

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

EVALUACIÓN DE LA GERMINACIÓN Y LA FENOLOGÍA DEL JÍCARO  
(*CRESCENTIA ALATA*, BIGNONIACEAE) EN GUANACASTE, COSTA RICA

Tesis sometida a la consideración de la Comisión del Programa de  
Estudios de Posgrado en Biología para optar al grado y título de  
Maestría Académica en Biología

KIMBERLY ANDREA VALVERDE RODRÍGUEZ

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2017

## DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico, en primer lugar, a Dios que me dejó llegar hasta la Universidad de Costa Rica, me dio salud, fuerzas en los momentos difíciles y me suplió lo necesario en el período de estudio. En segundo lugar, a la Universidad de Costa Rica porque sin la ayuda económica brindada no tendría este logro académico.

También, la dedico a mis seres queridos, a la flor de mi vida (mi madre) y a mi muy amada hermana que fueron mis mayores apoyos, al brindarme su amor y ayuda incondicional durante toda mi etapa de estudios y porque soportaron mis momentos de estrés. A mi abuelita Carmen por su compañía, cuidados y consejos.

*"... No podemos dejar la ciencia en las cuatro paredes de una biblioteca o de un laboratorio, sino [que debemos] llevársela a la gente, al campo, para que sea..., una contribución al avance de toda la humanidad".*  
(Jorge León, 2006: 32)

*"Sembrando trigo una vez, cosecharás una vez. Plantando un árbol, cosecharás diez veces. Instruyendo al pueblo, cosecharás cien veces"*  
Jiddu Krishnamurti

## AGRADECIMIENTOS


En el transcurso de la elaboración de la tesis fue necesaria la ayuda desinteresada de muchas personas. Doy gracias al personal del Área de Conservación Guanacaste, Parque Nacional Santa Rosa, por permitirme desarrollar mi estudio de fenología ahí y facilitarme sus servicios. Expreso mi agradecimiento al Instituto Meteorológico Nacional por brindarme los datos climáticos y a quienes en alguna ocasión fueron acompañantes de gira a Guanacaste por su gran esfuerzo: Elmer García, Carlos O. Morales, Marta Valdez, Álvaro Picado, Federico Albertazzi, Olman Alvarado y mis familiares.

Agradezco al Centro para Investigaciones en Granos y Semillas (CIGRAS) y al personal por su amabilidad, quienes me facilitaron el uso de cámaras de germinación y de almacenamiento de semillas, así como valiosa información para los experimentos. A Michael González, del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) de la Universidad de Costa Rica, por la ayuda en la interpretación de los estudios del suelo. Gracias a la Escuela de Biología por permitirme utilizar los invernaderos y el equipo para mediciones. También, reconozco la importancia que tuvieron los excelentes docentes durante mi carrera en biología y de los funcionarios de mantenimiento de la Universidad por su ayuda en las labores de invernadero.

La elaboración de esta tesis no hubiera sido posible sin el aporte de conocimientos de mi comité: Federico Albertazzi, Elmer García y Carlos O. Morales. Gracias a mi tutor Elmer García, por motivarme a sacar una maestría, por los consejos para la realización de la investigación, la dedicación y principalmente por ser mi amigo. Agradezco los sabios comentarios y consejos de mi amigo Carlos O. Morales, quien además de ayudarme en el área intelectual, ha sido un gran compañero de charlas y una compañía en el trabajo de invernadero. También, agradezco a Alfredo Cascante, Gerardo Ávalos y a Eduardo Chacón, por las recomendaciones brindadas, y a todos aquellos que hicieron aportes a los documentos iniciales.

Muchas gracias a todas aquellas personas que de una manera u otra me apoyaron para cumplir esta meta.

“Esta Tesis fue aceptada por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Biología de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Académica en Biología”



Dr. Gerardo Ávalos Rodríguez

**Representante del Decano del Sistema de Estudios de Posgrado**



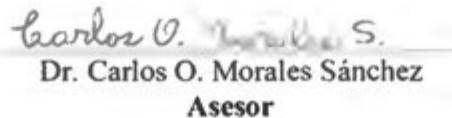
M. Sc. Elmer Guillermo García Díaz

**Director de tesis**



Dr. Federico Alberto Castro

**Asesor**



Dr. Carlos O. Morales Sánchez

**Asesor**



Dr. Alfredo Quintante Marín

**Representante del Director del Programa de Posgrado en Biología**



Kimberly Andrea Valverde Rodríguez

**Candidata**

## ÍNDICE

Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Hoja de aprobación.....	iv
Índice.....	v
Resumen.....	viii
Lista de cuadros.....	ix
Capítulo 1.....	ix
Capítulo 2.....	ix
Capítulo 3.....	x
Lista de figuras.....	xi
Capítulo 1.....	xi
Capítulo 2.....	xi
Capítulo 3.....	xii
Lista de abreviaturas.....	xiii
Lista de fórmulas.....	xiv
Prefacio.....	l

### Capítulo 1. Fenología de *Crescentia alata* (Bignoniaceae) en el Bosque Tropical Seco de Costa Rica

Resumen.....	2
Introducción.....	2
Materiales y métodos.....	4
Sitio de estudio.....	4
Fenología.....	4
Variables ambientales.....	5
Análisis estadístico.....	6
Resultados.....	6
Variables ambientales.....	7
Discusión.....	7
Agradecimientos.....	13
Referencias.....	13
Cuadros y figuras.....	19

**Capítulo 2. Germinación de semillas de *Crescentia alata* (Bignoniaceae) en distintas condiciones de temperatura, luminosidad y períodos de almacenamiento**

Resumen.....	26
Introducción.....	27
Materiales y métodos.....	28
Caracterización de frutos y semillas.....	29
Capacidad germinativa a distintas temperaturas.....	30
Capacidad germinativa en luz y oscuridad.....	30
Efecto del almacenamiento y la temperatura sobre la viabilidad de las semillas.....	30
Capacidad germinativa de semillas almacenadas dentro y fuera del fruto.....	31
Resultados.....	32
Caracterización de frutos y semillas.....	32
Capacidad germinativa a distintas temperaturas.....	32
Capacidad germinativa en luz y oscuridad.....	33
Efecto del almacenamiento y la temperatura sobre la viabilidad de las semillas.....	33
Capacidad germinativa de semillas almacenadas dentro y fuera del fruto.....	34
Discusión.....	34
Caracterización de frutos y semillas.....	34
Capacidad germinativa a distintas temperaturas.....	34
Capacidad germinativa en luz y oscuridad.....	36
Efecto del almacenamiento y la temperatura sobre la viabilidad de las semillas.....	36
Contenido de humedad relativa.....	37
Capacidad germinativa de semillas conservadas dentro y fuera del fruto.....	37
Agradecimientos.....	39
Referencias.....	39
Cuadros y figuras.....	43

**Capítulo 3. Efecto del almacenamiento de semillas y de condiciones lumínicas sobre la tasa de crecimiento de plantas de *Crescentia alata* (Bignoniaceae)**

Resumen.....	49
Introducción.....	49
Materiales y métodos.....	52

Mediciones de plántulas.....	52
Evaluación del crecimiento.....	53
Crecimiento según la luminosidad.....	54
Resultados.....	54
Mediciones de plántulas.....	55
Evaluación del crecimiento.....	55
Crecimiento según la luminosidad.....	56
Discusión.....	57
Agradecimientos.....	61
Referencias.....	62
Cuadros y figuras.....	66
Información de apoyo	
Anexo 1.....	75
Anexo 2.....	76
Anexo 3.....	77
Anexo 4.....	78
Conclusiones.....	79

## Resumen

*Crescentia alata* es un árbol abundante en el Bosque Tropical Seco de Santa Rosa, Guanacaste. Se distribuye principalmente en la vertiente pacífica desde México hasta Guanacaste, Costa Rica. Existe gran variedad de usos registrados, pero pese a eso hay poca información biológica y esto limita la protección de las poblaciones silvestres y el establecimiento de plantaciones. Para algunas comunidades en Mesoamérica, el género *Crescentia* es un recurso de interés cultural y económico. Por eso las semillas se almacenan y *a posteriori* se evalúa el deterioro de su calidad por reducción de vigor, germinación y producción de plántulas normales. En este estudio se caracterizó la fenología, la germinación de semillas y el crecimiento de plantas de *C. alata* en el Bosque Tropical Seco de Costa Rica.

Las fenofases de los árboles de *C. alata* en el Parque Nacional Santa Rosa varían principalmente según parámetros ambientales: precipitación, temperatura mínima, humedad, velocidad del viento y radiación solar. La pérdida de follaje de la especie no es un evento sincrónico; en junio ocurre la mayor producción de follaje, la máxima floración se observa en época lluviosa (junio), probablemente por la mayor disponibilidad de agua y el abundante follaje que reduce el ataque de herbívoros a partes florales. La mayor abundancia de frutos maduros se observa en enero y éstos escasean en junio y julio.

La germinación inicia entre 4 y 6 días, sin necesidad de tratamiento pregerminativo ni de remojo, y a los 21 días se alcanzan valores de 90 %. La germinación aumenta con temperaturas cercanas a 30 °C y se inhibe a temperaturas más bajas (15 °C y 20 °C) sin causar pérdida de viabilidad. También, germinan más semillas expuestas a la luz que a la oscuridad y cuando previamente se han extraído del fruto. Factores como altas temperaturas y presencia de luz probablemente favorecen la germinación por la distribución natural de la especie en el Bosque Tropical Seco.

El almacenamiento de semillas a temperaturas medias (22-24 °C) aumenta el deterioro de su calidad, mientras que a temperaturas más bajas (5 y 15 °C) mantiene la viabilidad hasta por tres años. Las plantas tienen mayores tasas de crecimiento cuando las semillas no fueron previamente almacenadas, y cuando se siembran en la época seca asignan mayor biomasa a raíces y menor biomasa a tallo.

La investigación sobre germinación de semillas y crecimiento de plantas de *C. alata* brinda información biológica básica, que podrá aplicarse en otros proyectos para el adecuado aprovechamiento de los recursos forestales, alimenticios y medicinales de esta especie, así como para proyectos de conservación, propagación y reforestación que benefician la estabilidad de las poblaciones naturales. También, permite aumentar el conocimiento de las especies del Bosque Tropical Seco y sus relaciones con los demás componentes del ecosistema.



## Lista de cuadros

### Capítulo 1

CUADRO 1: Medidas promedio ( $\pm$ desviación estándar) de altura, DAP, número de tallos a altura de pecho y ancho promedio de copa de árboles de <i>Crescentia alata</i> en el Parque Nacional Santa Rosa, Guanacaste.....	19
CUADRO 2: Temperaturas promedio, mínima y máxima por mes, registradas en el suelo del Parque Nacional Santa Rosa, Guanacaste en el 2015 y 2016.....	20
CUADRO 3: Resultados del análisis de suelo del Parque Nacional Santa Rosa, Guanacaste realizado en el Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) en febrero 2016.....	20
CUADRO 4: Coeficientes de correlación entre las fenofases en <i>Crescentia alata</i> y los factores ambientales (lluvia, temperatura promedio, temperatura mínima, temperatura máxima, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar) del Parque Nacional Santa Rosa, Guanacaste.....	21

### Capítulo 2

CUADRO 1: Medidas promedio ( $\pm$ desviación estándar) del fruto y las semillas de <i>Crescentia alata</i> .....	43
CUADRO 2: Porcentaje de germinación acumulado y tiempo necesario para completar la germinación según el período (0, 4, 8, 14, 20, 24, 36 meses) y la temperatura (ambiente, 5°C y 15°C) de almacenamiento de las semillas de <i>Crescentia alata</i> .....	44

### Capítulo 3

CUADRO 1: Contenido de humedad (promedio $\pm$ desviación estándar) de semillas de <i>Crescentia alata</i> almacenadas a temperatura ambiente, 5 °C y 15 °C por 14 meses, San José, Costa Rica.....	66
CUADRO 2: Fórmulas de variables con sus respectivas unidades utilizadas en el análisis de crecimiento de plantas de <i>Crescentia alata</i> en condiciones de invernadero, San José, Costa Rica.....	67
CUADRO 3: Resultados del análisis de varianza de una vía para cada medición en las plántulas de <i>Crescentia alata</i> provenientes de semillas almacenadas por 14 meses a distintas temperaturas (5 °C, 15 °C y ambiente).....	68
CUADRO 4: Promedio y desviación estándar de las variables con peso fresco evaluadas en plantas de <i>Crescentia alata</i> con 2 y 16 meses de edad en condiciones de invernadero, obtenidas de semillas almacenadas por distintos períodos (0, 4, 8 y 14 meses) y temperaturas (5 °C, 15 °C y ambiente).....	69
CUADRO 5: Promedio y desviación estándar de las tasas mensuales de crecimiento relativo (TCR), de elongación del tallo (TET) y de la raíz (TER) en plantas de <i>Crescentia alata</i> con 2 y 16 meses de edad, obtenidas de semillas almacenadas en distintos períodos y temperaturas.....	70
CUADRO 6: Resultados de análisis de componentes principales en dos evaluaciones de plantas de <i>Crescentia alata</i> con 2 y 16 meses de edad en condiciones de invernadero.....	71
CUADRO 7: Resultados de autovectores (“eigenvectors”) en el ACP de dos evaluaciones de plantas de <i>Crescentia alata</i> con 2 y 16 meses de edad en condiciones de invernadero.....	71

## Lista de figuras

### Capítulo 1

- Figura 1.** Promedio de foliación, brotes foliares y daño en las hojas ( $\pm$  desviación estándar) de *Crescentia alata* durante 2015 y 2016 en Parque Nacional Santa Rosa, Guanacaste.....22
- Figura 2.** Promedio de floración y brotes florales ( $\pm$  desviación estándar) de *Crescentia alata* durante 2015 y 2016 en Parque Nacional Santa Rosa, Guanacaste.....23
- Figura 3.** Fructificación promedio ( $\pm$  desviación estándar) de *Crescentia alata* durante 2015 y 2016 en Parque Nacional Santa Rosa, Guanacaste.....24
- Figura 4.** Contenido de humedad promedio del suelo ( $\pm$  desviación estándar) alrededor de 20 árboles de *Crescentia alata* en 2015 y 2016 en el Parque Nacional Santa Rosa, Guanacaste.....25

### Capítulo 2

- Figura 1.** Porcentaje de germinación promedio ( $\pm$  desviación estándar) de *Crescentia alata* en distintas temperaturas en cámaras de ambiente controlado según el transcurso del tiempo.....45
- Figura 2.** Porcentaje de germinación promedio ( $\pm$  desviación estándar) de *Crescentia alata* en cámara de germinación con temperaturas fluctuantes durante la noche y el día (25-40°C) en condiciones de luz y oscuridad permanentes según el transcurso del tiempo.....46
- Figura 3.** Porcentaje de germinación promedio ( $\pm$  desviación estándar) en *Crescentia alata* a cinco semanas, según el período (0 a 36 meses) y las temperaturas (5°C, 15°C y ambiente) de almacenamiento de las semillas.....47

**Figura 4.** Contenido de humedad promedio ( $\pm$  desviación estándar) en semillas de *Crescentia alata* almacenadas por diferentes períodos (0 a 36 meses) y temperaturas (5°C, 15°C y ambiente).....48

### Capítulo 3

**Fig. 1.** Datos morfométricos (promedios  $\pm$  desviación estándar) en plántulas de *Crescentia alata* de ca. 2 días de edad obtenidas en pruebas de germinación, según períodos de almacenamiento (0, 4, 8 y 14 meses) y temperaturas (5 °C, 15 °C y ambiente). **A.** ancho del cotiledón; **B.** longitud del cotiledón; **C.** longitud del hipocótilo; **D.** longitud de la radícula; **E.** longitud del epicótilo.....72

**Fig. 2.** Análisis de componentes principales de plantas de *Crescentia alata* en condiciones de invernadero con diferentes edades. **A.** evaluación de 2 meses; **B.** evaluación de 16 meses.....73

**Fig. 3.** Morfometría (promedios  $\pm$  desviación estándar) en plantas de *Crescentia alata* según luminosidad (sol y sombra) en condiciones de invernadero durante 14 meses en San José, Costa Rica. **A.** altura del tallo (cm); **B.** diámetro del tallo (cm); **C.** número de hojas.....74

## Lista de abreviaturas

- BTs – Bosque Tropical Seco
- DAP = Diámetro a altura de pecho
- CH – Contenido de humedad
- IMN – Instituto Meteorológico Nacional
- % SA – Porcentaje de saturación
- CICE – Capacidad de intercambio de cationes efectiva
- ANDEVA – Análisis de varianza
- MANOVA= Análisis de varianza múltiple
- IR – Índice de redondez
- CIGRAS – Centro de Investigaciones en Granos y Semillas
- TCR = Tasa de crecimiento relativo
- TET – Tasa de elongación del tallo
- TER – Tasa de elongación de la raíz
- BS – Biomasa seca
- BH – Biomasa húmeda
- BTH – Biomasa total húmeda en la planta
- BTS – Biomasa total seca en la planta
- BS raíz – Biomasa seca en raíz
- BS tallo – Biomasa seca en tallo
- BS hojas – Biomasa seca en hojas
- AF – Área foliar
- AFE – Área foliar específica
- 0M – tratamiento de semillas no almacenadas
- 4M – tratamiento de semillas almacenadas 4 meses
- 8M – tratamiento de semillas almacenadas 8 meses
- 14M – tratamiento de semillas almacenadas 14 meses

## Lista de fórmulas

Contenido de humedad del suelo	$\frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} * 100$
Tasa de crecimiento relativo (TCR)	$\frac{\text{Biomasa húmeda final (g)} - \text{Biomasa húmeda inicial (g)}}{\text{Tiempo (meses)}}$
Tasa de elongación del tallo (TET) y raíz (TER)	$\frac{\text{Elongación final (cm)} - \text{Elongación inicial (cm)}}{\text{Tiempo (meses)}}$
Biomasa total húmeda (BTH)	Peso fresco del vástago (g) + Peso fresco de raíz (g)
Biomasa total seca (BTS)	Peso seco del vástago (g) + Peso seco de raíz (g)
Contenido de humedad (CH): raíz, tallo y hojas	$\frac{\text{Biomasa húmeda (g)} - \text{Biomasa seca (g)}}{\text{Biomasa húmeda (g)}} * 100$
Contenido de humedad en la planta	$\frac{\text{Biomasa total húmeda (g)} - \text{Biomasa total seca (g)}}{\text{Biomasa total húmeda (g)}} * 100$
Índice de área foliar por planta (AF)	$\frac{\text{Área foliar total (cm}^2\text{)}}{\text{Biomasa total seca de hojas (g)}}$
Biomasa seca (BS) asignada a: raíz, tallo y hojas	$\frac{\text{Biomasa seca (estructura) (g)}}{\text{Biomasa total seca (g)}}$
Biomasa seca de relación entre raíz y vástago en la planta	$\frac{\text{Biomasa seca (raíz) (g)}}{\text{Biomasa seca (vástago) (g)}}$
Área foliar específica (AFE)	$\frac{\text{Área foliar (cm}^2\text{)}}{\text{Biomasa seca de hoja (g)}}$

## Prefacio

La elaboración de la presente tesis fue posible gracias a una beca de la Universidad de Costa Rica y al financiamiento de los proyectos 111-B2-135 y 111-B5-145 concedido por la Vicerrectoría de Investigación de la UCR.

A pesar de que *Crescentia alata* es una especie frecuente en el Bosque Tropical Seco y tiene importancia económica para algunas comunidades humanas, se carece de información cuantitativa en temas de fenología, germinación y manipulación de sus semillas. Por eso el interés de esta investigación radica en profundizar en aspectos biológicos de *C. alata* para aportar información básica de la especie y contribuir con futuros estudios.

El objetivo general de la presente tesis fue estudiar la fenología de *Crescentia alata* en el Bosque Tropical Seco, el proceso de germinación y algunos factores ambientales influyentes en la germinación y el crecimiento inicial de las plantas. Los objetivos específicos fueron: 1) describir la fenología de *C. alata* en el Bosque Tropical Seco de Costa Rica; 2) caracterizar el proceso de germinación de las semillas en diferentes condiciones de temperatura y luminosidad; 3) determinar las condiciones óptimas de temperatura, humedad y períodos para almacenar las semillas y conservar su viabilidad y 4) evaluar la tasa de crecimiento de plantas de *Crescentia alata* a partir de semillas almacenadas en distintos períodos y a varias temperaturas, y el efecto de la intensidad de la luz.

Este documento se divide en tres capítulos escritos como artículos científicos según la Revista de Biología Tropical. El primero trata sobre la fenología de la especie y la relación de las fenofases con factores ambientales en el Parque Nacional Santa Rosa. El segundo expone las variaciones en los porcentajes de germinación cuando las semillas se someten a determinadas temperaturas y niveles de luminosidad durante el proceso de germinación; además, analiza cómo las condiciones de almacenamiento (tiempo y temperatura) afectan la viabilidad de la semilla. El tercero presenta el efecto del almacenamiento de las semillas y la intensidad de la luz sobre el crecimiento de las plantas.

El análisis de los datos obtenidos en esta investigación aporta información novedosa sobre el Bosque Tropical Seco y datos relevantes de fenología, germinación y crecimiento de *C. alata* para mejorar el conocimiento biológico y el manejo de la especie.

## Capítulo 1

### Fenología de *Crescentia alata* (Bignoniaceae) en el Bosque Tropical Seco de Costa Rica

Kimberly Valverde-Rodríguez<sup>1,2</sup>, Carlos O. Morales<sup>1,3</sup> & Elmer G. García<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica;

<sup>2</sup>kian124@hotmail.com, <sup>3</sup>carlos.moralessanchez@ucr.ac.cr, <sup>4</sup>elmer.garcia@ucr.ac.cr

**Abstract: Phenology of *Crescentia alata* (Bignoniaceae) in the Tropical Dry Forest of Costa Rica.** *Crescentia alata* is an abundant tree species in tropical dry forests (TDF). Currently, TDF are considered vulnerable because of drought, fires, slow regeneration, and deforestation. The phenological studies generate information that contributes with the knowledge of the relationships of the species and the components of the ecosystem, availability of food for animals and regeneration of forest cover. The aim of this work was to describe *C. alata* phenology in the Tropical Dry Forest of Costa Rica. Twenty reproductive trees were selected at the Santa Rosa National Park to measure in each one height, diameter at breast height (DBH), and crown mean width, and to obtain soil moisture values. Moreover the phenophases (leaf flushing, flower production, and fructification) were analyzed during 14 months from 2015 to 2016. The mean height of the trees was 6.51 ( $\pm 2.89$ ) m, the DBH was 50.91 ( $\pm 35.26$ ) cm, and crown width 7.93 ( $\pm 3.77$ ) m. The lowest availability of water occurred in March 2015, there was most foliage in June, maximal floration in June and October, and most ripe-fruit numbers in January. Phenological patterns in *C. alata* are explained for the most part by common climatic factors as rainfall, minimal temperature, relative humidity, wind speed, and sun radiation. The phenological data registered for *C. alata* in this work may contribute to a better management and conservation of this species' resources.

**Key words:** Jicaro tree; phenophases; floration; fructification; seasonality; climatic conditions; Santa Rosa National Park.

En el pasado, los bosques tropicales secos (BTs) cubrieron 42 % de los trópicos y subtrópicos del planeta y contaron entre los ecosistemas boscosos de mayor extensión en Mesoamérica (Murphy & Lugo, 1986; Leiva, Rocha, Mata & Gutiérrez, 2009). En la actualidad, se consideran vulnerables debido al efecto de factores como la sequía, los incendios, la lenta regeneración y la constante amenaza de deforestación sobre el



reclutamiento de plántulas y las tasas de crecimiento (Vargas, 1987; Janzen, 1988; Leiva, Mata, Rocha & Gutiérrez, 2009; Jiménez-Zúñiga, 2014). Aunque la deforestación en Centroamérica ha sido excesiva, en las últimas décadas se ha logrado aumentar la cobertura forestal por la puesta en práctica de políticas de conservación (Murphy & Lugo, 1986; Calvo-Alvarado, McLennan, Sánchez-Azofeifa & Garvin 2009; Jiménez-Zúñiga, 2014).

El BTs en Santa Rosa, Guanacaste, tiene una marcada diferencia entre las épocas lluviosa y seca; allí el período lluvioso usualmente se extiende entre mayo y principios de noviembre y el seco entre noviembre y abril. Este último período causa la pérdida de follaje en muchas especies de la zona (Holdridge, 1967, 1987; [www.sinac.go.cr](http://www.sinac.go.cr)). Las precipitaciones máximas generalmente suceden de mayo a julio y en setiembre y octubre, el promedio anual de lluvia varía entre 1500 y 1950 mm; la temperatura promedio anual varía entre 24.0 y 27.8 °C, con una relación de evapotranspiración y precipitación de aproximadamente 1 (Vargas, 1987, 1988; Instituto Meteorológico Nacional, 2008; Leiva, Mata et al., 2009; Leiva, Rocha et al., 2009; Jiménez-Rodríguez, 2010). Las especies arbóreas más abundantes en Santa Rosa son *Quercus oleoides* Schltdl. & Cham. (roble encino), *Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth (nance), *Curatella americana* L. (raspaguacal), *Vachellia collinsii* (Saff.) Seigler & Ebinger (cornizuelo) y *Crescentia alata* Kunth (jícaro) ([www.sinac.go.cr](http://www.sinac.go.cr); Vargas, 1988). La región está dominada por un mosaico de bosques primarios, potreros ganaderos quemados anualmente y fragmentos de bosques secundarios en proceso de sucesión natural, después de tener usos como la ganadería, la extracción maderera, los cultivos agrícolas y los asentamientos humanos (Leiva, Mata et al., 2009; Leiva, Rocha et al., 2009; Jiménez-Zúñiga, 2014). Los suelos se caracterizan por ser arcillosos, poco profundos, con baja capacidad hídrica y muy ácidos. En la zona se localiza material geológico compuesto por ignimbritas, depósitos sedimentarios y coladas de lava (Vargas, 1987, 1988; Leiva, Rocha et al., 2009).

*Crescentia alata* es un árbol caulifloro que alcanza alturas entre 2 y 10 m. Posee hojas trifolioladas con pecíolo alado y folíolos que forman una cruz; las flores son verde-amarillentas, con variaciones en las tonalidades de amarillo a rojizo, de anthesis nocturna y polinizadas por murciélagos (Quesada-Monge & Fernández-Vega, 2005). Los frutos son esféricos, con exocarpo duro y liso, nectarios en estadios tempranos de desarrollo (Elias & Prance, 1978) y abundante pulpa que rodea las semillas (Gentry, 1980; Snarkis, 1989;

Cordero & Boshier, 2003; Vargas, 2011). Se distribuye principalmente en la vertiente pacífica en las regiones con bosques secos, subperennifolios y caducifolios, desde México hasta Guanacaste en la parte noroccidental de Costa Rica (Gentry, 1980; Solares, 2004).

Para algunas comunidades humanas el género *Crescentia* es un recurso de interés cultural y económico y hay explotación de sus recursos por la gran variedad de usos, como: elaboración de utensilios de cocina y artesanías; extracción de madera, carbón y tinte; preparación de alimentos: bebidas (alcohólicas, horchata y “leche vegetal”), reposterías, caramelos y alimento para animales de engorde o producción de leche (Standley, 1928; Nellis, 1997; Figueroa & Bressani, 2000; Salazar & Soihet, 2001; Zamora et al., 2001; Cordero & Boshier, 2003; Solares, 2004).

La fenología es el estudio de los estados de desarrollo de las especies, que se repiten anualmente, como los patrones de foliación, floración y fructificación. Estos estudios generan información que contribuye al conocimiento de las relaciones de estos patrones con los otros componentes del ecosistema, la diversidad vegetal, la perpetuación de las poblaciones, la disponibilidad de alimento para animales, la regeneración y la recuperación de cobertura boscosa (Borchert, 1996; Borchert, Meyer, Felger & Porter-Bolland, 2004; Vélchez, Chazdon & Alvarado, 2008). La investigación de *C. alata*, especie arbórea abundante en el BTs, podrá brindar información para el adecuado aprovechamiento de los recursos y permitirá fundamentar y focalizar los proyectos de conservación y protección de su ambiente. Por tanto, se estableció el objetivo de caracterizar la fenología de *Crescentia alata* en el Bosque Tropical Seco de Costa Rica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Sitio de estudio:** La investigación se llevó a cabo en el Parque Nacional Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica (10°52'N, 85°35'W), con altitud promedio de 250 m, entre febrero de 2015 y marzo de 2016.

**Fenología:** Se seleccionaron 20 árboles reproductivos en un área boscosa de ca. 800 m<sup>2</sup>. Se consideraron árboles reproductivos aquellos que mostraron evidencia de flores o frutos, tanto adheridos como en el suelo bajo su copa. Cada árbol se georreferenció (Anexo 1), se le asignó un número, se marcó con una cinta plástica no adhesiva y con una placa metálica

y se le midió: a) altura (m) por medio de un clinómetro, b) diámetro a altura de pecho (DAP) (cm), c) dos mediciones perpendiculares de los diámetros de copa, que se promediaron y se obtuvo el ancho promedio de copa (m), d) número de tallos del tronco a altura de pecho, e) plántulas cercanas y f) presencia de daño en el follaje, como agujeros o quemaduras. Se buscaron plántulas de *C. alata* en un radio de 3 m alrededor de la base del tronco de los 20 árboles y en la ruta del bosque para llegar a los sitios de muestreo. El daño en las hojas se determinó con una escala de 0 a 1: 0 es sin daño, entre 0.1 y 0.9 de 10 % a 90 % dañado, respectivamente, y 1 representa 100 % del follaje dañado. El monitoreo de la variación en las características fenológicas de la población se determinó según una modificación del método semicuantitativo de Fournier (1974), con escala de 0 a 4: 0 es ausencia del carácter; 1 es presencia del carácter de 1 a 25 % (escaso); 2 es presencia de 26 a 50 %; 3 es abundante de 51 a 75 % y 4 es muy abundante de 76 % a 100 %. Para el análisis de los datos se evaluaron los porcentajes de las categorías de la escala anterior para convertir las variables en continuas y se nombraron como “porcentaje de cobertura en el árbol”. Se realizaron observaciones mensuales de las fenofases durante 14 meses: presencia de brotes de hojas y de flores, follaje, floración, frutos inmaduros y maduros adheridos al árbol y frutos caídos en el suelo debajo de la copa.

**Variables ambientales:** Los datos climatológicos (precipitación, temperatura promedio, mínima y máxima, humedad, velocidad y dirección del viento, y radiación solar) se obtuvieron de la Estación Meteorológica Santa Rosa, No. 72163, del Instituto Meteorológico Nacional (IMN), en el Parque Nacional Santa Rosa (10°52'20''N, 85°37'10''W). Se relacionaron los datos climáticos del mes anterior con los patrones fenológicos registrados en cada mes.

A partir de setiembre 2015 hasta marzo 2016 se midió la temperatura del suelo junto a los árboles muestreados con un termómetro de suelo, aproximadamente a 4 cm de profundidad y a 30 cm de la base del tronco, entre 7:00 y 10:00 de la mañana. En cada visita mensual de toma de datos, se recolectaron muestras de suelo de aproximadamente 200 gramos, alrededor de los 20 árboles para obtener un promedio del contenido hídrico. Las muestras se tomaron a 3 cm de profundidad para eliminar la capa superior compuesta de materia vegetal y entre 20 y 40 cm de distancia de la base del árbol. A cada muestra se le determinó el peso fresco, luego se colocó a 70 °C por 15 días en una secadora Sheldon

Manufacturing Inc., modelo I4.5/89, y se estableció el peso seco constante con una balanza marca Snowrex modelo EQ-1200 ( $\pm 0.01$  g). El contenido de humedad del suelo se determinó mediante la fórmula:  $CH = ((\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}) / \text{Peso seco}) * 100$  (Castaño, Aristizábal & González, 2012). También, se recolectó suelo en febrero de 2016, a 5 cm de profundidad y entre 30 y 50 cm de distancia de la base del árbol para el análisis químico, según la metodología KCl-Olsen modificada (Méndez & Bertsch, 2012), realizado en el Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA), Universidad de Costa Rica (Anexo 2 y 3).

**Análisis estadístico:** Se relacionó el contenido de humedad del suelo con el mes de recolecta por medio de una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y se hizo una regresión lineal entre el DAP y la altura del árbol ( $p < 0.01$ ). Además, se calculó el coeficiente no paramétrico de correlación de Spearman entre las fenofases y las variables climáticas del mes anterior (precipitación, temperatura promedio, temperatura mínima, temperatura máxima, humedad, velocidad del viento y radiación) (Zar, 1999), según el criterio de selección de coeficientes mayores ( $r^2 > 0.53$ , positivos y negativos) y con probabilidad menor a 0.05. Los análisis fueron realizados con los programas JMP® (SAS Institute Inc, 2012), Excel y R versión 3.1.1 (R Development Core Team, 2014).

## RESULTADOS

Los valores de altura, DAP, número de tallos y diámetro de copa de los árboles se detallan en el Cuadro 1. No hay relación entre el DAP y la altura [ $\text{Altura (m)} = 4.4602 + 0.0403 * \text{DAP (cm)}$ ;  $R^2 = 0.2410$ ,  $F_{1,38} = 5.7142$ ,  $p = 0.0280$ ]. A lo largo de todo el estudio no se observaron plántulas de *C. alata* alrededor de los árboles marcados ni en el área más amplia de muestreo.

En junio se observó la mayor presencia de follaje y de brotes foliares y el menor daño en las hojas; el mayor daño foliar se observó en marzo (Fig. 1). Aunque los períodos máximos de floración se observaron en junio y octubre (Fig. 2), la mayor abundancia de frutos inmaduros se observó en julio, mientras que en enero, el mayor número de frutos maduros (Fig. 3). Durante el período de estudio cuatro árboles no produjeron flores ni brotes florales (3, 6, 9, 10) y cinco tampoco desarrollaron frutos (3, 6, 9, 10 y 16) (Anexo 4).

**VARIABLES AMBIENTALES:** Las temperaturas máximas del suelo se registraron en enero y febrero (Cuadro 2). Se encontraron diferencias en el contenido de humedad del suelo según el mes ( $\chi^2=256.6799$ , g.l.=13,  $p<0.0001$ ); hubo menor disponibilidad de agua en marzo y mayor en noviembre de 2015 (Fig. 4). En los 14 meses del período de estudio (febrero 2015 a marzo 2016), la Estación Meteorológica Santa Rosa registró las variables ambientales del sitio: 678.70 mm de precipitación total, 26.98 °C de temperatura promedio, 67.07 % de humedad relativa, una velocidad del viento de 2.73 m/s al este y 21.57 MJ/m<sup>2</sup> de radiación solar. La precipitación muestra dos valores máximos: en octubre (211.3 mm) y junio (176.6 mm). En febrero, marzo y abril de 2015 y enero, febrero y marzo de 2016 no se registraron lluvias (IMN).

En el Cuadro 3 (Anexo 2) se muestran los valores del análisis de suelo del sitio de estudio y los valores críticos. El pH, la acidez intercambiable, el porcentaje de saturación de acidez (% SA) y la capacidad de intercambio de cationes efectiva (CICE) están entre los valores tolerables para la mayoría de cultivos; por tanto, es factible que no influyan en el desarrollo de *C. alata*.

Según el criterio de selección de coeficientes, se encontraron algunas correlaciones estadísticamente significativas entre las fenofases y las variables climáticas (Cuadro 4) y se consideraron las más importantes ( $r^2>0.60$ ). La mayor precipitación se correlaciona con aumento en la producción de hojas y flores y presencia de frutos inmaduros; al aumentar la temperatura mínima disminuyen los frutos maduros. También, la mayor humedad relativa se relaciona con un aumento en el número de frutos inmaduros y disminución de brotes foliares. El aumento de la velocidad del viento coincide con reducción de la floración y del número de frutos inmaduros. La mayor radiación se correlaciona con menos frutos inmaduros y aumento de la brotadura foliar.

## DISCUSIÓN

Durante el período de estudio en el sitio se registró una precipitación de 680 mm (IMN), que según Villalobos-Flores y Retana (1999) corresponde a un escenario seco; esto pudo variar los patrones de las fenofases de los árboles de *Crescentia alata*. Al comparar datos de años anteriores, desde 1979 hasta 2013, no se habían registrado precipitaciones tan

bajas; la menor fue en 1991 con 880.1 mm y la mayor en 2007 con 3038.1 mm. Esto se debe a la influencia del fenómeno oceánico-atmosférico El Niño Oscilación Sur (ENOS), que provoca cambios en los patrones normales de temperatura y precipitación (Villalobos-Flores & Retana, 1999), y un estudio sugiere que en el BTs la fenología vegetativa y la floración están determinadas principalmente por la periodicidad de las lluvias y la disponibilidad de agua en el suelo (Borchert et al., 2004). Sin embargo, es importante considerar que las fenofases de cada especie dependen de relaciones complejas entre factores endógenos, respuestas al ambiente e interacción con otros componentes de la comunidad (Borchert, 1980).

Una de las ventajas que se pueden resaltar de *C. alata* es la capacidad para establecerse en áreas abiertas con fuerte radiación solar y bajo contenido de humedad en el suelo. Así puede colonizar sitios con condiciones que pocas especies soportan, sobrevivir y servir de sustrato para otras plantas, y de refugio y alimentación para animales. Según la velocidad y el porcentaje de germinación de las semillas, *C. alata* puede tener una propagación sin dificultad (Solares, 2004). Sin embargo, se desconocen las razones de la ausencia de plántulas, pues la especie tiene características que deberían favorecer la regeneración en áreas abiertas del BTs, como fructificación en gran parte del año y que cada fruto tiene más de 400 semillas que, en 8 a 30 días, germinan hasta 80 % (Cordero & Boshier, 2003). Aparentemente, en el sitio de estudio no hay dispersores de semillas y la humedad de la pulpa del fruto puede causar su pudrición. Por ello, se recomienda estudiar la dinámica poblacional de esta especie para dilucidar sus patrones reproductivos.

En ocasiones se relaciona la altura de los árboles con una variable más accesible, como el diámetro; esto es importante para el manejo de las plantaciones y estudios de crecimiento (Larsen & Hann, 1987; Arias-Aguilar, 2004). En *C. alata* no se recomienda, debido a la falta de relación estadística entre el DAP y la altura; probablemente se debe al diseño del árbol, pues en la mayoría de árboles el tallo es ramificado desde la base y las ramas crecen más lateral que longitudinalmente.

A pesar de que no se determinaron problemas de acidez en las muestras de suelo, no es posible generalizarlo, pues el valor crítico de estas variables cambia según la especie (Méndez & Bertsch, 2012). Además, no se encontraron diferencias notables entre el suelo

cercano a un cortafuego y el del bosque. Las variaciones en el contenido de humedad del suelo durante el tiempo de estudio se deben a la marcada época seca del sitio. Una investigación menciona que la fenología vegetativa varía con la disponibilidad hídrica en el suelo durante la estación seca (Borchert et al., 2004). Los meses de pérdida del follaje coinciden con los de menor contenido hídrico en el suelo y el final de la época seca, pues en diciembre los árboles tienen hojas, pero en mayo hay una disminución de brotes foliares y hojas; esta reducción de follaje podría ser una respuesta al aumento del fotoperíodo después del equinoccio de primavera (21 de marzo) (Borchert et al., 2004). Esto concuerda con la literatura, porque cuando inicia la estación seca hay hojas, pero caducan en marzo y abril (Cordero & Boshier, 2003). Aunque la fenofase de las hojas del jícaro no tiene relación directa con la temperatura, el mayor número de hojas coincidió con las mayores precipitaciones, que le permiten al árbol retener sus hojas. Además, la formación de hojas puede ser inducida por las primeras lluvias fuertes de la época lluviosa (Borchert, 1996; Borchert et al., 2004).

Según el hábitat y la especie, las plantas han desarrollado distintas estrategias para captar mejor el agua disponible, minimizar su pérdida y así mantener parte del follaje en la estación seca; por ejemplo, mayor eficiencia en el uso del agua, presencia de tejidos en tallos y raíces con capacidad para almacenarla, y reducción de potenciales hídricos por medio de la acumulación de metabolitos en células, tejidos u órganos para captar más agua (Tezara, Urich, Coronel, Marín & Herrera, 2010). Algunos estudios han determinado que muchas plantas que habitan sitios con déficit hídrico se adaptan con un sistema radical profundo (Tezara et al., 2010). Las raíces de *C. alata* en el árbol adulto miden entre 1.5 y 2 m, llegando a tener contacto con la ignimbrita (Vargas, 1988); pero debido a las condiciones del hábitat y a la falta de defensas mecánicas, es posible que utilicen un método de defensa química, como la producción de metabolitos secundarios que protejan de la deshidratación (Ojeda, Obispo, Gil & Matute, 2015). Además, *C. alata* tiene proteínas de choque térmico y enzimas que podrían explicar la resistencia a condiciones térmicas y de sequía (Corrales et al., 2017).

En alguna literatura se menciona que *C. alata* es caducifolia (Vargas, 1988; [www.iucn.org](http://www.iucn.org)); sin embargo, otros la describen como ligeramente decidua (Rockwood, 1974) o que permanece siempre verde (Borchert et al., 2004). Las observaciones de

brotadura y follaje demuestran que durante el período de estudio no hubo pérdida total de hojas. Posiblemente se trate de un árbol semicaducifolio, puesto que en la época seca reduce el follaje y la mayoría de árboles lo mantiene al menos un 25 %. Durante 14 meses solamente dos de 20 árboles perdieron por completo sus hojas, uno en mayo 2015 y otro en marzo 2016, de manera que la pérdida de hojas no es un evento sincrónico en la población de jícaros del Parque Nacional Santa Rosa. Según Rockwood (1974), algunos árboles se anticipan a las lluvias para la producción de hojas, como la leve aparición de brotes foliares sin registros de precipitaciones en abril 2015 (Fig.1).

La mayoría de brotes de hojas aparecieron en junio, mes con mayor abundancia de lluvia. Cordero y Boshier (2003) mencionan que al inicio del período lluvioso, en mayo, se observan brotes foliares, por tanto, su aparición se relaciona con las precipitaciones; sin embargo, en este estudio no se encontró una relación estadística entre dichas variables. Aunque existe relación entre los brotes foliares y la humedad relativa, esta última está directamente relacionada con la cantidad de lluvia.

En *Crescentia alata* la mayoría de hojas se producen en junio; esto coincide con la literatura, que menciona que la caída de hojas ocurre entre abril y mayo, y la producción en junio (Frankie, Baker & Opler, 1974). El ciclo de producción de follaje depende de la longevidad de las hojas, que varía entre especies y según el tipo de bosque; muchos árboles en bosques tropicales cambian sus hojas entre 6 y 24 meses, en promedio al menos una vez al año (Reich & Borchert, 1984; Freiberg & Freiberg, 1999). En un estudio defoliaron manualmente árboles de *C. alata*, que tardaron entre 7 y 10 días en producir nuevas hojas en la época de las primeras lluvias; probablemente el aumento de la humedad o del fotoperíodo sean factores que inducen la producción de hojas (Rockwood, 1974). En marzo se observa el mayor daño foliar, pues conforme las hojas son más viejas aumenta el tiempo de exposición al daño por herbivoría y a la incidencia de los rayos solares. El daño en las hojas nuevas podría ser causado por el escarabajo *Oedionychus* sp. (Rockwood, 1974).

El mayor número de brotes foliares en junio coincide también con el aumento de la radiación solar. Según Freiberg y Freiberg (1999), la luz afecta la longevidad de las hojas, de modo que la energía luminica proveniente del sol es un factor influyente en la producción de hojas de jícaro. El aumento de brotes de hojas en la época de mayor



radiación podría estar relacionado con la actividad de los insectos, su tasa de forrajeo y la *influencia de la herbivoría* en las plantas. Diversos estudios han determinado que las plantas expuestas a la radiación UV-B, componente de la radiación solar, son menos atacadas por insectos herbívoros, pues la radiación provoca cambios en la calidad de tejidos vegetales e incrementa la resistencia a agresores bióticos, a causa de la producción de metabolitos secundarios que protegen contra la radiación (Rockwood, 1974, Ojeda et al., 2015). En el bosque semicaducifolio algunas especies leñosas de las familias Fabaceae, Polygonaceae y Sterculiaceae, al ser ramoneadas por vacas, producen metabolitos secundarios del tipo esteroides, terpenoides, fenoles y taninos (Ojeda et al., 2015). No es posible asegurar que esto ocurra en *C. alata*; sin embargo, se ha observado que en especies forestales, en la época lluviosa, que coincide con el período activo de crecimiento, aumenta la concentración de taninos como mecanismo de defensa ante los herbívoros (Ojeda et al., 2015).

Según Borchert et al. (2004), el aumento en el fotoperíodo, como resultado del solsticio de verano, podría estar relacionado con la mayor producción de hojas, la presencia de follaje y la sincronía en la floración de *C. alata* en junio. Además, la floración puede ser inducida por la rehidratación de los tejidos con las primeras precipitaciones (Reich & Borchert, 1984). Se registraron dos máximos de floración durante el año; el más intenso de brotes florales y de flores en junio, otro menos intenso de brotes en setiembre y de flores en octubre. Lo observado coincide con la literatura, pues la floración de *C. alata* en Centroamérica es mayor en mayo y octubre, pero en general abarca todo el año y esto favorece la polinización y la producción de frutos (Cordero & Boshier, 2003).

El número de flores aumenta en épocas con mayores precipitaciones y menores velocidades del viento; así se reduce la erosión eólica en la época lluviosa (Vargas, 1988; Borchert, 1996) y las máximas floraciones se cuantificaron en los meses con mayor precipitación, junio y octubre del 2015. En los bosques semidecuidos de Guanacaste, la mitad de las especies de árboles florecen durante la época lluviosa (Borchert et al., 2004). La floración en esa época puede tener las siguientes ventajas: 1) hay mayor cantidad de agua disponible en el ambiente para la planta, por tanto no es crítica la pérdida de agua por transpiración de las estructuras reproductivas; además, 2) al tener la mayor cobertura de hojas, los herbívoros pueden alimentarse de éstas y así disminuye la probabilidad de ataque

a las partes florales, de este modo aumenta la posibilidad de que algunas flores sean polinizadas y formen semillas que podrían convertirse en plántulas. Además, la sincronización en la presencia de hojas y flores permite al árbol seguir captando luz mientras florece, y así continuar con otros procesos fisiológicos (Frankie et al., 1974).

El período que transcurre entre la polinización y la formación de frutos es de aproximadamente cuatro meses, y los frutos se mantienen de cinco a siete meses adheridos al árbol (Cordero & Boshier, 2003). En esta investigación, en junio los árboles carecían de frutos maduros, en cambio durante todo el estudio al menos un árbol tenía inmaduros y caídos. El aumento en el número de frutos maduros está correlacionado estadísticamente con una disminución en la temperatura; en enero del 2015 se observó el mayor número, cuando el IMN registró una mínima de 16.1 °C, más baja que el promedio del sitio; al contrario, el número de frutos podría reducirse por efecto del ataque de herbívoros (Rockwood, 1974). La presencia de frutos inmaduros se relaciona con aumento de lluvia y humedad, y coincide con disminución en velocidad del viento y radiación solar. En Costa Rica, el mejor período para recolectar frutos maduros se extiende entre octubre y febrero, mientras son escasos en junio y julio; sin embargo, Cordero y Boshier (2003) indican que en Nicaragua esta especie fructifica todo el año.

En conclusión, los patrones fenológicos observados en la población de *C. alata* en Santa Rosa de Guanacaste se atribuyen, en mayor grado, a factores climáticos comunes, como precipitación, temperatura mínima, humedad relativa, velocidad del viento y radiación, junto con la probable interacción de componentes bióticos y abióticos de la comunidad y factores endógenos. Esta investigación podrá contribuir al manejo, propagación y conservación de *C. alata* al determinar que el follaje abunda en junio, la máxima floración ocurre en junio y octubre, y la mayor abundancia de frutos maduros se observa en enero, para un aprovechamiento óptimo de los recursos en los mejores períodos.

**Resumen:** *Crescentia alata* es una especie abundante en los bosques tropicales secos (BTs). En la actualidad, los BTs se consideran vulnerables debido al efecto de la sequía, los incendios, la regeneración lenta y la deforestación. Los estudios fenológicos generan información que contribuye con el conocimiento de las relaciones de las especies y los componentes del ecosistema, disponibilidad de alimento para animales y regeneración de cobertura boscosa. El objetivo general es describir la fenología de *C. alata* en el Bosque Tropical Seco de Costa Rica. En 20 árboles reproductivos del Parque Nacional Santa Rosa se midieron altura, diámetro a altura de pecho (DAP) y ancho promedio de la copa de los árboles y el contenido hídrico del suelo; además, se analizaron las fenofases: foliación, floración y fructificación por 14 meses entre los años 2015 y 2016. Se determinaron valores promedio en la altura de 6.51 ( $\pm$  2.89) m, el DAP de 50.91 ( $\pm$  35.26) cm y ancho de la copa de 7.93 ( $\pm$  3.77) m. La menor disponibilidad de agua fue en marzo 2015; hay más follaje en junio, máxima floración en junio y octubre y mayor número de frutos maduros en enero. Los patrones fenológicos en *C. alata* se atribuyen en mayor grado a factores climáticos comunes, como precipitación, temperatura mínima, humedad relativa, velocidad del viento y radiación. Los datos fenológicos obtenidos en este estudio pueden contribuir al manejo adecuado y la conservación de los recursos de esta especie.

**Palabras clave:** jícara; fenofases; floración; fructificación; estacionalidad; condiciones climáticas; Parque Nacional Santa Rosa.

## AGRADECIMIENTOS

El estudio fue financiado por la Universidad de Costa Rica. Expresamos nuestra gratitud también al Área de Conservación Guanacaste, Parque Nacional Santa Rosa, por permitirnos hacer la investigación y al Instituto Meteorológico Nacional por los datos climáticos. Además, un agradecimiento especial a Marta Valdez y a la familia de la autora principal por todo el apoyo brindado en el campo.

## REFERENCIAS

Arias-Aguilar, D. (2004). Estudio de las relaciones altura-diámetro para seis especies maderables utilizadas en programas de reforestación en la Zona Sur de Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 1 (2), 33-43.

- Borchert, R. (1980). Phenology and Ecophysiology of tropical trees: *Erythrina poeppigiana* O. F. Cook. *Ecology*, 61 (5), 1065-1074.
- Borchert, R. (1996). Phenology and Flowering periodicity of Neotropical Dry Forest species: Evidence from Herbarium collections. *Journal of Tropical Ecology*, 12, 65-80.
- Borchert, R., Meyer, S. A., Felger, R. S. & Porter-Bolland, L. (2004). Environmental control of flowering periodicity in Costa Rican and Mexican tropical dry forests. *Global Ecology and Biogeography*, 13, 409-425.
- Calvo-Alvarado, J., McLennan, B., Sánchez-Azofeifa, A. & Garvin, T. (2009). Deforestation and forest restoration in Guanacaste, Costa Rica: Putting conservation policies in context. *Forest Ecology and Management*, 258, 931-940.
- Castaño, A., Aristizábal, M. & González, H. (2012). Requerimientos hídricos del plátano dominico-hartón (*Musa AAB Simmonds*) en la región Santágueda (Palestina, Caldas). *Revista Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Actualidad & Divulgación Científica*, 15 (2), 331-338.
- Cordero, J. & Boshier, D. (2003). *Árboles de Centroamérica: Un manual para extensionistas*. Turrialba, Costa Rica: CATIE. Disponible en <http://orton.catie.ac.cr/reprodoc/a11445e/a11445e.pdf>.
- Corrales, C. V., Fliedel, G., Pérez, A. M., Servent, A., Prades, A., Dornier, M..... & Vaillant, F. (2017). Physicochemical characterization of jicaro seeds (*Crescentia alata* H.B.K.): A novel protein and oleaginous seed. *Journal of Food Composition and Analysis*, 56, 84-92.
- Elias, T. & Prance, G. (1978). Nectaries on the fruit of *Crescentia* and other Bignoniaceae. *Brittonia*, 30 (2), 175-181. Disponible en <http://www.jstor.org/stable/2806648>
- Figueroa, S. & Bressani, R. (2000). Recursos alimenticios vegetales con potencial de explotación agroindustrial de Guatemala: elaboración de leche vegetal a partir de la semilla del fruto de morro (*Crescentia alata*). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 50 (2), 164-70.

- Fournier, L. A. (1974). Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas en árboles. *Turrialba*, 24, 422-423.
- Frankie, G. W., Baker, H. G. & Opler, P. A. (1974). Comparative phenological studies of trees in Tropical Wet and Dry Forests in the lowlands of Costa Rica. *Journal of Ecology*, 62 (3), 881-919.
- Freiberg, E. & Freiberg, M. (1999). Ritmo de crecimiento y longevidad de follaje del estrato arbustivo en la Reserva Biológica A. Brenes, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 47 (3), 339-349.
- Gentry, A. H. (1980). Bignoniaceae: Part I (Crescentieae and Tourrettieae). *Flora Neotropica*, 25, 1-130.
- Holdridge, L. R. (1967). *Life Zone Ecology*. San José, Costa Rica: Tropical Science Center. Disponible en [http://www.fs.fed.us/psw/topics/ecosystem\\_processes/tropical/restoration/lifezone/holdridge\\_triangle/holdridge\\_pub.pdf](http://www.fs.fed.us/psw/topics/ecosystem_processes/tropical/restoration/lifezone/holdridge_triangle/holdridge_pub.pdf)
- Holdridge, L. R. (1987). *Ecología basada en zonas de vida*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Instituto Meteorológico Nacional. (2008). El Clima, variabilidad y cambio climático en Costa Rica. San José, Costa Rica: Comité Regional de Recursos Hidráulicos. Disponible en [http://www.cambioclimaticocr.com/multimedia/recursos/mod1/Documentos/el\\_clima\\_variabilidad\\_y\\_cambio\\_climatico\\_en\\_cr\\_version\\_final.pdf](http://www.cambioclimaticocr.com/multimedia/recursos/mod1/Documentos/el_clima_variabilidad_y_cambio_climatico_en_cr_version_final.pdf).
- Janzen, D. H. (1988). Management of habitat fragments in a tropical dry forest: Growth. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 75, 105-116. Disponible en <http://www.jstor.org/stable/2399468>
- Jiménez-Rodríguez, C. D. (2010). Intercepción de lluvia en tres estadios sucesionales del bosque seco tropical, Parque Nacional Santa Rosa, Costa Rica (Tesis de licenciatura). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. Disponible en <http://hdl.handle.net/2238/3008>
- Jiménez-Zúñiga, E. (2014). Herbivoría en tres estadios de sucesión del bosque seco tropical, en el Parque Nacional Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. (Tesis de

- licenciatura para optar por el grado de Ingeniería Forestal). Instituto Tecnológico de Costa Rica, San José, Costa Rica. Disponible en <http://hdl.handle.net/2238/3935>
- Larsen, D. R. & Hann D. W. (1987). Height-diameter equations for seventeen tree species in southwest Oregon. Oregon State University: Forest Research Laboratory. Research Paper N° 49. Disponible en <http://hdl.handle.net/1957/8245>
- Leiva, J. A., Mata, R., Rocha, O. J. & Gutiérrez, M. V. (2009). Cronología de la regeneración del bosque tropical seco en Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. I. Características edáficas. *Revista de Biología Tropical*, 57 (3), 801-815.
- Leiva, J. A., Rocha, O. J., Mata, R. & Gutiérrez, M. V. (2009). Cronología de la regeneración del bosque tropical seco en Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. II. La vegetación en relación con el suelo. *Revista de Biología Tropical*, 57 (3), 817-836.
- Méndez, J. C. & Bertsch, F. (2012). Guía para la interpretación de la fertilidad de los suelos de Costa Rica. San José, Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- Murphy, P. G. & Lugo, A. E. (1986). Ecology of tropical dry forest. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 17, 67-88.
- Nellis, D. (1997). *Poisonous plants & animals of Florida and the Caribbean*. Sarasota, Florida: Pineapple Press Inc.
- Ojeda, A., Obispo, N., Gil, J. L. & Matute, I. (2015). Perfil cualitativo de metabolitos secundarios en la fracción comestible de especies leñosas seleccionadas por vacunos en un bosque semicaducifolio. *Pastos y Forrajes*, 38 (1), 64-72.
- Quesada-Monge, R. & Fernández-Vega, J. (2005). Actualización de listado de especies arbóreas de uso forestal y otros usos en Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 2 (4), 1-45.
- R Development Core Team. (2014). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria. Disponible en <http://www.R-project.org>
- Reich, P. & Borchert, R. (1984). Water stress and tree phenology in a Tropical Dry Forest in the lowlands of Costa Rica. *Journal of Ecology*, 72, 61-74.

- Rockwood, L. (1974). Seasonal changes in the susceptibility of *Crescentia alata* leaves to the flea beetle, *Oedionychus* sp. *Ecology*, 55, 142-148.
- Salazar, R. & Soihet, C. (2001). *Manejo de semillas de 75 especies forestales de América Latina*. Turrialba, Costa Rica: CATIE. Disponible en <http://orton.catie.ac.cr/REPDOC/A4004E/A4004E.PDF>
- SAS Institute Inc. (2012). JMP version 10.0.0. Cary, North Carolina: SAS Institute. Disponible en <http://www.jmp.com>
- Snarkis, M. (1989). Compendio de Agronomía Tropical. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura y Ministerio de Asuntos Extranjeros de Francia. San José, Costa Rica: IICA.
- Solares, F. (2004). Etnobotánica y usos potenciales del Cirián (*Crescentia alata*, H.B.K.) en el Estado de Morelos. *Polibotánica*, 18, 13-31.
- Standley, P. C. (1928). *Flora of the Panama Canal Zone*. (Contributions from the United States National Herbarium, 27). Washington, Estados Unidos. (Reimpreso 1968, Lehre, Alemania: Cramer).
- Tezara, W., Urich, R., Coronel, I., Marín, O. & Herrera, A. (2010). Asimilación de carbono, eficiencia de uso de agua y actividad fotoquímica en xerófitas de ecosistemas semiáridos de Venezuela. *Ecosistemas*, 19 (1), 67-78.
- Vargas, G. (1987). Estudio cuantitativo y bioclimatológico de la vegetación leñosa de sabana en el Parque Nacional de Santa Rosa, Costa Rica. *Conference of Latin Americanist Geographers*, 13, 72-81. Disponible en <http://www.jstor.org/stable/25765683>
- Vargas, G. (1988). Análisis fitogeográfico y ecológico de una sabana arbustiva en el Parque Nacional Santa Rosa, Costa Rica. *Revista Geográfica*, 108, 53-74. Disponible en [www.jstor.org/stable/40992571](http://www.jstor.org/stable/40992571)
- Vargas, G. (2011). Estudio cartográfico de los cambios de la vegetación de sabana en el Parque Nacional Santa Rosa, Guanacaste. *Revista Geográfica*, 47, 71-96.

- Vílchez, B., Chazdon, R. & Alvarado, W. (2008). Fenología reproductiva de las especies del dosel en bosques secundarios y primarios de la región Huetar Norte de Costa Rica y su influencia en la regeneración vegetal. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 5 (15), 1-18.
- Villalobos-Flores, R. & Retana, J. A. (1999). Caracterización pluviométrica de la fase cálida de ENOS en Costa Rica con base en probabilidades de ocurrencia de eventos en tres escenarios: seco, normal y lluvioso. San José, Costa Rica: Instituto Meteorológico Nacional. Disponible en <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20911/El+Ni%C3%B1o+y+probabilidades+de+lluvia+en+escenarios>
- Zamora, S., García, J., Bonilla, G., Aguilar, H., Harvey, C. A. & Ibrahim, M. (2001). ¿Cómo utilizar los frutos de guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), guácimo (*Guazuma ulmifolia*), cenízaro (*Pithecellobium saman*) y jícara (*Crescentia alata*) en alimentación animal? *Agroforestería en las Américas*, 8 (31), 45–49.
- Zar, J. H. (1999). *Biostatistical analysis*. Prentice Hall, Nueva Jersey, Estados Unidos.



## CUADRO I

Medidas promedio ( $\pm$  desviación estándar) de altura, DAP, número de tallos a altura de pecho y ancho promedio de copa de árboles de *Crescentia alata* en el Parque Nacional Santa Rosa, Guanacaste

TABLE I

Mean ( $\pm$  standard deviation) height, DBH, stem number at breast height, and crown mean width of *Crescentia alata* trees at Santa Rosa National Park, Guanacaste

Árbol	Altura (m)	DAP (cm)	Número de tallos	Ancho promedio de la copa (m)
1	10.20	87.00	1	11.20
2	11.89	78.00	1	11.40
3	5.09	29.70	3	4.95
4	13.18	165.00	3	12.10
5	9.93	29.00	1	7.25
6	3.73	46.60	5	6.05
7	7.74	38.90	3	7.60
8	6.50	17.00	1	5.98
9	3.26	106.20	4	5.55
10	5.17	45.70	5	6.36
11	4.15	24.50	3	4.55
12	5.27	45.20	4	5.75
13	4.63	29.80	3	6.00
14	6.71	55.60	1	21.20
15	3.93	55.00	4	8.05
16	4.24	34.50	3	6.50
17	7.67	37.30	2	8.10
18	8.17	17.20	1	6.40
19	4.82	45.00	3	8.00
20	3.87	31.00	4	5.65
Prom.( $\pm$ DE)	6.51 $\pm$ 2.89	50.91 $\pm$ 35.26	2.75 $\pm$ 2.83	7.93 $\pm$ 3.77

## CUADRO 2

Temperaturas promedio, mínima y máxima por mes, registradas en el suelo del Parque Nacional Santa Rosa, Guanacaste en el 2015 y 2016

TABLE 2

Mean, minimal and maximal temperatures (°C) by month in soil samples from Santa Rosa National Park, Guanacaste, 2015-2016

Temp.(°C)	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.
Promedio	29	28	27	29	30	33	30
Mínima	27	27	26	26	25	30	26
Máxima	30	29	28	31	34	38	33

## CUADRO 3

Resultados del análisis de suelo del Parque Nacional Santa Rosa, Guanacaste realizado en el Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA) en febrero 2016

TABLE 3

Results of soil samples from Santa Rosa National Park, Guanacaste, analyzed at Centro de Investigaciones Agronómicas (University of Costa Rica), February 2016

	pH H <sub>2</sub> O	Acidez	cmol(+)/L			CICE	%SA	P	Zn	mg/L		Mn	me/cm
			Ca	Mg	K				Cu	Fe		CE	
Valor crítico	5.5	0.5	4	1	0.2	5	-	10	3	1	10	5	1.5
Muestra	6.0	0.14	12.78	5.81	0.25	18.98	0.7	3	3.4	17	272	43	0.1

## CUADRO 4

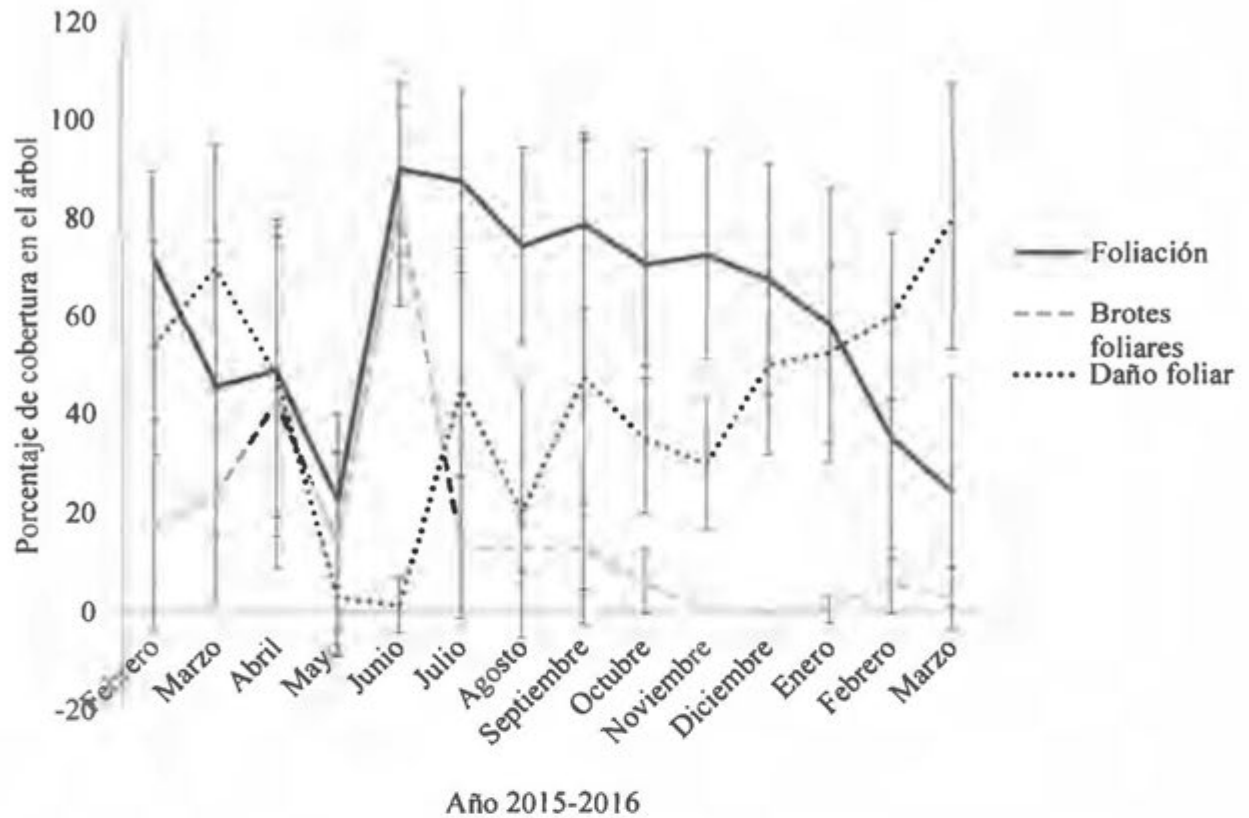
Coefficientes de correlación entre las fenofases en *Crescentia alata* y los factores ambientales (lluvia, temperaturas promedio, mínima y máxima, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar) del Parque Nacional Santa Rosa, Guanacaste

TABLE 4

Correlation coefficients between phenophases in *Crescentia alata* and environmental factors (rain, mean, minimal and maximal temperature, relative humidity, wind speed, and solar radiation) at Santa Rosa National Park, Guanacaste

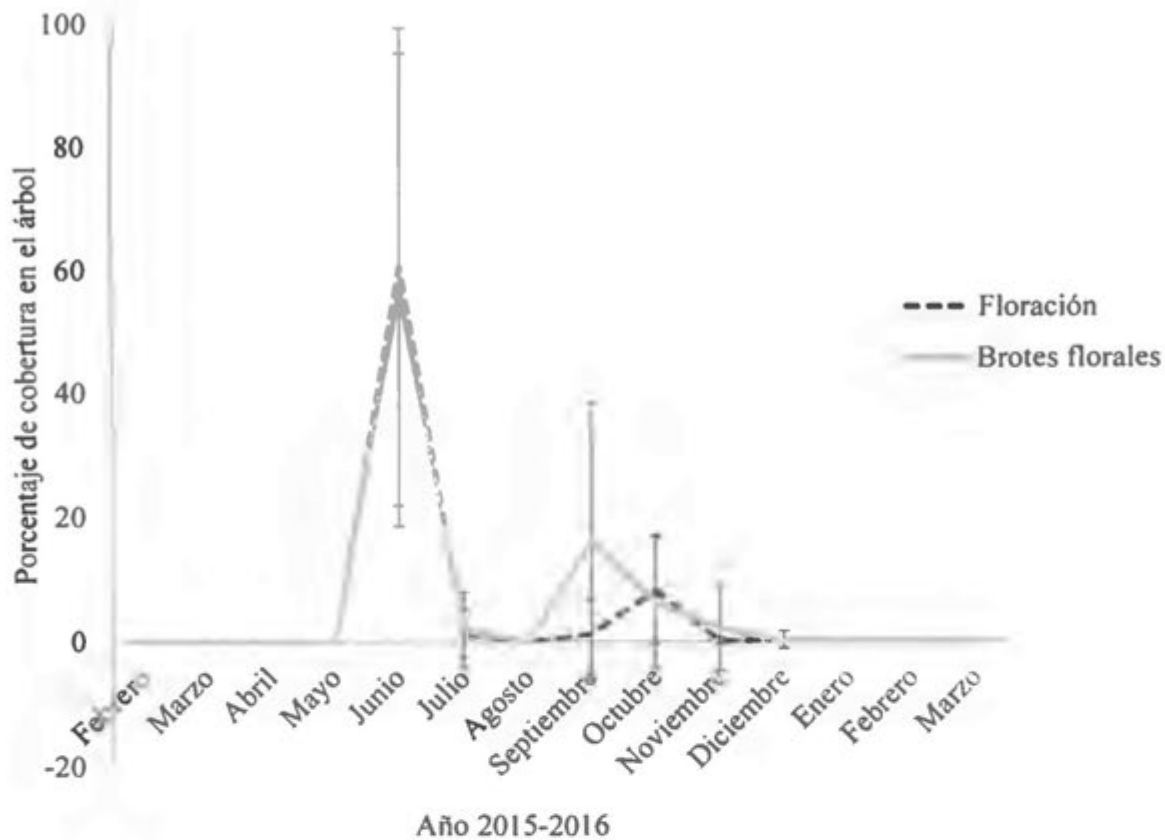
Fenofases	Lluvia (mm)	Temp. promedio (°C)	Temp. mínima (°C)	Temp. máxima (°C)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del viento (m/s)	Radiación (MJ/m <sup>2</sup> )
Floración	0.6531*	0.1942	0.3933	0.4314	0.4705	-0.6246*	-0.4685
Brote floral	0.5527*	0.3414	0.4518	0.5251	0.3322	-0.4898	-0.2846
Fruto inmaduro	0.7231*	-0.4305	0.4978	-0.3546	0.7420*	-0.6075*	-0.7056*
Fruto maduro	0.0112	-0.5815*	-0.6035*	-0.5692*	0.1901	-0.2178	-0.2178
Frutos caídos	0.2318	0.2359	0.5050	0.0286	0.0653	0.0066	-0.1344
Foliación	0.7080*	0.1300	0.5022	0.0857	0.4928	-0.5347*	-0.5193
Brote foliar	-0.4820	0.5200	-0.0310	0.4425	-0.6429*	0.5869*	0.6290*

\*Valores estadísticamente significativos con  $p < 0.05$



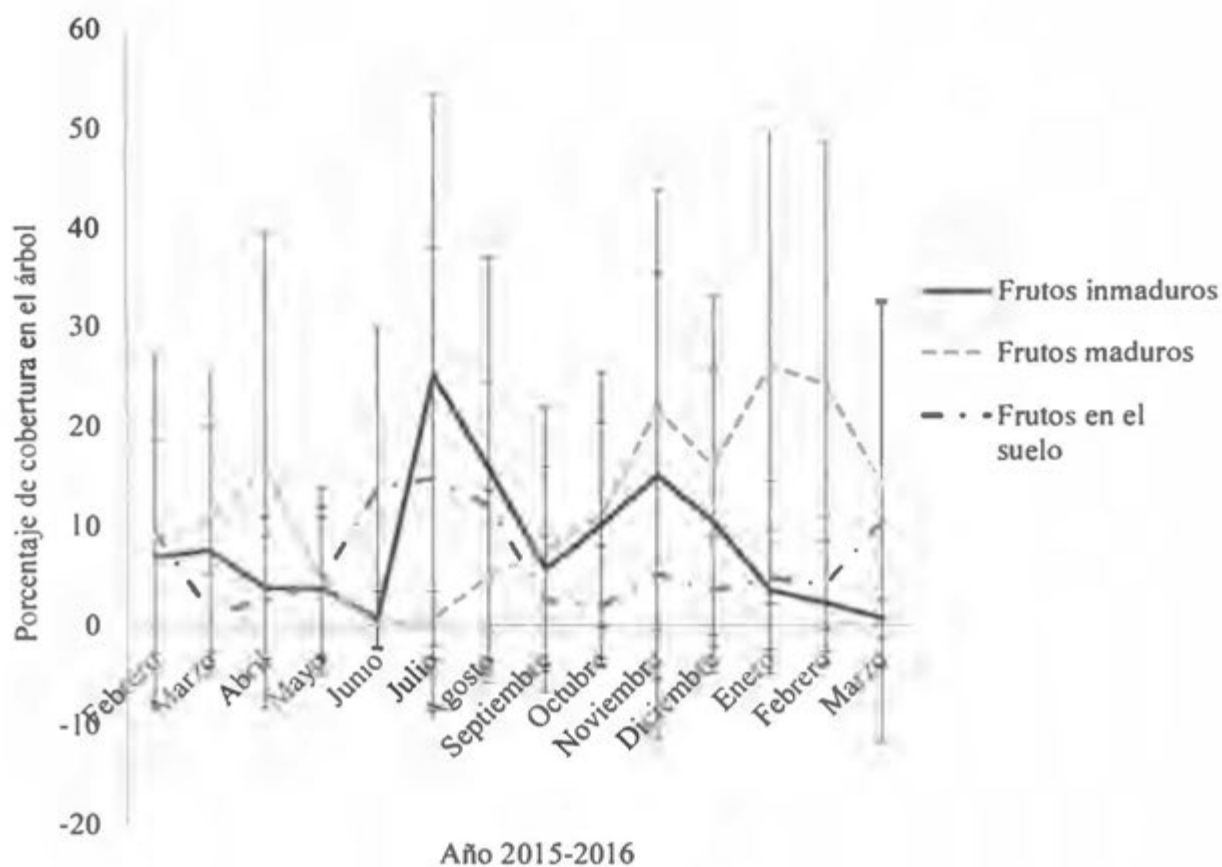
**Fig. 1.** Promedio de foliación, brotes foliares y daño en las hojas ( $\pm$  desviación estándar) de *Crescentia alata* durante 2015 y 2016 en Parque Nacional Santa Rosa, Guanacaste.

**Fig. 1.** Mean foliation, leaf buds, and foliage damage ( $\pm$  standard deviation) in *Crescentia alata* during 2015-2016 at Santa Rosa National Park, Guanacaste.



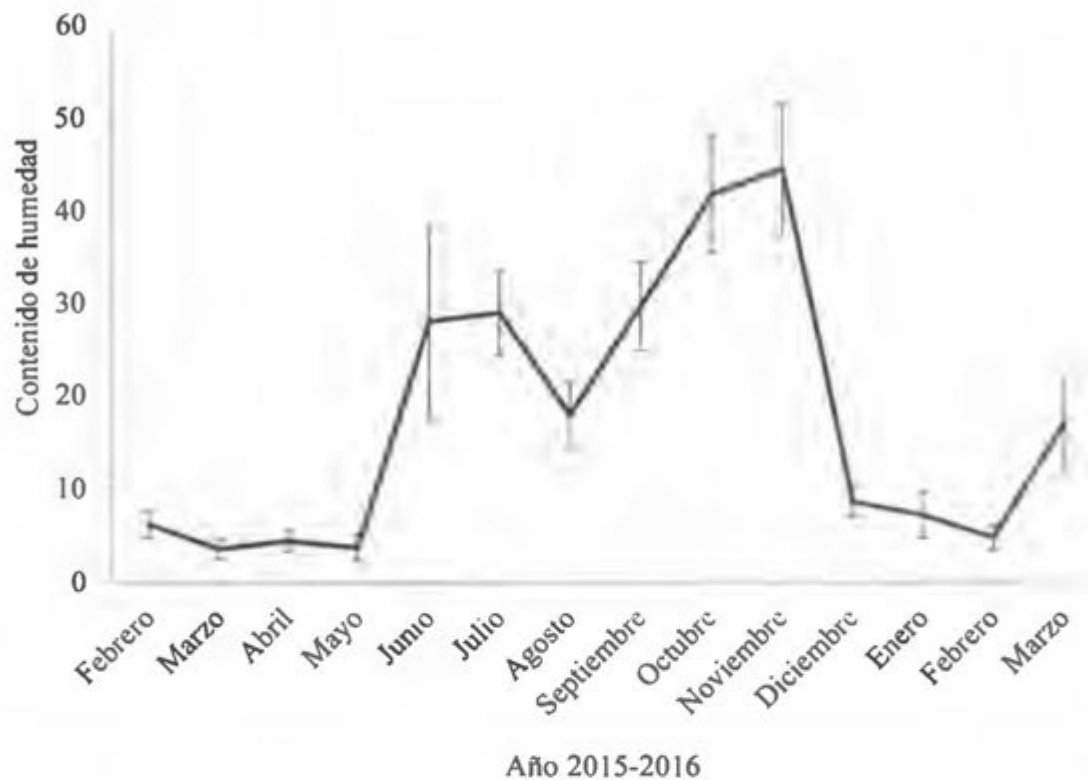
**Fig. 2.** Promedio de floración y brotes florales ( $\pm$  desviación estándar) de *Crescentia alata* durante 2015 y 2016 en Parque Nacional Santa Rosa, Guanacaste.

**Fig. 2.** Mean floration and flower buds ( $\pm$  standard deviation) in *Crescentia alata* during 2015-2016 at Santa Rosa National Park, Guanacaste.



**Fig. 3.** Fructificación promedio ( $\pm$  desviación estándar) de *Crescentia alata* durante 2015 y 2016 en Parque Nacional Santa Rosa, Guanacaste.

**Fig. 3.** Mean fructification ( $\pm$  standard deviation) of *Crescentia alata* during 2015-2016 at Santa Rosa National Park, Guanacaste.



**Fig. 4.** Contenido de humedad promedio del suelo ( $\pm$  desviación estándar) alrededor de 20 árboles de *Crescentia alata* en 2015 y 2016 en el Parque Nacional Santa Rosa, Guanacaste.  
**Fig. 4.** Mean soil moisture content ( $\pm$  standard deviation) around 20 *Crescentia alata* trees, 2015-2016 at Santa Rosa National Park, Guanacaste.

## Capítulo 2

### Germinación de semillas de *Crescentia alata* (Bignoniaceae) en distintas condiciones de temperatura, luminosidad y períodos de almacenamiento

Kimberly Valverde-Rodríguez<sup>1,2</sup>, Carlos O. Morales<sup>1,3</sup> & Elmer G. García<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica; <sup>2</sup>kian124@hotmail.com,

<sup>3</sup>carlos.moralessanchez@ucr.ac.cr, <sup>4</sup>elmer.garcia@ucr.ac.cr

**Abstract:** Seed germination of *Crescentia alata* (Bignoniaceae) at different temperatures, light conditions, and storage periods. *Crescentia alata* is a natural resource with cultural and economic value from Mexico to Costa Rica. Nevertheless, protection of natural populations and establishment of plantations are limited by lack of information on species germination and plant growth. This study aims to characterize fruits and seeds, to evaluate the seed germination process at different temperatures and light conditions, and to determine the optimal conditions of temperature, humidity, and storage periods in order to maintaining viable seeds of *C. alata*. Fruits and seeds were measured and weighted and the number of seeds per fruit was counted. The germination percentage was evaluated at five different temperatures (15, 20, 30, 20-30, and 25-30 °C), in light-dark conditions, with seed storage at three temperatures (5 °C, 15 °C, and ambient temperature: 22-24 °C) during 36 months, moreover viability of seeds preserved inside of fruits was evaluated. Mean value of fruit roundness index was -1.86, this means that fruits are flattened-rounded in shape. Mean ( $\pm$  standard deviation) fruit height is 3.95 ( $\pm$  1.29) cm, mean diameter is 4.81 ( $\pm$  0.60) cm, and seeds are 0.75 ( $\pm$  0.07) cm long and 0.67 ( $\pm$  0.05) cm wide. Mean fruit weight is 414.57 g and it contains ca. 691 seeds. Seeds germinated neither at 15 °C nor 20 °C; in dark conditions germination decreased; germination and viability decreased too when seeds were stored at ambient temperature (22-24 °C), and when they were preserved inside fruits. This work brings valuable information for future projects, not only for economic purposes on this species' cultivation but for population conservation in the Tropical Dry Forest ecosystem. It is concluded that *C. alata* seeds germinate better at 30 °C, in light conditions, and if they are separated from fruit pulp before being stored; in addition, when seeds are stored at low temperatures (5 °C and 15 °C) high germination and viability percentages can be maintained for until three years.

**Key Words:** Jícaro tree; seed viability; seed moisture content; fruit roundness index; Tropical Dry Forest; Costa Rica.



*Crescentia alata* Kunth (jícaro) se distribuye desde México hasta Guanacaste en Costa Rica, principalmente en la vertiente pacífica (Gentry, 1980). Habita en bosques secos, subperennifolios y caducifolios (Solares, 2004). Estos árboles son caulifloros y alcanzan alturas de 10 m; poseen hojas trifolioladas con pecíolo alado y los folíolos forman una cruz; las flores son grandes y verde-amarillentas, con variaciones en las tonalidades de amarillo a rojizo, de anthesis nocturna y polinizadas por murciélagos (Quesada-Monge & Fernández-Vega, 2005). Los frutos son esféricos, con pericarpo duro y liso, una pulpa dulce y abundante que rodea las semillas, que son pequeñas, delgadas, con testa color café y consideradas oleaginosas por el alto contenido de lípidos y proteínas (Gentry, 1980; IICA, 1989; Cordero & Boshier, 2003; Corrales et al., 2017).

El género *Crescentia* es un recurso natural de interés cultural y económico en Mesoamérica, especialmente en El Salvador y Nicaragua (Corrales et al., 2017). Existe gran variedad de usos registrados, algunos desde tiempos prehispánicos. Por ejemplo: elaboración de utensilios de cocina y artesanías, extracción de madera, carbón y tinte, preparación de bebidas (alcohólicas, horchata y “leche vegetal”), reposterías, caramelos y alimento para animales de engorde y de producción de leche (Standley, 1928; IICA, 1989; Nellis, 1997; Figueroa & Bressani, 2000; Salazar & Soihet, 2001; Zamora et al., 2001; Cordero & Boshier, 2003; Solares, 2004; Mundo Forestal, 2013). Pese a los diversos usos de la especie, existe poca información biológica y esto limita la protección de las poblaciones silvestres y el establecimiento de plantaciones, que podrían permitir un aprovechamiento efectivo de los recursos sin tener un impacto negativo en la naturaleza.

Las semillas de muchas especies de interés comercial son almacenadas a largo plazo para reproducirlas posteriormente; pero varían en la tolerancia a la desecación y en el tiempo que mantienen la viabilidad. Según la sensibilidad a la pérdida de agua, se clasifican en ortodoxas, intermedias y recalcitrantes; las primeras toleran deshidratación hasta 5 % del contenido de humedad, las intermedias entre 10 % y 12.5 % y las últimas soportan entre 15 % y 50 %. De los tres tipos de semillas, las ortodoxas mantienen su viabilidad por más tiempo al ser almacenadas (Magnitskiy & Plaza, 2007).

Los estudios sobre almacenamiento y germinación de semillas de *C. alata* son escasos (Solares, 2004). El inicio de la germinación está determinado por la disponibilidad de agua, que cuando se absorbe desencadena una secuencia de cambios metabólicos que

incluyen respiración, síntesis proteica y movilización de reservas (Maldonado, Pujado & Squeo, 2002; Doria, 2010). Además de agua, una semilla requiere de oxígeno y una temperatura apropiada (Graeber et al., 2010). Estos procesos fisiológicos dependen de diversos factores y son característicos de cada especie; por ejemplo, las variaciones en las condiciones de temperatura e intensidad de luz, que pueden generar estrés e inducir la expresión de genes que codifican proteínas (González, 1991; Rodríguez-Pérez, 2006; Funes, Díaz & Venier, 2009).

Por tanto, es importante conocer los factores que influyen en la germinación y el almacenamiento de semillas de *C. alata*. Esta especie tiene un alto potencial para la producción comercial (Corrales et al., 2017), principalmente de frutos, cuyas dimensiones son relevantes en la fabricación de artesanías. El presente estudio pretende caracterizar el tamaño y la forma de frutos y semillas de *Crescentia alata*, evaluar el proceso de germinación en diferentes condiciones de temperatura y luminosidad, y determinar las condiciones óptimas de temperatura, humedad y tiempo de almacenamiento para mantener las semillas viables; todo con el fin de generar información biológica del jícaro, especie del bosque tropical seco, que podrá aplicarse en proyectos futuros de conservación, propagación y reforestación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los frutos maduros se recolectaron de ca. 50 árboles de poblaciones silvestres en Guanacaste, Costa Rica (10°36'N, 85°31'W y 10°52'N, 85°35'W), donde predomina el bosque tropical seco con una marcada diferencia entre las épocas lluviosa y seca, el promedio anual de lluvia varía entre 1500 y 1950 mm y la temperatura promedio anual entre 24.0 y 27.8 °C (Leiva, Rocha, Mata & Gutiérrez, 2009). En otros países se han observado diferencias morfológicas en los frutos de *Crescentia cujete* L., especie emparentada con *C. alata* (Aguirre-Dugua, Eguiarte, González-Rodríguez & Casas, 2012). Por eso se realizaron visitas previas en cuatro sitios de Guanacaste, donde no se detectaron tales diferencias en frutos de *C. alata*. Para tener una muestra representativa de las características morfológicas, se recolectaron frutos en diferentes épocas durante tres años (2013-2015) en dos sitios diferentes: Liberia (febrero 2013), para almacenamiento y

pruebas de temperatura, y Parque Nacional Santa Rosa (marzo 2015), para evaluar condiciones de luz-oscuridad. Un espécimen de *Crescentia alata*, testigo de esta investigación, se halla en el Herbario de la Universidad de Costa Rica (USJ-110 912). Según datos de precipitación pluvial del Área de Conservación Guanacaste, en el Parque Nacional Santa Rosa se registraron 1591.8 mm en 2013 y 627 mm en 2015.

Los frutos fueron despulpados manualmente, y las semillas lavadas y secadas a la sombra durante una semana. Posteriormente se descartaron las dañadas, con deformidades o de menor tamaño que la mayoría. Entre las semillas normales se hizo una selección al azar y se aplicó un remojo previo de 12 horas para homogenizar las condiciones; la salida de la radícula fue el indicativo de una semilla germinada. Además, con una prueba no paramétrica de Wilcoxon con 10 repeticiones de 50 semillas, se determinó si era necesario el remojo en las semillas para mejorar la germinación.

**Caracterización de frutos y semillas:** Se midieron con cinta métrica dos circunferencias perpendiculares en cada fruto (n=139) para calcular dos parámetros: la altura (h) entre el punto de inserción del pedicelo y el ápice, y el diámetro en el ecuador del fruto (D). Se utilizó el índice de redondez (IR) (Aguirre-Dugua et al., 2012) para estimar la forma del fruto con la fórmula  $IR=(h/D)-1$ ; si  $IR=0$  el fruto es esférico, IR positivo indica fruto alargado e IR negativo, achatado. Se midió ancho y largo de las semillas (n=50) con un calibrador Vernier ( $\pm 0.05$  mm) y se pesaron frutos (n=119) y semillas secas por fruto (n=56). Asimismo, se contó el número de semillas por fruto (n=76). Para determinar con mayor facilidad el peso y el número de semillas por fruto, se crearon dos modelos lineales, uno para estimar el peso de las semillas (variable dependiente) con el peso del fruto (variable independiente), y otro modelo para determinar el número de semillas (variable dependiente) a partir de su peso (variable independiente). Los pesos se determinaron con balanza marca Scout Pro SP601 ( $\pm 0.1$  g). Se aplicó estadística descriptiva en las mediciones y regresión lineal en los modelos mencionados.

La germinación de los siguientes experimentos se hizo en cámaras de germinación de ambiente controlado en laboratorios de la Escuela de Biología y del Centro de Investigaciones en Granos y Semillas (CIGRAS) de la Universidad de Costa Rica en San José, Costa Rica.

**Capacidad germinativa a distintas temperaturas:** Las semillas se sometieron a cinco tratamientos: tres con temperatura constante de 15 °C, 20 °C y 30 °C, dos con alternancia de temperatura entre el día y la noche de 20 a 30 °C y de 25 a 30 °C. Cada tratamiento se hizo con 20 repeticiones de 20 semillas cada una (total 2000 semillas). Para la germinación se usaron cajas de Petri con el fondo cubierto por papel filtro y se agregó agua destilada hasta la saturación. Las cajas de Petri se colocaron en bandejas plásticas envueltas con bolsas plásticas transparentes para mantener la humedad, en cámaras de germinación de ambiente controlado, con fotoperíodo de 12 horas y humedad relativa de 98-100 %. El papel y las cajas de Petri se esterilizaron en una solución de hipoclorito de sodio al 1 %. Las cámaras de germinación utilizadas son marca Hoffman Manufacturing LS-12, modelos SG2-22 y SG-30, y marca Precision Scientific, modelo RS-232. Se determinó el porcentaje de germinación acumulado a los 21 días y se hicieron una prueba de ANDEVA de una vía y una de comparaciones múltiples Tukey-Kramer para determinar si la germinación cambia según la temperatura.

**Capacidad germinativa en luz y oscuridad:** Se probó en dos ambientes permanentes: luz y oscuridad, con 20 repeticiones de 15 semillas cada una (600 en total). Las cajas de Petri se colocaron en bandejas y éstas en una cámara de germinación con ambiente controlado de luz (Environmental controlled Chamber marca Electro-Tech Systems modelo 518), con temperaturas fluctuantes de 25 °C a 40 °C, según las condiciones del día, y la humedad relativa de 98-100 %. La intensidad lumínica fue de ca. 14500 lux. Para homogenizar la humedad, las bandejas se cubrieron con plástico, transparente para luz y negro para oscuridad. Se determinó el porcentaje de germinación acumulado y se hizo un ANDEVA de una vía para comparar la germinación a la luz y a la oscuridad.

**Efecto del almacenamiento y la temperatura sobre la viabilidad de las semillas:** Las semillas secas se colocaron en bolsas de papel cubiertas con bolsas plásticas y se almacenaron durante 36 meses a distintas temperaturas: 5 °C, 15 °C y ambiente (promedio entre 22 y 24 °C). Se evaluaron los porcentajes de germinación en todos los períodos de almacenamiento (0, 4, 8, 14, 20, 24 y 36 meses). Las semillas se colocaron en cajas plásticas de 21 cm de largo, 14 cm de ancho y 7 cm de alto; el fondo se cubrió con turba de germinación marca Fafard, con 10 repeticiones de 50 semillas cada una (total 9500). Las pruebas se hicieron en una cámara de germinación Hoffman Manufacturing Inc., con

fotoperíodo de 12 horas, 30 °C durante el día, 25 °C durante la noche y humedad relativa de 98-100 %. Se hizo un ANDEVA de una vía por temperatura con el porcentaje de germinación acumulado a las cinco semanas como variable respuesta y el período de almacenamiento como factor. También se hizo un ANDEVA de una vía con el porcentaje de germinación acumulado a las 5 semanas de las semillas almacenadas por 36 meses, para determinar la temperatura de almacenamiento que más reduce la germinación.

Además, en cada prueba del porcentaje de germinación se midieron los contenidos de humedad (CH) de las semillas almacenadas durante 0, 4, 8, 14, 20, 24 y 36 meses y a 5 °C, 15 °C y temperatura ambiente; se utilizaron 20 repeticiones con 10 semillas enteras (total 3800). El peso fresco y seco se obtuvo con una balanza analítica Sartorius AC 210S-MC1. Las semillas se dejaron en bolsas de papel en una secadora Sheldon Manufacturing Inc. modelo 14.5/89, a 80 °C por 15 días para alcanzar un peso seco constante y se mantuvieron en gel de sílice. El CH se calculó con la fórmula (Castaño, Aristizábal & González, 2012): *Contenido de humedad*  $((\text{Peso fresco}-\text{Peso seco})/\text{Peso seco}) * 100$ . Se hizo ANDEVA de dos vías y la prueba de comparaciones múltiples Tukey-Kramer. Se determinó el coeficiente no paramétrico de correlación de Spearman entre el contenido de humedad y el porcentaje de germinación un mes después de poner las semillas en turba.

**Capacidad germinativa de semillas almacenadas dentro y fuera del fruto:** Se mantuvieron 25 frutos en sacos de malla plástica, que permiten la evaporación del agua, y aparte se almacenaron semillas secas y libres de pulpa en bolsas de papel. Ambos tratamientos permanecieron a temperatura ambiente (22-24°C) y a la sombra en un invernadero. Con 32 meses de almacenamiento se extrajeron las semillas de los frutos, se seleccionaron al azar y se calculó el porcentaje de germinación de las semillas libres y de las conservadas dentro de frutos. Se hicieron 10 réplicas con 50 semillas, en bandejas plásticas (21 cm de largo, 14 cm ancho y 7 cm de alto) con turba de germinación marca Fafard como sustrato, en una cámara de germinación a 30 °C en el día, 25 °C en la noche, con fotoperíodo de 12 horas y humedad relativa de 98-100 %. Se hizo una prueba no paramétrica de Wilcoxon.

Los análisis se realizaron con JMP® (SAS Institute Inc, 2012), Excel y Software R versión 3.1.1 (R Development Core Team 2014).

## RESULTADOS

Se determinó que las semillas de *Crescentia alata* son ortodoxas, sin reposo, y germinan sin tratamiento pregerminativo. Si las semillas se humedecen por 12 horas, a los 33 días de ser colocadas en turba tienen un porcentaje de germinación de 84.80 ( $\pm$  7.61) %, que sin remojo es de 79.4 ( $\pm$  4.11) %; sin embargo, no hay diferencias en la germinación ( $\chi^2=1.8057$ , g.l.=1,  $p<0.1790$ ). La germinación es epigea y la plántula fanerocotilar; la radícula brota entre 4 y 6 días posteriores al inicio de la imbibición y en 21 días germina ca. 90 % de las semillas.

**Caracterización de frutos y semillas:** En el Cuadro 1 se detallan las medidas del fruto; el IR tiene un promedio de -1.86, con un valor mínimo de -3.55 y máximo de -0.16. En promedio, la semilla mide  $0.75 \pm 0.07$  cm de longitud,  $0.67 \pm 0.05$  cm de anchura y 50 semillas secas pesan  $1.96 \pm 0.15$  g. Además, el peso de las semillas puede calcularse con la ecuación *Peso de semillas (g)*  $19.9383+0.0298*\text{peso del fruto (g)}$  ( $R^2=0.1651$ ,  $F_{1,38}=7.514$ ,  $p=0.0093$ ). El total de semillas por fruto puede calcularse de la siguiente manera: *Número de semillas*  $409.171+11.904*\text{peso de semillas (g)}$  ( $R^2=0.4505$ ,  $F_{1,54}=44.2700$ ,  $p=1.5040e^{-8}$ ).

**Capacidad germinativa a distintas temperaturas:** La mayor germinación se registró en 15 días a 30 °C. Se encontraron diferencias en el porcentaje de germinación acumulado en 21 días según temperatura ( $R_2=0.9892$ ,  $F_{4,95}=2167.359$ ,  $p<0.0001$ ; Fig. 1). Con la comparación de promedios por el método de Tukey-Kramer se determinó que los resultados agrupan las temperaturas según la similitud en los porcentajes de germinación (Tukey-Kramer,  $\alpha=0.05$ ); el primer grupo de temperaturas altas se conforma de 30 °C, 25-30 °C y 20-30 °C y el segundo grupo de temperaturas más bajas de 20 °C y 15 °C.

La germinación de las semillas se inhibe a temperaturas de 20 °C y 15 °C, pero no pierden la viabilidad al permanecer embebidas en cámaras de germinación por 21 días. Después de estar en esas condiciones se colocaron a temperatura ambiente en un invernadero (25-30 °C); seis días después se obtuvo un porcentaje de germinación de 74 % a 15 °C y 70 % a 20 °C. Las semillas germinaron, aun cuando un hongo infestó el papel filtro y las semillas de algunas cajas de Petri; esto ocurrió a todas las temperaturas, pero principalmente a 30 °C y 20-30 °C.

**Capacidad germinativa en luz y oscuridad:** A los 22 días se alcanzó un porcentaje de germinación acumulado de 93.67 ( $\pm$  12.51) % en luz permanente y 74.33 ( $\pm$  15.55) % en oscuridad (Fig. 2). En la condición de luz germinan más semillas que en la de oscuridad ( $R^2=0.3343$ ,  $F_{1,38}=19.0794$ ,  $p<0.0001$ ).

**Efecto del almacenamiento y de la temperatura sobre la viabilidad de las semillas:** El porcentaje de germinación acumulado a las cinco semanas varía según el período de almacenamiento (0 a 36 meses). Se determinó que: 1) a temperatura ambiente disminuye la germinación al aumentar el período de almacenamiento ( $R^2=0.8072$ ,  $F_{1,68}=284.7109$ ,  $p<0.0001$ ), 2) a 5 °C la tasa de germinación se mantiene constante, aunque aumente el almacenamiento ( $R^2=0.0006$ ,  $F_{1,68}=0.0432$ ,  $p=0.8360$ ), y 3) a 15 °C tampoco cambia la germinación ( $R^2=0.0043$ ,  $F_{1,68}=0.2962$ ,  $p=0.5881$ ). Además, al final del almacenamiento (36 meses) se comparó el porcentaje de germinación acumulado a cinco semanas según la temperatura de almacenamiento (ambiente, 15 °C y 5 °C) y se notaron diferencias ( $R^2=0.9825$ ,  $F_{2,27}=756.4298$ ,  $p<0.0001$ ; Fig. 3). Las temperaturas bajas mantienen las semillas más tiempo viables, que alcanzan hasta 92 % de germinación a 15 °C y 89 % a 5 °C; en cambio, a temperatura ambiente germina 32 % (Tukey-Kramer,  $\alpha=0.05$ ). El proceso de germinación se atrasó, principalmente en las semillas almacenadas a temperatura ambiente y en ciertos períodos de almacenamiento (Cuadro 2); por eso fueron necesarios más días para concluir las evaluaciones.

El contenido de humedad (CH) de las semillas es diferente según el período y la temperatura de almacenamiento ( $R^2= 0.3811$ ,  $F_{3,206}= 42.2872$ ,  $p<0.0001$ ); en promedio, si se almacenan a temperatura ambiente poseen 9.72 % de humedad, 9.92 % a 5 °C y 7.05 % a 15 °C. Los CH a temperatura ambiente y a 5 °C son similares y no hay cambios con el tiempo de almacenamiento, mientras que a 15 °C la humedad de la semilla se reduce con el almacenaje (Tukey-Kramer,  $\alpha= 0.05$ ). Conforme pasaba el tiempo de almacenamiento de las semillas a temperatura ambiente ( $R^2= 0.0033$ ,  $F_{1,68}= 0.2247$ ,  $p= 0.6370$ ) y a 5 °C ( $R^2= 0.0452$ ,  $F_{1,68}= 3.2172$ ,  $p= 0.0773$ ), el CH se mantuvo constante durante 36 meses; en cambio, a 15 °C el CH disminuyó durante el almacenamiento ( $R^2= 0.1901$ ,  $F_{1,68}= 15.9577$ ,  $p=0.0002$ ). Asimismo, no se encontró correlación entre el contenido de humedad y la germinación a las temperaturas analizadas: 1) ambiente ( $\rho= 0.0643$ ,  $S= 0.0075$ ,  $p= 0.9511$ ), 2) 5 °C ( $\rho= -0.1265$ ,  $S= -0.1518$ ,  $p= 0.2096$ ) y 3) 15 °C ( $\rho= 0.2093$ ,  $S=$

0.0958,  $p= 0.4304$ ). Así, la germinación no depende de las variaciones observadas en el contenido de humedad de las semillas (Fig. 4).

**Capacidad germinativa de semillas dentro y fuera del fruto:** El porcentaje de germinación de las semillas conservadas dentro de los frutos es menor que el de las semillas extraídas ( $\chi^2= 46.2925$ , g.l.= 1,  $p<0.0001$ ). El porcentaje de germinación 33 días después de poner en turba semillas que estuvieron conservadas dentro de frutos fue de 4.00 ( $\pm 2.49$ ) %, mientras el de semillas previamente extraídas y limpias fue de 49.20 ( $\pm 11.08$ ) %.

## DISCUSIÓN

La germinación de *Crescentia alata* inicia en 4 a 6 días y a los 21 días alcanza valores de 90 % o más, sin necesidad de tratamiento pregerminativo, en contraste con la literatura que registra el inicio a los 8 días, y de 75 % a 80 % en 30 días (Cordero & Boshier, 2003). Según Solares (2004) en sustrato de arena, después de dos años de almacenamiento la germinación es de 52 %.

**Caracterización de frutos y semillas:** En el estudio se observó un menor diámetro del fruto, mientras que el peso de la semilla y el número de semillas por fruto coinciden con los mencionados en la literatura. Se registran valores del diámetro del fruto de 7 a 10 cm; el peso por semilla es 25 a 40 mg, la semilla mide entre 6 y 8 mm de diámetro, 1 a 2 mm de grosor y el fruto posee entre 300 y 900 semillas (Gentry, 1980; Cordero & Boshier, 2003). Con el índice de redondez se determinó que los frutos de *C. alata* son redondeado-achatados. Este índice, basado en caracteres morfológicos de los frutos, se usó en *Crescentia cujete* L. para analizar las variaciones en la forma y el tamaño inducidas por domesticación de esa especie en México (Aguirre-Dugua et al., 2012); al contrario, la homogeneidad del IR en los frutos analizados de *C. alata* sugiere que no hubo domesticación de esta especie en Guanacaste, Costa Rica.

**Capacidad germinativa a distintas temperaturas:** Los resultados demuestran que la germinación de *C. alata* varía con la temperatura y aumenta al acercarse a 30 °C. La baja temperatura actúa como un factor limitante, pues la especie crece naturalmente en regiones donde predominan altas temperaturas. El porcentaje de germinación depende de la



temperatura adecuada para cada especie según su distribución; por ejemplo, en *Puya berteroniana* Mez (Bromeliaceae) la germinación óptima ocurre a 15 °C y disminuye a temperaturas mayores (Vadillo, Suni & Cano, 2004); *Lycopersicon chilense* Dunal (Solanaceae) no germina a temperaturas menores que 8 °C ni mayores que 35 °C (Maldonado et al., 2002); *Prosopis cineraria* (L.) Druce (Fabaceae) germina mejor a 30 °C y disminuye en ambientes más calientes (Sacheti & Al-Areimi, 2000).

En condiciones fluctuantes de 20 a 30 °C se observó un retraso en la germinación de *C. alata* y esto puede ser evidencia de que posee mecanismos para detectar la temperatura ambiental óptima e iniciar el proceso de germinación y así garantizar a la plántula un buen entorno de desarrollo. Algunas investigaciones con especies que crecen en claros de bosques, con alta exposición al sol, señalan que sus semillas germinan más a temperaturas altas y se inhiben a bajas; esto implica una ventaja para soportar las condiciones de bosques secos, pero a la vez dificulta ampliar su ámbito de distribución, tal como sugieren García y Di Stéfano (2000), pues la distribución de las especies depende de la presencia e intensidad de diversos factores bióticos y abióticos que actúan como estímulos en el desarrollo y la productividad de las plantas (Rodríguez-Pérez, 2006).

En bosques con estacionalidad térmica y pluvial, el proceso de germinación es influenciado principalmente por la temperatura (Funes et al., 2009), porque es un factor decisivo al tener influencia sobre las enzimas que regulan la velocidad de las reacciones bioquímicas relacionadas con la germinación, ya que cada enzima tiene un ámbito óptimo de actividad (Doria, 2010). Por eso muchas semillas germinan solo en ciertas condiciones térmicas, aunque los demás factores, como humedad y luminosidad, sean favorables. En los cotiledones de las semillas de *C. alata* se detectaron enzimas que otorgan tolerancia a la desecación, como glucosa y ribitol deshidrogenasa homólogo-I y aldosa reductasa y proteínas de choque térmico (Corrales et al., 2017). Por tanto, existen tres posibles razones para explicar la distribución restringida de *C. alata*; la primera es alta intensidad lumínica, la segunda son las altas temperaturas anuales, entre 24.0 y 27.8 °C (Leiva, Mata, Rocha & Gutiérrez, 2009; Leiva, Rocha et al., 2009) y la tercera es el suelo arcilloso predominante (vertisoles y sonsocuites) (Vargas, 2011).

Las causas que inhiben la germinación de *C. alata* en condiciones frías se desconocen; sin embargo, las razones podrían relacionarse con la inactivación de las enzimas hidrolíticas, que impediría la activación metabólica de la semilla (Maldonado et al., 2002). Además, el reposo y la germinación son afectados por la interacción antagonista entre el ácido abscísico (ABA) y las giberelinas (Graeber, Nakabayashi, Miatton, Leubner-Metzger & Soppe, 2012). El ABA está implicado en el reposo de semillas y brotes; ante factores de estrés, como las bajas temperaturas, se acumula en los tejidos y puede inhibir la germinación de semillas sin reposo o las vías de transducción de señales que involucran elementos de ADN *cis*-actuantes llamados CRT, que determinan la expresión de genes que responden a bajas temperaturas (García et al., 2005; Graeber et al., 2010). Los genes de factores de transcripción del tipo ABI3/VPI están asociados a la respuesta de ABA en brotes y semillas; estos son parte de una red de genes que controlan la disposición de proteínas, la inducción y el mantenimiento de la latencia en las semillas y la adquisición de la tolerancia ante la desecación (Graeber et al., 2010).

**Capacidad germinativa en luz y oscuridad:** La luminosidad aumenta la germinación; por tanto, es un factor importante para *C. alata*, que habita en sitios con luz intensa. Algunas especies tienen germinación fotocontrolada, mientras que otras producen semillas insensibles a la luz (Figueroa & Vásquez-Yanes, 2002).

**Efecto del almacenamiento y la temperatura sobre la viabilidad de las semillas:** Las semillas de *C. alata* permanecieron viables por más tiempo a bajas temperaturas (5 °C ó 15 °C), porque esas condiciones permiten reducir el metabolismo y optimizar el almacenamiento. En el café (*Coffea arabica* L.) disminuye la germinación cuando las semillas son almacenadas a 20 °C (Barboza & Herrera, 1990), similar a lo observado en *C. alata*. Factores como tiempo y temperatura pueden influir en la germinación; por lo general, las condiciones más óptimas son bajas temperaturas y bajo contenido de humedad, posiblemente porque disminuye la probabilidad de aparición de hongos e insectos (FAO, 1991a, b; Sacheti & Al-Areimi, 2000; Buitrago-Rueda, Ramírez-Villalobos, Gómez-Degraves, Rivero-Maldonado & Perozo-Bravo, 2004). A temperatura ambiente se reduce el porcentaje de germinación y se retarda este proceso (Cuadro 2); con el almacenamiento a 15 °C la germinación fue más rápida y homogénea. Al final de las evaluaciones, la

viabilidad a dos temperaturas bajas no cambió (Fig. 3), pero a temperatura ambiente se redujo en un 55 % con respecto al inicio.

El retraso en el proceso y la disminución de viabilidad a temperatura ambiente, a partir de cuatro meses (Fig. 3), pudo haber ocurrido por la contaminación del lote de semillas, ya que se observaron daños producidos por insectos. Las semillas de frutos tropicales son infectadas con facilidad por microorganismos, como hongos (Doria, 2010), favorecidos por calor y humedad. Por tanto, si se evita la contaminación y se mantienen bajas las temperaturas, es posible conservar las semillas de *C. alata* viables por al menos tres años. La disminución de la germinación en la prueba de 24 meses podría deberse a que la turba se infectó con hongos, posiblemente por la humedad y las altas temperaturas de las cámaras; los hongos dañaron algunas semillas y por eso no se alcanzaron los niveles promedio de germinación.

**Contenido de humedad relativa:** *Crescentia alata* puede germinar con un bajo CH en la semilla; ésta se considera ortodoxa, por lo que puede tolerar hasta 5 % del contenido de humedad (Magnitskiy & Plaza, 2007). A partir del almacenamiento de ocho meses a 15 °C el CH disminuye y luego aumenta (36 meses). Estos cambios podrían estar relacionados con las distintas cámaras o condiciones para almacenar las semillas: a 5 °C y 15 °C se usaron cámaras de almacenamiento y las semillas a temperatura ambiente permanecieron en una bolsa de papel y otra plástica en una caja de cartón en un invernadero. La cámara a 5 °C tiene una humedad relativa de ca. 65 %, la de 15 °C ca. 60 %, y a temperatura ambiente la humedad aumenta con respecto al aire; por eso los CH a 5 °C y a temperatura ambiente son similares y con valores más altos en comparación con 15 °C. Las semillas tienen la capacidad de absorber o liberar agua al medio (Doria, 2010); así, si la humedad del lugar es baja, la semilla liberará agua, pero si la humedad es alta, absorberá. Probablemente los aumentos en el CH se deben a una mayor humedad ambiental.

**Capacidad germinativa de semillas conservadas dentro y fuera del fruto:** Se comprobó que las semillas que permanecen dentro de los frutos pierden viabilidad. Se desconoce si la pulpa tiene un efecto sobre la viabilidad de las semillas, pero al contener agua favorece la pudrición de las semillas, que requieren de un medio aireado (Doria, 2010). Posiblemente el proceso de fermentación de la pulpa influye en la disponibilidad de gases oxígeno y dióxido

de carbono, necesarios para las actividades metabólicas de las semillas. Asimismo, algunos animales pueden ser atraídos por el fuerte y dulce olor de la pulpa y algunos se alimentan de las semillas, cuyos cotiledones contienen ca. 44 % de proteína y 38 % de lípidos (Cordero & Boshier, 2003; Corrales et al., 2017). También, el proceso de pudrición puede favorecer la aparición de agentes patógenos, como insectos u hongos; en el campo al abrir algunos frutos del suelo se observaron larvas y adultos de *Drosophila melanogaster*.

A partir de esta investigación se puede concluir que lo más conveniente para *C. alata* es germinar en presencia de luz a temperaturas entre 20 °C y 30 °C. En cuanto al almacenamiento a largo plazo, las mejores condiciones son bajas temperaturas (5 °C y 15 °C), extraer las semillas del fruto, liberarlas de la pulpa y limpiarlas para evitar la contaminación y el deterioro. De esta forma, las semillas pueden mantener la viabilidad hasta por tres años. Este conocimiento permite mejorar la germinación, obtener plántulas para propagación y mejorar las prácticas de conservación de semillas; así podría aumentar el tamaño de las poblaciones con fines económicos o de conservación, para garantizar la permanencia de *C. alata* en el bosque tropical seco y contribuir a reducir la explotación de los bosques naturales. Se recomienda para futuros proyectos determinar la viabilidad de las semillas más allá de tres años de almacenamiento.

**Resumen:** *Crescentia alata* es un recurso natural de interés cultural y económico desde México hasta Costa Rica. Sin embargo, la protección de las poblaciones naturales y el establecimiento de plantaciones son limitados por la carencia de información de la especie en germinación y crecimiento de plantas. Este estudio pretende caracterizar los frutos y las semillas, evaluar el proceso de germinación a diferentes temperaturas y niveles de luminosidad, y determinar las condiciones óptimas de temperatura, humedad y períodos de almacenamiento para mantener viables las semillas de *C. alata*. Se midieron y pesaron los frutos y las semillas y se contó el número de semillas por fruto. Asimismo, se evaluó el porcentaje de germinación a cinco temperaturas (15, 20, 30, 20-30 y 25-30 °C), en condiciones de luz-oscuridad, con almacenamiento a tres temperaturas (5°C, 15 °C y ambiente: 22-24 °C) durante 36 meses. También se observó la viabilidad de las semillas conservadas dentro del fruto. El valor promedio del índice de redondez (IR) fue -1.86; esto indica que los frutos son redondeado-achatados. En promedio ( $\pm$  desviación estándar) el fruto mide 3.95 ( $\pm$  1.29) cm de alto, 4.81 ( $\pm$  0.60) cm de diámetro, y las semillas miden 0.75 ( $\pm$  0.07) cm de largo y 0.67 ( $\pm$  0.05) cm de ancho. El fruto pesa en promedio 414.57 g y tiene ca. 691 semillas, que no germinan a 15 °C ni a 20 °C; en la oscuridad disminuye la

germinación y la viabilidad de las semillas disminuye cuando se almacenan a temperatura ambiente (22-24 °C), y cuando permanecen dentro del fruto. Este estudio brinda información valiosa para futuros proyectos, ya sea con interés económico en el cultivo de la especie o para la conservación de las poblaciones en el ecosistema del bosque tropical seco. Se concluye que las semillas de *C. alata* germinan mejor a 30 °C, en condiciones de luz y separadas de la pulpa del fruto antes de almacenarse; además, almacenadas a temperaturas bajas (5 °C y 15 °C) los porcentajes de germinación y la viabilidad se mantienen altos hasta por tres años.

**Palabras claves:** jícara; viabilidad de semillas; humedad de semillas; índice de redondez del fruto; Bosque Tropical Seco; Costa Rica.

## AGRADECIMIENTOS

El proyecto fue financiado por la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica. Expresamos nuestra gratitud a la Escuela de Biología y al CIGRAS por el préstamo de equipo, y al Área de Conservación Guanacaste por el permiso de recolecta de los frutos.

## REFERENCIAS

- Aguirre-Dugua, X., Eguiarte, L. E., González-Rodríguez, A. & Casas, A. (2012). Round and large: morphological and genetic consequences of artificial selection on the gourd tree *Crescentia cujete* by the Maya of the Yucatan Peninsula, Mexico. *Annals of Botany*, 109, 1297-1306.
- Barboza, R. & Herrera, J. (1990). El vigor en la semilla de café y su relación con la temperatura de secado, el contenido de humedad y las condiciones de almacenamiento. *Agronomía Costarricense*, 14 (1), 1-8.
- Buitrago-Rueda, N., Ramírez-Villalobos, M., Gómez-Degraves, A., Rivero-Maldonado, G. & Perozo-Bravo, A. (2004). Efecto del almacenamiento de las semillas y la condición de luz postsiembra sobre la germinación y algunas características morfológicas de plantas de nispero (*Manilkara zapota* (L.) P. Royen) a nivel de vivero. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 21 (4), 343-352.

- Castaño, A., Aristizábal, M. & González, H. (2012). Requerimientos hídricos del plátano dominico-hartón (*Musa AAB Simmonds*) en la región Santágueda (Palestina, Caldas). *Revista Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Actualidad & Divulgación Científica*, 15 (2), 331-338.
- Cordero, J. & Boshier, D. (2003). *Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas*. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Corrales, C. V., Fliedel, G., Perez, A. M., Servent, A., Prades, A., Dornier, M.,... & Vaillant, F. (2017). Physicochemical characterization of jícara seeds (*Crescentia alata* H.B.K.): A novel protein and oleaginous seed. *Journal of Food Composition and Analysis*, 56, 84-92.
- Doria, J. R. (2010). Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales*, 31 (1), 74-85.
- FAO. (1991a). Guía para la manipulación de semillas forestales: Almacenamiento de la semilla. Depósito de documentos de la FAO. Roma: FAO. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/006/ad232s/ad232s08.htm>
- FAO. (1991b). Guía para la manipulación de semillas forestales: Ensayo de la semilla. Depósito de documentos de la FAO. Roma: FAO. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/006/AD232S/ad232s13.htm>
- Figuroa, S. & Bressani, R. (2000). Recursos alimenticios vegetales con potencial de explotación agroindustrial de Guatemala: elaboración de leche vegetal a partir de la semilla del fruto de morro (*Crescentia alata*). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 50 (2), 164-70.
- Figuroa, J. A. & Vásquez-Yanes, C. (2002). Efecto de la calidad de luz sobre la germinación de semillas en el árbol pionero tropical *Heliocarpus appendiculatus* (Tiliaceae). *Revista de Biología Tropical*, 50, 31-36.
- Funes, G., Díaz, S. & Venier, P. (2009). La temperatura como principal determinante de la germinación en especies del Chaco seco de Argentina. *Ecología Austral*, 19, 129-138.

- García, E. & Di Stéfano, J. F. (2000). Temperatura y germinación de las semillas de *Dalbergia retusa* (Papilionaceae), árbol en peligro de extinción. *Revista de Biología Tropical*, 48 (1), 43-45.
- García, N. C., Trejo, R., Pedroza, A., Gómez, F., Esparza, J. H. & Sepúlveda, M. (2005). Bases moleculares de la resistencia a sequía en plantas. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 4 (2), 65-74.
- Gentry, A. H. (1980). Bignoniaceae: Part I (Crescentieae and Tourrettieae). *Flora Neotropica*, 25, 1-130. Disponible en <http://www.jstor.org/stable/4393736>
- González, E. (1991). Recolección y germinación de semillas de 26 especies arbóreas del bosque húmedo tropical. *Revista de Biología Tropical*, 39 (1), 47-51.
- Graeber, K., Linkies, A., Müller, K., Wunchova, A., Rott, A. & Leubner-Metzger, G. (2010). Cross-species approaches to seed dormancy and germination: conservation and biodiversity of ABA-regulated mechanisms and the Brassicaceae *DOG1* genes. *Plant Molecular Biology*, 73, 67-87.
- Graeber, K., Nakabayashi, K., Miatton, E., Leubner-Metzger, G. & Soppe, W. J. (2012). Molecular mechanisms of seed dormancy. *Plant, Cell and Environment*, 35 (10), 1769-86.
- IICA. (1989). Compendio de Agronomía Tropical. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura y Ministerio de Asuntos Extranjeros de Francia. San José, Costa Rica: IICA. Disponible en <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A9416e/A9416e.pdf>
- Leiva, J. A., Mata, R., Rocha, O. J. & Gutiérrez, M. V. (2009). Cronología de la regeneración del bosque tropical seco en Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. I. Características edáficas. *Revista de Biología Tropical*, 57 (3), 801-815.
- Leiva, J. A., Rocha, O. J., Mata, R. & Gutiérrez, M. V. (2009). Cronología de la regeneración del bosque tropical seco en Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. II. La vegetación en relación con el suelo. *Revista de Biología Tropical*, 57 (3), 817-836.
- Magnitskiy, S. V. & Plaza, G. A. (2007). Fisiología de las semillas recalcitrantes de árboles tropicales. *Agronomía Colombiana*, 25 (1), 96-103.

- Maldonado, C., Pujado, E. & Squeo, F. (2002). Effect of water availability during the growth of *Lycopersicon chilense* on the capacity of their seeds to germinate at different temperatures and concentrations of manitol and NaCl. *Revista Chilena de Historia Natural*, 75 (4), 651-660.
- Mundo Forestal. (2013). Álbum de árboles de Costa Rica. Disponible en <http://www.elmundoforestal.com/album/index5.html#jicaroguacal>
- Nellis, D. (1997). *Poisonous plants & animals of Florida and the Caribbean*. Sarasota, Florida: Pineapple Press Inc.
- Quesada-Monge, R. & Fernández-Vega, J. (2005). Actualización del listado de especies arbóreas de uso forestal y otros usos en Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 2 (4), 1-45. Disponible en <http://tecdigital.tec.ac.cr/servicios/ojs/index.php/kuru/article/view/545>
- R Development Core Team. (2014). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria. Disponible en <http://www.R-project.org>
- Rodríguez-Pérez, L. (2006). Implicaciones fisiológicas de la osmorregulación en plantas. *Agronomía Colombiana*, 24 (1), 28-37.
- Sacheti, U. & Al-Areimi, M. S. (2000). The influence of high storage and germination temperatures on the germination of *Prosopis cineraria* seeds from northern Oman. *Journal of Tropical Forest Science*, 12 (1), 191-193.
- Salazar, R. & Soihet, C. (2001). *Manejo de semillas de 75 especies forestales de América Latina*. Turrialba, Costa Rica: CATIE. Disponible en <http://orton.catie.ac.cr/REPOC/A4004E/A4004E.PDF>
- SAS Institute Inc. (2012). JMP version 10.0.0. Cary, North Carolina: SAS Institute. Disponible en <http://www.jmp.com>
- Solares, F. (2004). Etnobotánica y usos potenciales del Cirián (*Crescentia alata*, H.B.K.) en el Estado de Morelos. *Polibotánica*, 18, 13-31.



- Standley, P. C. (1928). *Flora of the Panama Canal Zone*. (Contributions from the United States National Herbarium, 27). Washington, Estados Unidos. (Reimpreso 1968, Lehre, Alemania: Cramer).
- Vadillo, G., Suni, M. & Cano, A. (2004). Viabilidad y germinación de semillas de *Puya raimondii* Harms (Bromeliaceae). *Revista Peruana de Biología*, 11, 71-78.
- Vargas, G. (2011). Estudio cartográfico de los cambios de la vegetación de sabana en el Parque Nacional Santa Rosa, Guanacaste. *Revista Geográfica*, 47, 71-96.
- Zamora, S., García, J., Bonilla, G., Aguilar, H., Harvey, C. A. & Ibrahim, M. (2001). ¿Cómo utilizar los frutos de guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), guácimo (*Guazuma ulmifolia*), cenízaro (*Pithecellobium saman*) y jícaro (*Crescentia alata*) en alimentación animal? *Agroforestería en las Américas*, 8 (31), 45-49.

#### CUADRO 1

Medidas promedio ( $\pm$  desviación estándar) del fruto y las semillas de *Crescentia alata*

TABLE 1

Mean weights and measures ( $\pm$  standard deviation) of fruits and seeds of *Crescentia alata*

Medidas	N	Promedio	Desviación estándar
Peso del fruto (g)	119	414.57	166.51
Peso de semillas por fruto (g)	56	28.66	12.79
Circunferencia del fruto en altura (cm)	139	24.81	8.12
Circunferencia del fruto en anchura (cm)	139	30.21	3.81
Altura del fruto (h) (cm)	139	3.95	1.29
Diámetro del fruto (D) (cm)	139	4.81	0.60
Número de semillas	76	691	245.24

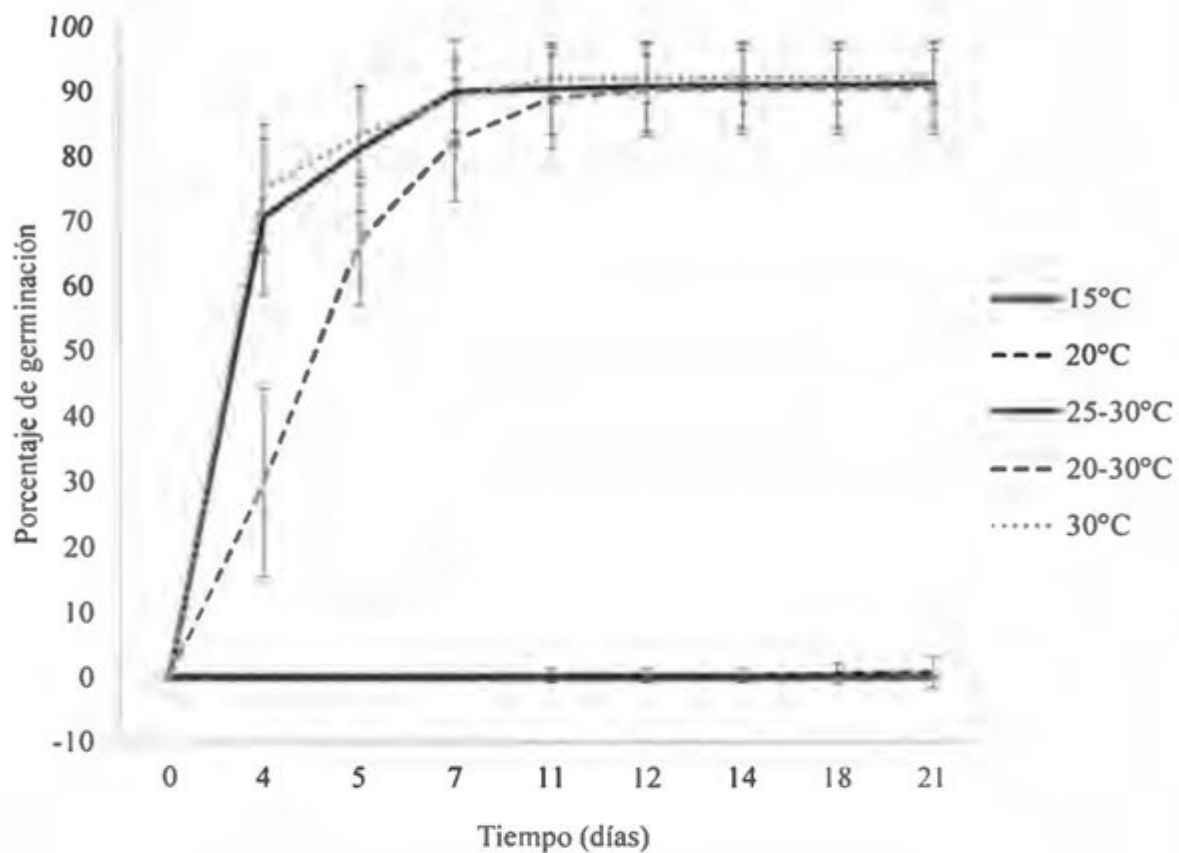
## CUADRO 2

Porcentaje de germinación acumulado y tiempo necesario para completar la germinación según el período (0, 4, 8, 14, 20, 24, 36 meses) y la temperatura (ambiente, 5 °C y 15 °C) de almacenamiento de las semillas de *Crescentia alata*

TABLE 2

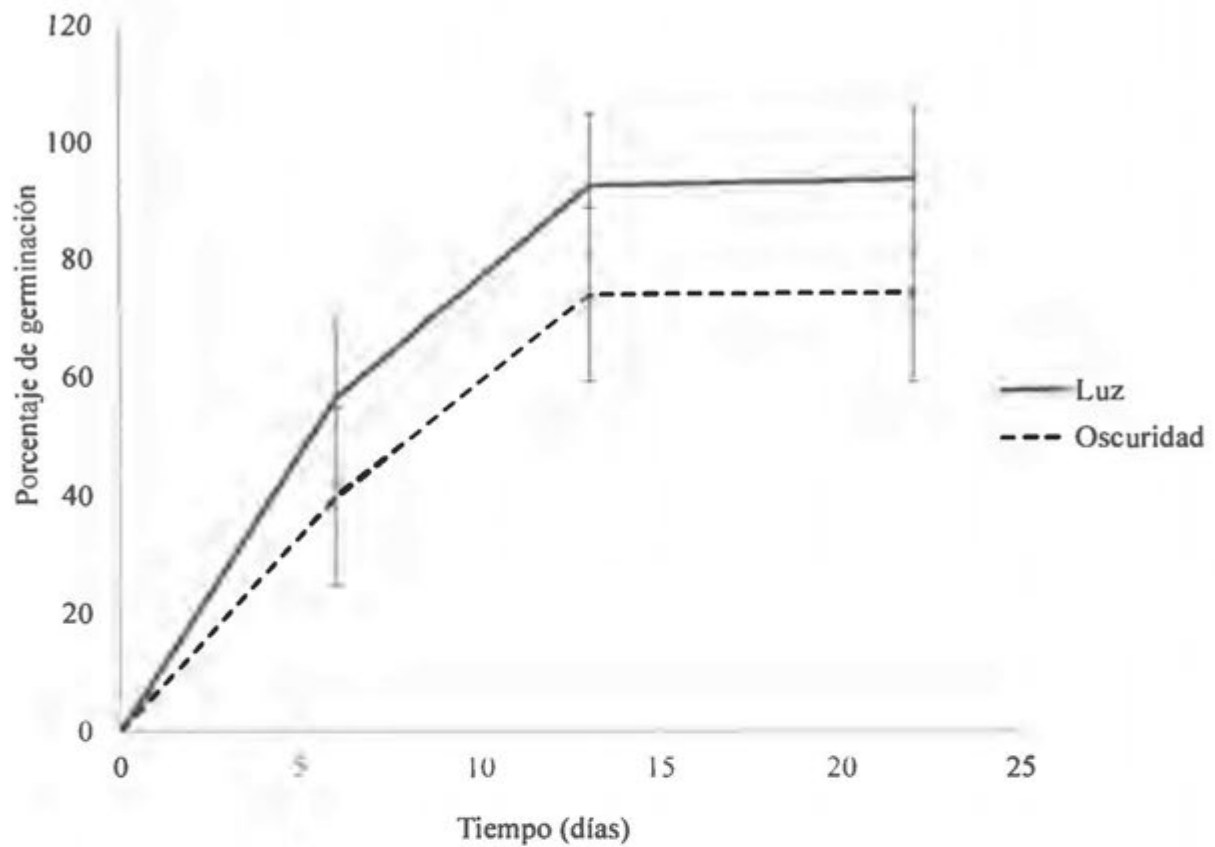
Cumulated germination percentage and time necessary to complete germination by periods (0, 4, 8, 14, 20, 24, 36 months) and temperatures (ambient temperature, 5 °C, and 15 °C) of *Crescentia alata* seed storage

Período (meses)	Temperatura	Tiempo (días)	Germinación (%)
0	Ambiente	33	84.8
4	Ambiente	38	91.4
4	5 °C	33	90.4
4	15 °C	33	89.0
8	Ambiente	40	87.0
8	5 °C	40	89.2
8	15 °C	25	89.6
14	Ambiente	27	79.6
14	5 °C	12	89.0
14	15 °C	12	92.8
20	Ambiente	54	72.6
20	5 °C	20	90.6
20	15 °C	20	91.0
24	Ambiente	86	56.4
24	5 °C	48	83.8
24	15 °C	34	79.8
36	Ambiente	56	33.6
36	5 °C	27	89.4
36	15 °C	45	91.8



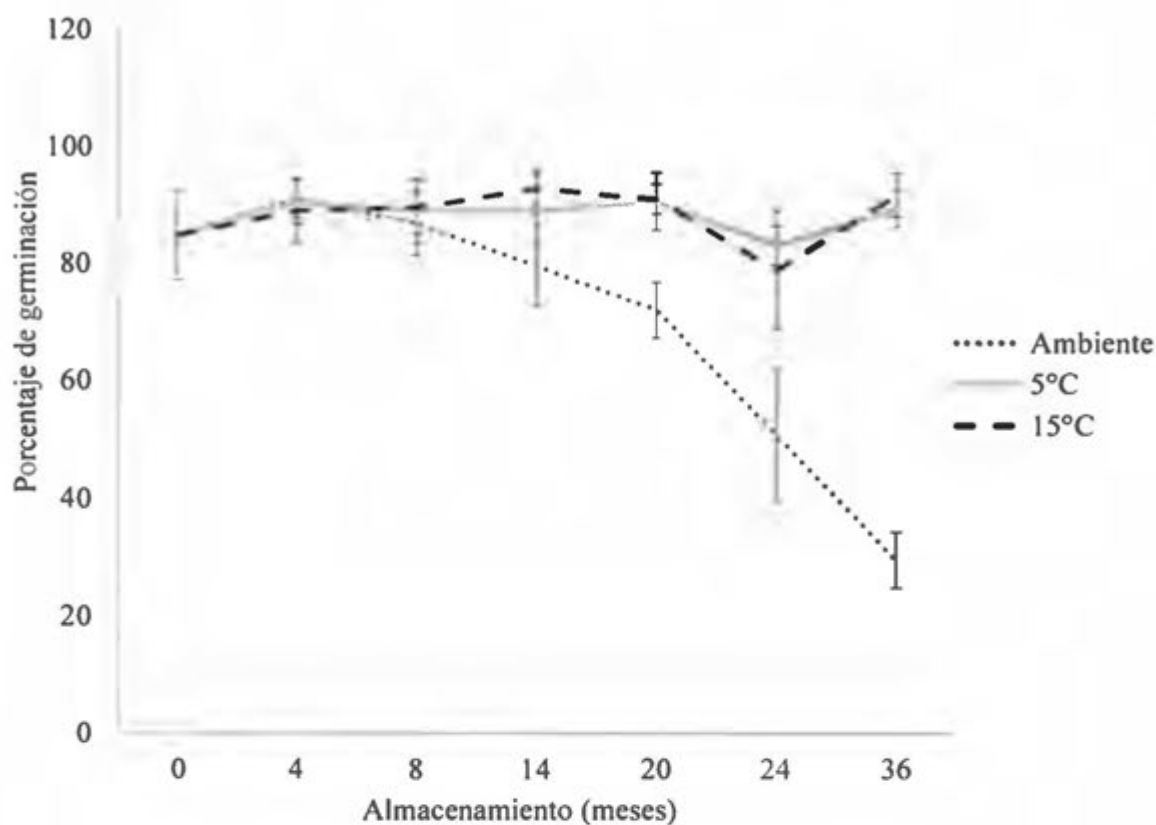
**Fig. 1.** Porcentaje de germinación promedio ( $\pm$  desviación estándar) de *Crescentia alata* en distintas temperaturas en cámaras de ambiente controlado según el transcurso del tiempo.

**Fig. 1.** Mean germination percentage ( $\pm$  standard deviation) of *Crescentia alata* seeds at different temperatures in germination chambers according to time.



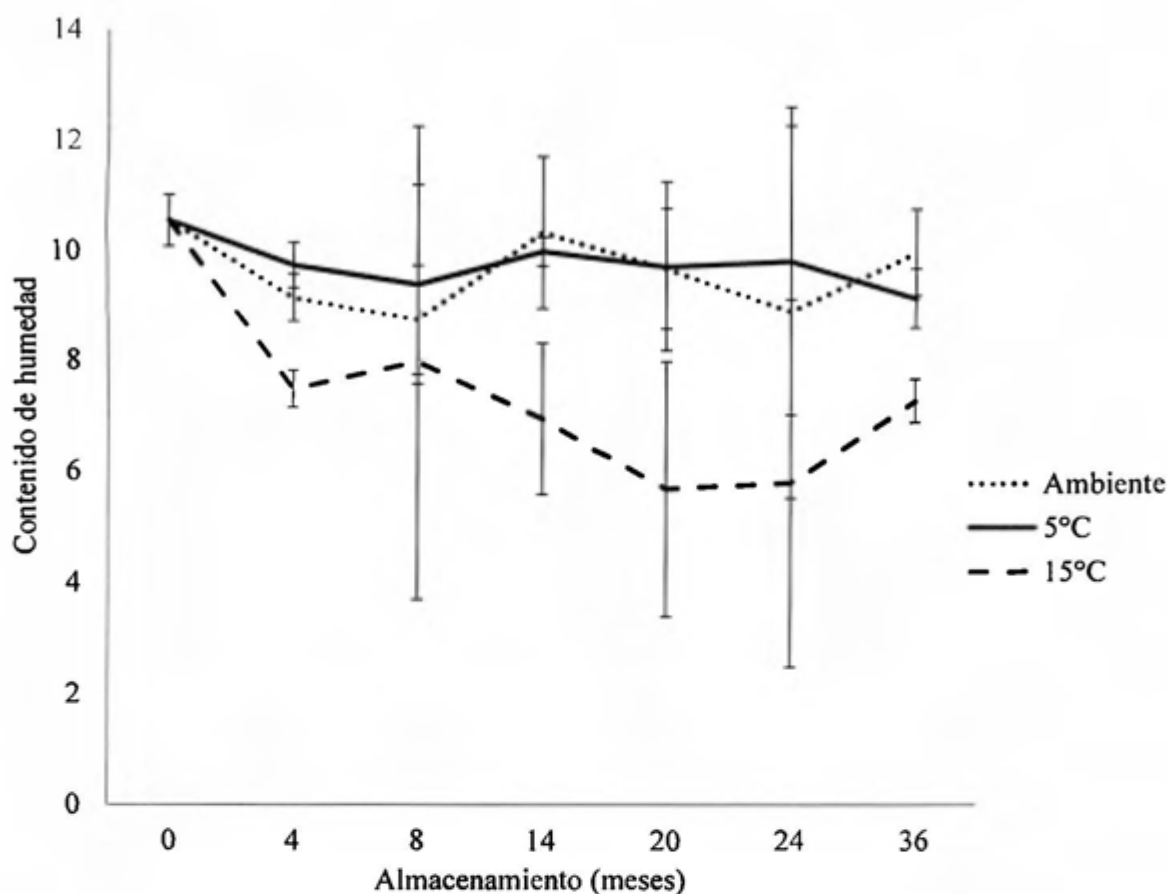
**Fig. 2.** Porcentaje de germinación promedio ( $\pm$  desviación estándar) de *Crescentia alata* en cámara de germinación con temperaturas fluctuantes durante la noche y el día (25-40 °C) en condiciones de luz y oscuridad permanentes según el transcurso del tiempo.

**Fig. 2.** Mean germination percentage ( $\pm$  standard deviation) of *Crescentia alata* seeds in a germination chamber with fluctuating temperatures during night and day (25-40 °C) in permanent light and dark conditions according to time.



**Fig. 3.** Porcentaje de germinación promedio ( $\pm$  desviación estándar) de *Crescentia alata* a cinco semanas, según el período (0 a 36 meses) y las temperaturas (5 °C, 15 °C y ambiente) de almacenamiento de las semillas.

**Fig. 3.** Mean germination percentage ( $\pm$  standard deviation) of *Crescentia alata* seeds after five weeks according to period (0 to 36 months) and temperatures (5 °C, 15 °C, and ambient temperature) of seed storage.



**Fig. 4.** Contenido de humedad promedio ( $\pm$  desviación estándar) en semillas de *Crescentia alata* almacenadas por diferentes períodos (0 a 36 meses) y temperaturas (5 °C, 15 °C y ambiente).

**Fig. 4.** Mean moisture content ( $\pm$  standard deviation) of *Crescentia alata* seeds stored at different time periods (0 to 36 months) and temperatures (5 °C, 15 °C, and ambient temperature).

### Capítulo 3

#### **Efecto del almacenamiento de semillas y de condiciones lumínicas sobre la tasa de crecimiento de plantas de *Crescentia alata* (Bignoniaceae)**

Kimberly Valverde-Rodríguez<sup>1,2</sup> & Elmer G. García<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica; <sup>2</sup>kian124@hotmail.com,

<sup>3</sup>elmer.garcia@ucr.ac.cr

**Abstract.** Effect of seed storage and light conditions on the growth rate of *Crescentia alata* (Bignoniaceae) seedlings. The dry tropical forest tree *Crescentia alata* is a cultural and economical resource, but efforts to establish plantations, which could satisfy commercial production and avoid impact on natural populations, have been unsuccessful. So there is a need to generate biological information on this species for obtaining plants in greenhouses. The aim of this work was to evaluate the vigor and growth rate of *C. alata* seedlings born from seed that were stored at different periods and temperatures, and to determine the effect of light intensity. Fruits were collected in Liberia (Guanacaste, Costa Rica) and seeds stored for 0, 4, 8, and 14 months (0M, 4M, 8M, 14M) at 5 °C, 15 °C, and ambient temperature (22-24 °C). Seedlings from seeds stored for 0M, 4M, 8M, and 14M were grown to evaluate growth after 8 days, 2 months, and 16 months, and in different light conditions. Morphology of 8-day-seedlings changes according to storage time. Principal component analysis of 2-month evaluation indicates that the most significant variables were total dry biomass, dry biomass of leaves, root-shoot, stem, and root, while for the analysis of 16-month evaluation these variables were dry biomass of root, root-shoot, and leaves, also leaf number, and shoot length. Specific leaf area of 16-month plants from seeds stored for 14 months does not change with storage temperature. In addition, different light conditions do not influence seedling height, stem diameter or leaf number. Seed storage at low temperatures favors development of seedling cotyledons, and length of both root and hypocotyl. Two month-seedlings from 0M and 8M allocate most biomass to roots and less to stems, enhancing this way water absorption. Sixteen-month-plants from non-stored seeds develop the highest leaf numbers, and those plants from 8M seeds at 5 °C and 15 °C show shorter stems. We conclude that seeds do not lose viability during the first 3 years, becoming healthy seedlings after different storage periods and at distinct temperatures. It is recommended for future researchers to evaluate seed viability at different drying temperatures and more contrasting light intensity levels during growth.

**Key words:** Jícaro; biomass allocation; seedling development; viability; vigor; seed storage; Costa Rica.

La regeneración de los bosques y el reclutamiento de nuevas plantas son importantes para conservar las especies y mantener la dinámica natural (Galindo-González, 1998; Mostacedo, Pereira & Fredericksen, 2001). Sin embargo, en ocasiones la naturaleza

no puede restablecer algunas especies, por razones antropogénicas o naturales. Por esto, es importante estudiar el manejo de las semillas, la producción de las plantas en vivero y el establecimiento de plantaciones a partir de condiciones controladas, que colaboren con la restauración (González, 1991).

Muchas semillas de interés comercial se almacenan para conservar recursos fitogenéticos. En esas condiciones se hacen pruebas de viabilidad y vigor, porque ciertas condiciones de recolección, almacenamiento y el tipo de semilla (ortodoxa o recalcitrante) pueden reducir la calidad de este propágulo (Salinas, Yoldjian, Craviotto & Bisaro, 2001; De Viana, Mosiaro & Morandini, 2009). La viabilidad se define como la capacidad germinativa en condiciones adecuadas de temperatura, agua, oxígeno y luz, después de un período (Doria, 2010; Navarro, Febles & Torres, 2012), y el vigor es la suma total de propiedades de las semillas que determinan el nivel de actividad y la capacidad de germinación, reflejados en cambios bioquímicos, tasa y uniformidad de germinación y crecimiento de plántulas (Barboza & Herrera, 1990; Navarro et al., 2012). Sin embargo, el crecimiento de una planta no está determinado solo por la calidad de la semilla, sino también por la interacción de fotosíntesis, transporte a larga distancia, respiración, relaciones hídricas, nutrición mineral e interacción entre genotipo y ambiente. Todo esto se reflejará en la masa seca, el volumen, la longitud o el área de la planta (Lambers, Chapin & Pons, 2008).

El deterioro de la calidad de la semilla se cuantifica con la reducción de vigor, de germinación y de producción de plántulas normales, hasta la muerte. Los estudios para detectar ese deterioro ayudan a solucionar problemas en la industria semillera (Salinas et al., 2001; Navarro et al., 2012), pero la mayoría de investigaciones sobre medición del vigor se enfatizan en especies hortícolas, mientras los trabajos sobre crecimiento de árboles y arbustos tropicales son muy escasos (Navarro et al., 2012). El género *Crescentia* consta de árboles de interés cultural y económico en Mesoamérica, especialmente en El Salvador y Nicaragua (Gentry, 1980; Corrales et al., 2017), dada la gran variedad de usos registrados, algunos desde tiempos prehispánicos, como la elaboración de utensilios de cocina y artesanías, la extracción de madera, carbón y tinte, la preparación de bebidas (alcohólicas, horchata y “leche vegetal”), reposterías, caramelos y alimento para animales de engorde o



producción de leche (Standley, 1928; Nellis, 1997; Figueroa & Bressani, 2000; Salazar & Soihet, 2001; Zamora et al., 2001; Cordero & Boshier, 2003; Solares, 2004).

*Crescentia alata* Kunth es un árbol caulifloro y alcanza 10 m de altura; posee hojas trifolioladas con pecíolo alado y los folíolos forman una cruz; las flores son verde-amarillentas con tonalidad amarilla a rojiza, de antesis nocturna y polinizadas por murciélagos (Quesada-Monge & Fernández-Vega, 2005). Los frutos son esféricos, con pericarpo lignificado y liso, poseen nectarios en estadios tempranos de desarrollo y una pulpa abundante que rodea las semillas, que son pequeñas, delgadas, con testa color café y de tipo oleaginoso por el alto contenido de lípidos y proteínas (Elias & Prance, 1978; Gentry, 1980; Snarkis, 1989; Cordero & Boshier, 2003; Vargas, 2011; Corrales et al., 2017). Se ha observado que los caballos dispersan las semillas y, además, esta especie ha sido cultivada (Janzen, 1982). Habita principalmente en la vertiente pacífica desde México hasta Guanacaste en Costa Rica; es común en potreros, áreas abiertas y bordes de bosques secos, subperennifolios y caducifolios (Gentry, 1980; Janzen, 1982; Solares, 2004). En Costa Rica *C. alata* habita en el bosque tropical seco que cubre solamente 7.3 % del territorio nacional (Alfaro, Alvarado & Chaverri, 2001).

En Guatemala, Honduras y Nicaragua hubo algunos intentos fallidos para establecer plantaciones de *C. alata* (Cordero & Boshier, 2003). En sistemas silvopastoriles de Nicaragua hay en promedio 350 árboles de *C. alata* por hectárea, que representan un alto potencial de producción comercial (Corrales et al., 2017). Según Solares (2004), en México esta especie tuvo un uso intensivo, pero en la actualidad el tamaño poblacional es bajo, entre 2 y 10 árboles por hectárea.

En estudios previos se registró que las semillas de *C. alata* mantienen la viabilidad durante tres años, conservadas a 5 °C y 15 °C, y el 90 % germina (Valverde-Rodríguez, Morales & García, en prep.). Sin embargo, las condiciones de almacenamiento, como la temperatura y humedad de la semilla, están relacionadas con el vigor (Salinas et al., 2001). El objetivo de esta investigación fue evaluar la tasa de crecimiento de plantas de *Crescentia alata* a partir de semillas almacenadas en distintos períodos y a varias temperaturas, y el efecto de la intensidad de la luz.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se hicieron en la Escuela de Biología y en el Centro de Investigaciones en Granos y Semillas (CIGRAS) de la Universidad de Costa Rica, en San José, Costa Rica. Las semillas se obtuvieron de frutos enteros maduros y sin daños en la cáscara, recolectados de ca. 50 árboles seleccionados al azar en Liberia, Guanacaste, Costa Rica (10°36'N, 85°31'W), en febrero de 2013. Un espécimen de *C. alata*, testigo de esta investigación, se halla en el Herbario de la Universidad de Costa Rica (USJ-110 912). Los frutos se despulparon manualmente. Las semillas fueron lavadas y secadas a la sombra durante una semana y con una evaluación física se descartaron vanas, de menor tamaño que la mayoría y con daños mecánicos, como agujeros o fragmentación de la testa; entre las semillas sanas restantes se seleccionaron al azar las necesarias para los experimentos.

Las semillas se preservaron durante 0, 4, 8 y 14 meses, a 5 °C, 15 °C y a temperatura ambiente (promedio ca. 22-24 °C en un invernadero). Se embebieron durante 12 horas para evaluar la germinación, con 500 semillas por tratamiento, y se colocaron en cajas plásticas de 21 cm de largo, 14 cm de ancho y 7 cm de alto, con el fondo cubierto con turba para germinación marca Fafard, en una cámara de ambiente controlado Hoffman Manufacturing Inc., a 30 °C durante el día y 25 °C de noche, con fotoperíodo de 12 horas y humedad relativa de 98-100 %. Del total de plántulas obtenidas, se seleccionaron al azar para hacer las siguientes mediciones.

**Mediciones de plántulas:** Ocho días después de colocar las semillas en turba, en cada período de almacenamiento (0, 4, 8 y 14 meses), se seleccionaron 20 plántulas de cada temperatura (5 °C, 15 °C y ambiente) para medir con un calibrador Vernier ( $\pm 0.05$  mm) el ancho y largo de un cotiledón, la longitud de la radícula, del hipocótilo y del epicótilo. Para cuantificar si el almacenamiento causa cambios morfométricos en las plántulas se realizó un análisis de varianza múltiple (MANOVA) con variables no correlacionadas ( $p < 0.05$ ): ancho del cotiledón, longitud de radícula, del hipocótilo y del epicótilo, según el período y la temperatura de almacenamiento. Para apoyar la interpretación de los resultados anteriores se hizo un análisis de varianza (ANDEVA) de una vía por cada temperatura. Además, se calculó el coeficiente no paramétrico de correlación de Spearman entre longitud de radícula y contenido de humedad (CH) de semillas almacenadas a 0, 4, 8 y 14 meses a temperatura ambiente, 5 °C y 15 °C, el CH con 10 repeticiones de 10 semillas cada

una. Los datos de CH son parte de una investigación previa (Valverde-Rodríguez et al., en prep.), cuantificados con la fórmula  $Contenido\ de\ humedad = ((Peso\ fresco - Peso\ seco) / Peso\ seco) * 100$  (Castaño, Aristizábal & González, 2012) (Cuadro 1). Las semillas se dejaron en bolsas de papel en una secadora Sheldon Manufacturing Inc., modelo 14.5/89, a 80 °C durante 15 días.

En los siguientes experimentos de crecimiento, las plantas se sembraron en bolsas con suelo sin esterilizar del campus de la Universidad de Costa Rica en San José, y permanecieron en condiciones de invernadero, con temperatura promedio de 22 a 27 °C, fluctuante durante el día y la noche y según la época del año, con intercepción de luz de 100 % y 14600 lux, riego una vez por semana. Se aplicó insecticida multiefecto marca Ever Green para eliminar plagas ocasionales.

**Evaluación del crecimiento:** Veinte plantas (distintas a las utilizadas en el experimento anterior) se trasplantaron del almácigo a bolsas (25 cm de alto, 10 cm ancho y 15 cm de largo) diez días después de germinadas por cada período de almacenamiento de semillas, representadas de la siguiente manera: 0 meses (0M), 4 meses (4M), 8 meses (8M) y 14 meses (14M), a 5 °C, 15 °C y temperatura ambiente. Se hicieron dos evaluaciones: 2 y 16 meses de edad; cada una con 10 de las 20 plantas. Se midieron las siguientes variables: número de hojas, área foliar, longitud de raíz principal y de vástago, peso fresco y peso seco de raíz, vástago, tallo y hojas. Se calculó el área foliar con un medidor de área, marca LI-COR, modelo Li-3100. Las estructuras vegetales se dejaron en bolsas de papel en una secadora Sheldon Manufacturing Inc. modelo 14.5/89, a 70 °C durante ocho días para obtener peso seco constante. Se determinaron los pesos frescos con una balanza analítica Sartorius AC 210S-MC1. El valor del área foliar y del peso de las hojas incluye los cotiledones, y el de peso del vástago incluye hojas, cotiledones y tallo. A partir de las mediciones obtenidas en las evaluaciones se aplicaron las fórmulas (Cuadro 2) del contenido de humedad (Castaño, Aristizábal et al., 2012) y de crecimiento y biomasa de Lambers et al. (2008).

Para cada evaluación se hizo análisis de componentes principales (ACP) con las variables: número de hojas, índice de área foliar, longitud de raíz y de vástago, biomasa total seca (BTS), BS en raíz, BS en tallo, BS en hojas y BS en raíz-vástago, con el fin de

conocer la tendencia de asignación de biomasa en las plantas según el almacenamiento. También se analizó con un ANDEVA de dos vías cada uno de los componentes, con el período y la temperatura de almacenamiento como factores.

Se calcularon los promedios ( $\pm$  desviaciones estándar) de las variables que contienen peso fresco en su fórmula, la tasa de crecimiento relativo (TCR), la tasa de elongación de tallo (TET) y de raíz (TER), según el período y la temperatura de almacenamiento. Para el cálculo de las tasas se usó como valor inicial la evaluación de 2 meses y como valor final la de 16 meses (Cuadro 2), analizadas con ANDEVA de dos vías y prueba de comparaciones múltiples Tukey-Kramer. Además, se calculó el área foliar específica (AFE) en plantas con 16 meses de edad obtenidas de semillas conservadas durante 14 meses a 5 °C, 15 °C y a temperatura ambiente, con 30 réplicas; esto se analizó con un ANDEVA de una vía y una prueba de comparaciones múltiples Tukey-Kramer.

**Crecimiento según la luminosidad:** Otras plantas se sometieron a dos condiciones lumínicas, luz y sombra, con 10 repeticiones. A los 14 meses de edad se midieron altura y diámetro de tallo, se contó número de hojas y se observó tiempo de caída de cotiledones. Según un iluminómetro digital marca Kyoritsu, modelo 5201, la condición de luz fue de 14600 lux y la de sombra 9000 lux. Se hizo una prueba no paramétrica de Wilcoxon.

Todos los análisis mencionados se hicieron con JMP® (SAS Institute Inc, 2012), Excel y Software R versión 3.1.1 (R Development Core Team 2014).

## RESULTADOS

Se demostró que las semillas germinan entre 4 y 6 días posteriores al inicio de la imbibición y no requieren de tratamiento pregerminativo. Además, el almacenamiento de 14 meses a temperatura ambiente reduce el porcentaje de germinación en 10 % y retarda ca. 15 días el proceso de germinación, mientras al preservar las semillas a 5 °C y 15 °C la germinación se mantiene constante. Así, el almacenamiento a bajas temperaturas mantiene las semillas viables por más tiempo (Valverde-Rodríguez et al., en prep.). Se observó lignificación de tallos en plantas con dos meses. Durante el crecimiento de las plantas aparecieron varias plagas: trips (*Echinothrips caribbeanus*, determinado por Axel Retana Salazar) por un mes en hojas jóvenes y maduras, el hemíptero “mosca blanca” (familia

Aleyrodidae) (determinado por Paul Hanson) y hongos en las plantas de semillas conservadas 14 meses.

**Mediciones de plántulas:** La prueba MANOVA detectó diferencias en los tamaños de las plántulas según el almacenamiento de las semillas ( $HTL_{15,357}=0.4876$ ,  $p<0.0001$ ). El análisis con el efecto del tiempo de almacenamiento (Cuadro 3) mostró que el ancho del cotiledón aumenta a mayor almacenaje a 5 °C; el largo del cotiledón aumenta con mayor tiempo de almacenamiento a temperatura ambiente y 5 °C; la longitud de la radícula cambia a 15 °C y la del hipocótilo varía con las tres temperaturas del experimento, pero la radícula y el hipocótilo son más largos con mayores períodos de almacenamiento (8 y 14 meses); a diferencia, la longitud del epicótilo no varía con el tiempo ni la temperatura de almacenamiento (Fig. 1). No hay correlación entre el CH y la longitud de la radícula a 5 °C ( $\rho=-0.3879$ ,  $S=-0.5758$ ,  $p<0.0816$ ), a 15 °C ( $\rho=-0.4417$ ,  $S=0.1702$ ,  $p=0.6383$ ) ni a temperatura ambiente ( $\rho=-0.2680$ ,  $S=-0.5030$ ,  $p=0.1383$ ).

**Evaluación del crecimiento:** Los cotiledones permanecen verdes entre 6 y 20 semanas, y una vez secos pueden permanecer adheridos hasta 64 semanas. Por lo general, en una semana las plántulas tienen hojas desarrolladas; en cuatro semanas tienen pequeñas hojas lineares (<0.5 cm de largo), y en 40 semanas pueden tener hasta 50 de estas hojas. En el Cuadro 4 se muestran los promedios de las variables que incluyen peso fresco, según el período y la edad de la planta. Se observaron diferencias en las tasas de crecimiento relativo y de elongación de tallo y raíz (Cuadro 5); la TCR disminuye conforme aumenta el tiempo de almacenamiento ( $R^2=0.2454$ ,  $F_{5,87}=5.6575$ ,  $p=0.0001$ ), siendo menor en 8M y 14M (Tukey=0.050); 0M tiene la mayor TET y 8M la menor ( $R^2=0.3604$ ,  $F_{5,87}=9.8034$ ,  $p<0.0001$ ) (Tukey=0.050), y la TER es mayor en 0M y difiere del resto ( $R^2=0.1426$ ,  $F_{5,87}=2.8937$ ,  $p<0.0183$ ) (Tukey=0.050), de manera que las plantas de 0M crecieron más.

En la primera evaluación resultó que plantas de dos meses mantienen ambos cotiledones verdes adheridos; además, la mayoría de raíces tienen protuberancias y están enrolladas sobre sí mismas, a pesar de tener suficiente espacio en la bolsa para crecer. En el ACP se eligieron dos componentes (C1 y C2) (Cuadro 6 y 7); el C1 está dominado por la biomasa total seca (BTS) y biomasa seca (BS) en hojas, y el C2 por la BS en raíz-vástago, BS en tallo y BS en raíz (Fig. 2). En el C1 hay diferencias según el almacenamiento

( $R^2=0.7239$ ,  $F_{5,94}=49.2902$ ,  $p<0.0001$ ), y similitudes entre 0M y 4M, pero 8M y 14M difieren del resto (Tukey=0.050). En el C2 ( $R^2=0.1685$ ,  $F_{5,94}=3.8100$ ,  $p=0.0035$ ) las semillas sin almacenaje (0M) difieren de las almacenadas (4, 8 y 14 meses) (Tukey=0.050). La diferencia observada en cada ANDEVA de los componentes 1 y 2 se debe al período de almacenamiento.

En la segunda evaluación, con 16 meses de edad, las plantas ya no tienen cotiledones. De 81 plantas evaluadas, 78 tenían la raíz enrollada en sí misma y 49 mostraban protuberancias radicales. En el análisis se eligieron tres componentes (C1, C2, C3) (Cuadro 6 y 7); el C1 está dominado por BS en raíz y BS en raíz-vástago; el C2 por el número de hojas y la BS en hojas, y el C3 por la longitud del vástago y BS en hojas (Fig. 2). En el C1 hay diferencias en las plantas según el almacenamiento ( $R^2=0.2995$ ,  $F_{5,73}=6.2427$ ,  $p<0.0001$ ); se notaron similitudes entre 0M, 4M y 8M, y estos tiempos son distintos a 14M (Tukey=0.050). También hay diferencias en el C2 ( $R^2=0.4283$ ,  $F_{5,73}=10.9416$ ,  $p<0.0001$ ); plantas de semillas sin almacenamiento (0M) son similares a las almacenadas 14 meses, pero difieren de aquellas con 4 y 8 meses; además, estos tiempos son diferentes entre sí (Tukey=0.050). Las diferencias en los modelos que incluyen C1 y C2 se deben a la variable período de almacenamiento; sin embargo, en el C3 se encontraron diferencias en las plantas debidas a ambos factores de almacenamiento (período y temperatura) ( $R^2=0.1593$ ,  $F_{5,73}=2.7672$ ,  $p=0.0241$ ). Las plantas obtenidas de semillas conservadas a temperatura ambiente durante 8 meses, y a 5 °C por 14 meses, son diferentes al resto (Tukey=0.050).

Se demostró que el área foliar específica (AFE) no cambia con la temperatura de almacenaje ( $R^2=0.0633$ ,  $F_{2,87}= 2.9388$ ,  $p<0.0582$ ). El AFE promedio ( $\pm$  desviación estándar) es de 226.9707 ( $\pm$  71.9508)  $\text{cm}^2/\text{g}$  a 5 °C, 195.1149 ( $\pm$  38.3034)  $\text{cm}^2/\text{g}$  a 15 °C y 222.8564 ( $\pm$  50.4970)  $\text{cm}^2/\text{g}$  a temperatura ambiente.

**Crecimiento según la luminosidad:** En el experimento murieron algunas plantas, principalmente en la condición de sombra. Según los análisis de morfometría, a los 14 meses no se encontraron diferencias entre plantas expuestas a sol ( $n=9$ ) y sombra ( $n=6$ ) en longitud del tallo ( $\chi^2=2.7222$ ,  $\text{g.l.}=1$ ,  $p<0.0990$ ), diámetro de tallo ( $\chi^2=2.0108$ ,  $\text{g.l.}=1$ ,  $p<0.1562$ ) y número de hojas ( $\chi^2=2.1818$ ,  $\text{g.l.}=1$ ,  $p<0.1396$ ) (Fig. 3). Las plantas al sol

mostraron tonalidades más verdes, pero en ambas condiciones los cotiledones se secaron a los seis meses y permanecieron pegados hasta 14 meses.

## DISCUSIÓN

Las semillas de *Crescentia alata* son longevas, porque después de almacenarlas 14 meses el porcentaje de germinación fue alto y la tasa de crecimiento de plantas fue buena. El deterioro de la calidad de la semilla durante el almacenamiento aumenta a temperaturas medias (22-24 °C) y con mayor humedad. Al contrario, al disminuir el metabolismo de la semilla a bajas temperaturas y con menor contenido hídrico, aumenta el vigor (Salinas et al., 2001; Doria, 2010). Asimismo, la composición química de la semilla de cada especie influye en el vigor, como el contenido de ácidos grasos (Salinas et al., 2001). Los ácidos grasos actúan como antioxidantes e impiden la acción catabólica de los radicales libres en la membrana celular (Halliwell, 1990; Avello & Suwalsky, 2006; Castaño, Valencia, Murillo, Méndez & Joli, 2012). Por tanto, un alto contenido de estos en la semilla protege del deterioro de las membranas celulares, preservando su calidad; esto podría explicar la resistencia de las semillas de *C. alata* ante largos períodos de almacenamiento, pues posee 38 % de lípidos y cierto contenido de ácido fitico, que también actúa como antioxidante (Corrales et al., 2017).

Las semillas de *Crescentia alata* no pierden la viabilidad con el almacenamiento durante tres años (Valverde-Rodríguez et al., en prep.), pero el crecimiento de las plántulas varía según el tiempo de almacenaje. En ocasiones, la longitud del hipocótilo se usa como indicador de crecimiento en las plántulas; en *Coffea arabica* L. (Rubiaceae) el hipocótilo crece menos si las semillas fueron previamente secadas a 40 °C o almacenadas a 20 °C; además, las semillas se deterioran y germinan menos al preservarlas un año (Barboza & Herrera, 1990). Cuando se almacenan las semillas de jícara durante 14 meses, no disminuye la longitud del hipocótilo ni el crecimiento de las plántulas; cuando esas semillas permanecen a 5 °C ó 15 °C, germinan hasta 90 %, mientras que a temperatura ambiente se reduce la viabilidad de estos propágulos (Valverde-Rodríguez et al., en prep.), pero no considerablemente el crecimiento de las plántulas.

La germinación y el contenido de humedad (CH) de las semillas (Valverde-Rodríguez et al., en prep.) de *C. alata* no tienen relación. Al ser la semilla ortodoxa, soporta bajos niveles de humedad. Es probable que variaciones del CH entre 5 y 11 % sean demasiado pequeñas para provocar cambios en la longitud de la radícula y en la germinación. En próximos experimentos, se recomienda utilizar sacos de papel aluminio para controlar mejor el ambiente de almacenamiento (Salinas et al., 2001) y registrar si aumenta la longitud de la radícula con otros contenidos de humedad superiores (Barboza & Herrera, 1990; Doria, 2010).

Las tasas de crecimiento relativo y de elongación de tallo y raíz (TCR, TET y TER, respectivamente) disminuyen con el almacenamiento, principalmente por largos períodos, y las plantas crecieron mejor cuando se obtuvieron de semillas no almacenadas. El enrollamiento de la raíz puede ser una característica natural del crecimiento; sin embargo, puede estar relacionado con diferencias de textura y composición entre el suelo de Guanacaste (donde *C. alata* crece naturalmente) y el de San José (utilizado para el experimento), porque cada uno tiene sus propias características físicas y químicas (Méndez & Bertsch, 2012) (Anexo 2 y 3). En Santa Rosa, Guanacaste, predominan los suelos arcillosos (sonsocuites y vertisoles), que son poco profundos, pegajosos y pesados en época lluviosa, pero agrietados en la seca (Leiva, Rocha, Mata & Gutiérrez, 2009; Vargas, 2011). Así, las características edáficas, aparte de tener influencia en la distribución y selección de las especies en la sabana (Vargas, 1987), pueden influir en el desarrollo de las plantas.

En la evaluación de plantas de dos meses, las procedentes de semillas conservadas 8 meses (a tres temperaturas) tienen mayor biomasa total, con altos valores de biomasa en raíz, pero no así en hojas ni tallo. Las plantas de 0M y 8M tienen muchas raíces, mientras que las plantas de los demás tratamientos asignan los recursos a tallos. Cuando las semillas no fueron conservadas (0M), producen plantas con menor biomasa en tallos, por lo que la asignación de recursos es mayor en las raíces. Aquellas sembradas en meses calurosos, 0M en mayo y 8M en enero, desarrollan más las raíces que el tallo y las hojas, lo que puede ser una respuesta al suelo más seco y mayor transpiración de la planta por aumento de radiación solar en la época seca.



En la evaluación de 16 meses, las plantas procedentes de semillas almacenadas (a tres temperaturas) durante 4 meses y 8 meses mostraron las mayores biomásas de raíces, pero las de 14 meses tenían las menores. Con las semillas de *C. alata* conservadas durante 14M, las plantas resultantes tenían menor peso de raíces, aunque la longitud de raíz fue igual que en el resto de tratamientos. Las plantas de 8M mostraron la mayor biomasa en raíces y los valores menores en biomasa de hojas, número de hojas y longitud de tallo; estas diferencias se pueden explicar por el período de siembra, pues el trasplante se hizo en época seca (febrero) y el resto en época lluviosa. El aumento de la luz produce cambios en la planta, pues se asigna menor biomasa a hojas y mayor a raíces; de esta forma se mantiene constante la tasa de transpiración y puede abastecerse la mayor demanda de nutrientes requeridos para un crecimiento más rápido ante condiciones de mucha luz (Evans & Poorter, 2001). Además, es posible que una mayor intensidad lumínica, característica de la época seca, cause mayor evaporación del agua en el suelo y explique así las diferencias en la asignación de biomasa.

Las plantas con 16 meses de edad provenientes de semillas almacenadas 8 meses a 5 °C y 15 °C mostraron las menores longitudes de tallo, 11.88 ( $\pm$  3.33) cm y 11.47 ( $\pm$  2.70) cm, respectivamente, mientras las no preservadas midieron 16.73 ( $\pm$  4.69) cm; de este modo, el almacenamiento afecta la longitud del tallo, como en *Coffea arabica*, en la que la longitud de la planta disminuye al aumentar el tiempo de almacenamiento (Barboza & Herrera, 1990). Además, de las semillas sin almacenaje se obtienen las plantas con el mayor número de hojas, pero al almacenarlas durante 4 y 8 meses disminuye tanto el número como la biomasa de hojas. Según las condiciones de almacenamiento (tiempo y temperatura) se determinó que almacenar las semillas por 8 ó 14 meses a 5 °C reduce la longitud del tallo.

Durante el crecimiento, las plantas permanecieron en las mismas condiciones de invernadero y el AFE no se afectó por el almacenamiento. Por lo anterior, sería importante estudiar el efecto de los cambios de luminosidad en el AFE, pues el índice de área foliar de la planta es un indicador de la capacidad de absorber la radiación (Muñoz, Espinosa, Cancino & Herrera, 2008) y en un estudio se determinó que los árboles en condiciones de menor luminosidad tienen mayor área foliar por unidad de peso seco de hojas para captar mayor cantidad de luz (Garnier, Shipley, Roumet & Laurent, 2001; Muñoz et al., 2008).

También, se recomienda hacer una comparación del AFE en sitios con alta intensidad lumínica y con variaciones de luz, pues la especie es frecuente en sitios con mayor radiación solar (Guanacaste) que la dada en el lugar de estudio.

Las evaluaciones de 2 y 16 meses con 8M respecto a niveles lumínicos indican que *C. alata* se adapta a la luminosidad con la reasignación de biomasa. Sin embargo, por la leve diferencia entre los tratamientos de luminosidad, no hubo efecto en las plantas, y se requiere de niveles de luz más contrastantes. En próximos estudios sería relevante medir la aclimatación según la reasignación de nutrientes (Evans & Poorter, 2001), pues las plantas pueden aclimatarse al entorno lumínico al cambiar la biomasa asignada a cada estructura (raíces, tallos y hojas), debido a la importancia de la disponibilidad de luz para la fotosíntesis (Holt, 1995; Evans & Poorter, 2001).

Se recomienda evaluar distintas temperaturas de secado para las semillas, porque se sabe que en otras especies influyen en la capacidad germinativa, el porcentaje de germinación, la longitud del hipocótilo y de la radícula y el peso seco de la plántula. Asimismo, sería recomendable evaluar el crecimiento con niveles más contrastantes de intensidad lumínica, especialmente en el bosque tropical seco, donde la disponibilidad de agua y nutrientes en los suelos varía significativamente a lo largo del año (Hoffman, Franco, Moreira & Haridasan, 2005).

Se concluye que la mayoría de variables morfométricas medidas en plantas de *C. alata* con 8 días de germinadas aumentan su valor si provienen de semillas almacenadas. En plantas de 16 meses de edad las tasas de crecimiento relativo, de tallo y de raíz disminuyen al aumentar el tiempo de almacenamiento; además, cuando se siembran en la época seca asignan mayor biomasa a raíces que a tallo. Para establecer plantaciones se propone utilizar semillas recientes o, si se almacenan, que sea a bajas temperaturas (5 °C ó 15 °C) y por menos de ocho meses. Esto mejorará el crecimiento de las plantas de *C. alata* y las plantaciones establecidas podrán abastecer las necesidades y evitar la explotación de las poblaciones silvestres.

**Resumen:** En el bosque tropical seco, el árbol *Crescentia alata* es un recurso cultural y económico, pero algunos intentos para establecer plantaciones, que podrían satisfacer la producción comercial y, así, evitar el impacto en las poblaciones naturales, han fracasado. Por tanto, existe la necesidad de generar información biológica sobre esta especie para obtener plantas en condiciones de invernaderos. El objetivo de este trabajo fue evaluar la tasa de crecimiento de plantas de *C. alata* obtenidas de semillas que se almacenaron en diferentes períodos y a varias temperaturas, y determinar el efecto de la intensidad de la luz. Se recolectaron frutos en Liberia, Guanacaste, y se almacenaron semillas por 0, 4, 8 y 14 meses (0M, 4M, 8M y 14M) a 5 °C, 15 °C y a temperatura ambiente (22-24 °C). Las plántulas de las semillas almacenadas por 0M, 4M, 8M y 14M se trasplantaron para evaluar el crecimiento después de 8 días, 2 meses y 16 meses, y en diferentes condiciones de luz. La morfología de las plántulas de 8 días cambia según el tiempo de almacenamiento. El análisis de componentes principales de la evaluación de 2 meses indica que las variables más significativas son biomasa total seca, biomasa seca de hojas, de raíz-vástago, de tallo y de raíz, mientras que en el análisis de la evaluación de 16 meses tales variables son biomasa seca de raíz, de raíz-vástago y de hojas, también número de hojas y longitud del vástago. El área foliar específica de plantas con 16 meses de edad obtenidas de semillas almacenadas 14 meses no cambia con la temperatura de almacenamiento. Además, diferentes condiciones de luz no influyen en la altura, el diámetro del tallo o el número de hojas. El almacenamiento de las semillas a bajas temperaturas favorece el desarrollo de los cotiledones, la longitud de la raíz y del hipocótilo. Plantas de dos meses obtenidas de 0M y 8M asignan la mayoría de la biomasa a las raíces y menos a los tallos, mejorando así la absorción de agua. Plantas de 16 meses provenientes de semillas no almacenadas desarrollaron el mayor número de hojas, y aquellas de semillas 8M a 5 °C y 15 °C mostraron tallos más cortos. Concluimos que las semillas no pierden viabilidad durante los primeros tres años y se convierten en plantas bien desarrolladas después de diferentes períodos y temperaturas de almacenamiento. Se recomienda a futuros investigadores evaluar la viabilidad a diferentes temperaturas de secado de las semillas y en niveles de intensidad lumínica más contrastantes durante el crecimiento.

**Palabras claves:** Jicaro; asignación de biomasa; desarrollo de plántulas; viabilidad; vigor; almacenamiento de semillas; Costa Rica.

## AGRADECIMIENTOS

El estudio fue financiado por la Vicerrectoría de Investigación y la Escuela de Biología de la Universidad de Costa Rica. Expresamos nuestra gratitud al Centro para Investigaciones en Granos y Semillas, por facilitarnos instrumentos, y al Área de Conservación Guanacaste

por el permiso de recolecta de frutos. Además, un enorme agradecimiento a Gerardo Ávalos y a Eduardo Chacón por la orientación en el análisis estadístico, y a Axel Retana Salazar<sup>†</sup> y Paul Hanson por la identificación de insectos.

## REFERENCIAS

- Alfaro, E. A., Alvarado, A. & Chaverri, A. (2001). Cambios edáficos asociados a tres etapas sucesionales de Bosque Tropical Seco en Guanacaste, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 25 (1), 7-20.
- Avello, M. & Suwalsky, M. (2006). Radicales libres, antioxidantes naturales y mecanismos de protección. *Atenea*, 494, 161-172.
- Barboza, R. & Herrera, J. (1990). El vigor en la semilla de café y su relación con la temperatura de secado, el contenido de humedad y las condiciones de almacenamiento. *Agronomía Costarricense*, 14 (1), 1-8.
- Castaño, A., Aristizábal, M. & González, H. (2012). Requerimientos hídricos del plátano dominico-hartón (*Musa AAB Simmonds*) en la región Santágueda (Palestina, Caldas). *Revista Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Actualidad & Divulgación Científica*, 15 (2), 331-338.
- Castaño, D., Valencia, M. P., Murillo, E., Méndez, J. & Joli, J. (2012). Fatty acid composition of inca peanut (*Plukenetia volubilis* L.) and its relationship with vegetal bioactivity. *Revista Chilena de Nutrición*, 39, 45-52.
- Cordero, J. & Boshier, D. (2003). *Árboles de Centroamérica: Un manual para extensionistas*. Turrialba, Costa Rica: CATIE. Disponible en <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/al1445e/al1445e.pdf>.
- Corrales, C. V., Fliedel, G., Perez, A. M., Servent, A., Prades, A., Dornier, M.,... & Vaillant, F. (2017). Physicochemical characterization of jicaro seeds (*Crescentia alata* H.B.K.): A novel protein and oleaginous seed. *Journal of Food Composition and Analysis*, 56, 84-92.
- De Viana, M. L., Mosiario, M. J. & Morandini, M. N. (2009). Tolerancia a la desecación de semillas de dos especies arbóreas del Chaco Salteño (Argentina): *Erithryna falcata*

- Benth. y *Tecoma garrocha* Hieron. *Revista Científica Universidad de Oriente Agrícola*, 9 (3), 590-594.
- Doria, J. (2010). Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales*, 31 (1), 74-85.
- Elias, T. & Prance, G. (1978). Nectaries on the fruit of *Crescentia* and other Bignoniaceae. *Brittonia*, 30 (2), 175-181. Disponible en <http://www.jstor.org/stable/2806648>
- Evans, J. R. & Poorter, H. (2001). Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbón gain. *Plant, Cell and Environment*, 24, 755-767.
- Figueroa, S. & Bressani, R. (2000). Recursos alimenticios vegetales con potencial de explotación agroindustrial de Guatemala: elaboración de leche vegetal a partir de la semilla del fruto de morro (*Crescentia alata*). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 50 (2), 164-70.
- Galindo-González, J. (1998). Dispersión de semillas por murciélagos: su importancia en la conservación y regeneración del bosque tropical. *Acta Zoológica Mexicana*, 73, 57-74.
- Garnier, E., Shipley, B., Roumet, C. & Laurent, G. (2001). A standardized protocol for the determination of specific leaf area and leaf dry matter content. *Functional Ecology*, 15, 688-695.
- Gentry, A. H. (1980). Bignoniaceae: Part 1 (Crescentieae and Tourrettieae). *Flora Neotropica*, 25, 1-130.
- González, E. (1991). Recolección y germinación de semillas de 26 especies arbóreas del bosque húmedo tropical. *Revista de Biología Tropical*, 39 (1), 47-51.
- Halliwell, B. (1990). How to characterize a biological antioxidant. *Free Radical Research Communications*, 9 (1), 1-32.
- Hoffman, W. A., Franco, A. C., Moreira, M. Z. & Haridasan, M. (2005). Specific leaf area explains differences in leaf traits between congeneric savanna and forests trees. *Functional Ecology*, 19, 932-940.

- Holt, J. S. (1995). Plant responses to light: a potential tool for weed management. *Weed Science*, 43 (3), 474-482.
- Janzen, D. (1982). Fruit traits, and seed consumption by rodents, of *Crescentia alata* (Bignoniaceae) in Santa Rosa National Park, Costa Rica. *American Journal of Botany*, 69 (8), 1258-1268.
- Lambers, H., Chapin, F. S. & Pons, T. L. (2008). *Plant physiological ecology*. Nueva York, Estados Unidos: Springer.
- Leiva, J. A., Rocha, O. J., Mata, R. & Gutiérrez, M. V. (2009). Cronología de la regeneración del bosque tropical seco en Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. II. La vegetación en relación con el suelo. *Revista de Biología Tropical*, 57 (3), 817-836.
- Méndez, J. C. & Bertsch, F. (2012). *Guía para la interpretación de la fertilidad de los suelos de Costa Rica*. San José, Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- Mostacedo, B., Pereira, M. & Fredericksen, T. (2001). Dispersión de semillas anemócoras y autócoras durante la época seca en áreas con aprovechamiento forestal en un bosque seco tropical. *Ecología en Bolivia*, 36, 3-16.
- Muñoz, F., Espinosa, M., Cancino, J. & Herrera, M. (2008). Efecto de la poda y raleo en el área foliar de *Eucalyptus nitens*. *Bosque*, 29 (1), 44-51.
- Navarro, M., Febles, G. & Torres, V. (2012). Bases conceptuales para la estimación del vigor de las semillas a través de indicadores del crecimiento y el desarrollo inicial. *Pastos y Forrajes*, 35 (3), 233-246.
- Nellis, D. (1997). *Poisonous plants & animals of Florida and the Caribbean*. Sarasota, Florida: Pineapple Press Inc.
- Quesada-Monge, R. & Fernández-Vega, J. (2005). Actualización de listado de especies arbóreas de uso forestal y otros usos en Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 2 (4), 1-45.
- R Development Core Team. (2014). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria. Disponible en <http://www.R-project.org>

- Salazar, R. & Soihet, C. (2001). *Manejo de semillas de 75 especies forestales de América Latina*. Turrialba, Costa Rica: CATIE. Disponible en <http://orton.catie.ac.cr/REPDOCA4004E/A4004E.PDF>
- Salinas, A., Yoldjian, A., Craviotto, R. & Bisaro, V. (2001). Pruebas de vigor y calidad fisiológica de semillas de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 36 (2), 371-379.
- SAS Institute Inc. (2012). JMP version 10.0.0. Cary, North Carolina: SAS Institute. Disponible en <http://www.jmp.com>
- Snarkis, M. (1989). Compendio de Agronomía Tropical. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura y Ministerio de Asuntos Extranjeros de Francia. San José, Costa Rica: IICA.
- Solares, F. (2004). Etnobotánica y usos potenciales del Cirián (*Crescentia alata*, H.B.K.) en el Estado de Morelos. *Polibotánica*, 18, 13-31.
- Standley, P.C. (1928). *Flora of the Panama Canal Zone*. (Contributions from the United States National Herbarium, 27). Washington, Estados Unidos. (Reimpreso 1968, Lehre, Alemania: Cramer).
- Vargas, G. (1987). Estudio cuantitativo y bioclimatológico de la vegetación leñosa de sabana en el Parque Nacional de Santa Rosa, Costa Rica. *Conference of Latin Americanist Geographers*, 13, 72-81. Disponible en <http://www.jstor.org/stable/25765683>
- Vargas, G. (2011). Estudio cartográfico de los cambios de la vegetación de sabana en el Parque Nacional Santa Rosa, Guanacaste. *Revista Geográfica*, 47, 71-96.
- Zamora, S., García, J., Bonilla, G., Aguilar, H., Harvey, C. A. & Ibrahim, M. (2001). ¿Cómo utilizar los frutos de guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), guácimo (*Guazuma ulmifolia*), cenízaro (*Pithecellobium saman*) y jícaro (*Crescentia alata*) en alimentación animal? *Agroforestería en las Américas*, 8 (31), 45-49.

## CUADRO 1

Contenido de humedad (promedio  $\pm$  desviación estándar) de semillas de *Crescentia alata* almacenadas a temperatura ambiente, 5 °C y 15 °C por 14 meses, San José, Costa Rica

TABLE I

Moisture content (averages  $\pm$  standard deviation) of *Crescentia alata* seeds stored at ambient temperature, 5 °C, and 15 °C for 14 months, San José, Costa Rica

Período	Temperatura		
	5 °C	15 °C	Ambiente
0	10.5423 $\pm$ 0.6105	10.5423 $\pm$ 0.6105	10.5423 $\pm$ 0.6105
4	10.4102 $\pm$ 0.4697	7.4850 $\pm$ 0.2589	9.1418 $\pm$ 0.3839
8	9.3846 $\pm$ 2.5292	8.8163 $\pm$ 1.9178	8.7376 $\pm$ 1.3936
14	9.9816 $\pm$ 0.1409	6.6615 $\pm$ 1.7786	10.3248 $\pm$ 0.4300



## CUADRO 2

Fórmulas de variables con sus respectivas unidades utilizadas en el análisis de crecimiento de plantas de *Crescentia alata* en condiciones de invernadero, San José, Costa Rica

TABLE 2

Formulas of variables with their respective units used in the analysis of plant growth of *Crescentia alata* in greenhouse conditions, San José, Costa Rica

Variables	Fórmulas
Tasa de crecimiento relativo	$\frac{\text{Biomasa húmeda final (g)} - \text{Biomasa húmeda inicial (g)}}{\text{Tiempo (meses)}}$
Tasa de elongación del tallo y raíz	$\frac{\text{Elongación final (cm)} - \text{Elongación inicial (cm)}}{\text{Tiempo (meses)}}$
Biomasa total húmeda	Peso fresco del vástago (g) + Peso fresco de raíz (g)
Biomasa total seca	Peso seco del vástago (g) + Peso seco de raíz (g)
Contenido de humedad: raíz, tallo y hojas	$\frac{\text{Biomasa húmeda (g)} - \text{Biomasa seca (g)}}{\text{Biomasa húmeda (g)}} * 100$
Contenido de humedad en la planta	$\frac{\text{Biomasa total húmeda (g)} - \text{Biomasa total seca (g)}}{\text{Biomasa total húmeda (g)}} * 100$
Índice de área foliar por planta	$\frac{\text{Área foliar total (cm}^2\text{)}}{\text{Biomasa total seca de hojas (g)}}$
Biomasa asignada a: raíz, tallo y hojas	$\frac{\text{Biomasa seca (estructura) (g)}}{\text{Biomasa total seca (g)}}$
Relación entre raíz y vástago en la planta	$\frac{\text{Biomasa seca raíz (g)}}{\text{Biomasa seca (vástago) (g)}}$
Área foliar específica	$\frac{\text{Área foliar (cm}^2\text{)}}{\text{Biomasa seca de hoja (g)}}$

## CUADRO 3

Resultados del análisis de varianza de una vía para cada medición en las plántulas de *Crescentia alata* provenientes de semillas almacenadas por 14 meses a distintas temperaturas (5 °C, 15 °C y ambiente)

TABLE 3

Results of the one-way analysis of variance for each measurement in *Crescentia alata* seedlings from seeds stored for 14 months at different temperatures (5 °C, 15 °C, and ambient temperature)

Variabes	5 °C	15 °C	Ambiente
Ancho del cotiledón	$R^2=0.0678$ , $F_{1,78}=5.6757$ , $p=0.0196^*$	$R^2=0.0203$ , $F_{1,78}=1.6132$ , $p=0.2078$	$R^2=0.0432$ , $F_{1,78}=3.5231$ , $p=0.0643$
Largo del cotiledón	$R^2=0.1780$ , $F_{1,78}=16.8966$ , $p=0.0001^*$	$R^2=0.1228$ , $F_{1,78}=10.9219$ , $p=0.0014^*$	$R^2=0.1224$ , $F_{1,78}=10.8846$ , $p=0.0015^*$
Longitud de radícula	$R^2=0.0454$ , $F_{1,78}=3.7096$ , $p=0.0577$	$R^2=0.1076$ , $F_{1,78}=9.4097$ , $p=0.0030^*$	$R^2=0.0373$ , $F_{1,78}=3.0261$ , $p=0.0859$
Hipocótilo	$R^2=0.1197$ , $F_{1,78}=10.6125$ , $p=0.0017^*$	$R^2=0.4602$ , $F_{1,78}=66.4964$ , $p<0.0001^*$	$R^2=0.3290$ , $F_{1,78}=38.2523$ , $p<0.0001^*$
Epicótilo	$R^2=0.0133$ , $F_{1,78}=1.0521$ , $p=0.3082$	$R^2=0.0355$ , $F_{1,78}=2.8688$ , $p=0.0943$	$R^2=0.0477$ , $F_{1,78}=3.9113$ , $p=0.0515$

\*Valores estadísticamente significativos con  $p<0.05$

## CUADRO 4

Promedio y desviación estándar de las variables con peso fresco evaluadas en plantas de *Crescentia alata* con 2 y 16 meses de edad en condiciones de invernadero, obtenidas de semillas almacenadas por distintos periodos (0, 4, 8 y 14 meses) y temperaturas (5 °C, 15 °C y ambiente (22-24 °C)). Simbología: per=período, temp.=temperatura, BTH=biomasa total húmeda, CH= contenido de humedad

TABLE 4

Mean and standard deviation of fresh weight variables evaluated in *Crescentia alata* plants with 2 and 16 months of age under greenhouse conditions, obtained from seeds stored at different periods (0, 4, 8 and 14 months) and temperatures (5 °C, 15 °C, and ambient temperature (22-24 °C)). Symbology: per = period, temp = temperature, BTH = total wet biomass, CH = moisture content

Per.	Temp.	2 meses (N=10)					16 meses					N
		BTH	CH raiz	CH tallo	CH hojas	CH planta	BTH	CH raiz	CH tallo	CH hojas	CH planta	
0	Amb.	0.6982 ±0.1079	82.3214 ±2.3786	81.4076 ±2.9081	79.8664 ±2.4944	81.1605 ±2.1072	16.0012 ±6.3328	75.5359 ±2.4598	70.4523 ±3.5776	64.5677 ±13.0780	72.2377 ±3.1537	7
4	5 °C	1.4435 ±0.4442	83.9265 ±2.6544	80.9357 ±2.6286	79.6150 ±2.4092	81.3170 ±2.3121	17.3903 ±6.1597	72.1137 ±5.1345	64.4314 ±4.4517	67.2201 ±2.0715	70.0749 ±4.2071	6
4	15 °C	1.6461 ±0.2701	85.9723 ±1.4537	81.8921 ±2.4597	80.7468 ±1.2408	82.6488 ±1.5102	16.2739 ±6.5715	76.2883 ±8.2445	64.2086 ±2.9364	67.0624 ±4.9592	73.1613 ±6.1628	8
4	Amb.	1.4559 ±0.3113	84.1828 ±1.4931	80.5461 ±1.2883	79.7071 ±1.5358	81.4316 ±1.1967	16.0109 ±11.9111	76.0320 ±2.4196	66.8276 ±1.5243	69.8994 ±3.3039	73.2149 ±2.0325	7
8	5 °C	4.2170 ±1.3033	82.7973 ±2.0022	78.2087 ±2.1526	73.7945 ±2.4967	78.9865 ±1.2246	8.5618 ±2.4786	75.7377 ±4.0117	68.2043 ±2.2657	61.6695 ±21.9132	73.5001 ±3.0446	10
8	15 °C	3.5146 ±0.9910	80.8609 ±2.4656	76.4009 ±3.0355	68.9157 ±3.5548	76.2086 ±2.2447	9.4958 ±4.2415	73.3530 ±2.3185	65.2154 ±1.6920	60.1259 ±26.6632	71.5394 ±1.7159	7
8	Amb.	3.5102 ±1.1198	81.8994 ±1.4356	79.3281 ±4.0174	73.7911 ±3.2899	78.4026 ±2.2123	14.6702 ±8.7883	77.7665 ±3.5212	67.6608 ±3.0218	69.4792 ±7.2664	74.8465 ±2.4438	8
14	5 °C	2.1292 ±0.7916	85.4315 ±1.8052	80.9883 ±4.1900	79.3028 ±4.0578	82.1647 ±1.9758	4.9750 ±2.4423	75.6524 ±3.7302	66.0579 ±3.9533	68.3426 ±3.8107	70.9926 ±2.7654	9
14	15 °C	1.5359 ±0.4406	84.9248 ±2.3894	81.7543 ±3.0510	80.217 ±2.7532	82.0260 ±2.4373	14.4641 ±6.5741	77.1689 ±4.2736	64.8022 ±11.7554	71.4569 ±4.0676	73.4522 ±2.7685	9
14	Amb.	2.0735 ±0.8185	83.1979 ±1.6807	81.1172 ±2.0567	75.9288 ±2.2960	80.0441 ±1.4193	13.8337 ±12.3366	67.9044 ±17.6994	66.9878 ±2.2072	68.5894 ±2.4439	69.2164 ±5.5438	8

## CUADRO 5

Promedio y desviación estándar de las tasas mensuales de crecimiento relativo (TCR), de elongación del tallo (TET) y de la raíz (TER) en plantas de *Crescentia alata* con 2 y 16 meses de edad, obtenidas de semillas almacenadas en distintos periodos y temperaturas

TABLE 5

Mean and standard deviation of monthly relative-growth rates (TCR), stem (TET) and root (TER) elongation in plants of *Crescentia alata* with 2 and 16 months of age, born from seeds stored at different periods and temperatures

Periodo	Temperatura	N	TCR(cm/mes)	TET (cm/mes)	TER (cm/mes)
0	Ambiente	7	1.09±0.45	0.65±0.34	1.91±1.15
4	5 °C	6	1.12±0.43	0.41±0.13	0.95±0.88
4	15 °C	8	1.04±0.47	0.22±0.30	1.24±1.01
4	Ambiente	7	1.03±0.84	0.32±0.34	0.49±1.51
8	5 °C	10	0.31±0.18	-0.17±0.37	0.85±1.13
8	15 °C	7	0.43±0.28	-0.20±0.26	0.49±0.80
8	Ambiente	8	0.80±0.61	0.43±0.32	1.08±1.83
14	5 °C	9	0.20±0.15	0.25±0.17	0.72±0.95
14	15 °C	9	0.92±0.47	0.34±0.25	1.09±0.73
14	Ambiente	8	0.84±0.88	0.26±0.36	0.90±0.77

## CUADRO 6

Resultados de análisis de componentes principales en dos evaluaciones de plantas de *Crescentia alata* con 2 y 16 meses de edad en condiciones de invernadero

TABLE 6

Results of Principal Component Analysis in two evaluations of *Crescentia alata* plants with 2 and 16 months of age under greenhouse conditions

	ACP	Eigenvalue	Porcentaje	Porcentaje acumulado
2 meses	1	4.1637	46.2630	46.2630
	2	2.4114	26.7940	73.0560
16 meses	1	3.5743	39.7140	39.7140
	2	2.2022	24.4690	64.183
	3	1.2886	14.3180	78.501

## CUADRO 7

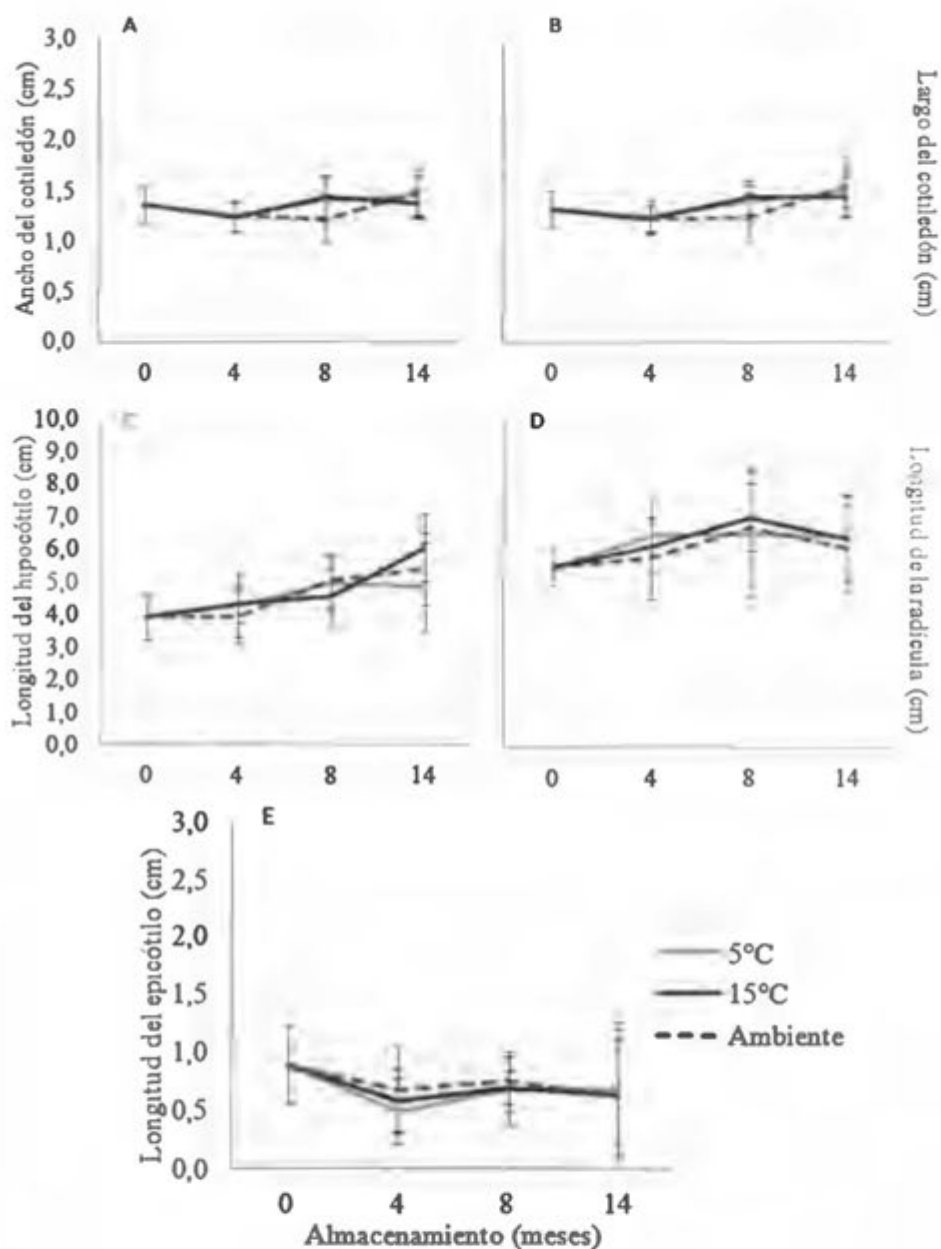
Resultados de autovectores ("eigenvectors") en el ACP de dos evaluaciones de plantas de *Crescentia alata* con 2 y 16 meses de edad en condiciones de invernadero

TABLE 7

Results of eigenvectors in a Principal Component Analysis of two evaluations of *Crescentia alata* plants with 2 and 16 months of age under greenhouse conditions

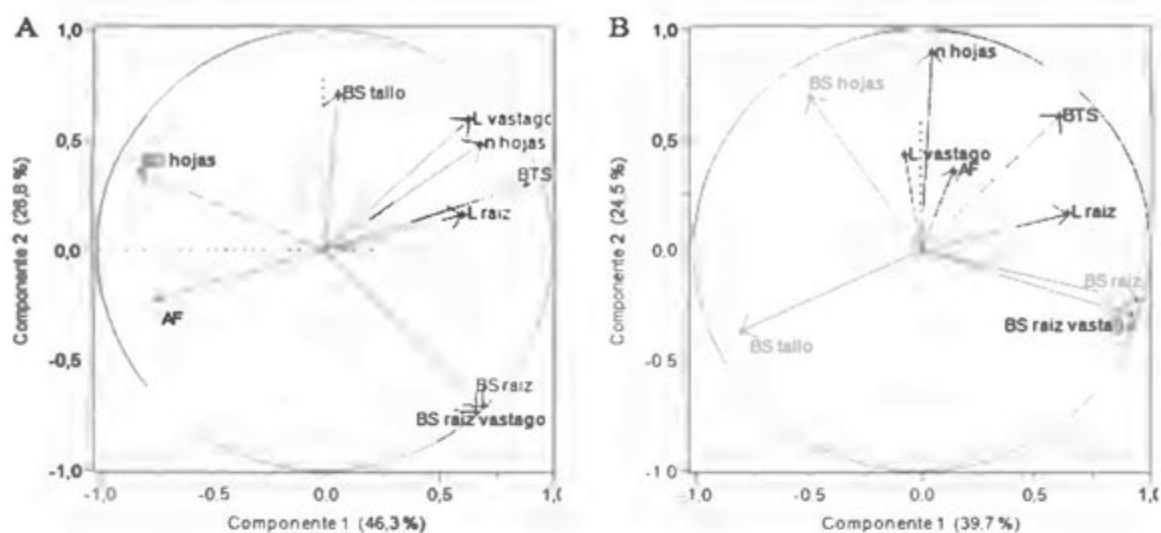
	2 meses		16 meses		
	ACP 1	ACP 2	ACP 1	ACP 2	ACP 3
Longitud del vástago	0.3112	0.3815	-0.0784	0.2614	0.7703*
Longitud de raíz	0.2959	0.1031	0.3557	0.1654	-0.1327
Número de hojas	0.3366	0.3106	-0.0265	0.5987*	0.0454
Área foliar	-0.3628	-0.1454	0.1038	0.2690	-0.2464
Biomasa total seca	0.4335*	0.1915	0.3073	0.4126	0.2885
Biomasa en tallo	0.0289	0.4533*	-0.4311	-0.2321	0.2730
Biomasa en raíz	0.3420	-0.4568*	0.5033*	-0.1393	0.0775
Biomasa en hojas	-0.3968*	0.2318	-0.2723	0.4480*	-0.4019*
Relación raíz-vástago	0.3280	-0.4707*	0.4980*	-0.1709	0.0301

\*Valores mayores en cada componente.



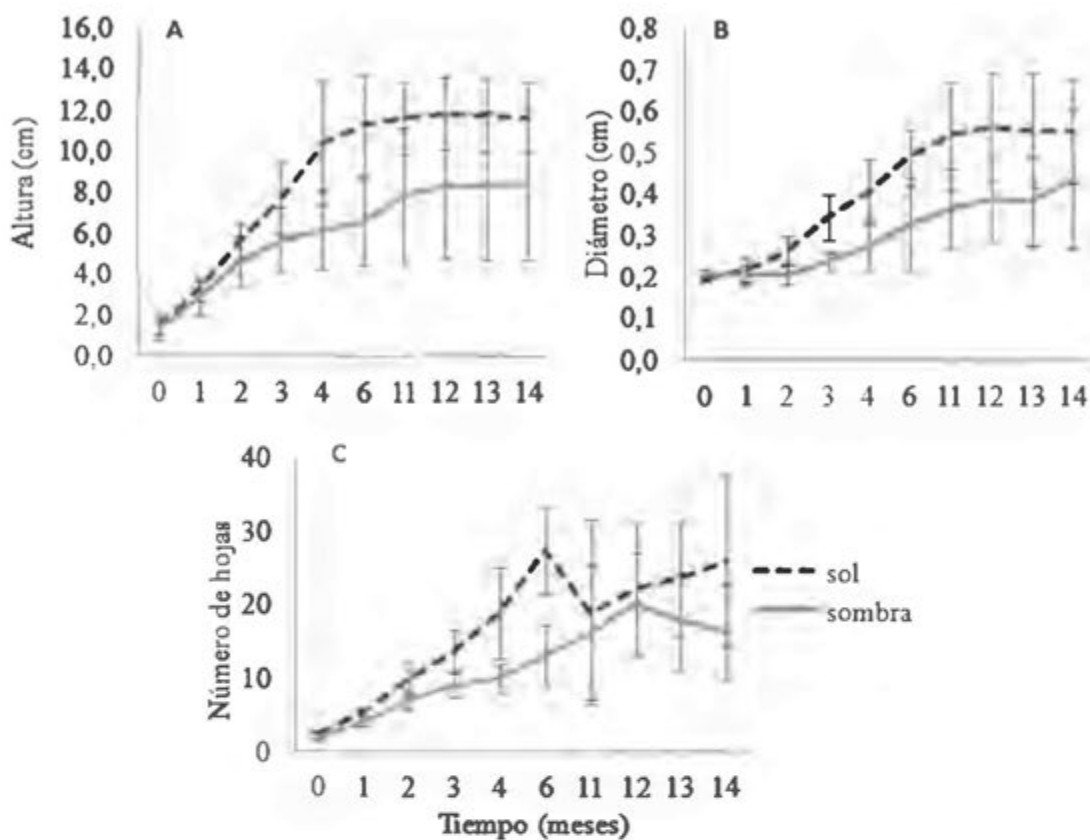
**Fig. 1.** Datos morfométricos (promedios  $\pm$  desviación estándar) en plántulas de *Crescentia alata* de ca. 2 días de edad obtenidas en pruebas de germinación, según períodos de almacenamiento (0, 4, 8 y 14 meses) y temperaturas (5 °C, 15 °C y ambiente). A. ancho del cotiledón; B. longitud del cotiledón; C. longitud del hipocótilo; D. longitud de la radícula; E. longitud del epicótilo.

**Fig. 1.** Morphometric data (averages  $\pm$  standard deviation) in ca. 2-days old seedlings of *Crescentia alata* obtained in germination tests, related to storage periods (0, 4, 8, and 14 months) and temperatures (5 °C, 15 °C, and ambient temperature). A. cotyledon width; B. cotyledon length; C. hypocotyl length; D. radicle length; E. epicotyl length.



**Fig. 2.** Análisis de componentes principales de plantas de *Crescentia alata* en condiciones de invernadero con diferentes edades. **A.** evaluación de 2 meses; **B.** evaluación de 16 meses. Simbología: nhojas = número de hojas, AF = área foliar, Lraiz = longitud de raíz, Lvástago = longitud de vástago, BTS = biomasa total seca, BS hojas = biomasa seca asignada a hojas, BS tallo = biomasa seca asignada a tallo, BS raiz = biomasa seca asignada a raíz, BS raiz-vástago = relación de biomasa seca en raíz y vástago.

**Fig. 2.** Principal Component Analysis of *Crescentia alata* plants in greenhouse conditions with different ages. **A.** two-month evaluation; **B.** sixteen-month evaluation. Symbology: nhojas = leaf number, AF = leaf area, Lraiz = root length, Lvástago = shoot length, BTS = total dry biomass, BS hojas = dry biomass allocated to leaves, BS tallo = dry biomass allocated to stem, BS raiz = dry biomass allocated to root, BS raiz-vástago = dry biomass ratio in root and shoot.



**Fig. 3.** Morfometría (promedios  $\pm$  desviación estándar) en plantas de *Crescentia alata* según luminosidad (sol y sombra) en condiciones de invernadero durante 14 meses en San José, Costa Rica. A. altura del tallo (cm); B. diámetro del tallo (cm); C. número de hojas.

**Fig. 3.** Morphometry (averages  $\pm$  standard deviation) in *Crescentia alata* plants related to luminosity (sun and shade) in greenhouse conditions during 14 months in San José, Costa Rica. A. stem height (cm); B. stem diameter (cm); C. leaf number.



### Información de apoyo

Anexo 1. Ubicación de los 20 árboles de *Crescentia alata* del muestreo en el Parque Nacional Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. Nota: Imágenes obtenidas de Google Earth.



Anexo 2. Análisis de suelo del Parque Nacional Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica, realizado por el Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA).



**CENTRO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS  
LABORATORIO DE SUELOS Y FOLIARES  
REPORTE DE ENSAYO**

SC124 SF-01-R01 (v9)

**N° DE REPORTE: 56813**  
**USUARIO:** KIMBERLY VALVERDE RODRIGUEZ  
**SUBCIENTE:** UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
**RESPONSABLE:** KIMBERLY VALVERDE RODRIGUEZ  
**CORREO:** kuan124@hotmail.com  
**TELÉFONO:** 8897 2500

**PROVINCIA:** GUANACASTE  
**CANTON:** LA CRUZ  
**LOCALIDAD:** SANTA ROSA  
**CULTIVO:** JICAROS

**ANÁLISIS:** QC  
**FECHA RECEPCIÓN:** 01/02/2016  
**EMISIÓN DE REPORTE:** 12/02/2016  
**N° DE MUESTRAS TOTAL:** 2  
**PAGINA:** 1/1

ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS														
Solución Extractora		pH	cmol(+)L					%	mg/L					ml/cm
KCl-Olsen Modificado		H <sub>2</sub> O	ACIDEZ	Ca	Mg	K	CICE	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn	CE
ID USUARIO	ID LAB	5.5	0.5	4	1	0.2	5		10	3	1	10	5	1.6
CORTA FLECCS	S 16-00955	6.2	0.09	13.29	6.37	0.19	19.94	0.5	3	1.8	16	170	26	0.1
BOSQUES	S 16-00956	6.0	0.14	12.78	5.81	0.25	18.98	0.7	3	3.4	17	272	43	0.1

En los valores expresados de todo este informe corresponden con los valores críticos generales para el cultivo de JICAROS.

CICE = Capacidad de intercambio de Cationes (Reserva Acetato) a Mg/L

SA = Porcentaje de Saturación de Acidez (Acidez/CICE) \* 100

*Floria Bertschi H.*  
**Floria Bertschi H.**  
**COORDINADORA**

*Mariel Alvarez B.*  
**Mariel Alvarez B.**  
**N. 1. 2835**

1. Los valores están expresados en base seca, excepto 2. Procedimiento: 1) en agua 10.25 Acidez, A, Ca y Mg con KCl 1M 1:10, Fe, Zn, Pb, Mn y Cu con HNO<sub>3</sub> Modificado por A.S. (Hartley) y N. M. FOSTA 0.01M (Spectra 177) 1:10, S con CaH<sub>2</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 1:10 1:0.001M 10:25. Acidez determinada por valoración con NaOH y A. con HCl. P y N por Colorímetro con el Analizador de Inyección de Flujo (FIA) y el resto de los elementos por espectrofotometría de absorción atómica. L y H por titulación seca en Adulterante y Capacidad Intercambio (CE) en agua en relación 1:1. 3. El muestreo es responsabilidad del usuario. 4. Los resultados se refieren únicamente a las muestras enviadas. 5. P. tiempo de calidad de las muestras es de 90 días a partir del ingreso de la muestra. 6. El reporte de 1 mes se entrega en el original firmado y sellado (se va imprimir a las 10:00 horas del usuario) cuando el usuario recibe el envío del reporte por correo electrónico. Los errores e imprecisiones de ningún modo perjudican la integridad y confiabilidad de los resultados.

Anexo 3. Análisis de suelo utilizado en pruebas de invernadero proveniente de la Sede Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, realizado por el Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA).



CENTRO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS  
LABORATORIO DE SUELOS Y FOLIARES  
REPORTE DE ENSAYO

SC124.SF 001 R01 (v9)

Nº DE REPORTE: **55884**  
USUARIO: KIMBERLY VALVERDE RODRIGUEZ  
SUBCLIENTE: UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
RESPONSABLE: KIMBERLY VALVERDE RODRIGUEZ  
CORREO: kian124@hotmail.com  
TELÉFONO: 8897 2500

PROVINCIA: SAN JOSE  
CANTÓN: MONTES DE OCA  
LOCALIDAD: UCR  
CULTIVO: SIN CULTIVO

ANÁLISIS: QC  
FECHA RECEPCIÓN: 19/10/2015  
EMISIÓN DE REPORTE: 30/10/2015  
Nº DE MUESTRAS TOTAL: 1  
PÁGINA: 1/1

**ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS**

Solución Extractora		pH	cmol(+) / L					%	mg/L					mg/cm
KCl-Olsen Modificado		H <sub>2</sub> O	ACIDEZ	Ca	Mg	K	CICE	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn	CE
ID USUARIO	ID LAB	5,5	0,8	4	1	0,2	5		10	3	1	10	5	1,5
SUELO INVERNADERO	S-15-10472	7,0	0,12	15,47	3,05	1,13	19,78	0,6	38	17,0	20	126	5	0,6

Los valores dadas de todos elementos corresponden con la Norma Oficial y grandes para la solución extractora A099

CE: Capacidad de intercambio de Cationes (H<sub>2</sub>O) con Ca, Cu, Mg, K

SA: Porcentaje de Saturación de Acidez (Acidez/CICE)\*100

*Flora Bertach H.*

Flora Bertach H.  
COORDINADORA

*María Elena Blanco M.*

María Elena Blanco M.  
N.º. 2658

1. Los valores están expresados en base seca en mg/g. Procedimiento pH en agua 10.25 Acidez, Al, Ca y Mg con KCl M 1:10. P, K, Zn, Fe, Mn y Cu con Olsen Modificado pH 8.5 (Mehlich, O. S. N. EDTA 0.01M. Sugerencia 127) 1:10. S con Ca<sup>++</sup>Cl<sub>2</sub> H<sub>2</sub>O 0.008M 10.25. Acidez determinado por absorción con NaOH y Al con HCl, P y S por Colorimetría con el Analizador de Inyección de Flujo (FI) y el resto de los elementos por Espectrofotometría de Absorción Atómica. C y N determinados como en Autocalentador y Conductividad Eléctrica (CE) en agua en relación 1:1. 3. El método de responsabilidad del Laboratorio. 4. Los resultados se reflejan separadamente en las muestras analizadas. 5. El tiempo de entrega de los resultados es de 48 días a partir del momento de la muestra. 6. El Reporte de Ensayo válido es el original firmado y sellado que se imprime a solicitud expresa del usuario, cuando el usuario solicita el envío del reporte por correo electrónico o fax debe al laboratorio de responder la integridad y pertinencia de sus resultados.

Anexo 4. Promedios y desviaciones estándar (DE) de los porcentajes de cobertura de las fenofases en *Crescentia alata* del Parque Nacional Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica.

		Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Enc.	Feb.	Mar.
Floración	Prom.	0.00	0.00	0.00	0.00	60.63	1.25	0.00	1.25	8.13	0.13	0.31	0.00	0.00	0.00
	DE	0.00	0.00	0.00	0.00	38.75	3.85	0.00	5.59	8.63	0.56	1.40	0.00	0.00	0.00
Brote floral	Prom.	0.00	0.00	0.00	0.00	56.88	1.88	0.00	16.25	6.25	2.19	0.00	0.00	0.00	0.00
	DE	0.00	0.00	0.00	0.00	38.36	6.12	0.00	22.25	10.73	6.81	0.00	0.00	0.00	0.00
Fruto inmaduro	Prom.	6.88	7.50	3.75	3.75	0.63	25.00	15.63	5.63	10.00	14.94	10.31	3.44	2.19	0.63
	DE	11.81	12.43	7.14	7.14	2.80	28.39	21.41	10.32	10.22	20.43	15.21	5.90	6.18	1.92
Fruto maduro	Prom.	8.75	10.63	15.63	4.38	0.00	0.63	5.00	7.50	10.94	21.56	15.94	25.94	24.06	14.06
	DE	11.54	14.78	23.95	7.34	0.00	2.80	8.51	14.28	14.32	22.16	17.02	23.84	24.52	18.12
Fruto caído	Prom.	9.38	1.25	2.50	4.38	13.75	14.69	11.88	2.50	1.88	5.13	3.44	4.69	4.06	10.31
	DE	17.62	3.85	6.54	9.31	16.17	23.41	12.48	6.54	6.12	16.77	5.54	9.70	6.81	22.24
Foliación	Prom.	71.88	45.63	48.75	22.50	90.00	87.50	74.38	78.75	70.63	72.50	67.50	58.13	35.31	24.50
	DE	17.62	29.88	29.50	17.49	17.49	18.58	20.06	17.25	23.39	21.31	23.35	27.88	24.36	23.16
Brote foliar	Prom.	17.50	23.75	42.50	14.38	82.50	13.13	13.13	13.13	6.25	0.00	0.00	0.63	6.25	2.81
	DE	21.23	21.80	33.79	17.81	20.44	14.32	4.93	8.58	6.41	0.00	0.00	2.80	6.41	6.24
Daño foliar	Prom.	53.75	70.00	47.50	2.94	1.25	45.00	20.00	47.50	35.00	30.00	50.00	52.50	60.00	80.26
	DE	21.88	25.13	32.34	12.13	5.59	28.79	25.13	49.93	14.96	13.08	18.14	17.95	17.01	27.10

## CONCLUSIONES

- Los patrones fenológicos de *Crescentia alata* en el Parque Nacional Santa Rosa se atribuyen, en mayor grado, a precipitación, temperatura mínima, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar. Tales fenofases también podrían depender de relaciones complejas entre factores endógenos, respuestas al ambiente e interacción con otros componentes de la comunidad.
- En la población de *C. alata* del Parque Nacional Santa Rosa, el follaje abunda en junio, los máximos valores de floración se observan en junio y octubre, y el mayor número de frutos maduros se cuenta en enero y escasean en junio y julio.
- La germinación de *C. alata* inicia entre 4 y 6 días y a los 21 días alcanza valores de 90 %, sin necesidad de tratamiento pregerminativo, y la mejor germinación se obtiene en condiciones iluminadas y con temperaturas superiores a 20 °C.
- Las condiciones óptimas para almacenar semillas de *C. alata* y mantener la viabilidad por más tiempo, hasta por tres años, son bajas temperaturas (5 °C y 15 °C), bajo contenido de humedad entre 6 y 11 %, previa extracción del fruto y limpieza de las semillas.
- En plantas de *C. alata* las tasas de crecimiento relativo, de elongación del tallo y de elongación de raíz (TCR, TET y TER) disminuyen al aumentar el tiempo de almacenamiento; cuando las plántulas se siembran en la época seca asignan mayor biomasa a raíces que a tallo.
- Para establecer plantaciones se propone utilizar semillas recientes o, si se almacenan, que sea a bajas temperaturas (5 °C ó 15 °C) y por menos de ocho meses.