

Keywords: Germination; gamic reproduction; set up; *Tithonia*; seed and forage production

INTRODUCCIÓN

Tithonia diversifolia (Hemsl.) A. Gray se considera una de las plantas arbustivas más utilizadas en la producción de alimento animal en diferentes regiones del mundo. ^(1,2) En Cuba se considera la planta proteica más aceptada por los gana-

deros. Sin embargo, una de las limitaciones fundamentales para la extensión de esta especie es que la propagación se realiza casi en un 100 % mediante el uso de semilla agámica, que son fáciles de adquirir de otras áreas de tithonia, pero cabe resaltar que este tipo de propagación presenta algunas

dificultades como es el costo de transportación y el almacenamiento que sólo se puede realizar durante periodos cortos, sin afectar la calidad de las estacas. ⁽³⁾

Resolver la problemática anterior constituyó un reto para la comunidad científica en los últimos diez años, que implicaba desarrollar investigaciones integrales que optimizaran los procesos de germinación, producción de semilla y establecimiento por la vía gámica. En una reseña publicada recientemente ⁽⁴⁾ se exponen los avances de estas investigaciones.

El propósito de esta propuesta es dar a conocer los avances obtenidos en Cuba en la producción de semilla gámica de *Tithonia diversifolia* Hemsl.) A. Gray y su establecimiento por esta vía de reproducción. Para dar cumplimiento a este objetivo las investigaciones se dividieron en 3 etapas: a) Caracterización fenológica de la estructura reproductiva, incremento de la germinación y conservación de semillas, b) producción de semilla, c) siembra, establecimiento y costos

MÉTODOS

Las investigaciones se desarrollaron, en el laboratorio de semillas y en el Centro Experimental Miguel Sistachs Naya del Instituto de Ciencia Animal, Mayabeque, Cuba. El clima predominante en la zona es tropical húmedo (1200 mm anuales) y la misma se encuentra ubicada en un suelo Ferralítico rojo éutrico. ⁽⁵⁾ Los materiales de tithonia se corresponden con los propuestos para la producción de forrajes y pastoreo en Cuba. ⁽⁶⁾

Caracterización fenológica de la estructura reproductiva e incremento de la germinación

Los cambios que se producen en la inflorescencia en el tiempo, se evaluaron de modo práctico y científico, según el marchitamiento y pérdida de los pétalos, color de las corolas, pedúnculos, así como, la caracterización del diámetro de las cabezuelas, el número y peso de semillas llenas y vacías por cabezuelas. Además, se cuantificó el número de semillas llenas en un kg. y el peso de 1000 semillas.

El comportamiento de la germinación se evaluó en condiciones de laboratorio y condiciones controladas de campo empleando semillas del material 10, para lo cual se desarrollaron dos experimentos. ⁽⁷⁾ El porcentaje de germinación se evaluó como lo indica la norma del ISTA, ⁽⁸⁾ la clasificación de semillas llenas y vacías se determinó por su dureza al tacto,

Con el objetivo de caracterizar la estructura reproductiva, la producción y germinación de semillas de diferentes materiales de tithonia se realizaron tres investigaciones. ⁽⁹⁾ Se utilizó un diseño completamente aleatorizado, donde los materiales (3,10, 16, 23, 25) constituyeron los tratamientos y la evaluación se realizó en diferentes momentos (3, 5, 7 y 30) días de

germinadas. Se realizó análisis de varianza no paramétrico de clasificación simple.

En otra investigación ⁽¹⁰⁾ se evaluó la dormancia de semillas recién cosechadas. Se usó un diseño experimental de bloques al azar. Los factores fueron los 3 tiempos de evaluación (0-10,11-20,21-30) días y los tratamientos fueron: a) exponer las semillas durante 24 h a 9 °C antes de la siembra; b) exponer las semillas durante 24 h antes de la siembra a 40°C; c) exponer las semillas a temperaturas alternas durante 24 h antes de la siembra a 40 °C y después a 9 °C; d) humedecer con agua corriente durante 24 h antes de la siembra y e) control absoluto. Se evaluó además la influencia de diferentes sustratos (placas de Petri empleando tierra, algodón; envases de cartón reciclados empleando suelo y en saco de yute humedecido) en el porcentaje de germinación ⁽¹⁰⁾ de semillas de *T. diversifolia* material 16. A continuación, se montaron las pruebas de germinación y se evaluó durante un mes (0-10, 11-20 y 21-30) días.

Posteriormente se evaluaron 3 métodos de conservación de semilla gámica ⁽¹¹⁾ bajo 2 condiciones de almacenamiento, mediante un diseño experimental completamente aleatorizado, con 4 repeticiones en arreglo jerárquico 3 x 2. Los efectos fueron los métodos de conservación (pomos plásticos, bolsas de papel y bolsas de nailon) y la condición de almacenamiento (cámara fría, 9°C y ambiente, de 26 °C a 28 °C), para cada período (60, 120, 180, 240, 300, 360, 420, 480, 540, 600, 660, 720) días.

Producción de semilla

Las investigaciones se desarrollaron partiendo del conocimiento del desarrollo morfológico y fenológico de la flor como un indicador del proceso de formación y maduración fisiológica de las semillas (aquenios). ^(12,13) El mejor momento de cosecha de la semilla se evaluó clasificando las estructuras reproductivas en los diferentes estadios de su madurez fisiológica. Los tratamientos fueron los diferentes momentos evaluados (0, 4, 8, 12, 16 y 20) días después de haber iniciada la floración masiva, definida como el momento en el que del total de tallos con presencia de inflorescencias la mitad presentaba flores y botones, mientras que la otra mitad estaba en la fase semillas (cabezuelas con brácteas verdes y pétalos marchitos, cabezuelas con brácteas verdes y corolas amarillas, cabezuelas con brácteas verdes y corolas de color marrón y cabezuelas con brácteas y pedúnculos secos, color marrón). La cosecha se realizó según el desarrollo fenológico de las cabezuelas que producen semillas. Los materiales evaluados fueron el 10 y 16.

Definido el mejor momento de cosecha y siguiendo la secuencia experimental se proyectó un nuevo experimento.

Durante un período de 3 años se evaluó ⁽¹⁰⁾ el efecto del momento de corte (mayo-julio-septiembre) en la emisión de hijos fértiles y producción de semilla gámica de 4 materiales (3,10, 16 y 23). Se utilizó un diseño de parcelas divididas con 4 bloques, relacionados con el gradiente del suelo. Como parcela principal se consideraron los momentos de corte evaluados, y como subparcelas los materiales.

Siembra, establecimiento y costos

Con el objetivo de demostrar la posibilidad real de establecer *tithonia* por semilla gámica se realizaron 4 investigaciones. Inicialmente se evaluaron diferentes prácticas de protección de la semilla gámica en el establecimiento. En el primer experimento ⁽¹⁴⁾ se utilizó *T. diversifolia* material 16 el cual se sembró por semilla gámica. Se usó modelo de clasificación simple completamente aleatorizado. Los tratamientos consistieron: a) control sin cubrir la semilla, b) cubrir las semillas con 360 g estiércol vacuno golpes⁻¹, c) cubrir las semillas 250 g de residuo vegetal seco m⁻².

En el segundo experimento ⁽¹⁰⁾ se evaluaron diferentes volúmenes de rastrojos vegetales (arropes) en la germinación, sobrevivencia y establecimiento por semilla gámica del material. Los tratamientos consistieron: a) control, sin cubrir la semilla, b) cubrir las semillas 250 g m⁻² de arropes, c) cubrir las semillas con 338 g m⁻² de arropes, d) cubrir las semillas con 500 g m⁻² de arropes.

Con el objetivo de comparar la siembra por semilla gámica de *T. diversifolia* directamente en el campo, con la plantación en bolsas y trasplante por el método tradicional de plantación por estacas se realizaron 2 investigaciones. ⁽¹⁰⁾ En la primera investigación, el propósito productivo fue la evaluación de la producción de semilla gámica y en la segunda se evaluó el rendimiento de forraje. En ambos casos la unidad experimental fueron parcelas (5 x 4,2 m) y se utilizó un diseño experimental de bloques al azar donde los tratamientos consistieron en: a) siembra por semilla gámica directa al suelo. b) siembra por semilla gámica en bolsa y luego trasplante al campo y c) plantación tradicional por estacas.

Para determinar la ficha de costos del establecimiento de una hectárea y la producción de semilla gámica de *tithonia*, se tuvieron en cuenta los costos de salarios ⁽¹⁵⁾ (13,89 CUP por hora), combustible ⁽¹⁶⁾ (13,99 CUP por litros), maquinaria y otros (compra de semillas, fertilizantes) de las labores acometidas para esta actividad. Las labores fueron: preparación de suelo, siembra, establecimiento, labores de agrotécnica, de cosecha y postcosecha. Estas fueron calculadas a partir de los datos recogidos en el ICA en CUP. El precio de la semilla agámica ⁽¹⁷⁾ de *tithonia* para la plantación es de 1 CUP y se necesitan 4,5 t ha⁻¹ de tallos, el equivalente a 10000 estacas. ⁽¹⁴⁾

Posteriormente una vez estimados los costos de establecimiento por semilla agámica y teniendo en cuenta los costos de la cosecha y postcosecha se procedió a calcular las fichas de costo de 1 kg de semilla gámica.

RESULTADOS

Caracterización fenológica de la estructura reproductiva e incremento de la germinación

Se evidenció, por primera vez, las diferencias en cuanto a la estructura floral, así como al número de semillas por cabezuelas de los diferentes materiales evaluados. Las cabezuelas del material 25 presentan mayor diámetro (2,97 cm) respecto a las demás, sin embargo, no difiere del material 23 en cuanto al peso y porcentaje de MS de la estructura floral. La producción de semillas de los materiales es muy similar respecto al número total de semillas presentes en las cabezuelas, así como al número de semillas vacías. Sin embargo, el material 23 presenta menor número de semillas llenas.

Los porcentajes de germinación total obtenidos en condiciones de laboratorio (54,9 %) y de vivero (43,7 %) ratifican el comportamiento adecuado de esta especie bajo estas condiciones. Se demostró que es posible obtener plántulas vigorosas listas para su trasplante al campo con alturas de 28,9 cm a los 45 d de sembradas. Se considera que es en este momento en que se debe realizar el trasplante ya que, por las características de flexibilidad que poseen los tallos de esta especie, no es recomendable esperar más tiempo para evitar pérdidas por fraccionamiento de los mismos.

Se corroboró que las semillas de *tithonia* no presentan latencia. Los métodos evaluados para incrementar la germinación (efecto de temperaturas fijas, alternas y humedecimiento con agua corriente) no mostraron diferencias respecto al testigo. Los porcentajes de germinación total determinados a los 30 d fueron elevados (78 %-86 %). Se demostró que en los primeros 10 d ocurre entre el 67 % y el 75 % de la germinación, por lo que se corrobora que no es necesario extender las pruebas por más de 21 d.

Se definió que esta especie es selectiva en cuanto a los sustratos a utilizar para las pruebas de germinación. De las variantes evaluadas el menor porcentaje de germinación (7,75 %) se produjo en el sustrato de sacos de yute humedecidos. Este resultado negativo resulta importante, pues el uso de esta práctica es muy común por los productores y en este caso se puede subestimar el poder germinativo del lote de semillas. En el resto de los tratamientos la germinación tuvo un comportamiento similar que osciló entre 55 %-60 %.

Se demostró que la semilla de *tithonia* aún después de 2 años de cosechada en cámara fría mantiene su viabilidad

(potencial de una semilla para germinar bajo condiciones favorables). Sin embargo, las semillas conservadas al ambiente mueren y pierden su viabilidad en la medida que transcurre el tiempo, como consecuencia de las temperaturas y la humedad relativa a la cual se exponen. El porcentaje de germinación de las semillas mostró un comportamiento muy variable entre los diferentes períodos evaluados (figura 1). El efecto de los métodos de embalaje, no fue homogéneo en el tiempo, por lo que se puede utilizar cualquiera de las variantes (pomos plásticos, bolsas de papel y bolsas de nailon).

Producción de semilla

Los resultados de la caracterización fenológica y fisiológica (figura 2) de las cabezuelas permitieron definir los estadios que producen semillas y el mejor momento de realizar la cosecha. Se puntualizó que cuando se cosecha en el estado de brácteas verdes sin pétalos existe el menor peso de semillas llenas (53 mg) y el mayor de las vacías por cabezuelas (143 mg). El porcentaje de germinación de las semillas llenas por cabezuelas, fue mayor (48,3 %) cuando estas se cosecharon con brácteas y pedúnculos secos (color marrón). No hubo

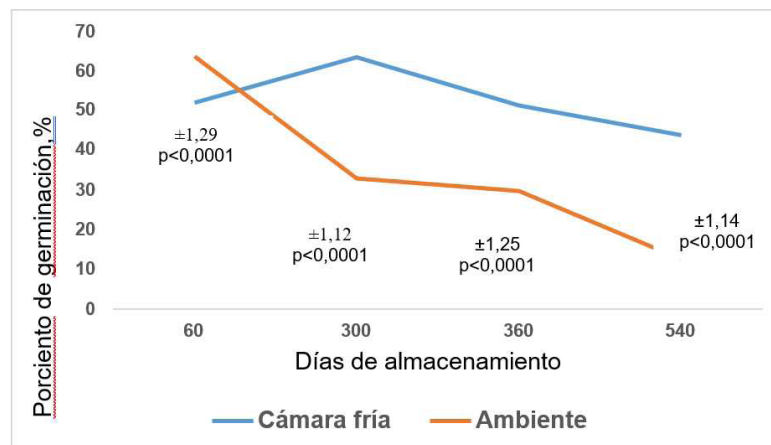


Fig. 1. Efecto de la condición de almacenamiento en la conservación de semillas de *T. diversifolia*.

diferencias entre la cosecha de cabezuelas con brácteas verdes sin pétalos y la de cabezuelas con brácteas y pedúnculos secos (color marrón) para el rendimiento de semilla pura germinable (SPG) cabezuela⁻¹ (1,20 mg).

No obstante, se determinó una menor germinación cuando estas se cosecharon en el estado fenológico de cabezuelas con brácteas verdes y pétalos marchitos. Estos resultados indican la necesidad de realizar la cosecha de las cabezuelas, cuando las semillas logren su maduración y formación desde el punto de vista fenológico y fisiológico. En condiciones de campo, durante el período de cosecha (figura 3), se demostró que el mejor momento ocurre entre los 12 d y 16 d de inicio de la floración, donde predominan más de 80 % del total de inflorescencias que engendran semillas. Para la cosecha es necesario que la presencia de cabezuelas con brácteas y pedúnculos secos color marrón oscile entre 20 %-60 %, lo cual puede lograrse entre los 12 d y 20 d de iniciada la floración.

Se definió el papel preponderante del momento de la aplicación de cortes predeterminados para propiciar flujos

masivos de floración en los tallos fértiles, en 4 materiales por un periodo de 3 años. Todos los materiales no tuvieron una respuesta uniforme, así el material 16 fue el único que logró producir semilla a partir del segundo año cuando se aplicó el corte en el mes de julio, los demás no lo lograron. Cuando se aplicó corte en septiembre ninguno produjo semilla a partir del segundo año. Ello definió la necesidad de esta planta de un periodo de tiempo de 4 meses a 6 meses para alcanzar la formación de tallos fértiles y el desarrollo y formación de las semillas, lo que constituye un novedoso resultado científico para la especie. Con ello se garantizó una mayor uniformidad del desarrollo fenológico de las cabezuelas en el tiempo, incidiendo positivamente en garantizar una formación y maduración más uniforme de las semillas que facilita definir y precisar con más exactitud el mejor momento de cosecha. Es por ello, que se recomienda realizar el corte al inicio del periodo lluvioso, después de estabilizadas las precipitaciones.

El comportamiento de los diferentes materiales en cuanto a los indicadores estudiados fue muy similar en la primera



Fig. 2. Inflorescencias que no producen semillas. (A, Botón cerrado; B-Botón abierto; C, Flor). Inflorescencias que producen semillas. (D, Cabezuela con brácteas verdes y pétalos machitos; E, Cabezuela con brácteas verdes y corolas amarillas; F, Cabezuela con brácteas verdes y corolas de color marrón; G, Cabezuela con brácteas y pedúnculos secos (color marrón).

fase de maduración de las cabezuelas (tabla 1). Posteriormente, se destaca el material 16 con un mayor número de inflorescencias. Este material se destacó, además, en la producción de semilla que fue de 49,45 kg ha⁻¹ a 98,89 kg ha⁻¹ de semillas llenas y 26,63 kg ha⁻¹ a 53,26 kg ha⁻¹ SPG en el segundo y tercer año, respectivamente. Los demás materiales evaluados también logran aceptables rendimientos de semillas y deben ser incluidos en la estrategia de producción de semilla gámica de esta especie.

Siembra, establecimiento y costos

Los resultados mostraron que es necesario cubrir la semilla de *T. diversifolia* con arropes de estiércol vacuno o residuos vegetales. Todas las variables estudiadas fueron favorables para los tratamientos respecto al control durante los primeros 60 días después de la siembra.

El comportamiento de la población, en los muestreos a los 30 d y 60 d después de la siembra, fue menor en el control (6,78 plantas m⁻²) sin arropar y no hubo diferencias entre el

empleo de estiércol o residuos vegetales con una población de (7,69 y 10,33) plantas m⁻², respectivamente.

Si bien es cierto, que aplicar arropes con estiércol vacuno en los estadios tempranos del desarrollo de la planta, resultó ventajoso para algunos componentes del rendimiento, a partir del primer y segundo corte, no hubo diferencias entre los tratamientos que se aplicó arropes de estiércol vacuno y residuos vegetales, pero ambos fueron superiores al control (figura 4 A).

En otro estudio se determinó un incremento lineal del rendimiento de la plantación con los niveles de arropes (residuo vegetal) y se demostró que con arropes a razón de 338 gm⁻²-500 gm⁻² se obtienen mejores resultados aún en el tercer corte (figura 4B). Es por eso que ambos niveles de arropes deben ser recomendados para mejorar la germinación, sobrevivencia de las jóvenes plántulas y la producción de biomasa.

Los estudios de las siembras por semilla gámica, trasplante en bolsa y plantación por estacas para la producción de forraje, después de 2 años de explotación, indicaron que

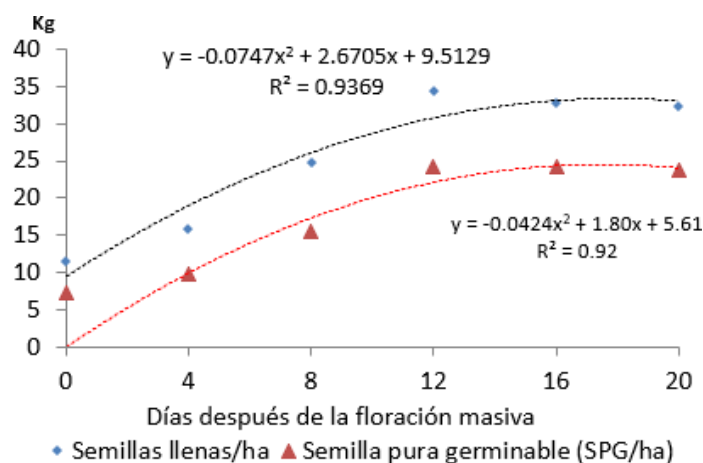


Fig.3. Comportamiento de la producción de semillas durante el período de cosecha.

Tabla 1. Número de botones, flores y cabezuelas que contienen semillas según su estado de desarrollo morfológico en el momento de la cosecha

Indicadores	Materiales vegetales				EE ± p
	3	10	16	23	
Botón	2,13	1,95	1,85	1,10	0,25 0,0703
Flores	1,93	1,20	1,63	1,48	0,36 0,5820
Cabezuelas con brácteas verdes y pétalos marchitos	0,93	1,08	0,88	1,10	0,17 0,7462
Cabezuelas con brácteas verdes con corolas amarillas y marrón	5,40 ^b	5,98 ^b	11,25 ^a	5,43 ^b	0,47 < 0,0001
Cabezuelas con brácteas y pedúnculos secos, color marrón	1,18	1,08	1,40	1,05	0,11 0,1798
Total de inflorescencias	11,55 ^c	11,28 ^{bc}	17,00 ^a	10,15 ^b	0,36 < 0,0001

a, b, c: medias con letras distintas por fila difieren a $p < 0,05$ (Duncan,1955)

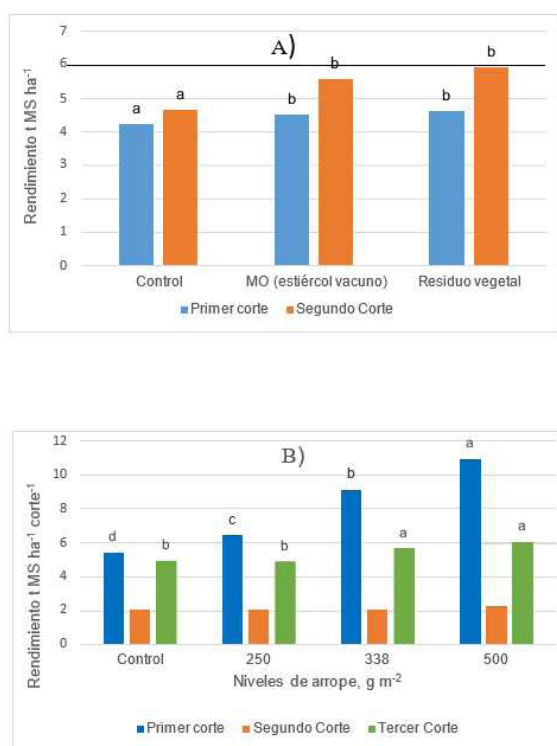


Fig. 4 Rendimiento de *T. diversifolia* (t MS ha⁻¹ corte⁻¹) en siembras por semilla gámica en la fase de establecimiento. A) Tipos de arripe. B) Niveles de arripe. ab valores con letras distintas difieren a $p < 0,05$ (Duncan,1955)

la población de tallos y macollas m², rendimiento de hojas, tallos y el porciento de hojas, así como la altura y el diámetro del tallo resultó similar, no hubo diferencias entre los tratamientos para el rendimiento total que fue del orden de (3,64-4,42) t MS ha⁻¹ corte⁻¹ a los 90 d.

En el segundo estudio, la siembra por semilla gámica, presenta en la etapa de establecimiento, indicadores de población más favorables. En este caso, ya a los 7 días las semillas habían logrado germinar, alcanzando una población de 2,63 plantas m² cuando en las plantaciones por tallos aún no se había iniciado la germinación, a los 41 d alcanzó 3,76 plantas m² superior a la plantación por tallos que sólo alcanzó 2,60 plantas m². Similar comportamiento se determinó en las variables número de hojas por tallo y de tallos m² a los 90 d y 134 d después de la siembra, respecto a los demás tratamientos.

De igual forma, los rendimientos de biomasa en el primer corte de establecimiento a los 180 días (tabla 2), corroboran las ventajas de la utilización de esta vía de propagación. En este caso el rendimiento fue superior a las plantaciones por tallo y por bolsas. La población en la plantación por tallos presentó valores inferiores al resto de los tratamientos.

El costo de establecimiento de una hectárea de *tithonia* para la producción de semillas o de forrajes se puede reducir hasta 3 veces en relación a las plantaciones agámicas (tabla 3). Similar respuesta en la reducción de los costos se produce para la siembra y establecimiento, pues los costos

Tabla 2. Comportamiento del rendimiento de biomasa de *T. diversifolia* según el método de establecimiento. Primer corte (180 d)

Indicadores	Tratamientos			EE ± p
	Siembra semillas	Plantación Tallos	Plantación Bolsas	
Altura, m	1,71 ^b	2,00 ^a	1,71 ^b	0,03 < 0,0001
Número de tallos m ⁻²	10,55 ^a	5,80 ^b	10,88 ^a	0,28 < 0,0001
Rendimiento, t MS ha ⁻¹	11,68 ^a	7,92 ^b	9,48 ^b	0,28 < 0,0001

a, b, c: medias con letras distintas dentro de cada fila difieren a $p < 0,05$ (Duncan,1955)

se reducen de 11 329,14 CUP en las plantaciones agámicas a sólo 3411,21 CUP en las siembras gámicas. El costo total de la producción de semillas se reduce en 2639,31 cuando se realiza con siembras de semilla gámica. El costo de producción de 1 kg de semilla gámica (273,66 CUP) resultó más económico cuando estas se cosecharon de campos sembrados por semilla gámica.

Los estudios de producción de semilla y establecimiento por vía gámica se cuantifican por primera vez y es importante considerar que los gastos de las labores de cosecha y post-cosecha se realizaron de forma manual y con equipos experimentales por lo que deben considerarse preliminares, pues en la medida que estos procesos se mecanicen y se ajusten los nuevos precios de los insumos debe ser más evidente las ventajas de la propagación de esta especie por la vía gámica en relación a las plantaciones agámicas imperantes en este momento.

DISCUSIÓN

Los elevados porcentajes de germinación obtenidos, por lo general son superiores a los determinados en trabajos simi-

lares. ^(18,19) Lo anterior puede estar relacionado con la cosecha de las semillas en el mejor momento, donde se demostró que es necesaria una sincronización entre los indicadores: número de semillas llenas, SPG y porcentaje de germinación para obtener lotes de semillas de calidad superior.

Se contribuyó al conocimiento científico de la caracterización fenológica de la estructura floral y la germinación de diferentes materiales vegetales de *T. diversifolia* bajo las condiciones edafoclimáticas de Cuba, así como en la conservación de semillas. El hallazgo del período total de viabilidad de la semilla (12 meses bajo condiciones no controladas y más de 24 meses en refrigeración) es un dato relevante para las aplicaciones prácticas y trabajos futuros. A nivel internacional existen muy pocos trabajos de conservación de semillas de esta especie. ⁽²⁰⁾

El manejo agrotécnico integral propuesto permite lograr mayor eficiencia en el proceso de producción de semillas ya que, por primera vez, se establecen las bases científico técnicas para la producción de semilla gámica de *T. diversifolia* en Cuba ^(21,22) y en el mundo ya que, los antecedentes en esta temática están basados en prácticas aisladas ⁽²³⁾ que no cuantificaban los rendimientos reales de SPG.

Tabla 3. Costos de producción de semilla y establecimiento mediante siembras gámica y agámica de *T. diversifolia*

Costos, CUP	Tipos de siembra	
	Semilla agámica (dosis 4,5 t ha ⁻¹)	Semilla gámica (dosis 1,0 kg ha ⁻¹)
Semilla para una ha	10000,00	361,64
Siembra y establecimiento de una ha	11329,14	3411,21
Producción total de semillas en una ha	10849,20	8209,89
Producción de 1 kg de semilla gámica*	361,64	273,66

* Rendimientos medios de 30 kg ha⁻¹ a nivel experimental

El aporte de establecer una técnica de siembra directa de semilla gámica en el campo constituye un resultado novedoso, lo cual permitiría una mayor generalización y el establecimiento exitoso de *tithonia*. Se brinda la posibilidad de disponer de semilla gámica al inicio del periodo lluvioso, que es el momento óptimo de realizar las siembras bajo las condiciones edafoclimáticas de Cuba. Esta investigación propicia desplazar la plantación por estacas y minimizar el uso de vivero y trasplante, en la medida que la nueva tecnología se implante, pues las que predominan no dejan de ser un proceso engorroso^(24,25) sobre todo cuando el resultado tecnológico está dirigido a la mediana y gran escala.

Los resultados alcanzados contribuyen a la estrategia de país de incrementar la propagación acelerada de las plantas proteicas, entre ellas la *tithonia* como la más aceptada por los productores, para garantizar alimentos con sostenibilidad técnica y ambiental, al desarrollo de las cadenas productivas, la sustitución de importaciones y los planes de desarrollo de autoabastecimiento local en los municipios.

Conclusiones

Los resultados contribuyen al aporte al conocimiento de la germinación de semilla gámica de *T. diversifolia*, así como del comportamiento morfoestructural de las plántulas durante la etapa de vivero. Se demuestra que las semillas no presentan latencia y que es posible utilizar la vía de propagación gámica para esta especie. La tecnología generada para la producción de semilla gámica permitirá un mayor uso de esta especie en la alimentación animal en Cuba y en el mundo. Las tecnologías propuestas para la siembra y establecimiento por semilla gámica demostraron los efectos beneficiosos de la protección de las semillas con arropes orgánicos, así como, las ventajas de las siembras por semilla gámica con relación a las plantaciones por estacas y en bolsa para el rendimiento de forraje (t MS ha⁻¹) y las poblaciones (plantas m⁻²) en la fase de establecimiento. El costo de establecimiento de una hectárea de *tithonia* para la producción de semillas o forrajes se puede reducir hasta 3 veces en relación a las plantaciones agámicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Angulo Arizala J, Nemocón Cobos A, Posada Ochoa S, y Mahecha Ledesma L. Milk production and quality and economic analysis of Holstein cows, supplemented with wild sunflower silage (*Tithonia diversifolia*) or maize silage. *Biocología en el sector industrial*. 2021. ISSN:1909-9959
2. Arief R, Sowmen S and Pazla R. Milk Production, Consumption and Digestibility of Ration Based on The Palm Kernel Cake, Tithonia (*Tithonia diversifolia*) and Corn Waste on Etawa Crossbreed Dairy Goat. 7th International Conference on Sustainable Agricul-

ture, Food and Energy IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 709 (2021) 012024 IOP Publishing DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/709/1/012024>

3. Sánchez Núñez LM, Hernández Bernal DM y Sánchez H. Dynamics agro technique and germination for efficient development of *Tithonia diversifolia*. *Rev Sist Prod Agroecol*. 2014;5(2):59.
4. Padilla C y Rodríguez I. Advances in the production of gametic seed of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray and its establishment. *Cuban Journal Agriculture Science*. 2021;55(3):79. <http://cjasience.com/index.php/CJAS/search/search>
5. Hernández A; Pérez J M; Bosch D; Castro N. Clasificación de los suelos de Cuba. Mayabeque, Cuba: Ediciones INCA, 2015.93 p. ISBN: 978-959-7023-77-7 http://ediciones.inca.edu.cu/files/libros/clasificacionsueloscuba_%202015.pdf
6. Ruíz TE, Febles GJ, Galindo J, Savón L, Chongo B, Torres V, Cino DM, Alonso J, Martínez Y, Gutiérrez D, Crespo GJ, Mora L, Scull I, LaO O, González J, Lok S, González N y Zamora A. *Tithonia diversifolia*, its possibilities in cattle rearing systems. *Cuban Journal of Agricultural Science*. 2014;48:79. <http://cjasience.com/index.php/CJAS/search/search>.
7. Rodríguez I, Padilla C y Ojeda M. Características de la germinación de la semilla gámica de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray y su comportamiento en condiciones de vivero. May 2019. *Livestock Research for Rural Development*. 2019;31(5). Disponible en: <http://www.lrrd.org/lrrd31/5/idalma31069.html>
8. ISTA (International Seed Testing Association). International rules for seed testing. *Seed Science and Technology*. 2015;27. Supplement. International rules. Disponible en: <http://credit.niso.org/>
9. Rodríguez I, Padilla C y Medina Y. Characteristics of the floral structure and evaluation of the production of seed of different materials of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray. in Cuba. *Cuban Journal Agriculture Science* 55:3:79. Disponible en: <http://cjasience.com/index.php/CJAS/search/search>
10. Padilla C, Rodríguez I, Ruíz TE, Herrera M. Evaluación del establecimiento y producción de biomasa a partir de la semilla gámica y agámica de *Tithonia diversifolia*. En: Informe final del proyecto: Diversificación, mejoramiento y multiplicación de recursos fitogenéticos de especies productoras de forrajes de alta calidad para la alimentación animal. Entidad ejecutora principal: Instituto de Ciencia Animal, La Habana, Cuba. Programa: Producción de Alimento Animal, MINAG. Código Programa: P 131 LH002 046. 2021; 304-7p
11. Rodríguez I, Padilla C, Torres V, Herrera M y Medina Y. Efecto del tipo de envase y el ambiente de almacenamiento en la germinación de las semillas de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray. *Livestock Research for Rural Development*. 2021;33(6) Disponible en: <http://www.lrrd.org/lrrd33/6/idal30071.html>
12. Padilla C, Rodríguez Idalmis, Ruiz T E y Herrera Magalys. Determinación del mejor momento de cosecha de semilla gámica, *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray *Livestock Research for Rural Development*. 2018.30(4) Disponible en: <http://www.lrrd.org/lrrd30/4/idal30071.html>
13. Padilla C, Rodríguez I, Ruiz TE, Herrera M, Mesa Y, Sarduy L y Díaz L. Mejor momento de cosecha en producción y calidad de semilla gámica de *Tithonia* según estado fenológico de la estructura floral. *Livestock Research for Rural Development*. 2020;32(9) Disponible en: <http://lrrd.cipav.org.co/lrrd32/9/idal32146.html>

14. Padilla C, Rodríguez I, Ruiz TE, Ojeda M, Sarduy L y Díaz L. 2020a. Evaluación de diferentes prácticas de protección de la semilla gámica en el establecimiento de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray material 16. *Livestock Research for Rural Development*. 2020;32(3) Disponible en: <http://lrrd.cipav.org.co/lrrd32/3/ida32050.html>
15. Resolución No.29-2020. Gaceta 69.2020. Establecimiento de la escala y tarifa salarial de los trabajadores. GOC-2020-794-EX69.
16. Resolución No.350-2020. Gaceta 71.2020. GOC-2020-849-EX71. Establecimiento de precio de venta de los combustibles a entidades estatales.
17. Resolución 35. 2021. Precios minorista de semillas. Empresa productora y Comercializadora de semillas.
18. Muoghalu JI y Chuba DK. Seed germination and reproductive strategies of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray y *Tithonia rotundifolia* (P.M) Blake. *Applied Ecology and Environmental Research*. 2005;3(1):39-46. ISSN 1589.1623. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Joseph_Muoghalu/publication/254696659
19. Agboola DA, Idowu WF y Kadiri M. Seed germination and seedling growth of the Mexican sunflower *Tithonia diversifolia* (Compositae) in Nigeria, Africa. *Revista de Biología Tropical*. 2006;54(2):395-402. Disponible en: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttextpid=S003477442006000200017&ln g=en
20. Mattar E. Physiological quality of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray seeds as a function of harvest period and storage conditions. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2018. 25 (6), 1133-42
21. Padilla C, Rodríguez I, Ruiz TE y Valenciaga N. Guía técnica para el establecimiento de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray por semilla gámica. EDICA, Julio, 2021. ISBN:978-959-7171-84-3
22. Padilla C, Rodríguez Idalmis, Ruiz TE y Valenciaga N. Guía técnica para la producción de semilla gámica de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray EDICA, Julio, 2021. ISBN: 978-959-7171-83-6
23. Romero O, Galindo A, Murgueitio E y Calle Z. First experiences in the spread of boton de oro (*Tithonia diversifolia*, Hemsl. Gray) from planting seeds for intensive systems sylvopastoral in Colombia. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 2014;(17):525-8 Disponible en: <http://www.revista.ccba.uady.mx/urn:ISSN:1870-0462-tsaes.v17i3.1569>
24. Solarte LH, Murgueitio E, González JG, Uribe F y Manzano L. Protocolo para la siembra de botón de oro y leucaena en potreros con praderas mejoradas para el establecimiento de sistemas silvopastoriles intensivos. 2013. Fundación CIPAV. Bogotá. Colombia. Disponible en: <https://es.slideshare.net/Fedegan/protocolo-boton-oroleucaenacubiertas>
25. Summ D. Cómo cultivar el botón de oro (*Tithonia diversifolia*) en Colombia. 2015. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos101/como-cultivar-boton-oro-colombia/como-cultivar-boton-oro-colombia.shtml> 15 de mayo 2015

Agradecimientos

Los autores agradecen al Fondo Nacional para la Ciencia e Innovación (FONCI), del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) de Cuba, por financiar la investigación, Bases científico técnicas para la producción de semilla, siembra y establecimiento de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray por vía gámica en Cuba

Conflictos de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses entre ellos, ni con la investigación presentada.

Contribuciones de los autores

Conceptualización: César Raimundo Padilla Corrales, Idalmis Dolores Rodríguez García, Tomás Elías Ruiz Vázquez, Nadia Báez Quiñones, Yolaine Medina Mesa, Magaly Herrera Villafranca

Curación de datos: Idalmis Dolores Rodríguez García Yolaine Medina Mesa, Magaly Herrera Villafranca, César Raimundo Padilla Corrales

Análisis formal: Yolaine Medina Mesa, Magaly Herrera Villafranca

Adquisición de fondos: Tomás Elías Ruiz Vázquez

Investigación: César Raimundo Padilla Corrales, Idalmis Dolores Rodríguez García, Nadia Báez Quiñones

Metodologías: Padilla Corrales, Idalmis Dolores Rodríguez García, Nadia Báez Quiñones

Administración de proyecto: Tomás Elías Ruiz Vázquez, César Raimundo Padilla Corrales

Recursos: Tomás Elías Ruiz Vázquez, César Raimundo Padilla Corrales, Idalmis Dolores Rodríguez García

Software: Magaly Herrera Villafranca, Yolaine Medina Mesa, Nadia Báez Quiñones

Supervisión: Raimundo Padilla Corrales, Idalmis Dolores Rodríguez García, Tomás Elías Ruiz Vázquez

Validación: César Raimundo Padilla Corrales, Idalmis Dolores Rodríguez García, Nadia Báez Quiñones, César Raimundo Padilla Corrales, Idalmis Dolores Rodríguez García, Tomás Elías Ruiz Vázquez

Redacción-borrador original: César Raimundo Padilla Corrales, Idalmis Dolores Rodríguez García, Tomás Elías Ruiz Vázquez, Nadia Báez Quiñones

Redacción-revisión y edición: César Raimundo Padilla Corrales, Idalmis Dolores Rodríguez García, Tomás Elías Ruiz Vázquez Nadia Báez Quiñones

Financiamiento
Se utilizaron fondos del proyecto FONCI, contrato P131-LH002-046

Cómo citar este artículo

Padilla Corrales CR, Rodríguez García ID Ruiz Vázquez TE, Báez Quiñones N et al. Bases científico técnicas para la producción de semilla, siembra y establecimiento de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray por vía gámica en Cuba. *An Acad Cienc Cuba* [internet] 2023 [citado en día, mes y año];13(3):e1449. Disponible en: <http://www.revistaccuba.cu/index.php/revacc/article/view/1449>

El artículo se difunde en acceso abierto según los términos de una licencia Creative Commons de Atribución/Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0), que le atribuye la libertad de copiar, compartir, distribuir, exhibir o implementar sin permiso, salvo con las siguientes condiciones: reconocer a sus autores (atribución), indicar los cambios que haya realizado y no usar el material con fines comerciales (no comercial).

© Los autores, 2023.

Recibido: 17/04/2023
Aprobado: 21/06/2023

