

ECOLOGÍA POBLACIONAL Y REPRODUCTIVA DE *CORDIA BELLONIS* URB.
(BORAGINACEAE), UNA ESPECIE EN PELIGRO

Por

Ana María Sánchez Cuervo

Tesis sometida en cumplimiento parcial de los requisitos para el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

en

BIOLOGÍA
UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ
2006

Aprobado por:

Gary J. Breckon, Ph.D.
Miembro, Comité Graduado

Fecha

Allen R. Lewis, Ph.D.
Miembro, Comité Graduado

Fecha

Duane A. Kolterman, Ph.D.
Presidente, Comité Graduado

Fecha

Miguel Muñoz, Ph.D.
Representante de Estudios Graduados

Fecha

Lucy B. Williams, Ph.D.
Directora de Departamento

Fecha

ABSTRACT

Cordia bellonis Urb. is a rare and endemic shrub located in the Maricao and Río Abajo Commonwealth Forests. No individuals were registered in the Susúa forest. The species grows on serpentine and limestone soils, at edges of roads and highways, with good light exposure, on shallow and humid soils, on relatively inclined slopes and in areas of moderately acid to neutral pH levels. Sexes are spatially segregated but the population is symmetrical. The proportion of sexes was not significantly different from 1:1. The flowering and fructification are synchronous and seasonal events. The flowering period occurs in the rainy season whereas the fructification begins at the end of the rainy season until the dry season. The species is visited mainly by generalist insects like moths (Noctuidae), flower flies (Syrphidae) and *Apis mellifera* L. Most seedlings were found under the canopy of the females and their recruitment occurs in the dry season. *In situ* mortality is high in the first months after germination; this occurs due to both natural causes and anthropogenic disturbances. *Cordia bellonis* does not form a seed bank in the soil. Anthropogenic disturbances are the main threat to the species, due to the proximity of road edges. It is recommended that the species continue to be listed as Endangered due mainly to the small size of the population (226 individuals), low fruit production, high rate of seedling mortality and high frequency of human disturbances.

RESUMEN

Cordia bellonis Urb. es un arbusto raro y endémico, que habita en los Bosques Estatales de Maricao y Río Abajo. No se registró ningún individuo en el bosque de Susúa. La especie crece sobre serpentina y caliza, en bordes de carreteras y caminos, con buena exposición a la luz, sobre suelos poco profundos, húmedos, pendientes relativamente inclinadas y en áreas de moderadamente ácidas a neutras. Los sexos están segregados espacialmente pero la población es simétrica. La proporción de sexos no fue significativamente diferente de 1:1. La floración y fructificación son eventos sincrónicos y estacionales. El periodo de floración ocurre en época lluviosa mientras que la fructificación comienza a finales de la época de lluvias hasta la época seca. La especie es visitada principalmente por insectos generalistas como alevillas (Noctuidae), moscas de las flores (Syrphidae) y *Apis mellifera* L. La mayor parte de las plántulas se encontraron bajo la copa de las hembras y su reclutamiento ocurre en época seca. La mortalidad *in situ* es alta en los primeros meses después de la germinación; ésta se da tanto por causas naturales como por disturbios humanos. *Cordia bellonis* no es formadora de bancos de semillas en el suelo. Los disturbios antropogénicos son la principal amenaza de la especie, debido a su cercanía a bordes de caminos. Se recomienda que la especie siga listada como En peligro de extinción debido principalmente al pequeño tamaño de la población (226 individuos), baja producción de frutos, alta tasa de mortalidad de plántulas y alta frecuencia de disturbios humanos.

A mis adorados padres Olga María y Rafael Enrique, a mis hermanos Rafael y Fabián, a mis sobrinas Valeria y María Paula y a Danką y Olek, gracias por darme la fuerza para seguir adelante, por su amor y comprensión.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco sinceramente a los Drs. Duane Kolterman, Gary Breckon y Allen Lewis por sus comentarios, consejos y revisión del manuscrito. Agradezco también al Dr. Jesús Danilo Chinaa por facilitarme los mapas topográficos digitales de los bosques de Maricao y Río Abajo. Al Dr. Miguel Muñoz y Emmanuel Feliciano por su amabilidad y cordial ayuda en el análisis de suelo. Al Departamento de Biología de la Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez, por el préstamo de materiales de campo y por el apoyo como Asistente de Cátedra. Agradezco la colaboración del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico por el permiso de trabajo en los Bosques de Maricao, Río Abajo y Susúa; particularmente la ayuda logística de Adrián Muñiz, Oficial de Manejo del Bosque Estatal de Maricao. Agradezco inmensamente a Víctor José Vega López por su ayuda en la toma de datos durante todo el tiempo de muestreo, por su amor y amistad incondicionales; y a todos mis amigos por su cariño y sinceridad. Por último, agradezco especialmente a mi familia por su apoyo en todo momento y confianza en mí.

TABLA DE CONTENIDO

ABSTRACT	II
RESUMEN	III
AGRADECIMIENTOS	V
TABLA DE CONTENIDO	VI
LISTA DE TABLAS	VIII
LISTA DE FIGURAS.....	X
INTRODUCCIÓN	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
ESPECIES RARAS, ENDÉMICAS Y EN PELIGRO DE EXTINCIÓN	4
CONSERVACIÓN Y EXTINCIÓN	5
DEMOGRAFÍA.....	6
ECOLOGÍA REPRODUCTIVA	7
FENOLOGÍA.....	8
POLINIZACIÓN.....	9
RECLUTAMIENTO Y MORTALIDAD	10
OBJETIVOS.....	11
OBJETIVO GENERAL	11
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
MÉTODOS.....	12
ÁREA DE ESTUDIO	12
ESTUDIO DE LA ESPECIE.....	13
ECOLOGÍA DE LA POBLACIÓN.....	14
Distribución y abundancia	14
Estructura y tamaño de la población	14
Reclutamiento y mortalidad.....	15
Características del entorno.....	15
ECOLOGÍA REPRODUCTIVA	15
Fenología	15
Visitantes florales.....	16
Dispersión de semillas.....	17
Germinación de semillas	17
BANCO DE SEMILLAS EN EL SUELO	18
ANÁLISIS DE SUELO.....	19
Determinación del contenido de materia orgánica.....	19
Determinación de fósforo disponible	20
Determinación de pH.....	21

DISTURBIOS	21
ANÁLISIS DE DATOS	21
RESULTADOS	24
ECOLOGÍA DE LA POBLACIÓN.....	24
Distribución y abundancia.....	24
Estructura y tamaño de la población	37
Reclutamiento y mortalidad.....	39
Características del entorno.....	41
ECOLOGÍA REPRODUCTIVA	41
Fenología	41
Visitantes florales.....	43
Dispersión de semillas.....	44
Germinación de semillas	44
BANCO DE SEMILLAS EN EL SUELO	45
ANÁLISIS DE SUELO.....	45
DISTURBIOS	46
DISCUSIÓN.....	48
ESTATUS Y RECOMENDACIONES	62
CONCLUSIONES	68
LITERATURA CITADA.....	70
TABLAS	78
FIGURAS.....	95

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Reducción de las poblaciones de <i>Cordia bellonis</i> entre los años 1990 y 2005 en los Bosques Estatales de Maricao, Río Abajo y Susúa.....	81
Tabla 2. Reducción de las poblaciones de <i>Cordia bellonis</i> entre los años 1990 y 2005 en el Bosque Estatal de Maricao.....	82
Tabla 3. Lista de plantas asociadas con <i>Cordia bellonis</i> en el Bosque Estatal de Maricao.....	83
Tabla 4. Comparación del diámetro basal entre individuos reproductivos y no reproductivos de <i>Cordia bellonis</i> en el Bosque Estatal de Maricao.....	86
Tabla 5. Comparación del diámetro basal entre machos y hembras en el Bosque Estatal de Maricao.....	87
Tabla 6. Prueba de segregación espacial de Pielou (1961) aplicada a la segregación de sexos de <i>Cordia bellonis</i> en el Bosque Estatal de Maricao.....	88
Tabla 7. Prueba de simetría de Pielou (1961) para machos y hembras de <i>Cordia bellonis</i> en el Bosque Estatal de Maricao.....	89
Tabla 8. Características del entorno de <i>Cordia bellonis</i> en el Bosque Estatal de Maricao.....	90
Tabla 9. Distancia (metros) entre las hembras y el macho más cercano de <i>Cordia bellonis</i> en el Bosque Estatal de Maricao.....	91
Tabla 10. Número de flores de <i>Cordia bellonis</i> visitadas y tiempo (segundos) promedio gastado por flor por <i>Apis mellifera</i> , Syrphidae, Pompilidae y Noctuidae.....	92
Tabla 11. Análisis de suelo de 18 hembras de <i>Cordia bellonis</i> en el Bosque Estatal de Maricao.....	93

Tabla 12. Comparación del fósforo disponible para las hembras de <i>Cordia bellonis</i> que presentaban plántulas bajo la copa y hembras sin plántulas bajo la copa en el Bosque Estatal de Maricao.....	94
Tabla 13. Comparación del contenido de materia orgánica para las hembras de <i>Cordia bellonis</i> que presentaban plántulas bajo la copa y hembras sin plántulas bajo la copa en el Bosque Estatal de Maricao.....	95
Tabla 14. Comparación del pH del suelo para las hembras de <i>Cordia bellonis</i> que presentaban plántulas bajo la copa y hembras sin plántulas bajo la copa en el Bosque Estatal De Maricao.....	96

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa que muestra la localización de los Bosques de Maricao y Río Abajo, al suroeste y centro de Puerto Rico.....	98
Figura 2. Localidades de las poblaciones de <i>Cordia bellonis</i> en el Bosque Estatal de Río Abajo	99
Figura 3. Localidades de las poblaciones de <i>Cordia bellonis</i> en el Bosque Estatal de Maricao	100
Figura 4. Distribución de individuos reproductivos y no reproductivos de <i>Cordia bellonis</i> en el Bosque Estatal de Maricao.....	101
Figura 5. Distribución de individuos reproductivos, no reproductivos y plántulas de <i>Cordia bellonis</i> sobre la carretera 120 desde el kilómetro 18 hasta el 9 en el Bosque Estatal de Maricao.....	102
Figura 6. Distribución de individuos reproductivos, no reproductivos y plántulas de <i>Cordia bellonis</i> con nuevo registro en el Bosque Estatal de Maricao.....	103
Figura 7. Distribución de frecuencias del diámetro basal para todos los individuos de <i>Cordia bellonis</i> en el Bosque Estatal de Maricao.....	104
Figura 8. Distribución de frecuencias del diámetro basal para individuos no reproductivos de <i>Cordia bellonis</i> en el Bosque Estatal de Maricao.....	105
Figura 9. Distribución del diámetro basal para individuos reproductivos de <i>Cordia bellonis</i> en el Bosque Estatal de Maricao.....	106
Figura 10. Comparación de abundancia y distribución de machos de <i>Cordia bellonis</i> sobre la carretera 120 desde los kilómetros 18 a 8, entre 1993 (Breckon y Kolterman, 1993) y 2005.....	107

Figura 11. Comparación de abundancia y distribución de hembras de <i>Cordia bellonis</i> sobre la carretera 120 desde los kilómetros 18 a 8, entre 1993 (Breckon y Kolterman, 1993) y 2005.....	108
Figura 12. Comparación de abundancia y distribución de individuos no reproductivos de <i>Cordia bellonis</i> sobre la carretera 120 desde los kilómetros 18 a 8, entre 1993 (Breckon y Kolterman, 1993) y 2005.....	109
Figura 13. Distribución de frecuencias del diámetro basal para todos los individuos de <i>Cordia bellonis</i> en el Bosque Estatal de Río Abajo.....	110
Figura 14. Plántulas reclutadas de <i>Cordia bellonis</i> en la localidad 27, segundo grupo en el Bosque Estatal de Maricao.....	111
Figura 15. Supervivencia y mortalidad de todas las plántulas de <i>Cordia bellonis</i> en el Bosque Estatal de Maricao, desde junio de 2004 a febrero de 2006.....	112
Figura 16. Supervivencia y mortalidad de las 49 plántulas de <i>Cordia bellonis</i> reclutadas en abril de 2005 en el Bosque Estatal de Maricao.....	113
Figura 17. Individuo reproductivo de <i>Cordia bellonis</i> en el Bosque Estatal de Maricao.....	114
Figura 18. Número de individuos con yemas florales de <i>Cordia bellonis</i> y precipitación total entre agosto de 2004 y febrero de 2005 en el Bosque Estatal de Maricao.....	115
Figura 19. Individuos reproductivos (femenino arriba, masculino abajo) de <i>Cordia bellonis</i> en el Bosque Estatal de Maricao.....	116
Figura 20. Número de individuos con flores de <i>Cordia bellonis</i> y precipitación total entre agosto de 2004 y febrero de 2005 en el Bosque Estatal de Maricao.....	117
Figura 21. Frutos inmaduros de <i>Cordia bellonis</i> en el Bosque Estatal de Maricao	118

Figura 22. Número de individuos con frutos inmaduros de <i>Cordia bellonis</i> y precipitación total entre agosto de 2004 y febrero de 2005 en el Bosque Estatal de Maricao.....	119
Figura 23. Frutos maduros de <i>Cordia bellonis</i> en el Bosque Estatal de Maricao.....	120
Figura 24. Número de individuos con frutos maduros de <i>Cordia bellonis</i> y precipitación total entre agosto de 2004 y febrero de 2005 en el Bosque Estatal de Maricao.....	121
Figura 25. Número de individuos con estructuras reproductivas de <i>Cordia bellonis</i> de agosto a noviembre de 2005 en el Bosque Estatal de Maricao.....	122
Figura 26. Principal visitante floral (Noctuidae-Lepidoptera) de <i>Cordia bellonis</i> en el Bosque Estatal de Maricao.....	123
Figura 27. Distribución de la actividad diurna y nocturna de los visitantes florales de <i>Cordia bellonis</i> en el Bosque Estatal de Maricao.....	124
Figura 28. Crecimiento promedio mensual de plántulas de <i>Cordia bellonis</i> en el Bosque Estatal de Maricao.....	125
Figura 29. Semilla de <i>Cordia bellonis</i> encontrada en el Bosque Estatal de Maricao.....	126

INTRODUCCIÓN

Las islas oceánicas proporcionan laboratorios naturales especiales para el estudio de los procesos de evolución, debido a la presencia de múltiples organismos endémicos y raros (Carlquist, 1974). La destrucción y modificación de gran parte de los hábitats en Puerto Rico han afectado el número y distribución de varias especies de flora y fauna de la isla, entre ellas *Cordia bellonis* Urb., una rara especie de arbusto endémico, declarado en vía de extinción en enero 10 de 1997, bajo el Acto de especies en peligro de 1973, enmendado, por el U. S Fish and Wildlife Service.

El género *Cordia* está comúnmente incluido dentro de la familia Boraginaceae y en la subfamilia Cordioideae que se distingue por su estilo bifurcado y cuatro estigmas. La familia Boraginaceae está compuesta por herbáceas, arbustos, árboles y rara vez lianas; contiene aproximadamente 117 géneros y 2400 especies. Su distribución es cosmopolita pero está particularmente bien representada en regiones templadas y subtropicales, con centros de diversidad en la zona Mediterránea y oeste de Norteamérica (Zomlefer, 1994). *Cordia* es un género con 250 a 300 especies de árboles y arbustos de regiones tropicales y subtropicales (Breckon y Kolterman, 1993). En Puerto Rico se reconocen diecisiete especies aunque dos están listadas como introducidas (Liogier y Martorell, 2000). De las quince especies nativas sólo cuatro son endémicas: *C. bellonis* Urb., *C. rupicola* Urb., *C. wagnerorum* R.A.Howard y *C. borinquensis* Urb.; una, *C. rickseckeri* Millsp., está restringida a Puerto Rico e Islas Vírgenes.

Existen varios reportes sobre la abundancia de *C. bellonis* realizados por Breckon y Kolterman (1993, 1994, 1996) bajo Acuerdos Cooperativos entre el Departamento del Interior de Estados Unidos, Servicio de Pesca y Vida Silvestre de Estados Unidos y el Departamento de

Biología de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez. Los datos obtenidos fueron de gran utilidad en la preparación del plan de recuperación para la especie por parte del Servicio de Pesca y Vida Silvestre de Estados Unidos (U.S. Fish and Wildlife Service, 1999). *Cordia bellonis* ha sido registrada en el Bosque Estatal de Maricao y en el Bosque de Susúa, en suelos de serpentina, en borde de carretera, ribera de ríos y en áreas de pendiente inclinada, en elevaciones entre 230 a 250 msnm en Susúa y 441 a 820 msnm en Maricao (Breckon y Kolterman, 1993). En el Bosque de Río Abajo, las plantas se encontraron en borde de caminos, en parches de vegetación y sitios abiertos entre colinas de caliza (U.S. Fish and Wildlife Service, 1999). En agosto de 1998, cuando el plan de recuperación fue presentado, se conocía un total de 210 individuos, distribuidos así: 87 en el Bosque de Maricao, 118 en Río Abajo y 5 en Susúa.

Dentro del Bosque Estatal de Maricao, la mayoría de individuos se registraron a lo largo de la carretera 120, vía principal del bosque (Breckon y Kolterman, 1993). Observaciones realizadas por una estudiante graduada en agosto del 2002, reportaron 9 individuos y 3 plántulas de los 25 individuos registrados en años anteriores (km 17.0-17.2). En el área cercana a la torre de observación (km 14.0), de los 13 individuos registrados sólo se encontraron 3 y en otros sitios de esta misma vía (en los cuales se habían registrado plantas aisladas) no se encontró ningún individuo (Belmarie Samalot, com. pers.). Otros individuos se registraron a lo largo de la porción superior de la vía 362, los cuales fueron removidos en su totalidad por una máquina excavadora. A lo largo del Río Maricao sobre el criadero de peces, se registraron otras plantas (Breckon y Kolterman, 1993, 1996) de las cuales se desconoce el estatus actual.

En el Bosque de Río Abajo se registraron 118 individuos, distribuidos en 12 localidades. Estas plantas fueron encontradas en 1994 por la Administración Federal de Carreteras y la Autoridad de Transportación y Carreteras de Puerto Rico. Debido a la construcción de la

carretera 10 por la Autoridad de Transportación y Carreteras de Puerto Rico en 1995, la mayoría de individuos (95 plantas) fueron removidos al invernadero de Cambalache del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico y cuidadas por personal del Departamento (U.S. Fish and Wildlife Service, 1999).

En 1991 Ricardo García y Juan Morales, estudiantes del RUM, descubrieron la planta en una ladera inclinada, orientada hacia el este-noreste, sobre la Quebrada Grande en la esquina al noreste del Bosque Estatal de Susúa. La población constaba de cinco individuos (un macho y cuatro no reproductivos) creciendo al lado oeste de la quebrada. Las plantas estaban en áreas de sombra bajo un dosel cerrado y sus oportunidades de supervivencia no eran las más favorables (Breckon y Kolterman, 1993).

El conocimiento de factores ecológicos que restringen a las especies raras, son importantes para entender la razón de su distribución actual y los parámetros necesarios para preservar las especies en el futuro. Por ello se intentaron determinar algunos aspectos sobre la ecología poblacional y reproductiva de la especie además de determinar el estatus actual de la población y realizar recomendaciones para su conservación.

REVISIÓN DE LITERATURA

Especies raras, endémicas y en peligro de extinción

Para que una especie se considere como rara debe cumplir con al menos una de estas características: si ocupa un rango geográfico reducido, aunque hay especies que pueden ser localmente muy abundantes; o si ocupa uno o pocos hábitats especializados, por ejemplo plantas que habitan sólo en marismas o en algún tipo de suelo específico. Por último, una especie rara, puede ser aquella que se encuentra sólo en poblaciones pequeñas (Primack, 1993). Estas características se observan en *Cordia bellonis*, por lo cual se considera rara. Weller (1994) asegura que la rareza de una especie, está asociada con disturbios humanos, pérdida de hábitat e introducción de especies exóticas. Debido a la pérdida de hábitat y degradación se cree que el 91% de las plantas raras del mundo están en peligro (IUCN, 2002). En Puerto Rico existen estos y otros factores de riesgo para estas especies como la alta densidad de población humana, desarrollo urbano e industria (Woodbury, 1975, citado en Santiago, 1995). Estos factores ponen en peligro de extinción a muchas especies, entre ellas *C. bellonis*, una especie en peligro debido principalmente a disturbios antrópicos.

Las especies insulares, son particularmente vulnerables a la extinción, debido a que muchas de ellas son endémicas (Primack, 1993). El término endémico, se refiere a una especie que se encuentra sólo en un sitio geográfico (Given, 1994). Por ejemplo, las plantas asociadas a suelo de serpentina, toleran bajos niveles de calcio, nitrógeno y fósforo, y altos niveles de níquel, cromo y magnesio. Estas condiciones son letales para muchas plantas, pero otras especies toleran bien estas características, por lo cual se presentan tantos endemismos en estos suelos (Whittaker, 1954).

Algunas especies neotropicales del género *Cordia* propias de las Antillas se encuentran listadas en diferentes categorías; tal es el caso de *C. wagnerorum* R.A.Howard (CR, En peligro crítico) distribuida en Puerto Rico, *C. valenzuelana* A.Rich (V, Vulnerable) distribuida en Cuba y *C. troyana* Urb. (V), *C. harrisii* Urb. (V), *C. elliptica* Sw. (LC, Riesgo menor) y *C. clarendonensis* (Britton) Stearn (V) distribuidas en Jamaica (IUCN, 2004).

Conservación y extinción

La conservación implica la preservación de ecosistemas y sus especies (Falk, 1991; Given, 1994), pero también aboga por el uso racional de éstos (Given, 1994). Hay varios argumentos para promover la conservación, como son: el rol de las plantas en el mantenimiento de la estabilidad ambiental, el valor científico de las plantas para determinar procesos ecológicos, el valor económico de las plantas para la humanidad y el derecho inherente a existir, entre otros (Given, 1994). Una de las dificultades para la conservación de la diversidad, es que hay pocos indicios sobre cuáles especies son críticas (Given, 1994); además, los patrones de abundancia y distribución de especies en la mayoría de las áreas tropicales no han sido bien documentados (Bawa y Ashton, 1991). La pérdida de una sola de estas especies puede no causar grandes cambios, pero la extinción de especies claves en ecosistemas complejos, como selvas tropicales, puede conllevar una eventual cascada de extinción de otras especies (Given, 1994).

La extinción es dinámica en la naturaleza y envuelve procesos de disturbio; además hay dos clases de eventos que conllevan a la extinción: los eventos determinísticos (fuegos, tormentas y la destrucción de vegetación por animales ferales, entre otros) que conllevan a la extinción determinística que proviene de la conversión del hábitat en los trópicos; y los eventos

estocásticos que resultan de cambios al azar, de manera que especies con poblaciones pequeñas y dispersas, tienen mayor riesgo de extinción estocástica (Given, 1994).

Demografía

Los estudios demográficos reconocen individuos en una población, determinando sus tasas de crecimiento, reproducción y sobrevivencia. La información suministrada por estudios demográficos, pueden ser usados en historias de vida para calcular la tasa de cambio de la población e identificar estados críticos en el ciclo de vida (Primack, 1993).

Frecuentemente son necesarios estudios demográficos individuales, para determinar cuáles proporciones demográficas limitan a una especie en su hábitat y cómo el manejo de ello, puede usarse para incrementar la viabilidad de la población (Schemske et al., 1994); además el monitoreo demográfico es crítico para el entendimiento de dinámicas de poblaciones de plantas raras (Simberloff, 1988). Análisis demográficos clásicos de estructura de edad, no se pueden usar en muchas especies de plantas; a menudo se usan medidas de tamaño para predecir parámetros demográficos individuales (Menges, 1991). Estos modelos basados en tamaño, pueden proveer medidas del crecimiento de la población y son base para modelos de viabilidad de poblaciones (Caswell, 1982a, 1982b).

El conocimiento de patrones de distribución y abundancia de especies raras, son fundamentales para la conservación de la diversidad genética en plantas tropicales (Bawa y Ashton, 1991). Los datos sobre variación de tamaño de población en plantas son escasos. Los estudios sobre historia natural indican que las poblaciones de algunas especies son grandes, continuas y estables; en contraste algunas especies presentan poblaciones regularmente pequeñas

y escasamente distribuidas, mientras que otras fluctúan de estación en estación (Barret y Kohn, 1991).

Ecología reproductiva

Los estudios relacionados con ecología y biología reproductiva abarcan varios aspectos como fenología, sistemas reproductivos, tipo de polinizadores, dispersores de semillas, etc. (Bawa, 1974, Ramírez, 2002). El conocimiento de sistemas reproductivos en plantas, es importante para determinar la estructura genética dentro y entre poblaciones (Hamrick y Godt, 1989, citado en Messmore y Knox, 1997; Given, 1994) además de la dinámica de poblaciones (Menges, 1991). El conocimiento del sistema reproductivo es necesario en el diseño de estrategias en el manejo de especies raras (Hamrick et al., 1991).

Algunos estudios afirman que en varias especies con poblaciones pequeñas, los sistemas reproductivos autoincompatibles pueden ponerlas en riesgo de extinción debido a la limitada disponibilidad de parejas compatibles (Messmore y Knox, 1997; Steven et al., 2003); estos factores deben ser tenidos en cuenta al diseñar estrategias de conservación (Messmore y Knox, 1997). En concordancia con este estudio, Dieringer (1999) encontró que *Agalinis skinneriana* Britton, una especie en peligro, presentó autogamia, como mecanismo para asegurar su reproducción, debido a la destrucción del hábitat y subsecuente disminución en el tamaño de la población.

Otras investigaciones estudian los sistemas reproductivos en plantas insulares raras y endémicas (Anderson et al., 2001), enfocados a plantas dioicas estrictas y facultativas o "leaky" (Humeau et al., 1999). Las angiospermas insulares han evolucionado hacia el dioicismo, algunas a través de la dispersión de semillas por aves (Bawa, 1982). Algunos autores sugieren que las

semillas y los frutos de taxones dioicos son más exitosos al colonizar islas que los taxones hermafroditos debido a la dispersión a gran distancia (Bawa, 1980, Carlquist, 1974). Sin embargo, las plantas dioicas pueden tener una reproducción sexual reducida, cuando el número de poblaciones comienza a disminuir, al igual que alguno de los dos sexos (Given, 1994).

Fenología

Los patrones fenológicos integran varias fuerzas selectivas causadas por factores climáticos y bióticos tales como el escape a pestes y la optimización para atraer polinizadores o dispersores de semillas (Hamman, 2004). En bosques lluviosos filipinos, la fenología reproductiva a nivel de comunidad sugiere que los factores climáticos son fundamentales para la fenología de árboles (Hamman, 2004). Algunos autores consideran que la precipitación es uno de los principales factores relacionados con los patrones fenológicos para zonas tanto templadas como tropicales. Los factores relacionados con la humedad juegan el papel más importante en el control de la floración de árboles, arbustos y epífitas tropicales (Ramírez, 2002). En bosques tropicales de Centroamérica, Janzen (1967) propone que los picos de floración y fructificación de árboles son el resultado de la selección para la reproducción sexual y da como ventajosa la reproducción en la estación seca. En los trópicos estacionales, la mayoría de hierbas y arbustos florecen en la estación de lluvias en contraste con especies arbóreas que florecen principalmente en la estación seca (Rathcke y Lacey, 1985).

En los trópicos estos patrones son complejos y variados (Newstrom et al., 1994); por ello no se han desarrollado metodologías estandarizadas, lo cual hace que la comparación de resultados sea a veces difícil (Albert et al., 1993, citado en González, 1998). Aun así, los estudios fenológicos son esenciales para la conservación de plantas raras y en peligro, debido básicamente

a que los picos de fructificación son detectados y al realizar programas de propagación de semillas se conocerían las épocas exactas para la recolección de frutos.

Polinización

La interacción entre flores e insectos que resulta en la polinización, envuelve varias recompensas como protección, comida, lugar para actividades reproductivas, entre otras (Pellmyr y Thien, 1986). La pérdida de un polinizador y la competencia entre polinizadores naturales y visitantes de flores exóticas pueden causar la reducción de todas las poblaciones de una especie a través del fracaso reproductivo (Given, 1994).

La flora en islas está caracterizada por una proporción relativamente alta de especies con flores inconspicuas y generalistas, las cuales pueden ser polinizadas por varios insectos pequeños (Ehrendorfer, 1979). Particularmente la familia Boraginaceae es visitada por abejas, mariposas, polillas y moscas (Zomlefer, 1994) aunque aves y murciélagos han sido reportados como polinizadores de varias especies (ej. *Cordia*) (Al-Shehbaz, 1991, citado en Zomlefer, 1994). La adquisición de sistemas autoincompatibles puede tener un efecto importante sobre la estructura genética de especies polinizadas por animales y particularmente las especies endémicas, que pueden tener menos diversidad genética dentro de sus poblaciones que las especies ampliamente distribuidas (Hamrick et al., 1991).

La técnica más utilizada en ecología de la polinización es la simple observación, la cual provee información acerca de la existencia de adaptaciones mutuas entre planta y animal (Fægri y Van der Pijl, 1979). Parte de estas técnicas conllevan la captura de los posibles polinizadores y el análisis de las cargas tanto de polen como de néctar. También es importante observar el comportamiento del polinizador en las flores; éste es frecuentemente suave.

Reclutamiento y mortalidad

La germinación y reclutamiento de plántulas son los estados más vulnerables en el ciclo de vida de las plantas (Solbrig, 1980 citado en Walck et al., 1999; Silvertown y Lovett, 1993) y pueden tener una clara influencia sobre la distribución de especies raras (Walck et al., 1999). La muerte de individuos establecidos previamente deja espacios vacíos, los cuales pueden ser utilizados para el reclutamiento de muchas poblaciones de plantas tropicales (Silvertown y Lovett, 1993). Los espacios vacantes son producidos también por disturbios; dependiendo de la escala pueden remover la vegetación existente y proveer un espacio para el reclutamiento masivo de nuevas poblaciones, usualmente de semillas (Silvertown y Lovett, 1993). Poblaciones sin estructura de edad habitan sitios donde los disturbios son periódicos, severos y extensos; éstos pueden ser causados por fuego, huracanes, sequías extremas, etc. El entendimiento de factores que restringen el establecimiento y el crecimiento de plantas endémicas puede ayudar a conservar especies raras en sus hábitats, a identificar hábitats apropiados y a la conservación *ex situ* (Schemske et al., 1994).

La mortalidad de plantas es mayor en semillas y plántulas (Harper, 1977) con lo cual se presenta una gran oportunidad para la selección natural a favor de diferentes características de dispersión que pueden aumentar la probabilidad de sobrevivencia de semillas e incrementar el establecimiento exitoso de plántulas (Harper, 1977; Howe y Smallwood, 1982). La mortalidad puede ser un factor crítico en la estructura espacial de poblaciones de árboles (Young, 2002); a menudo se relaciona con la distancia y densidad de adultos conspecíficos (Condit et al., 1994). Existen varios factores asociados con la mortalidad de plántulas, entre ellos los patógenos (Augspurger, 1984) y los factores climáticos (Herrera et al., 1994).

OBJETIVOS

Objetivo general

Estudiar algunos aspectos de la ecología poblacional y reproductiva de *Cordia bellonis* Urb. en el Bosque Estatal de Maricao.

Objetivos específicos

Localizar las poblaciones históricas en los bosques de Maricao, Susúa y Río Abajo e identificar nuevas poblaciones en el Bosque Estatal de Maricao.

Realizar una descripción del área ocupada por *Cordia bellonis* en el Bosque Estatal de Maricao.

Estimar la estructura de la población basada en clases de tamaño y determinar proporciones de machos y hembras, además de la abundancia de plántulas en el Bosque Estatal de Maricao.

Identificar visitantes florales y su comportamiento.

Estudiar la germinación *ex situ* además de observar características de reclutamiento y mortalidad *in situ*, determinando el crecimiento promedio mensual de plántulas de *Cordia bellonis*.

MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó durante junio-diciembre 2004, enero-diciembre de 2005 y febrero de 2006 en los bosques de Maricao, Río Abajo (Fig. 1) y Susúa.

El área principal de estudio fue el Bosque Estatal de Maricao, localizado en los municipios de Mayagüez, San Germán, Maricao y Sabana Grande. El bosque pertenece al gobierno del Estado Libre Asociado de Puerto Rico y es administrado por el DRNA (Departamento de Recursos Naturales y Ambientales). Posee tres zonas de vida: bosque muy húmedo subtropical, bosque húmedo subtropical y bosque húmedo montano bajo subtropical (Ewel y Whitmore, 1973). La topografía es montañosa, caracterizada por barrancos empinados y arroyos intermitentes (U.S. Fish and Wildlife Service, 1999). La elevación varía entre 150 y 875 msnm; la precipitación media anual es 2326 mm a 2466 mm, con un periodo seco de diciembre a marzo; la temperatura media anual es de 21.7°C, con una rango de 20.2°C en enero a 23°C en agosto (Silander et al., 1986).

La mayor parte del bosque de Maricao, se encuentra sobre serpentinita de origen Cretáceo. Otras formaciones presentes en el bosque, pero en menores extensiones, incluyen basalto Maricao (compuesta de brecha oscura-verdosa-grisácea y de capas de grano tosco de toba) y formación Río Loco (compuesta de flujos gruesos de lava masiva acolchonada de color oscuro-verdoso-grisáceo, los cuales contienen plagioclase, clinopiroxeno y ortopiroxeno). La mayoría de los suelos del bosque, son afloraciones de serpentinita (75-100%); diseminado entre éstas, hay áreas de suelo gravoso o guijarroso (rojo, negro o pardo-rojizo) (Departamento de Recursos Naturales, 1976).

Se han reportado 845 especies de plantas vasculares, que incluyen 278 árboles y 123 especies endémicas a Puerto Rico (Departamento de Recursos Naturales, 1976); de éstas 12 especies son endémicas a suelos de serpentina y seis endémicas al bosque de Maricao (Cedeño y Breckon, 1996). En su estudio de la flora del sistema de drenaje del Río Maricao dentro del bosque de Maricao, Cedeño (1997) encontró 582 especies, 339 géneros y 113 familias.

Estudio de la especie

Cordia bellonis fue descrita por Urban (1899) de especímenes colectados por Paul Sintenis en la localidad de Monte Alegrillo en el Municipio de Maricao. Posteriormente fue tratada por Britton y Wilson en 1925 como miembro del género *Varronia* caracterizado por tener inflorescencias en espiga, glomeradas, cáliz sin costillas y corola exsertada. Las plantas presentan porte arbustivo en áreas abiertas y expuestas pero en sitios cerrados las ramas son divaricadas y enganchan la planta a los árboles aledaños, formando una liana trepadora rígidamente ramificada (Breckon y Kolterman, 1993).

Cordia bellonis, es un arbusto de arqueado a erecto, con altura de 1 a 3 m. Las hojas son alternas, de elípticas a oblongas o oblongas-lanceoladas, de 2-6 cm de longitud y 1-2 cm de ancho, con ápice agudo, base aguda a obtusa y borde dentado o denticulado. Las flores son axilares, sésiles y funcionalmente unisexuales, de color blanco, con un cáliz globoso a ovoide de 2 mm de longitud y una corola con cuatro lóbulos subcilíndricos, que además es reducida, delgada y unida en su ápice al borde apical del cáliz. La planta es dióica. Las flores femeninas probablemente se derivan de flores con estilos largos y las flores masculinas de flores con estilos cortos (Breckon y Kolterman, 1993). El fruto es una drupa puntiaguda de aproximadamente 3 mm de longitud y contiene una sola semilla rugosa (Liogier, 1995).

Ecología de la población

Distribución y abundancia

Las localidades estudiadas fueron obtenidas de reportes realizados por Breckon y Kolterman (1993, 1994, 1996) y especímenes de herbario de la Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez (MAPR). Se gastaron aproximadamente 300 horas buscando poblaciones nuevas principalmente en el bosque de Maricao, aunque también se tuvieron en cuenta los bosques de Susúa y Río Abajo. Se tomaron coordenadas geográficas por medio de un receptor Garmin 76 GPS (Global Positioning System) de todas las plantas encontradas, tanto nuevas como registradas en años anteriores. La precisión por lo general fue de 3 a 5 m; en dos localidades con mayor cobertura arbórea se anotó la precisión indicada por el receptor. Las localidades fueron localizadas y marcadas sobre un mapa topográfico digitalizado del cuadrángulo de Maricao. Algunas localidades representaban plantas solitarias, en contraste con otros sitios en los cuales se registraron agregados compuestos por varios individuos que no sobrepasaron las 11 plantas. La elevación sobre el nivel del mar fue determinada por medio de curvas de nivel de estos mapas tanto para el Bosque de Maricao como para Río Abajo.

Estructura y tamaño de la población

Todos los individuos adultos se marcaron con chapas metálicas numeradas (excepto los hallados con chapas anteriores). Se tomaron medidas de diámetro basal del tallo; la altura de las plantas no fue una medida relevante por varias razones: las ramas viejas se parten con facilidad, la mayoría de las plantas han sufrido cortes constantes y además su hábito de crecimiento trepador no indica la longitud de la planta. Para tallos múltiples el diámetro basal se calculó

como la raíz cuadrada de la sumatoria de los cuadrados de los diámetros individuales $(\sum d_i^2)^{1/2}$. Se registró el estado reproductivo de todas las plantas encontradas en el 2004 incluyendo un conteo de plántulas, pero éstas no fueron marcadas con chapas metálicas. Las plantas que no presentaron flores durante el periodo de estudio se identificaron como individuos no reproductivos.

Reclutamiento y mortalidad

Todas las plántulas registradas en el Bosque Estatal de Maricao fueron marcadas y numeradas con cintas de color. Desde junio de 2004 hasta febrero de 2006 se observó la supervivencia y mortalidad bimensual de las plántulas, así como el reclutamiento de plántulas nuevas.

Características del entorno

Se tomaron en cuenta varias características ecológicas relevantes acerca de las plantas y su hábitat en el Bosque Estatal de Maricao, tales como pendiente, aspecto, profundidad del suelo y profundidad de la capa de hojarasca. La humedad fue determinada con el Soil Moisture Meter (LIC) el cual contiene las siguientes lecturas: 10 (wet), 6-8 (average wet), 4-6 (average), 2-4 (average dry), 0 (dry). El pH se determinó con el Soil Tester (Kel Instrument Co., Inc.).

Ecología reproductiva

Fenología

Las observaciones fenológicas se realizaron en todos los individuos reproductivos desde agosto de 2004 a febrero de 2005 y agosto de 2005 a noviembre del mismo año, en el Bosque

Estatal de Maricao. Se registró el número de individuos con flores y yemas. En el caso de las hembras se registraron datos sobre el número de individuos con frutos inmaduros y frutos maduros. Se trató de cuantificar la producción de flores para machos y hembras pero en varios individuos de ambos sexos fue imposible debido a la cantidad y tamaño de las flores además de la altura de varias ramas. La producción de frutos también fue difícil de determinar debido principalmente a la altura de las ramas. La información climática sobre precipitación total se obtuvo de la estación Maricao 2 SSW (Coordenadas: 18° 09' 0.4" N, 66° 59' 20" W) ubicada a 863 m.s.n.m. Los datos de los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre de 2005 no estuvieron disponibles a tiempo por NOAA (National Oceanic & Atmospheric Administration) por lo cual la precipitación para esta época no fue tomada en cuenta.

Visitantes florales

Se realizaron 41:45 horas de observaciones durante la época de floración de agosto a noviembre de 2004 sobre las hembras número 2, 53, 51, y sobre los machos número 21, 23, 26, 38, 39, 61; en el 2005 también se realizaron algunas horas de observación. Algunos de estos individuos se registraron sobre el camino Guamá y otros sobre la carretera 120. Se realizaron observaciones diurnas (mañana y tarde) y nocturnas. Éstas últimas se realizaron por medio de un visor infrarrojo y una cámara de video digital.

Se registraron datos sobre el tiempo y comportamiento del visitante sobre las flores y el número de flores visitadas por unidad de tiempo. En este estudio, se estableció como visitante todo organismo que interactuara con las flores.

Los insectos se colectaron con una jama y se colocaron en una cámara letal (un frasco de cristal con yeso en la tapa que se humedece con acetato de etilo para matar insectos). Con el fin

de detectar la presencia de polen, los especímenes se observaron a través de estereoscopio. La identificación de los insectos fue realizada por el Dr. Ángel Berrios del Departamento de Biología de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez.

Existe la posibilidad de polinización por el viento debido al pequeño tamaño de las flores y a la condición dioica (Tomlinson, 1974, 1980 citado en Pascarella, 1996); para evaluar esa posibilidad se encerraron algunas ramas de varias hembras con bolsas hechas de velo de novia con el fin de prevenir la polinización por insectos. En total se aislaron 800 flores.

Dispersión de semillas

Se realizaron 35:20 horas de observaciones durante la época de fructificación de noviembre de 2004 a febrero de 2005, sobre las hembras número 2, 22, 25, 51, 53. Algunos de estos individuos se registraron sobre el camino Guamá y otros sobre la carretera 120. En el 2005 también se realizaron algunas horas de observación. Se realizaron observaciones diurnas (mañana) y nocturnas. Éstas últimas se realizaron por medio de un visor infrarrojo y una cámara de video digital.

Germinación de semillas

Las pruebas de germinación se realizaron con el fin de determinar las condiciones de luz para la germinación, el porcentaje de viabilidad y mortalidad, y crecimiento promedio mensual. Las semillas se colectaron de las hembras número 2, 22, 25, 51, 53, 81. El pericarpo de los frutos se removió para extraer las semillas, se lavaron por 5 minutos en una solución de Clorox al 10% y se dejaron secar por dos días. La siembra se realizó en enero de 2005 y se llevó a cabo en el invernadero del Bosque Estatal de Maricao. Se sembraron 60 semillas en tierra mezclada con

composta (la cual se utiliza para sembrar todas las semillas y plántulas de diferentes especies en el invernadero) dispuestas en tres bandejas plásticas, cada una con espacio para 20 plántulas.

Para simular diferentes condiciones de sombra se utilizó sarán (73% de sombra) de la siguiente forma: las bandejas plásticas con las semillas se colocaron en jaulas (para evitar la predación por aves, insectos, etc). La primera jaula se dejó al descubierto, es decir, con luz solar directa, la segunda jaula se cubrió con una capa de sarán y la tercera jaula con dos capas. Se supone que las bandejas se regaran todos los días, añadiendo agua según sus requerimientos, con el fin de mantener constante el grado de humedad en ellas.

No germinó ninguna semilla después de tres meses desde la fecha de siembra, por lo cual se procedió a realizar otra siembra en el invernadero del Departamento de Biología de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez. Esta siembra se realizó de la misma forma pero usando como sustrato tierra mezclada con vermiculita.

Banco de semillas en el suelo

Con un barreno, se tomaron cuatro muestras de suelo en sitios ubicados al azar bajo la copa de las hembras. Se recolectaron dos muestras de 35.3 cm³ cada una a 5 cm y otras dos de 70.7 cm³ cada una a 10 cm de profundidad. Este procedimiento se realizó en casi todas las hembras, excepto en tres (individuos 36, 43 y 83). La primera hembra se ubicaba en la carretera 120 km 13.6, la segunda en la carretera 120 km 11.7 y la tercera en el antiguo camino que conduce al criadero de peces. Las muestras de éstas no se tomaron debido a que las plantas se encontraban en zonas de difícil acceso; por ejemplo la hembra 43 se encontraba en una zona de derrumbe y el suelo se deslizaba con facilidad. En total se obtuvieron 72 muestras de suelo; éstas

se dejaron secar al ambiente y posteriormente se tamizaron por medio de un tamiz N° 10 con poro de 2 mm.

Análisis de suelo

Debido a que sólo algunas plantas femeninas presentaban plántulas bajo las copas, se procedió a realizar un análisis de suelo con el fin de determinar si algún factor edáfico estaba influenciando la presencia y supervivencia de las mismas. Los análisis, todos realizados en el Laboratorio de Química de Suelos de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez, fueron: materia orgánica, fósforo y pH.

Determinación del contenido de materia orgánica

Este análisis se realizó con base en la metodología de Allison (1965).

Se pesaron 0.5 g de suelo seco y se colocaron en matraz Erlenmeyer de 500 ml. Se añadieron 10 ml de dicromato de potasio a 1 N y se agitó suavemente. Posteriormente se añadieron 20 ml de ácido sulfúrico concentrado. Se dejó reposar por 30 minutos. Luego se añadieron 200 ml de agua destilada y cinco gotas de ferroína. Se tituló con sulfato amónico ferroso a 0.5 N. El color va a cambiar de azul claro a verde claro y luego a rojo escarlata. Se calculó el porcentaje de carbono orgánico (% CO) y porcentaje de materia orgánica (% MO) mediante las siguientes fórmulas:

$$\% \text{ CO} = \{[(\text{ml de dicromato} \times \text{N de dicromato}) - (\text{ml de sulfato amónico ferroso} \times \text{N de sulfato amónico ferroso})] \div \text{peso del suelo (g)}\} \times 0.003 \text{ g C / meq} \times 100 \%$$

$$\% \text{ MO} = \% \text{ CO} \times 2.24$$

Determinación de fósforo disponible

Este análisis se realizó con base en la metodología de Kuo (1996).

Extracción del fósforo (P): Se pesó aproximadamente 1.0 g de suelo y se depositó en un tubo de centrifuga de 50 ml. Se añadieron 10 ml de la solución extractora (Bray I); la muestra se colocó en un agitador durante 5 minutos. Posteriormente se centrifugó a 2,500 rpm por 10 minutos. El sobrenadante se filtró a través de papel de filtro Whatman no. 42, recolectando el filtrado en un vaso pequeño. Este filtrado contiene el fósforo extraído de la solución del suelo.

Determinación del fósforo: Se preparó la solución desarrolladora de color, mezclando las cantidades necesarias del “acid molybdate stock solution” y del “ascorbic acid stock solution”. Se tomaron 2 ml de cada estándar de fósforo (soluciones de concentración conocida) y se colocaron en frascos plásticos pequeños. Luego se añadieron a cada frasco 8 ml de la solución desarrolladora de color, se agitó suavemente el contenido del frasco dejando reposar por 10 minutos (tiempo en el cual las muestras desarrollaron color) y se procedió a leer la absorbancia de las muestras.

La absorbancia fue determinada utilizando un espectrofotómetro a una longitud de onda de 882 nm. El estándar de 0 ppm de fósforo se utilizó para calibrar el equipo, programando la absorbancia de éste a 0%. Después de medir la absorbancia de los estándares, se procedió a analizar el filtrado de las muestras de suelo. Las lecturas de los estándares se utilizaron para preparar la curva de calibración por medio de una gráfica de concentración de los estándares de P en el eje X y absorbancia en el eje Y. Se halló la ecuación lineal ($y = mx + b$), despejando la variable X la cual corresponde a la concentración de fósforo. La cantidad de fósforo presente en

las muestras se determinó calculando la concentración de fósforo en el suelo utilizando la siguiente ecuación:

$$P \text{ en suelo (ppm)} = P \text{ en muestra} \times [10 \text{ ml} \div \text{peso del suelo (g)}]$$

Determinación de pH

Se pesaron 5.0 g de suelo, se agregaron en un frasco plástico y se añadieron 10 ml de agua destilada; el frasco se colocó en un agitador durante 10 minutos. Se calibró el medidor de pH utilizando un buffer o solución amortiguadora de pH = 7.0 y otro de pH = 4.0. Una vez finalizado el periodo de agitación y calibración del medidor de pH, se procedió a analizar las muestras (Thomas, 1996).

Disturbios

Se registraron datos sobre tipo y frecuencia de disturbios tanto antrópicos como naturales (incluyendo los causados por otros organismos); para ello se realizaron observaciones sobre herbivoría en todas las plantas registradas.

Análisis de datos

Se realizaron estadísticos descriptivos básicos al diámetro basal de adultos, número de flores visitadas y tiempo gastado por visitantes florales, características de entorno (humedad, pH, profundidad del suelo, etc) y análisis de suelo.

Para determinar diferencias significativas entre el diámetro basal de adultos reproductivos y no reproductivos de plantas registradas en el Bosque Estatal de Maricao, se realizó una

ANOVA; los datos fueron transformados con logaritmo común. Se compararon los diámetros basales de los adultos registrados en Maricao y Río Abajo; debido a la falta de homogeneidad de varianza, los datos se organizaron por rangos (usando Proc Rank en SAS); posteriormente se realizó una prueba t-Student.

La proporción de machos y hembras localizados en el Bosque Estatal de Maricao se analizó por medio de la prueba de bondad de ajuste (Chi-cuadrado o χ^2), bajo la hipótesis nula de una proporción 1:1.

Siguiendo la metodología del vecino más cercano de Pielou (1961), se realizó una prueba de segregación espacial entre machos y hembras. Este método es usado para analizar el grado de segregación en dos especies que crecen entremezcladas, pero también se pueden determinar las relaciones espaciales entre sexos de plantas dioicas (Bawa y Opler, 1977). Se obtuvieron las frecuencias de los siguientes pares: ♂-♂, ♂-♀, ♀-♀ y ♀-♂. Usando una tabla de contingencia 2 x 2, se compararon las frecuencias observadas y esperadas de cada uno de los cuatro tipos de pares de vecinos más cercanos, bajo la hipótesis nula de no segregación entre sexos. Posteriormente, se determinó el coeficiente de segregación por medio de la fórmula:

$$S = 1 - \left[\frac{\text{número observado de } \♂\text{-♀ y } \♀\text{-♂ (relación vecino más cercano)}}{\text{número estimado de } \♂\text{-♀ y } \♀\text{-♂ (relación vecino más cercano)}} \right]$$

Si S se acerca a 0 los sexos son no segregados; si S se acerca a 1 los sexos son segregados.

Siguiendo también la metodología de Pielou (1961), se realizó una prueba de simetría por medio de Chi-cuadrado, bajo la hipótesis nula de no existencia de simetría. Esta prueba consiste

básicamente en comparar las distribuciones observadas, para cada sexo, del número de individuos que sirven como vecino más cercano a otros árboles.

Con el fin de determinar diferencias significativas en cuanto al contenido de materia orgánica, fósforo disponible y pH del suelo de hembras que tenían plántulas bajo la copa vs. suelo de hembras sin plántulas bajo la copa, se realizaron varias ANOVAs; los datos de fósforo disponible se transformaron con logaritmo común antes del análisis.

Todos los tratamientos estadísticos se realizaron con los paquetes estadísticos Microsoft Excel 2000 (versión 9.0) y SAS (versión 8.3).

RESULTADOS

Ecología de la población

Distribución y abundancia

Se realizaron múltiples salidas de campo a los bosques de Maricao, Susúa y Río Abajo, tanto a las áreas descritas anteriormente por Breckon y Kolterman (1993) y U.S. Fish and Wildlife Service (1999) como áreas aledañas. Se registraron 226 individuos para el taxón entre machos (13.27%), hembras (9.73%), individuos no reproductivos (29.20%) y plántulas (47.78%). Las poblaciones de los tres bosques sufrieron una reducción considerable (67.61%); la población del Bosque de Maricao se redujo un 60.91%, el Bosque de Río Abajo se redujo un 71.18% y el Bosque de Susúa se redujo 100% entre los años 1990 y 2005 (Tabla 1). En los dos últimos bosques no se encontraron individuos nuevos.

En el Bosque de Susúa, se visitó la ladera en la cual se observaron las plantas pero no se encontró ningún individuo de los cinco registrados en años anteriores, quizás porque los individuos estaban en áreas de sombra bajo un dosel cerrado y sus oportunidades de supervivencia no eran las más favorables (Breckon y Kolterman, 1993).

En el Bosque de Río Abajo se realizó la construcción de la carretera 10 entre 1993 y 2000. A mediados de enero de 1996, el PRHAT (Puerto Rico Highway and Transportation Authority) preparó un reporte final de las especies encontradas dentro del área; dentro de éstas se registró *Cordia alliodora* con 118 individuos localizados en doce sitios. Algunas especies reportadas fueron: *Daphnopsis hellerana* Urb., *Ottoschulzia rhodoxylon* Urb., *Cornutia obovata* Urb., *Calyptanthus acevedoi* Alain, *Clidemia portoricensis* Alain, *Cochleanthes flabelliformis*

(Sw.) R.E.Schult. & Garay, *Diospyros revoluta* Poir., *Diospyros sintenisii* (Krug & Urb.) Standl., *Forchhammeria brevipes* Urb., *Piper swartzianum* C.DC., *Polygala cowellii* (Britt.) S.F.Blake, *Ocotea* sp. nov.

Se realizó un programa de monitoreo de plantas críticas y en peligro, el cual comenzó en mayo de 1995 por el DRNA, FWS (Fish and Wildlife Service), PRHTA y FHWA. El DRNA relocalizó algunas de las especies anteriores dentro de parcelas de mitigación (área = 110 cuerdas) en el invernadero de Cambalache. La siembra se completó en noviembre del mismo año. En este mismo mes se trasladaron 95 individuos de *C. bellonis* entre adultos individuales y esquejes (Report to U.S. Fish and Wildlife Service, 1995).

En febrero de 1997 se trasladaron 16 plantas más y se realizó el inventario final de plantas llevadas al invernadero de Cambalache para su recuperación, el cual incluyó las especies: *Calyptranthes estremerae* Alain, *Clidemia portoricensis* Alain, *Cochleanthes flabelliformis* (Sw.) R.E.Schult. & Garay y *Cordia bellonis* (Report to U.S. Fish and Wildlife Service, 1997).

En diciembre de 1998 comenzó la reintroducción de estas especies. De las 111 plantas de *C. bellonis* trasladadas al invernadero de Cambalache sobrevivieron sólo 61 (54.9%), las cuales se reintrodujeron en el Bosque de Río Abajo entre el 2002 y 2003. De éstas, se sembraron 32 individuos en el sitio 1, 22 en el sitio 2, una sola planta en el sitio 3 y seis en el sitio 4; este sitio no fue visitado pues se encuentra en una zona muy alejada del Campamento Crozier (Fig. 2). Las dos primeras localidades se encontraron en sitios de dosel cerrado y no tienen peligro de corte en contraste con los sitios 3 y 4, los cuales se encuentran en borde de carretera. En visitas realizadas en agosto de 2004, julio y noviembre de 2005 se encontraron tan sólo 34 individuos (reducción de 44.2%). Las localidades son las siguientes:

1. Municipio: Arecibo. Barrio: Río Arriba. Localidad: carretera 621, Camino Las Berenjenas a 400 m aproximadamente en dirección noreste del área de acampar María Soto (Coordenadas: 18° 20' 10.5" N, 66° 42' 23.6" W). Elevación: 370 m. Individuos: 15 adultos no reproductivos.

2. Municipio: Arecibo. Barrio: Río Arriba. Localidad: carretera 621, Camino la Vega del Cen a 40 m aproximadamente en dirección suroeste de la carretera (Coordenadas: 18° 19' 49.7" N, 66° 42' 50.6" W). Elevación: 360 m. Individuos: 12 adultos no reproductivos.

3. Municipio: Arecibo. Barrio: Río Arriba. Localidad: carretera 621, a 300 m aproximadamente en dirección suroeste del campamento Crozier (Coordenadas: 18° 19' 18.8" N, 66° 40' 58.4" W). Elevación: 390 m. Individuos: 1 hembra.

4. Municipio: Arecibo. Barrio: Río Arriba. Localidad: Camino Quebrada los Puercos. Individuos: 6 adultos no reproductivos.

En el Bosque Estatal de Maricao se encuentra la población actual más grande y conservada donde se registraron 84 adultos y 108 plántulas en elevaciones que oscilan entre 540 y 870 msnm (Fig. 3). Las subpoblaciones del bosque también sufrieron reducciones entre los años 1990 y 2005 (60.91%); por ejemplo, los adultos registrados sobre la carretera 120 se redujeron en un 37.75% y lo mismo ocurrió con el criadero de peces con una reducción de 90.90% (Tabla 2).

Entre junio y diciembre de 2004, y enero a noviembre de 2005 se realizaron múltiples visitas a sitios en los cuales se registró la especie en años anteriores. Uno de estos sitios es la vieja carretera 362 al sur del Campamento Santana, en la cual no se observó ningún individuo de los 21 registrados anteriormente, debido quizás a la ampliación de la carretera. En el camino que conduce de la oficina del bosque a la casa de piedra, se habían registrado dos individuos pero no se observó ninguno debido a la pavimentación de dicho camino. Se visitó el río Maricao, desde el criadero de peces del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, subiendo hasta la bifurcación principal y siguiendo hacia el este (igual a lo recorrido por Breckon y Kolterman, 1993); de los 11 individuos registrados en años anteriores sólo se observó uno. Este descenso pudo darse por el paso del huracán Georges en 1998, el cual causó grandes estragos en dicha área. Además, la construcción de una represa nueva puede haber tenido algún impacto.

Cordia bellonis se encontró en bordes de carreteras y caminos angostos aunque también se registraron plantas a más de 10 m del borde. La Tabla 3 muestra algunas de las especies más comunes asociadas con *C. bellonis* en el Bosque de Maricao. Estas especies incluyen endemismos como *Tabebuia haemantha*, *Koanophyllon polyodon*, etc. La vegetación asociada incluye a *Clusia gundlachii*, *C. clusioides*, *Coccoloba diversifolia*, *Comocladia glabra*, *Cordia lima*, *Ficus trigonata*, *Guettarda scabra*, *Homalium racemosum*, *Plumeria krugii*, entre otras.

La especie se registró en cinco áreas principales en el bosque: Carretera 120, Camino Guamá, Antiguo camino al criadero de peces, Camino interpretativo Falcón de Sierra y Criadero de peces de Maricao (Fig. 4); la especie no se había reportado antes para tres de estas áreas: Camino Guamá, Antiguo camino al criadero de peces y Camino interpretativo Falcón de Sierra. Se identificaron 46 localidades dentro de las cinco áreas principales, las cuales se describirán posteriormente; de éstas, 22 representan reportes nuevos. La principal área de ocupación está

sobre la carretera 120 desde los kilómetros 18 al 9 (Fig. 5) en donde se registró el 58.33% de la población del bosque. Se realizaron caminatas dentro de zonas boscosas, pero no se registraron individuos bajo el dosel.

Se encontraron 158 individuos no registrados en años anteriores de los cuales el 8.8% fueron machos (14 individuos), 5.06% fueron hembras (8 individuos), 17.72% fueron adultos no reproductivos (28 individuos) y 68.35% fueron plántulas (108 individuos) (Fig. 6). Las localidades tanto para individuos conocidos en años anteriores y nuevos registros son las siguientes:

1. Municipio: Maricao. Barrio: Maricao Afuera. Localidad: carretera 120 km 18.4. Lado izquierdo de la vía de Maricao a Sabana Grande (Coordenadas: 18° 10' 11.9" N, 66° 59' 35.4" W). Elevación: 600 m. Individuos: Un individuo macho no registrado en años anteriores (N° 1).
2. Municipio: Maricao. Barrio: Maricao Afuera. Localidad: carretera 120 km 18.4. Lado derecho de la vía de Maricao a Sabana Grande (Coordenadas: 18° 10' 10.9" N, 66° 59' 36.4" W). Elevación: 600 m. Individuos: Tres hembras y ocho individuos no reproductivos, no registrados en años anteriores (N° 2-12).
3. Municipio: Maricao. Barrio: Maricao Afuera. Localidad: carretera 120 km 18.4. Lado izquierdo de la vía de Maricao a Sabana Grande (Coordenadas: 18° 10' 10.2" N, 66° 59' 35.8" W). Elevación: 600 m. Individuos: Un individuo no reproductivo, no registrado en años anteriores (N° 13).

4. Municipio: Maricao. Barrio: Alto del Descanso. Localidad: carretera 120 km 17.2. Lado izquierdo de la vía de Maricao a Sabana Grande (Coordenadas: 18° 09' 43.7" N, 66° 59' 57.7" W). Elevación: 690 m. Individuos: Un macho registrado en años anteriores (N° 14).

5. Municipio: Maricao. Barrio: Alto del Descanso. Localidad: carretera 120 km 17.2. Lado derecho de la vía de Maricao a Sabana Grande (Coordenadas: 18° 09' 43" N, 66° 59' 58" W). Elevación: 690 m. Individuos: Dos machos registrados en años anteriores (N° 15, 16).

6. Municipio: Maricao. Barrio: Alto del Descanso. Localidad: carretera 120 km 17.2. Lado izquierdo de la vía de Maricao a Sabana Grande (Coordenadas: 18° 09' 42.9" N, 66° 59' 57.4" W). Elevación: 690 m. Individuos: Un individuo no reproductivo registrado en años anteriores (N° 17).

7. Municipio: Maricao. Barrio: Alto del Descanso. Localidad: carretera 120 km 17.1. Lado izquierdo de la vía de Maricao a Sabana Grande (Coordenadas: 18° 09' 41.4" N, 66° 59' 56.8" W). Elevación: 700 m. Individuos: Una hembra registrada en años anteriores (N° 18).

8. Municipio: Maricao. Barrio: Alto del Descanso. Localidad: carretera 120 km 17.1. Lado izquierdo de la vía de Maricao a Sabana Grande (Coordenadas: 18° 09' 41" N, 66° 59' 56" W). Elevación: 700 m. Individuos: Tres hembras, una plántula y cinco machos registrados en años anteriores (N° 19-22, 63, 64, 68, 69).

9. Municipio: Maricao. Barrio: Alto del Descanso. Localidad: carretera 120 km 17.1. Lado izquierdo de la vía de Maricao a Sabana Grande (Coordenadas: 18° 09' 40.6" N, 66° 59' 56.1" W). Elevación: 700 m. Individuos: Un macho registrado en años anteriores (N° 23).

10. Municipio: Maricao. Barrio: Alto del Descanso. Localidad: carretera 120 km 16.9. Lado izquierdo de la vía de Maricao a Sabana Grande (Coordenadas: 18° 09' 35" N, 66° 59' 54" W). Elevación: 720 m. Individuos: Un macho registrado en años anteriores (N° 24).

11. Municipio: Maricao. Barrio: Alto del Descanso. Localidad: carretera 120 km 16.9. Lado izquierdo de la vía de Maricao a Sabana Grande (Coordenadas: 18° 09' 34.5" N, 66° 59' 54.9" W). Elevación: 720 m. Individuos: Una hembra registrada en años anteriores (N° 25).

12. Municipio: San Germán. Barrio: Hoconuco Alto. Localidad: carretera 120 km 16.4. Lado derecho de la vía de Maricao a Sabana Grande, ubicado a aproximadamente 5 m de la carretera (Coordenadas: 18° 09' 24.4" N, 66° 59' 41.8" W). Elevación: 750 m. Individuos: Cinco machos y un individuo no reproductivo. Uno de los machos se registro en años anteriores; los demás individuos no se habían registrado (N° 26-29, 65, 66).

13. Municipio: Maricao. Barrio: Maricao Afuera. Localidad: carretera 120 km 15.7. Lado izquierdo de la vía de Maricao a Sabana Grande (Coordenadas: 18° 09' 09.6" N, 66° 59' 27.6" W). Elevación: 820 m. Individuos: Un individuo no reproductivo registrado en años anteriores (N° 49).

14. Municipio: Maricao. Barrio: Maricao Afuera. Localidad: carretera 120 km 15.7. Área recreativa La Quinina al lado izquierdo de la vía de Maricao a Sabana Grande, subiendo por la chimenea en dirección noreste a aproximadamente 50 m (Coordenadas: 18° 09' 11.6" N, 66° 59' 32.2" W). Elevación: 810 m. Individuos: Un individuo no reproductivo, no registrado en años anteriores (N° 50).

15. Municipio: Maricao. Barrio: Maricao Afuera. Localidad: carretera 120 km 15.1. Lado izquierdo de la vía de Maricao a Sabana Grande (Coordenadas: 18° 09' 0.5" N, 66° 59' 17.5" W). Elevación: 870 m. Individuos: Una hembra registrada en años anteriores (N° 30).

16. Municipio: Maricao. Barrio: Maricao Afuera. Localidad: carretera 120 km 14.1. Lado derecho de la vía de Maricao a Sabana Grande (Coordenadas: 18° 08' 49.2" N, 66° 58' 51.1" W). Elevación: 890 m. Individuos: Una hembra y un individuo no reproductivo registrados en años anteriores, cuatro plántulas (N° 31, 32).

17. Municipio: Maricao. Barrio: Maricao Afuera. Localidad: carretera 120 km 14. Lado izquierdo de la vía de Maricao a Sabana Grande (Coordenadas: 18° 08' 46.6" N, 66° 58' 47.6" W). Elevación: 890 m. Individuos: Un macho registrado en años anteriores (N° 33).

18. Municipio: San Germán. Barrio: Guamá. Localidad: carretera 120 km 13.7. Lado derecho de la vía de Maricao a Sabana Grande (Coordenadas: 18° 08' 44" N, 66° 58' 38" W). Elevación: 870 m. Individuos: Un macho registrado en años anteriores (N° 34).

19. Municipio: San Germán. Barrio: Guamá. Localidad: carretera 120 km 13.7. Lado derecho de la vía de Maricao a Sabana Grande (Coordenadas: 18° 08' 43.2" N, 66° 58' 37.5" W. Elevación: 870 m. Individuos: Una hembra registrada en años anteriores (N° 35).

20. Municipio: San Germán. Barrio: Guamá. Localidad: carretera 120 km 13.6. Lado izquierdo de la vía de Maricao a Sabana Grande (Coordenadas: 18° 08' 43" N, 66° 58' 37.0" W). Elevación: 870 m. Individuos: Una hembra registrada en años anteriores (N° 36).

21. Municipio: Sabana Grande. Barrio: Santana. Localidad: carretera 120 km 13.5. Lado izquierdo de la vía de Maricao a Sabana Grande (Coordenadas: 18° 08' 41.5" N, 66° 58' 33.6" W). Elevación: 870 m. Individuos: Una hembra registrada en años anteriores (N° 37).

22. Municipio: Sabana Grande. Barrio: Santana. Localidad: carretera 120 km 13.5. Lado izquierdo de la vía de Maricao a Sabana Grande (Coordenadas: 18° 08' 41.4" N, 66° 58' 32.8" W). Elevación: 870 m. Individuos: Un macho registrado en años anteriores (N° 67).

23. Municipio: Sabana Grande. Barrio: Santana. Localidad: carretera 120 km 13.3. Lado izquierdo de la vía de Maricao a Sabana Grande (Coordenadas: 18° 08' 37.5" N, 66° 58' 27.4" W). Elevación: 840 m. Individuos: Dos machos registrados en años anteriores (N° 38, 39).

24. Municipio: Sabana Grande. Barrio: Santana. Localidad: carretera 120 km 12.2. Lado izquierdo de la vía de Maricao a Sabana Grande (Coordenadas: 18° 08' 48.4" N, 66° 58' 00.6"

W). Elevación: 750 m. Individuos: Un individuo no reproductivo registrado en años anteriores (Nº 40).

25. Municipio: Sabana Grande. Barrio: Santana. Localidad: carretera 120 km 12.2. Lado izquierdo de la vía de Maricao a Sabana Grande (Coordenadas: 18° 08' 48.5" N, 66° 57' 59.7"

W). Elevación: 750 m. Individuos: Dos machos no registrados en años anteriores (Nº 41-42).

26. Municipio: Sabana Grande. Barrio: Santana. Localidad: carretera 120 km 11.7. Lado izquierdo de la vía de Maricao a Sabana Grande, sobre una zona de derrumbe, a aproximadamente 5 m de la carretera (Coordenadas: 18° 08' 49.9" N, 66° 57' 47.2" W).

Elevación: 740 m. Individuos: Una hembra registrada en años anteriores (Nº 43).

27. Municipio: Sabana Grande. Barrio: Santana. Localidad: carretera 120 km 11.6. Lado izquierdo de la vía de Maricao a Sabana Grande, a aproximadamente 2.5 m de la carretera (Coordenadas: 18° 08' 49.7" N, 66° 57' 44.7" W). Elevación: 730 m. Individuos: Una hembra registrada en años anteriores y 55 plántulas bajo la copa (Nº 44).

28. Municipio: Sabana Grande. Barrio: Santana. Localidad: carretera 120 km 11.5. Lado izquierdo de la vía de Maricao a Sabana Grande (Coordenadas: 18° 08' 50.7" N, 66° 57' 41.2"

W). Elevación: 740 m. Individuos: Un macho no registrado en años anteriores (Nº 45).

29. Municipio: Sabana Grande. Barrio: Tabonuco. Localidad: carretera 120 km 10.1. Lado izquierdo de la vía de Maricao a Sabana Grande (Coordenadas: 18° 08' 36.8" N, 66° 57' 28.6"

W). Elevación: 730 m. Individuos: Una hembra registrada en años anteriores y una plántula bajo la copa (N° 46).

30. Municipio: Sabana Grande. Barrio: Tabonuco. Localidad: carretera 120 km 9.2. Lado izquierdo de la vía de Maricao a Sabana Grande (Coordenadas: 18° 08' 10.4" N, 66° 57' 18.9" W. Elevación: 690 m. Individuos: Un macho no registrado en años anteriores (N° 47).

Todos los individuos registrados en el Camino Guamá (localidades # 31 a 35) no habían sido registrados anteriormente.

31. Municipio: San Germán. Barrio: Caín Alto. Localidad: Camino Guamá. Lado izquierdo bajando por el camino (Coordenadas: 18° 09' 03.8" N, 66° 59' 29" W). Elevación: 790 m. Individuos: Un individuo no reproductivo (N° 62).

32. Municipio: San Germán. Barrio: Caín Alto. Localidad: Camino Guamá. Lado izquierdo bajando por el camino (Coordenadas: 18° 09' 02.7" N, 66° 59' 28.9" W). Elevación: 790 m. Individuos: Una hembra y 16 plántulas (N° 51).

33. Municipio: San Germán. Barrio: Caín Alto. Localidad: Camino Guamá. Lado izquierdo bajando por el camino (Coordenadas: 18° 08' 57.7" N, 66° 59' 32.6" W). Elevación: 780 m. Individuos: Un macho (N° 52).

34. Municipio: San Germán. Barrio: Caín Alto. Localidad: Camino Guamá. Lado izquierdo bajando por el camino (Coordenadas: 18° 08' 56.5" N, 66° 59' 31.7" W). Elevación: 780 m. Individuos: Una hembra al lado izquierdo, 5 plántulas bajo la copa y otra plántula más a 25 m de esta hembra. Al lado derecho bajando por el camino en frente de la hembra, se encontraron dos individuos no reproductivos (N° 53-55).

35. Municipio: San Germán. Barrio: Caín Alto. Localidad: Camino Guamá. Lado izquierdo bajando por el camino (Coordenadas: 18° 08' 51.7" N, 66° 59' 29.8" W). Elevación: 750 m. Individuos: Cuatro plantas no reproductivas, una hembra y cuatro plántulas bajo la copa (N° 56-60).

36. Municipio: San Germán. Barrio: Hoconuco Alto. Localidad: Camino Interpretativo Falcón de Sierra. Lado derecho bajando por el camino (Coordenadas: 18° 09' 13" N, 66° 59' 38.8" W). Elevación: 770 m. Individuos: Un macho no registrado en años anteriores (N° 61).

Todos los individuos registrados en el antiguo camino al criadero de peces (localidades # 37 al 45) no habían sido registrados anteriormente.

37. Municipio: Maricao. Barrio: Maricao Afuera. Localidad: Antiguo camino al criadero de peces. Lado derecho bajando por el camino (Coordenadas: 18° 09' 02.5" N, 66° 59' 00.3" W). Elevación: 800 m. Individuos: Un macho y tres individuos no reproductivos (N° 70-73).

38. Municipio: Maricao. Barrio: Maricao Afuera. Localidad: Antiguo camino al criadero de peces. Lado derecho bajando por el camino (Coordenadas: 18° 09' 3.5" N, 66° 58' 59" W). Elevación: 810 m. Individuos: Un individuo no reproductivo (N° 74).

39. Municipio: Maricao. Barrio: Maricao Afuera. Localidad: Antiguo camino al criadero de peces. Lado izquierdo bajando por el camino (Coordenadas: 18° 09' 03.8" N, 66° 58' 57.7" W). Elevación: 840 m. Individuos: Un macho (N° 75).

40. Municipio: Maricao. Barrio: Maricao Afuera. Localidad: Antiguo camino al criadero de peces. Lado izquierdo y derecho bajando por el camino (Coordenadas: 18° 09' 03.3" N, 66° 58' 57.2" W). Elevación: 850 m. Individuos: Dos individuos no reproductivos, uno en frente del otro (N° 76, 77).

41. Municipio: Maricao. Barrio: Maricao Afuera. Localidad: Antiguo camino al criadero de peces. Lado derecho bajando por el camino (Coordenadas: 18° 09' 04.7" N, 66° 58' 57.4" W). Elevación: 800 m. Individuos: Tres individuos no reproductivos (N° 78-80).

42. Municipio: Maricao. Barrio: Maricao Afuera. Localidad: Antiguo camino al criadero de peces. Lado izquierdo bajando por el camino (Coordenadas: 18° 09' 23.7" N, 66° 58' 58.9" W). Elevación: 670 m. Individuos: Una hembra (N° 81).

43. Municipio: Maricao. Barrio: Maricao Afuera. Localidad: Antiguo camino al criadero de peces. Lado izquierdo bajando por el camino (Coordenadas: 18° 09' 26.9" N, 66° 59' 0.1" W). Elevación: 640 m. Individuos: Un macho (N° 82).

44. Municipio: Maricao. Barrio: Maricao Afuera. Localidad: Antiguo camino al criadero de peces. Lado derecho bajando por el camino (Coordenadas: 18° 09' 37.9" N, 66° 59' 05.6" W). Elevación: 550 m. Individuos: Una hembra y 21 plántulas (N° 83).

45. Municipio: Maricao. Barrio: Maricao Afuera. Localidad: Antiguo camino al criadero de peces. Lado derecho bajando por el camino (Coordenadas: 18° 09' 34.6" N, 66° 59' 06.0" W; precisión: 31 m). Elevación: 540 m. Individuos: Un individuo no reproductivo (N° 84).

46. Municipio: Maricao. Barrio: Maricao Afuera. Localidad: Criadero de peces, ribera del río Maricao. Lado izquierdo subiendo por el río (Coordenadas: 18° 09' 07.7" N, 66° 57' 16.5" W; precisión: 26 m). Individuos: Un individuo no reproductivo registrado en años anteriores (N° 48).

Estructura y tamaño de la población

Se registraron 226 individuos tanto en Maricao (192 individuos) como en Río Abajo (34 individuos) entre adultos y plántulas, de las cuales el 9.73% son hembras, 13.27% son machos, 29.20% son plantas no reproductivas y 47.78% son plántulas.

Específicamente en el bosque de Maricao se encontró que el 10.93% son hembras, 15.62% son machos, 17.18% son individuos no reproductivos y 56.25% son plántulas. Se observó alguna variación en el diámetro basal de plantas adultas (rango = 0.2-5 cm, media = 1.80

cm, d.e. = 1.03). Éstas presentaron una distribución de tamaño sesgada (forma de J invertida) con un alto número de individuos concentrados en las tres primeras clases, las cuales corresponden a individuos reproductivos y no reproductivos, en contraste con las últimas clases representadas exclusivamente por individuos reproductivos (Fig. 7). El diámetro basal para plantas no reproductivas presentó la misma forma, con una mayor cantidad de individuos en las primeras clases y tan sólo cuatro plantas en las últimas clases (Fig. 8). Las dos distribuciones de tamaño anteriores muestran que la mayor cantidad de individuos corresponden a juveniles y las últimas clases representan individuos adultos en su mayoría reproductivos.

Se registraron 21 hembras y 30 machos en el bosque de Maricao. La proporción de sexos no fue significativamente diferente de 1:1, apoyando la hipótesis nula ($\chi^2 = 1.64$, $df = 1$, $P > 0.05$). Los individuos reproductivos presentaron un diámetro basal significativamente mayor (rango = 0.5-5 cm, media = 2.24 cm, d.e. = 1.04) que los individuos no reproductivos (rango = 0.2-2.7 cm, media = 1.11 cm, d.e. = 0.52) de los cuales se identificaron 33 individuos (Tabla 4). Entre las plantas reproductivas, se encontró que los machos presentan los mayores diámetros, registrando individuos en todas las clases, mientras que las hembras tienen individuos principalmente en las primeras clases (Fig. 9); sin embargo, esta diferencia no fue significativa (Tabla 5).

Según la prueba de segregación espacial de sexos, hay evidencia que demuestra la segregación de machos y hembras, apoyando la hipótesis alterna (Tabla 6), aunque el coeficiente de segregación mostró que la segregación es poca ($S = 0.11$). La prueba de simetría demostró que tanto machos como hembras presentan simetría, aceptando la hipótesis alterna. Esto significa que existe la misma probabilidad de que un macho o una hembra sean vecinos cercanos de cualquiera de los dos sexos (Tabla 7).

Al comparar la abundancia y distribución de individuos reproductivos y no reproductivos en la carretera 120 desde los kilómetros 18 a 9, entre los años 1990 y en el presente estudio, se observan variaciones en cuanto al número de individuos; por ejemplo, en 1993 no se registraron machos desde el kilómetro 13 hasta el 8 y en contraste este estudio muestra 8 individuos para estos kilómetros (Fig. 10). Las hembras tuvieron una leve disminución, pasando de 17 individuos en 1993 a 16 actualmente (Fig. 11). Los individuos no reproductivos también presentaron una disminución de 21 plantas en 1993 a 15 en el 2005 (Fig. 12).

En el Bosque de Río Abajo se encontró una sola hembra (localidad 3); las restantes 33 son plantas no reproductivas. No se registraron plántulas. El diámetro basal también varió para plantas adultas (rango = 0.9-3.1 cm, media = 1.64 cm, d.e. = 0.50). La distribución de tamaños fue sesgada (forma de J invertida) con la mayoría de individuos en las primeras clases, las últimas clases estuvieron representadas por tres individuos (Fig. 13). No se encontraron diferencias significativas entre el diámetro basal de las plantas registradas en Maricao y Río Abajo ($t = 0.79$, $P = 0.43$).

Reclutamiento y mortalidad

Durante el periodo de estudio se registraron 108 plántulas de *C. bellonis* en el Bosque Estatal de Maricao, pero este valor fluctuó debido a la mortalidad. En junio de 2004 se registraron 59 plántulas; este número aumentó en abril de 2005 con la observación de 49 plántulas más.

Las plántulas se encontraron en tres sitios:

En el antiguo camino al criadero de peces se encontraron 21 plántulas con tamaños entre 2 y 40 cm; algunas plántulas estaban cerca de individuos femeninos (localidad 44), aunque se observaron otras relativamente alejadas de las mismas. Estas plántulas se dividieron en dos grupos: el primero conformado por 14 plántulas que germinaron de estaciones de fructificación de años anteriores con tamaños entre 8 y 40 cm, y el segundo grupo conformado por siete plántulas con alturas entre 2 y 4 cm, que germinaron en abril de 2005 después de la última estación de fructificación presentada a finales del 2004 y comienzos del 2005.

En el Camino Guamá se encontraron 26 plántulas con tamaños entre 7 y 55 cm; éstas se localizaron bajo la copa de tres hembras (localidades 32, 34 y 35). En este mismo camino se encontró una plántula de 55 cm a aproximadamente 25 m de la hembra más cercana (localidad 34).

En la carretera 120, las plántulas se registraron en los kilómetros 10.1, 11.6, 14.1 y 17.1 con 1, 55, 4 y 1 plántula respectivamente. Las plántulas del kilómetro 11.6 también se dividieron en dos grupos: el primero conformado por 15 individuos que germinaron en estaciones de años anteriores, con un tamaño entre 9 y 27 cm, que se registraron desde junio de 2004, y el segundo grupo conformado por 40 individuos que germinaron entre febrero y marzo de 2005 después de la última estación de fructificación presentada a finales del 2004 y comienzos del 2005, con un tamaño entre 2 y 5.7 cm (Fig. 14).

En general el reclutamiento fue nulo de junio 2004 a abril de 2005. La mayoría de plántulas (94.5%) se encontraron bajo la copa de individuos femeninos y el 6.5% de las plántulas se registraron en sitios relativamente retirados de las hembras.

En general, la mortalidad de plántulas fue alta (46.2%) y se dio tanto por causas naturales (30.5%) como por disturbios antrópicos (15.7%). Desde junio de 2004 hasta febrero de 2005 sólo

murieron tres plántulas germinadas en años anteriores, debido a causas naturales. A finales de marzo de 2005, se amplió el Caminó Guamá con una máquina excavadora, que arrasó con 13 plántulas. En agosto de 2005 desaparecieron cuatro plántulas en la carretera 120 km 14.1, debido a la limpieza de caminos (Fig. 15). Del primer grupo de plántulas en la carretera 120 km 11.6 solo desaparecieron 2, a diferencia del segundo grupo donde la mortalidad fue alta, de las 40 plántulas registradas en abril de 2005 murieron 30 plántulas para febrero de 2006 (Fig. 16).

Características del entorno

Cordia bellonis se registró en dos zonas de vida: bosque muy húmedo subtropical y bosque húmedo subtropical. La especie presenta un amplio rango en sus requerimientos ambientales; se establece principalmente en pendientes pronunciadas con un promedio de 35.7°. La profundidad del suelo promedio es de 15.9 cm y la profundidad de la capa de hojarasca es relativamente pequeña con un promedio de 5.84 cm. La especie se presentó mayormente en zonas húmedas con un promedio de 6.1 en la escala de 1 al 10; como se menciona en la metodología (Tabla 8). Las plantas se encontraron principalmente en áreas entre ligera y moderadamente ácidas.

Ecología reproductiva

Fenología

En general se registraron 21 hembras y 30 machos. En las observaciones realizadas de agosto a noviembre de 2004 se registraron 21 hembras y 28 machos; el número de machos aumentó a 30 debido a la floración de dos individuos (localidades 17 y 37) en el 2005, los cuales

se creían no reproductivos. Por otro lado, una de las hembras de la localidad 8 no floreció en el 2005, al igual que los machos 41, 42 (localidad 25) y 68, 69 (localidad 8).

A comienzos de agosto de 2004, 23 individuos reproductivos produjeron yemas florales (Fig. 17); este número aumentó gradualmente a 49 individuos en noviembre del mismo año y estas yemas persistieron hasta febrero del 2005 pero en menos individuos (Fig. 18). Algunas de las yemas observadas, sobre todo las de noviembre y diciembre, pueden ser abortivas. Los individuos masculinos y femeninos (Fig. 19) produjeron flores desde agosto, mes en el cual se presentaron 14 individuos con estas estructuras, aumentando a 49 plantas florecidas en noviembre de 2004 (Fig. 20).

Los primeros frutos inmaduros aparecieron desde septiembre de 2004 (Fig. 21); éstos tan sólo se presentaron en 10 plantas, pero para el mes de diciembre 18 hembras ya tenían frutos verdes (Fig. 22) y éstos persistieron hasta febrero de 2005 en dos individuos. Los frutos maduros se observaron desde comienzos de noviembre de 2004 en 14 hembras (Fig. 23); este número aumentó a 18 el siguiente mes y su presencia se prolongó hasta febrero de 2005 en dos individuos (Fig. 24). En general, el comportamiento fenológico en el año 2005 fue muy similar al año anterior pero se presentó una menor cantidad de individuos con yemas, flores y frutos inmaduros para las mismas épocas (Fig. 25).

En el 2004 y 2005 se observó que tres de las hembras no produjeron frutos debido posiblemente a la lejanía de machos y al estado de deterioro de las mismas. La hembra 6 localizada en la carretera 120 km 18.4 (localidad 2) se encuentra a 42.5 m del macho más cercano ubicado en este mismo kilómetro. La hembra 30 registrada en la carretera 120 km 15.1 (localidad 15) está a 940.8 m del macho 26 registrado en la carretera 120 km 16.4 (localidad 12). La hembra 43 localizada en la carretera 120 km 11.7 (localidad 26) se observó en mal estado,

sobre una zona de derrumbe y la producción de flores fue muy baja (de 10 a 30 flores); además el macho más cercano (individuo 2) está a 178.1 m (Tabla 9). En general, el 47.6% de las hembras se encuentran a más de 100 m del macho más cercano y el 52.3% se encuentran a menos de 100 m (rango = 3.5-940.8 m, media = 186.4 m, d.e. = 241.7).

Visitantes florales

Ninguna de las yemas y flores (800) aisladas de diferentes hembras produjeron frutos después de cuatro meses de observación. Se registraron cuatro especies de insectos manipulando las flores de *C. bellonis*. De éstas se colectaron varios especímenes, los cuales se examinaron bajo estereoscopio y microscopio pero no se detectó la presencia de polen de *C. bellonis*. Es difícil observar el comportamiento del visitante floral debido al pequeño tamaño de las flores; todos los insectos observados tienen por lo menos el doble de tamaño de la flor.

La especie más abundante fue una alevilla perteneciente a la familia Noctuidae (Lepidoptera) (Fig. 26). Ésta se observó entre las 1810-2100 horas (Fig. 27) y gastó un promedio de 11.68 s por flor (Tabla 10). Las alevillas vuelan alrededor de las flores por al menos 35 s, luego se posan sobre la corola y utilizando la probóscide alcanzan su interior; posteriormente se quedan inmóviles por unos segundos. Un individuo visita varias flores en una misma planta y probablemente no existen preferencias entre flores de plantas hembras o machos. Los insectos, parecen no causar ningún daño a las partes florales.

La segunda especie más abundante fue *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae). Fue observada en las flores entre las 0845-1200 (Fig. 27) y gastó un promedio de 4.19 s por flor (Tabla 10). Las abejas vuelan alrededor de las flores por 10 s; luego se posan en la corola y al igual que la especie anterior, parecen pisar la corola repetidamente pero no causan daños.

La tercera especie fue una mosca de las flores perteneciente a la familia Syrphidae (Diptera). Fue observada en las flores entre las 0900-1100 (Fig. 27) y gastó un promedio de 5.25 s por flor (Tabla 10). Las moscas vuelan alrededor de las flores de forma errática por al menos 28 s; posteriormente se posan en la corola y la pisan repetidamente, sin causar daños a la flor. No existen preferencias por plantas hembras o machos.

La cuarta especie observada fue una avispa perteneciente a la familia Pompilidae (Hymenoptera). Esta especie sólo se presentó una vez a las 1145 (Fig. 27) y gastó 4 s por flor (Tabla 10). La avispa vuela alrededor de la planta; posteriormente busca las flores en aproximadamente 45 s y luego se posa en la corola, intentando manipular la flor, pero estos organismos son demasiado grandes, midiendo aproximadamente 3 cm.

Dispersión de semillas

A pesar de realizar observaciones tanto diurnas como nocturnas no se detectó ningún dispersor de semillas, aunque presumiblemente se pueda tratar de un ave, ya que la morfología de los frutos así lo indican. Durante y después de la estación de fructificación, no se observaron frutos predados ni en las plantas ni en el suelo; la mayoría de las veces los frutos se maduraban en el arbusto hasta que se contaminaban con hongos y caían al suelo directamente.

Germinación de semillas

A pesar de realizar la siembra en el mismo sustrato utilizado para sembrar la mayoría de plantas en el invernadero del Departamento de Biología de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez, ninguna semilla germinó, al igual que en el invernadero del Bosque Estatal de Maricao.

Con el fin de obtener datos acerca del crecimiento promedio mensual, se procedió a medir plántulas en campo; para ello se observaron las 40 plántulas del segundo grupo localizado en la carretera 120 kilómetro 11.6, ya que éstos individuos germinaron aproximadamente en abril después de la estación de fructificación inmediatamente anterior (septiembre 2004 a febrero 2005). Las plántulas crecieron en promedio 3.28 cm en abril y en octubre el crecimiento fue 3.74 cm (Fig. 28).

Banco de semillas en el suelo

Sólo se registraron 6, 2 y 1 semillas en el suelo de las hembras 19, 22 y 81, respectivamente. Cinco semillas se encontraron a 5 cm de profundidad y cuatro semillas a 10 cm de profundidad. La mayoría de semillas encontradas estaban dañadas, excepto una observada en una muestra a 10 cm de profundidad y perteneciente a la hembra 19 (Fig. 29).

Análisis de suelo

Las hembras en las cuales se registraron plántulas bajo la copa (8 hembras), se encontraron mayormente sobre serpentina con 62.5% de las plantas, seguido por suelo perteneciente a la serie Nipe (Soil Survey, 1975) con el 25% y por último una sola hembra sobre suelo con alto contenido de materia orgánica. Las hembras en las cuales no se registraron plántulas también se encontraron sobre serpentina con 50%, seguido por suelo rico en materia orgánica con 30% y por último el 20% de las hembras se encontraron sobre suelo perteneciente a la serie Rosario (Soil Survey, 1975).

El suelo de las hembras tuvo bajo contenido de fósforo (rango = 0-3.03 ppm, media = 0.80 ppm, d.e. = 1.00). En general el 61.11% de las hembras tuvieron alto contenido de materia

orgánica mayor al 5% (rango = 0-12.8%, media = 6.80%, d.e. = 3.54). Se encontró que el 72.2% de las muestras tenían un pH moderadamente ácido, 16.6% presentaron un pH ligeramente ácido y el 11.11% tenían un pH neutro (rango = 5.62-7.27, media = 6.33, d.e. = 0.42) (Tabla 11).

No existen diferencias significativas entre el fósforo disponible (Tabla 12), contenido de materia orgánica (Tabla 13) y pH (Tabla 14) en el suelo de las hembras que presentaban plántulas bajo la copa y las que no.

Disturbios

En el Bosque de Maricao se encontró que el 66.6% de los individuos presentaron un grado de herbivoría moderada y el 10.7% presentaron gran daño por insectos principalmente. El peligro más inminente que sufren las poblaciones de *C. bellonis* es la "limpieza de caminos". El 46% de los individuos del Bosque de Maricao están en riesgo de corte total debido a su cercanía con las carreteras y caminos, el 35% están expuestos al corte de algunas ramas, mientras que el 19% no tienen peligro. Los "limpiadores de carreteras" estuvieron presentes en la carretera 120 en seis oportunidades: junio, septiembre, diciembre de 2004, febrero, junio y agosto de 2005, afectando notablemente las plantas más cercanas a la vía, que en su mayoría eran individuos reproductivos.

La "limpieza" de agosto de 2005 arrasó con dos hembras grandes (hembras 31 y 35, localidades 16 y 19, respectivamente) además de la desaparición de cuatro plántulas.

En marzo de 2005 hubo frecuentes incendios forestales en el área, los cuales no afectaron directamente a la especie, pero sí causaron un serio impacto provocado por la ampliación del Camino Guamá con una máquina excavadora, con el fin de facilitar el paso de vehículos utilizados para transportar trabajadores a las zonas más afectadas del bosque. Esta ampliación

causó la pérdida de dos hembras grandes (hembras 53 y 59, localidades 34 y 35, respectivamente), un macho (macho 52, localidad 33) y cinco plantas no reproductivas (individuos 54 y 55, localidad 34, individuos 56, 57, 58 y 60, localidad 35) además de arrasar con 13 plántulas.

En el Bosque de Río Abajo el 53.5% de las plantas registradas no presentaron ningún grado de herbivoría en contraste con el 46.4% de los individuos, los cuales presentaron un grado moderado de herbivoría, causado principalmente por insectos. La mayoría de individuos reintroducidos en el Bosque Río Abajo no presentan peligro de corte pues la reintroducción se realizó en sitios dentro del bosque, en zonas relativamente retiradas de carreteras y caminos.

DISCUSIÓN

Cordia bellonis Urb. es un arbusto que habita principalmente en los Bosques Estatales de Maricao y Río Abajo, sobre suelos de serpentina (incluyendo las series Nipe y Rosario) y caliza. Los individuos reportados previamente en el bosque de Susúa no fueron hallados, probablemente por que murieron a causa de su ubicación en áreas con sombra (Breckon y Kolterman, 1993). No se descarta la posible existencia de otras plantas en este bosque. No se observó ningún individuo en zonas secas, como en la parte baja del camino Guamá (Municipio de San Germán) o en zonas altas del bosque de Susúa. En general, la especie está adaptada a sobrevivir en sucesiones secundarias y zonas alteradas directa o indirectamente por actividades humanas; crece en bordes de carreteras y caminos, ribera de ríos, en sitios abiertos con buena exposición a la luz, en elevaciones entre 540 a 890 msnm (bosque de Maricao), en áreas húmedas, en suelos poco profundos y relativamente expuestos debido a la pequeña capa de hojarasca, sobre pendientes de aproximadamente 30° a 35° y en áreas de moderadamente ácidas a neutras. Los cinco individuos identificados en Susúa (1991) también crecían en las áreas más húmedas del bosque, al lado oeste de la Quebrada Grande (Breckon y Kolterman, 1993). El pequeño tamaño de las semillas puede indicar también que la especie es propia de claros y ambientes con altos niveles de luminosidad; Walters y Reich (2000) encontraron en su estudio que las especies clasificadas como intolerantes a la sombra tienen semillas más pequeñas que las semillas tolerantes.

Existen varias especies raras en la isla como *Antirhea portoricensis* (Britton & P. Wilson) Standl., *A. sintenisii* Urb., *Goetzea elegans* Wydler, *Polygala cowellii*, *Gaussia attenuata* Becc., entre otras; éstas sufren impactos humanos pero se mantienen relativamente seguras en áreas inaccesibles como los mogotes en la parte noroeste de Puerto Rico (Santiago, 1995). Caso

contrario sucede con *C. bellonis*, la cual esta totalmente expuesta a la poda indiscriminada, mayormente sobre la carretera 120 desde los kilómetros 18.4 hasta 9.2. Las plantas ubicadas en el Camino Guamá, antiguo camino al criadero de peces y Camino interpretativo falcón de sierra se encuentran un poco más protegidas de estas actividades. Es evidente que la distribución actual de la especie se debe principalmente al impacto de actividades humanas; ello se refleja al observar los porcentajes de reducción de las poblaciones (Tabla 1). Para el taxón hubo una reducción importante (67.6%) entre 1993 y 2005. Los disturbios naturales también afectan la población, principalmente los huracanes como el registrado en 1998 (Georges) el cual provocó la pérdida de casi todos los individuos (10 plantas) registrados en 1993, localizados en la orilla del río Maricao en el criadero de peces. Los incendios forestales representan otra amenaza potencial para la especie, pero en el 2005 no fue afectada directamente ninguna de las plantas conocidas, debido quizás a que estos eventos se presentaron en las áreas más secas del bosque.

Existen otras especies arbustivas del género con características de hábitat similares *Cordia curassavica* (Jacq.) Roem. & Schult., *C. inermis* (Mill.) I.M.Johnst. y *C. pringlei* B.L.Rob., propias de Centroamérica y varias islas del Caribe. Al igual que *C. bellonis* estas especies tienen la capacidad de reproducirse vegetativamente (Opler et al., 1975). La reproducción asexual en la especie provoca la formación de pequeños agregados de plantas, los cuales son difíciles de identificar como plantas individuales.

En general la especie presenta una población pequeña con 226 individuos conocidos entre adultos reproductivos, no reproductivos y plántulas. La población de Maricao ésta compuesta principalmente por plantas no reproductivas (no observados con flores durante 2004 y 2005) (Fig. 7) con tamaños entre 0.2-1.9 cm (Fig. 8). Los individuos adultos reproductivos presentaron una distribución de tamaños mayor entre 1.3-2.85 cm aunque se registraron algunos individuos

con diámetros mayores a 4 cm (Fig. 9). No se encontraron diferencias significativas en el diámetro basal de machos y hembras (Tabla 5) pero se pudo determinar que las plantas estaminadas tienden a alcanzar la madurez reproductiva antes que las plantas pistiladas, pues se encontró mayor número de individuos masculinos con diámetros pequeños. Este resultado concuerda con lo expuesto por Pascarella (1996) y Alliende y Harper (1989); éstos últimos realizaron estudios demográficos de *Salix cinerea* L., determinando la edad de los individuos, señalando que los machos florecen primero, cuando las ramas principales tienen aproximadamente trece años y las hembras florecen después hasta que los troncos están más gruesos. Como era de esperarse se encontraron diferencias significativas entre el diámetro basal de individuos reproductivos y no reproductivos (Tabla 4). Es difícil tratar de establecer la edad reproductiva de la especie por medio de la distribución de tamaños, pues hay individuos reproductivos (Individuo N° 45, macho) desde 0.5 cm de diámetro basal. Además, la continua poda de ramas jóvenes en época reproductiva evita verificar el sexo de la planta.

La población del Bosque de Río Abajo también está compuesta por individuos no reproductivos con tamaños entre 0.9-2.05 cm (Tabla 13). La población conocida está compuesta por individuos reintroducidos en el 2003. De las 61 plantas reintroducidas sólo sobrevivieron 34 plantas, debido posiblemente a su ubicación dentro del bosque pues las plantas se sembraron bajo un dosel cerrado (localidades 1 y 2).

Otras especies raras y en peligro de extinción como *Buxus vahlii* Baill. (Carrero, 2001), *Goetzea elegans* (Santiago, 1995) y *Polygala cowellii* (Rojas, 1994) también están compuestas por pequeñas poblaciones e individuos juveniles. A menudo, se asume que las especies raras y en peligro, inevitablemente se encuentran en pequeñas poblaciones, las cuales son geográficamente aisladas unas de otras (Barret y Kohn, 1991). En pequeñas poblaciones de especies dioicas como

C. bellonis, la presencia de individuos pistilados y estaminados podría presionar la reproducción sexual como resultado de la disminución del tamaño de población efectiva (Baker, 1967).

Desde que Charles Darwin (Darwin 1877, citado en Opler et al., 1975) identificó la heterostilia en plantas enviadas por Fritz Müller desde Brasil, la biología reproductiva del género *Cordia* ha recibido mucha atención. Estudios anteriores demuestran que *C. bellonis* es dioica y al igual que la mayoría de las especies del género presenta heterostilia (Breckon y Kolterman, 1993). Las plantas dioicas representan una pequeña fracción (~6%) de las plantas con flores, distribuidas alrededor del mundo; en el neotrópico, por ejemplo, hay 217 géneros (Renner y Ricklefs, 1995). Algunas especies de angiospermas están en mayor riesgo que otras (Vamosi y Vamosi, 2005). Varios autores han hipotetizado que las plantas dioicas están más propensas a la extinción, con base en estudios empíricos (Somanathan y Borges, 2000) y análisis filogenéticos de riqueza de especies (Heilbuth, 2000). La principal causa de riesgo potencial para especies dioicas son las perturbaciones antropogénicas (Pannell y Barret, 1998), principalmente la tala de especies leñosas, pues la recuperación de estas especies es relativamente lenta (Martínez-Garza y Howe, 2003); de esta forma se pierden compañeros necesarios para la reproducción sexual. Es probable que la fragmentación de hábitat tenga efectos en cascada: los individuos más aislados pueden alterar el comportamiento de polinizadores y dispersores, se reduce el número de eventos de polinización cruzada y el número de semillas se reduce (Mack, 1997; Somanathan y Borges, 2000). En el caso de *C. bellonis* el corte total de varios individuos reproductivos ha perjudicado a la especie, pues se han perdido cuatro hembras y un macho principalmente en el Camino Guamá y la carretera 120, además de otros individuos no reproductivos en la época de muestreo.

Es importante mencionar que los individuos de *C. bellonis* que tuvieron mayor producción de flores estaban localizadas en bordes de caminos y áreas abiertas. Aunque no se

realizó el conteo de las flores sí se observó esta tendencia en los individuos reproductivos de Maricao, lo que hace suponer que la luz es un factor importante en la floración de la especie. Otras especies raras en Puerto Rico también tienen éste requerimiento, por ejemplo, *Goetzea elegans* necesita altos niveles de luz para iniciar la reproducción (Santiago, 1995), la floración de *Polygala cowellii* se correlaciona con la exposición a la luz (Rojas, 1994) y *Calliandra locoensis* también parece requerir alta exposición a la luz para alcanzar la madurez reproductiva (González, 1998).

Cordia bellonis es una especie sincrónica y estacional que florece durante la estación de lluvias (Fig. 19). Algunas especies del género también son sincrónicas, como *C. collococca* L., *C. panamensis* L.Riley, *C. curassavica*, *C. dentata* Poir., *C. inermis* y *C. pringlei*, pero sólo las últimas cuatro especies florecen en época de lluvias. En contraste *C. alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken y *C. gerascanthus* L. son especies asincrónicas que florecen en época seca (Opler et al., 1975).

Bawa et al. (2003) encontraron que las especies anuales que florecen en épocas lluviosas lo hacen por largos periodos, como ocurre con *C. bellonis* que florece por un periodo relativamente largo (agosto-noviembre). Frankie et al. (1974) sugirieron que las especies que florecen sincrónicamente en una estación específica, lo hacen como un mecanismo para minimizar el solapamiento entre especies y así reducir la competencia por polinizadores. Este factor es importante para la polinización cruzada de *C. bellonis*, aunque probablemente la época de floración no sea la más favorable. Janzen (1967) indica que la floración en épocas secas presenta mejores condiciones para la polinización (mayor cantidad de insectos, menos pérdida de flores durante la lluvia, etc.). *Calliandra locoensis* se ve beneficiada en su época de floración, pues es una especie sincrónica que florece en época seca, y ya que su sistema reproductivo es

predominantemente autoincompatible tiene más probabilidades de alcanzar una polinización exitosa (González, 1998).

La fructificación se dio desde finales de la estación de lluvias hasta mediados o finales de la época seca (septiembre-febrero). Los frutos inmaduros fueron sincrónicos de octubre a diciembre (Fig. 22) y los frutos maduros de noviembre a enero (Fig. 24). Muchos árboles (97 especies) de tierras bajas en Centroamérica presentan sus picos de fructificación en época seca (Allen, 1956, citado en Janzen, 1967), al igual que varias especies endémicas de Puerto Rico como *Calliandra locoensis*, *Goetzea elegans* y *Buxus vahlii*. Aunque no fue posible cuantificar el número de flores y frutos por planta, hay que resaltar que la producción de frutos fue muy pobre con relación a la producción de flores. Charlesworth (1989) indicó que las especies autoincompatibles se asocian con baja producción de frutos; tal es el caso de *Gonolobus suberosus* (L.) W.T.Aiton y varias especies del género *Mateleia* (Asclepiadaceae) (Lipow y Wyatt, 1998). Para especies del género *Cordia*, se registró menor producción de frutos para las especies dioicas (*C. collococca*, *C. inermis*, *C. panamensis*) en comparación con especies hermafroditas autoincompatibles (*C. gerascanthus*, *C. curassavica*, *C. pringlei*, *C. dentata*, *C. alliadora*) (Opler et al., 1975). Un factor potencial que interfiere con la producción de frutos son las fallas en la polinización por el bajo número de visitas; esta observación concuerda con lo reportado con Pascarella (1996). Las fallas se deben principalmente a la distancia entre machos y hembras; en el caso de *C. bellonis* la distancia promedio fue muy grande (186.4 m) con relación al tamaño de los visitantes florales (Tabla 9). De Jong et al. (2005) indican que para 17 especies dioicas polinizadas por insectos generalistas, la polinización se dificulta cuando la distancia entre los sexos es demasiado grande.

Los frutos de *C. bellonis* van madurando desigualmente, observándose hembras que presentaron en el mismo momento frutos maduros e inmaduros. La especie presenta frutos carnosos (3 mm) con una sola semilla; estas dos características están presentes en especies dioicas en Puerto Rico y las Islas Vírgenes (Flores y Schemske, 1984). Teniendo en cuenta el color y el pericarpo no se descarta la posible existencia de un dispersor ornitócoro, ya que otras especies del género como *C. curassavica*, *C. inermis* y *C. pringlei*, también presentan frutos carnosos de color rojo que son dispersados por aves de los géneros *Amazona*, *Aratinga* y *Brotogeris* (Opler et al., 1975). Un árbol común en bosques secundarios de la región caribe como *C. sulcata* DC., aunque tiene frutos blancos, es dispersada por aves (Francis, 1995).

En este estudio no se observaron dispersores de semillas posiblemente por tres factores: (1) frutos pequeños con poco pericarpo que los hace poco atractivos, (2) pobre producción de frutos por planta, ya que la señal para atraer a los dispersores es muy pobre (Van Schaik et al., 1993), (3) extinción del dispersor nativo. La mayoría de frutos observados se conservaban en la planta hasta que el pericarpo era invadido por hongos; posteriormente el fruto caía al suelo. Esta observación también fue realizada por Pascarella (1996) quién argumentó que la posible falta de dispersores podría limitar la dispersión de *Picramnia pentandra* Sw. a hábitats apropiados. La mayoría de plántulas observadas en campo se encontraron bajo la copa de las hembras; ambas apreciaciones sugieren que las semillas caen directamente al suelo sin ser dispersadas por algún agente. En especies dioicas como *Gardenia actinocarpa* Puttock se ha demostrado que una dispersión de semillas pobre determina el riesgo de extinción de la especie (Osunkoya, 2003). Las especies autocompatibles de islas pueden iniciar una nueva población a partir de un solo propágulo a diferencia de las especies dioicas, que como *C. bellonis* aparentemente han reducido

su habilidad de colonización por dispersión, por lo cual se cree que estas especies están probablemente en mayor riesgo de extinción (Baker, 1955, 1967).

Al parecer los frutos de la especie tampoco son predados, a diferencia de varias especies como *C. curassavica*, *C. inermis*, *C. pringlei*, *C. gerascanthus*, *C. collococca*, *C. panamensis*, *C. dentata* y *C. alliodora*, las cuales tienen predadores específicos (familia Bruquidae) que destruyen grandes cantidades de semillas (Opler et al., 1975).

Existen especies dioicas facultativas (“leaky dioecy”) donde los machos pueden producir una pequeña cantidad de frutos, cuando el ecosistema es fragmentado y se aíslan en pequeñas poblaciones (Humeau et al., 1999); estos factores pueden hacer que una especie dioica use esta alternativa para aumentar el éxito reproductivo. En el caso específico de *C. bellonis*, aunque presenta características de hábitat similares, no se observó el desarrollo de ningún fruto en individuos masculinos.

Es importante notar que el reclutamiento de plántulas no ocurre todos los años. En febrero de 2004 no hubo reclutamiento en las localidades conocidas en comparación con el 2005. Entre uno y dos meses alrededor del periodo de fructificación (febrero) se da el reclutamiento de plántulas, lo que indica que no hay un periodo de latencia prolongada. Este mismo comportamiento se presenta en *Goetzea elegans* pues las semillas tienen un breve periodo latente (Santiago, 1995).

El reclutamiento de *C. bellonis* se presentó durante la corta temporada seca y comienzos de la temporada de lluvias; un comportamiento similar fue observado en *Calliandra locoensis* ya que reclutó en periodos secos (González, 1998) y en *Goetzea elegans* (Santiago, 1995) que lo hizo al iniciar las lluvias. La hipótesis de tiempo óptimo de germinación (Frankie et al., 1974; Janzen, 1967; Primack, 1987) dice que las semillas tienden a germinar bajo condiciones

favorables como lo es la temporada de lluvias. En *Pinus palustris* Mill. y *Aristida stricta* Michx., especies de zonas templadas, la lluvia maximiza la supervivencia de las plántulas (Wyatt, 2004). Se ha demostrado que el reclutamiento de plántulas de *Purshia subintegra* (Kearney) Henrickson está ligada a la precipitación; los autores sugirieron que se necesita por lo menos un año de precipitación adecuada para el reclutamiento exitoso de plántulas (Baggs y Maschinski, 2000, citado en Maschinski et al., 2004).

En abril de 2005 se registraron 49 plántulas, de éstas sólo sobrevivieron 19. En general, la mortalidad fue alta (61.2%) pero se pudo observar que la mortalidad entre abril y agosto de 2005 (época lluviosa) fue baja en contraste con febrero de 2006 (época seca) en donde se presentó la mayor mortalidad (Fig. 16). Aunque la época de germinación es la adecuada, muchos individuos perecen principalmente por estrés hídrico. Al igual que *C. bellonis*, la mayoría de plántulas de *Phillyrea latifolia* L., una especie arbórea del sueste de España, mueren debido a la desecación (Herrera et al., 1994). El tamaño de las semillas de *C. bellonis* también puede contribuir con la alta mortalidad de plántulas en los primeros meses después del establecimiento. Se ha documentado que especies con semillas grandes tienen mayor supervivencia de plántulas después del establecimiento, pero esta ventaja se balancea con el gran número de semillas producidas por especies con semillas pequeñas (Moles y Westoby, 2004). En el caso de *C. bellonis*, además de tener semillas pequeñas, posee sólo una por fruto lo que representa una clara desventaja para la población. En general la mortalidad de plántulas va aumentando con el tiempo pero la supervivencia aumenta con la edad; observaciones similares fueron reportadas por Walters y Reich (2000) y Weltzin y McPherson (1999).

En este estudio no se logró observar polen de la especie en el cuerpo de los visitantes florales, por lo cual no se logró confirmar la presencia de polinizadores verdaderos para *C.*

bellonis, pero sí existe un grupo de visitantes relativamente pequeños y generalistas que manipulan las flores, que incluyen abejas melíferas (*Apis mellifera*), polillas, moscas de las flores y avispas. Es claro que *Apis mellifera* es una especie introducida por lo cual no podría considerarse como polinizador nativo. Bawa (1980) observó en especies dioicas que tienen flores pequeñas la polinización por insectos pequeños. Las moscas de las flores (Syrphidae) se observaron muy poco y sólo durante la mañana; se ha reportado que éstas generalmente son visitantes “inconstantes” e “ineficientes” (Fægri y Van der Pijl, 1979). En las especies dioicas del género *Cordia* en Costa Rica, los visitantes son diversos y predominantemente pequeños (Opler et al., 1975).

Para *C. bellonis* se observaron visitantes principalmente de los órdenes Hymenoptera y Lepidoptera; estos mismos órdenes fueron los más frecuentes para varias especies del género *Cordia* en Costa Rica, encontrando un menor número de Coleoptera, Diptera y otros (Opler et al., 1975). Hymenoptera, Lepidoptera y Diptera se reportan como visitantes de *Echium wildpretii* H.Pearson ex Hook.f. (Boraginaceae) (Valido et al., 2002) y en vegetación de planicies costeras en Venezuela (Lemus-Jiménez y Ramírez, 2003). Opler et al. (1975) establecen cuatro rutas de comportamiento para la polinización de *Cordia*; en la primera se encuentran flores pequeñas con insectos de lengua corta pertenecientes a los órdenes Hymenoptera, Diptera, Coleoptera, algunos Lepidoptera y Heteroptera, los cuales tienen contacto con las anteras y estigmas por medio de la cabeza. *Cordia bellonis* se ajusta a esta ruta. La especie no parece ser polinización por el viento, siendo claro que la polinización se da por vectores animales.

Varios estudios han demostrado la existencia de diferencias ecológicas entre machos y hembras en poblaciones de plantas dioicas; una de éstas diferencias es la segregación espacial de sexos, común entre este tipo de especies (Bierzychudek y Eckhart, 1988). *Cordia bellonis*

presenta segregación espacial de sexos (Tabla 6) pero según el coeficiente de segregación ésta es poca. Esta separación de sexos se puede percibir al observar las distancias entre hembras y machos (Tabla 9) que en algunos casos sobrepasa los 900 m. Aunque estas distancias son grandes, la población de Maricao es simétrica (Tabla 7); esto significa que ni los individuos femeninos ni los masculinos están aislados, concordando así con la prueba de segregación. Aunque algunas hembras están muy separadas de los machos existe la misma probabilidad de que un macho o una hembra sean vecinos cercanos de cualquiera de los dos sexos; este factor es favorable para la especie principalmente para los eventos de polinización. Los resultados de este trabajo concuerdan parcialmente con Levin (1974) quién encontró una segregación pronunciada en varias poblaciones de *Hedyotis nigricans* (Lam.) Fosberg y sugirió como posible causa la explotación diferencial de nichos. En este estudio no se evaluaron factores ambientales que influyeran la distribución de los sexos. Bierzychudek y Eckhart (1988), basados en otros estudios, reportaron la segregación de 21 especies de zonas templadas, tropicales y árticas. En contraste Bawa y Opler (1977) y Melampy y Howe (1977) no encontraron segregación espacial de sexos en varias especies tropicales como *Guarea luxii* C.DC., *Randia spinosa* Jacq. (Karst.), *Zanthoxylum setulosum* P.Wilson, *Triplaris americana* L., al igual que en *Salix cinerea*, una especie de zonas templadas (Alliende y Harper, 1989). La segregación espacial se presenta por varios factores, entre ellos la distribución espacial agregada (Pielou, 1961), muchas veces causada por la multiplicación vegetativa (Bawa y Opler, 1977) o como resultado de la heterogeneidad del hábitat (Pielou, 1961). La distribución agregada en *C. bellonis* se da probablemente como resultado de la reproducción vegetativa o de la acumulación de plántulas alrededor del parental; aún así se observaron muchas plantas reproductivas y no reproductivas aisladas. Este aislamiento se puede dar debido a que el número de plántulas bajo la copa del

parental va disminuyendo debido a la alta mortalidad dada principalmente por factores climáticos; las plántulas más fuertes y con mayor altura resistieron la época seca. De las 40 plántulas reclutadas (localidad 27, segundo grupo de plántulas) sólo sobrevivieron 10; al parecer éstas siguen creciendo y eventualmente puede darse competencia intraespecífica. Otros factores se dan por la exposición a diferentes clases de estrés como sequía, escasez de nutrientes, bajos niveles de luz, entre otros; estos pueden causar diferencias en la mortalidad de sexos, favoreciendo a un sexo más que al otro (Bierzychudek y Eckhart, 1988). Al realizar planes de reintroducción de la especie se debe tener en cuenta este factor de segregación, pues es importante sembrar plantas en áreas cercanas al sexo opuesto, con el fin de facilitar el transporte de polen.

Aunque la segregación es un factor negativo para la especie hay que resaltar que la proporción de sexos resultó no ser significativamente diferente de 1:1 debido a que los sexos están estadísticamente equilibrados (30 ♂ : 21 ♀); es importante señalar que esta proporción puede cambiar al determinar el sexo de los individuos no reproductivos. Otras especies del género como *C. curassavica*, *C. pringlei*, *C. dentata* (Opler et al., 1975) presentaron esta proporción características, al igual que otras especies dioicas hemiparásitas como *Osyris quadripartita* Salzm. (Herrera, 1988) entre otras; en contraste con *C. collococca*, *C. panamensis*, *C. inermis* y árboles dioicos como *Salix cinerea* (Alliende y Harper, 1989) las cuales no presentaron esta distribución y están a favor de plantas estaminadas o pistiladas (Opler et al., 1975). Aún así, para lograr los niveles óptimos de polinización se requieren poblaciones no segregadas (Bawa y Opler, 1977; Levin, 1974); esta característica es más evidente en especies dioicas que presentan polinizadores pequeños (Bawa y Opler, 1975; Bawa y Opler, 1977), como es el caso de *C. bellonis*.

La germinación de semillas de *C. bellonis* fue nula debido probablemente a dos causas: (1) sustrato utilizado en la siembra, (2) baja viabilidad de las semillas.

El crecimiento se siguió en las plántulas reclutadas en la localidad 27, que en abril medían en promedio 3.2 cm; para noviembre este valor había aumentado a 5.8 cm. Esto contrasta con el crecimiento en invernadero donde las plántulas alcanzaron entre 9 y 62 cm cinco meses después de la germinación (Breckon y Kolterman, 1993). Se puede observar claramente que el crecimiento en campo es lento en comparación con el crecimiento en invernadero debido a la exposición a diferentes factores ambientales como el clima, agentes patógenos, predadores, etc. Breckon y Kolterman (1993) observaron que las semillas germinaban en un periodo de casi tres meses, tiempo consistente con el observado en campo, pues al parecer la germinación toma aproximadamente entre dos y tres meses. La hembra N° 44 de la localidad 27 presentó frutos maduros hasta diciembre de 2004 y el reclutamiento se dio entre febrero y marzo de 2005. El tiempo de germinación para *C. bellonis* es mayor comparado con otras especies del género como *C. sulcata*, que requiere un promedio de 21 días para germinar (Francis, 1995) y las semillas de *C. alliodora* germinan entre 5 y 20 días después de caer al suelo (Liegel y Stead, 1990). De las 26 plántulas transplantadas a tiestos en el invernadero del Recinto de Mayagüez por Breckon y Kolterman (1993) sólo sobrevivieron dos individuos (macho y hembra) observados en el 2004; para el 2005 la hembra había muerto y el macho fue trasladado al Bosque Estatal de Maricao.

Cordia bellonis no es formadora de bancos de semillas en el suelo no sólo por su corta latencia, sino posiblemente por sus pequeñas semillas. Moreno (1996) encontró que las especies con semillas pequeñas son incapaces de salir a la superficie y por ende no son formadoras de bancos de semillas. Otro factor importante que influye en la ausencia de un banco de semillas es la poca profundidad y el tipo de suelo. Las hembras registradas se encuentran principalmente en

afloraciones de serpentina y series Nipe y Rosario; estos suelos tienen texturas arcillosas y pegajosas (Beinroth et al., 2003) lo cual evitaría la emergencia de plántulas a la superficie.

No se encontraron diferencias significativas de características del suelo como fósforo, materia orgánica y pH entre las hembras que presentaron plántulas bajo su copa y las que no, lo que significa que ninguno de estos tres factores determina el establecimiento de plántulas. Para especies como *Purshia subintegra*, el contenido de materia orgánica es importante para el establecimiento de plántulas (Maschinski et al., 2004), pero esta característica no parece afectar el establecimiento de plántulas de *C. bellonis* pues en algunos lugares con alto contenido de materia orgánica (las hembras N° 18, localidad 7 y N° 19, 22 y 63, localidad 8) no se registraron plántulas. Queda por investigar si el área bajo la copa de las hembras representa un “sitio seguro” para las plántulas, teniendo en cuenta las diferentes características edáficas analizadas en este estudio además de otros componentes importantes.

ESTATUS Y RECOMENDACIONES

Cordia bellonis Urb. fue declarada en peligro de extinción en enero 10 de 1997, bajo el Acto de especies en peligro de 1973, enmendado, por el U. S Fish and Wildlife Service. Años después se redactó el plan de recuperación para *C. bellonis*, el cual busca restaurar la especie a un estatus autosostenible, permitiendo su remoción de la Lista Federal de Especies en Peligro (U.S. Fish and Wildlife Service, 1999). Al parecer muy pocas acciones se han desarrollado para que la especie cambie de estatus; por ello y con base en las observaciones realizadas en este estudio, la especie debe seguir con el mismo estatus.

Siguiendo los criterios de la lista roja de la UICN (2001) presentados en "Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN" (versión 3.1), preparado por la Comisión de Supervivencia de UICN 2000, *C. bellonis* debería estar categorizada como En Peligro Crítico (CR) pues se considera que se está enfrentando un riesgo extremadamente alto de extinción en estado silvestre, los criterios son:

CR B1ab(i-v) +2ab(i-v);C2a(i,ii);D

Esta categoría se propuso teniendo en cuenta las siguientes características:

- Criterio B: distribución geográfica: hay una disminución en la extensión de presencia (estimada en menos de 100 km²) y en el área de ocupación, estimada aproximadamente en menos de 1 km² (menos de 10 km²); además, la población se considera como severamente fragmentada y se ha notado una disminución en el área, la extensión y la calidad del hábitat, el número de localidades o subpoblaciones y el número de individuos maduros.

- Criterio C: tamaño de la población estimada en menos de 250 individuos maduros: actualmente hay 46 individuos maduros conocidos en el Bosque Estatal de Maricao y sólo uno en el Bosque de Río Abajo, para un total de 47 individuos.
- Criterio D: tamaño de la población estimada menos a 50 individuos maduros.

En un sentido global, el peligro de extinción es evidente en la especie, principalmente por el bajo número de poblaciones e individuos registrados, la baja abundancia de individuos reproductivos, el sistema reproductivo (dioico) pues sólo la mitad de los individuos en la población pueden contribuir con semillas lo cual impacta el reclutamiento, la aparente ausencia de dispersores de semillas, baja producción de frutos debido a posibles fallas en la polinización, pues casi la mitad de las hembras se encuentran a más de 100 m del macho más cercano y su existencia en sitios sujetos a disturbios humanos como bordes de carreteras y caminos. Todos estos factores restringen la reproducción sexual de la especie (Given, 1994).

Las medidas de conservación proporcionadas a las especies listadas a nivel federal incluyen reconocimiento, acciones para la recuperación, requerimientos para protección federal y prohibiciones contra ciertas prácticas. Cuando una especie es listada se crea un interés por implementar acciones para su conservación no sólo a nivel federal sino estatal, de grupos privados e individuos (U.S. Fish and Wildlife Service, 1999). Lo anterior es cierto pero en gran medida no ha sido cumplido. Los bosques públicos deben proteger las especies listadas; a pesar de ello, se realizó la construcción de varias carreteras tanto en Maricao como en Río Abajo (carreteras 362 y 10, respectivamente) las cuales provocaron la desaparición de muchos individuos.

La única población natural conocida se encuentra en el Bosque Estatal de Maricao y está en peligro constante debido a la "limpieza de carreteras y caminos" por parte de trabajadores municipales o entidades privadas contratadas para este fin. Las cinco áreas (Carretera 120, Camino Guamá, Antiguo camino al criadero de peces, Camino interpretativo Falcón de Sierra y Criadero de peces de Maricao) donde se encuentra la especie deben ser protegidas y designarse como áreas críticas; además las personas encargadas de mantener podados los bordes de caminos y carreteras deben tener pleno conocimiento del estatus actual de las especies que como *C. bellonis* habitan en este tipo de lugares, todo esto reforzando las regulaciones federales y estatales existentes sobre las especies en peligro de extinción. La protección de hábitat debería incluir el desarrollo de planes de manejo para la especie, que deben proveer protección y recuperación tanto en Maricao como en Río Abajo. Es necesario educar al público en general sobre la conservación de estas especies.

Es muy importante que se dé un seguimiento constante a las plantas reintroducidas en el 2003 en Bosque de Río Abajo, pues son los únicos individuos conocidos de esta especie en dicha zona. Estas plantas no están sujetas a disturbios antrópicos evidentes, pero al ser sembradas bajo el dosel del bosque debe observarse su supervivencia. La mortalidad dada por factores naturales es evidente pues se registró una reducción del 44.2% entre 2003 y 2005. La especie crece mejor en áreas abiertas o en zonas de borde con buena iluminación.

Los disturbios antrópicos causan disminuciones importantes en las poblaciones. Durante el periodo de estudio hubo una reducción de 32.3% para el taxón; esta reducción se dio principalmente por la desaparición de varios individuos en Maricao, específicamente: cuatro hembras (carretera 120 y Camino Guamá), un macho (Camino Guamá), cinco plantas no reproductivas (Camino Guamá) y 50 plántulas (que desaparecieron por causas antrópicas y

naturales). Para febrero de 2006, la población del bosque de Maricao constaba de 132 individuos conocidos, incluyendo 29 machos, 17 hembras, 28 individuos no reproductivos y 58 plántulas. El plan de manejo de la especie debería considerar como prioritaria la conservación *in situ* de las plantas, principalmente los 46 individuos reproductivos en los años de muestreo (2004-2006) ya que las 17 hembras restantes son las únicas que proveen frutos. Las plantas no reproductivas deben ser observadas todos los años para tratar de determinar el sexo; como se demostró en este estudio algunas plantas no florecen todos los años.

Se deben organizar proyectos enfocados a la conservación *ex situ* y evaluación de técnicas de propagación de la especie; aunque en este estudio la germinación de semillas fue nula, en años anteriores la germinación fue relativamente favorable. Se debe tener en cuenta la época de fructificación de la especie, la cual se da entre septiembre y febrero, pero la época de maduración de frutos comienza en noviembre. Conociendo la ubicación exacta de las hembras se pueden realizar recolecciones de frutos, exactamente entre noviembre y enero debido a la sincronía observada en estos meses. Es necesario tener presente que la maduración de frutos se da de manera desigual, observándose frutos inmaduros y maduros a la vez; en algunas ocasiones se registraron hembras con tan sólo cinco frutos maduros (con otros inmaduros en la misma planta) en un lapso de aproximadamente 4 a 7 días. La baja producción de frutos y la corta duración (pocos días) de los frutos maduros en la planta son factores determinantes al realizar la recolección de frutos. Después de tener una población artificial de plantas cultivadas, se podrían realizar futuros planes de reintroducción de la especie. Esta reintroducción debería hacerse tanto en el Bosque de Maricao como en Río Abajo, ya que la especie está adaptada a suelos de serpentina y caliza. En Maricao, podría tenerse en cuenta el antiguo camino al criadero de peces, pues ésta área es poco frecuentada por trabajadores del bosque y público en general. Otra zona

importante para la reintroducción de la especie podría ser la parte alta del Camino Guamá, pues es la parte más húmeda del camino (obs. pers.). Dado que la especie requiere altos niveles de exposición a la luz los sitios deben escogerse cuidadosamente aunque la vegetación de esta zona presenta porte mediano; teniendo en cuenta esta característica la siembra debería hacerse a aproximadamente tres metros del borde del camino. Las plantas no tendrían peligro de corte a esta distancia.

Se ha comprobado que *C. bellonis* se puede reproducir asexualmente por medio de esquejes; al parecer ésta fue una de las formas por las cuales produjeron individuos en el invernadero de Cambalache. Este mecanismo bien manejado, puede ser una alternativa ventajosa para la reintroducción de individuos a corto plazo, especialmente en el caso de algunas hembras situadas a gran distancia de los machos más cercanos, por lo cual los esfuerzos de recuperación deben enfocarse a la reintroducción futura de plantas en áreas relativamente próximas a individuos femeninos. Por ejemplo, la hembra 30 (localidad 15), la cual no produjo frutos, está a 940 m del macho más cercano. La reproducción por esquejes podría servir entonces para establecer algunos machos (procedentes de diferentes adultos masculinos) en sitios cercanos a las hembras y en este caso específico, se podrían sembrar en la carretera 120 km 15. Las localidades observadas en Río Abajo, están muy separadas entre si. Por ejemplo la distancia entre las localidades 1 y 2 fue 1000 m, entre 2 y 3 fue 3300 m y entre 1 y 3 fue 2800 m aproximadamente, por lo cual se recomienda introducir plantas en zonas intermedias a estos lugares con el fin de facilitar el transporte de polen entre los sitios y aumentar la variabilidad genética.

A mediados de octubre del 2005 se sembraron dos individuos. El primero era una planta no reproductiva trasladada desde el Bosque de Río Abajo por el Oficial de Manejo Adrián Muñiz y el segundo era un macho trasladado desde el invernadero de la Universidad de Puerto Rico,

Recinto de Mayagüez, en el cual permaneció por aproximadamente 11 años. Las plantas se sembraron en el Camino Guamá en un área aledaña a la localidad 32 en donde se encuentra una hembra de gran porte. La primera planta se sembró a 2 m de la vía en frente de la hembra (lado derecho bajando por el camino) y la segunda se sembró a 2.5 m de la vía y a 5 m de la hembra (lado izquierdo bajando por el camino). Los sitios de siembra fueron escogidos debido a que las plantas tienen mayores probabilidades de supervivencia que sobre la carretera 120 (ya que no hay peligro de corte en esa área específicamente), están cerca de individuos reproductivos y tienen buena exposición a la luz. En enero y febrero de 2006 se realizaron dos visitas con el fin de determinar el estado de salud de las plantas; al parecer la siembra no provocó ningún daño y las plantas se encontraron en buen estado.

Las observaciones de campo sugieren que las plántulas tienen una mayor mortalidad en los primeros meses después de la germinación (febrero-noviembre). Esta característica es fundamental para la conservación *ex situ* de la especie; se debe tener especial cuidado con las plántulas recién germinadas para que puedan establecerse y eventualmente se pueda reintroducir un mayor número. También es importante dar seguimiento a plántulas *in situ*, sobre todo las registradas en la carretera 120 km 11.6, pues están en peligro inminente por la cercanía a la carretera (~1.5 m). En general, la especie habita en bosques sucesiones y zonas alteradas antrópicamente, sobre suelos de serpentina (series Nipe y Rosario) y caliza, sobre bordes de carreteras y caminos, ribera de ríos, en áreas de pendiente inclinada (~30° a 35°), en sitios abiertos con buena exposición a la luz, en elevaciones entre 540 a 890 msnm (Bosque Estatal de Maricao), en áreas húmedas, en suelos poco profundos y relativamente expuestos debido a la pequeña capa de hojarasca y en áreas de moderadamente ácidas a neutras. Para implementar planes de recuperación de la especie se deberían tener en cuenta estos requerimientos de hábitat.

CONCLUSIONES

- *Cordia bellonis* habita en los Bosques Estatales de Maricao y Río Abajo en un área de ocupación menor a 1 km².
- La especie se establece principalmente en 46 localidades conocidas distribuidas en cinco áreas dentro del Bosque Estatal de Maricao.
- En el Bosque Estatal de Río Abajo las subpoblaciones conocidas se sitúan en tres localidades.
- Se registraron 226 individuos entre adultos y plántulas en los Bosques Estatales de Maricao y Río Abajo. No se registró ningún individuo en el Bosque de Susúa.
- *Cordia bellonis* presenta segregación espacial de sexos, pero la población es simétrica; además la proporción de sexos no fue significativamente diferente de 1:1 en el Bosque Estatal de Maricao.
- *Cordia bellonis* es una especie sincrónica y estacional que florece en la época de lluvias y fructifica desde finales de la época de lluvias hasta finales de la época seca.

- Las flores de *C. bellonis* son visitadas principalmente por individuos de las familias Noctuidae (Lepidoptera), Syrphidae (Diptera) y *Apis mellifera* (Hymenoptera).
- No se observaron dispersores de semillas.
- El reclutamiento de plántulas ocurrió durante la época seca y comienzos de época lluvias. La mayor mortalidad se presentó en época seca (febrero). El mayor promedio de crecimiento en plántulas fue 5.8 cm en noviembre.
- La especie no es formadora bancos de semillas en el suelo.
- La especie habita principalmente sobre bordes de carreteras y caminos, áreas húmedas de pendiente inclinada con buena exposición a la luz, en elevaciones entre 540 a 890 m (Maricao), en suelos poco profundos y en áreas de moderadamente ácidas a neutras.
- La especie debe seguir listada como En Peligro por FWS debido principalmente a la disminución de las poblaciones por disturbios antropogénicos, gran distancia entre individuos reproductivos, baja producción de frutos y altas tasas de mortalidad de plántulas.

LITERATURA CITADA

- Alliende, M. C. y J. L. Harper. 1989. Demographic studies of a dioecious tree. I. Colonization, sex and age structure of a population of *Salix cinerea*. *J. Ecol.* 77: 1029-1047.
- Allison, L. E. 1965. Organic carbon. En: Black, C. A, D. D. Evans, J. L. White, L. E. Ensminger y S. E. Clark, eds. *Methods of soils analysis, part II: Chemical and microbiological properties*. American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin. USA. 1367 pp.
- Anderson, G., G. Bernardello, T. F. Stuessy y D. J. Crawford. 2001. Breeding system and pollination of selected plants endemic to Juan Fernandez Islands. *Am. J. Bot.* 88: 220-233.
- Augsburger, C. K. 1984. Light requirements of neotropical tree seedlings: a comparative study of growth and survival. *J. Ecol.* 72: 777-795.
- Baker, H. G. 1955. Self-compatibility and establishment after 'long-distance' dispersal. *Evolution* 9: 347-349.
- Baker, H. G. 1967. Support for Baker's law – as a rule. *Evolution* 21: 853-856.
- Barret, C. H. y J. R. Kohn. 1991. Genetic and evolutionary consequences of small population size in plants: implications for conservations. En: Falk D. A. y K. E. Holsinger, eds. *Genetics and conservation of rare plants*, pp. 3-30. Oxford University Press, New York, Oxford. 283 pp.
- Bawa, K. S. 1974. Breeding systems of tree species of a lowland tropical community. *Evolution* 28: 85-92.
- Bawa, K. S. 1980. Evolution of dioecy in flowering plants. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 11: 15-39.
- Bawa, K. S. 1982. Outcrossing and the incidence of dioecism in island floras. *Am. Nat.* 119: 886-871.
- Bawa, K. S y P. S. Ashton. 1991. Conservation of rare trees in tropical rain forest: a genetic perspective. En: Falk, D. A y K. E. Holsinger, eds. *Genetics and conservation of rare plants*, pp. 62-71. Oxford University Press, New York, Oxford. 283 pp.
- Bawa, K. S., Kang. H. y Grayum. M. H. 2003. Relationships among time, frequency, and duration of flowering in tropical rain forest trees. *Am. J. Bot.* 90: 877-887.

- Bawa, K. S y P. A. Opler. 1975. Dioecism in tropical forest trees. *Evolution* 29: 167-179.
- Bawa, K. S y P. A. Opler. 1977. Spatial relationships between staminate and pistillate plants of dioecious tropical forest trees. *Evolution* 31: 64-68.
- Beinroth, F. H., R. J. Engel., J. L. Lugo., C. L. Santiago., S. Ríos y G. R. Brannon. 2003. Updated taxonomic classification of the soils of Puerto Rico, 2002. University of Puerto Rico, Mayagüez Campus, College of Agricultural Science, Agricultural Experiment Station, San Juan, Puerto Rico. Bulletin 303. 73 pp.
- Bierzychudek, P y V. Eckhart. 1988. Spatial segregation of the sexes of dioecious plants. *Am. Nat.* 132: 34-43.
- Breckon, G. J y D. A. Kolterman. 1993. *Cordia bellonis* Urban (Boraginaceae). Final report under Cooperative Agreement No. 1416-0004-92-970 between U. S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service and University of Puerto Rico, Mayagüez Campus. Mayagüez, Puerto Rico. 14 pp.
- Breckon, G. J y D. A. Kolterman. 1994. *Cordia bellonis* Urban (Boraginaceae). Final report under Cooperative Agreement No. 1448-0004-93-973 between U. S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service and University of Puerto Rico, Mayagüez Campus. Mayagüez, Puerto Rico. 4 pp.
- Breckon, G. J y D. A. Kolterman. 1996. *Cordia bellonis* Urban (Boraginaceae). Final report under Cooperative Agreement No. 1448-0004-94-9113 between U. S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service and University of Puerto Rico, Mayagüez Campus. Mayagüez, Puerto Rico. 5 pp.
- Britton, N. L. y P. Wilson. 1925. Scientific survey of Porto Rico and the Virgin Islands. Volume VI—Part 1. Botany of Porto Rico and the Virgin Island. Descriptive flora—Spermatophyta (continued). New York Academy of Sciences, New York. 158 pp.
- Carlquist, S. J. 1974. Island biology. Columbia University Press, New York. 660 pp.
- Carrero, R. G. 2001. Population ecology and reproductive biology of the endangered *Buxus vahlii* Baillon (Buxaceae). M. S. thesis, University of Puerto Rico, Mayagüez Campus. 94 pp.
- Caswell, H. 1982a. Optimal life histories and the maximization of reproductive value: a general theorem for complex life cycles. *Ecology* 63: 1218-1222.
- Caswell, H. 1982b. Stable population structure and reproductive value for populations with complex life cycles. *Ecology* 63: 1223-1231.

- Cedeño M., J. A. 1997. Vascular flora of the Río Maricao watershed, Maricao Commonwealth Forest, Maricao, Puerto Rico. M. S. thesis, University of Puerto Rico, Mayagüez Campus. 158 pp.
- Cedeño-M., J. A. y G. J. Breckon. 1996. Serpentine endemism in the flora of Puerto Rico. *Caribbean J. Sci.* 32: 348-356.
- Charlesworth, D. 1989. Evolution of low female fertility in plants: pollen limitation, resources allocation and genetic load. *Trends Ecol. Evol.* 4: 289-92.
- Condit, R., S. P. Hubbell y R. B. Foster. 1994. Density-dependence in two understory tree species in a neotropical forest. *Ecology* 75: 671-680.
- De Jong, T. J., J. C. Batenburg y P. G. L. Klinkhamer. 2005. Distance-dependent pollen limitation of seed set in some insect-pollinated dioecious plants. *Acta Oecol.* 28: 331-335.
- Departamento de Recursos Naturales. 1976. The master plan for the Commonwealth forests of Puerto Rico. Area of Planning and Evaluation, Río Piedras, Puerto Rico. 259 pp.
- Dieringer, G. 1999. Reproductive biology of *Agalinis skinneriana* (Scrophulariaceae), a threatened species. *J. Torrey Bot. Soc.* 126: 289-295.
- Ehrendorfer, F. 1979. Reproductive biology in island plants. En: Bramwell, D., ed. *Plants and islands*, pp. 293-306. Academic Press, London. 459 pp.
- Ewel, J. J y J. L. Whitmore. 1973. Ecological life zones of Puerto Rico and the U. S. Virgin Islands. ITF-18. Institute of Tropical Forestry, Río Piedras, Puerto Rico. 71 pp.
- Fægri, K. y L. van der Pijl. 1979. *The principles of pollination ecology*. 3rd revised ed. Pergamon Press, London. 244 pp.
- Falk, D. 1991. Joining biological and economic models for conservation plant genetic diversity. En: Falk D. A. y K. E. Holsinger, eds. *Genetics and conservation of rare plants*, pp. 209-223. Oxford University Press, New York, Oxford. 283 pp.
- Flores, S. y D. Schemske. 1984. Dioecy and monoecy in the flora of Puerto Rico and the Virgin Islands: ecological correlates. *Biotropica* 16: 132-139.
- Francis, J. K. 1995. *Cordia sulcata* DC. White manjack, moral. SO-ITF-SM-77. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 4 pp. <http://www.fs.fed.us/global/iitf/Cordiasulcata.pdf>.
- Frankie, G. W., K. G. Baker y P. A. Opler. 1974. Comparative phenological studies of trees in tropical wet and dry forest in the lowlands of Costa Rica. *J. Ecol.* 62: 881-919.
- Given, D. 1994. *Principles and practice of plant conservation*. Timber Press, Inc., Portland, Oregon. 292 pp.

- González R., M. 1998. Population and reproductive ecology of *Calliandra locoensis* García & Kolterman (Mimosaceae), an endemic species of southwestern Puerto Rico. M. S. thesis, University of Puerto Rico, Mayagüez Campus. 144 pp.
- Hamman, A. 2004. Flowering and fruiting phenology of a Philippine submontane rain forest: climatic factors as proximate and ultimate causes. *J. Ecol.* 92: 24-31.
- Hamrick, J. L., M. J. M. Godt, D. A. Murawski y M. D. Loveless. 1991. Correlations between species traits and allozyme diversity: Implications for conservation biology. En: Falk D. A. y K. E. Holsinger, eds. *Genetics and conservation of rare plants*, pp. 75-86. Oxford University Press, New York, Oxford. 283 pp.
- Harper, J. L. 1977. *Population biology of plants*. London Academic Press, London. 892 pp.
- Heilbuth, J.C. 2000. Lower species richness in dioecious clades. *Am. Nat.* 156: 221-241.
- Herrera, C. M. 1988. Plant size, spacing patterns, and host-plant selection in *Osyris quadripartita*, a hemiparasitic dioecious shrub. *J. Ecol.* 76: 995-1006.
- Herrera, C. M., P. Jordano, L. Lopez-Soria y J. A. Amat. 1994. Recruitment of a mast-fruiting, bird-dispersed tree: bridging frugivore activity and seedling establishment. *Ecol. Monogr.* 64: 315-344.
- Howe, H. F y J. Smallwood. 1982. Ecology of seed dispersal. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 13: 201-228.
- Humeau, L., T. Pailler y J. D. Thompson. 1999. Cryptic dioecy and leaky dioecy in endemic species of *Dombeya* (Sterculiaceae) on La Reunion. *Am. J. Bot.* 88: 220-233.
- IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources). 2002. IUCN red list of threatened species. IUCN, Gland, Switzerland.
- IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources). 2004. IUCN red list of threatened species. IUCN, Gland, Switzerland. <http://www.redlist.org>.
- Janzen, D. H. 1967. Synchronization of sexual reproduction of trees within the dry season in Central America. *Evolution* 21: 620-637.
- Kuo, S. 1996. Phosphorus. En: Bartels R. C., ed. *Methods of soil analysis, Part 3: Chemical Methods*, pp. 869-919. Soil Science Society of America, Inc., Madison, WI. 1390 pp.
- Lemus-Jiménez, L. J. y N. Ramírez. 2003. Polinización y polinizadores en la vegetación de la planicie costera de Paraguay, Estado Falcón, Venezuela. *Acta Cient. Venezolana.* 54: 97-114.

- Levin, D. A. 1974. Spatial segregation of pins and thrums in populations of *Hedyotis nigricans*. *Evolution* 28:648-655.
- Liegel, L. H y J. W. Stead. 1990. *Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken. Laurel, capá prieto. En: Burns, R. M. y B. H. Honkala, eds. *Silvics of North America: 2. Hardwoods*. Agric. Handb. 654, pp. 270-277. U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington, DC. <http://www.fs.fed.us/global/iitf/Cordiaalliodora.pdf>.
- Liogier, H. A. 1995. Descriptive flora of Puerto Rico and adjacent islands. Spermatophyta. Vol 4. Editorial de la Universidad de Puerto Rico, Río Piedras, Puerto Rico. 617 pp.
- Liogier, H. A. y L. F. Martorell. 2000. Flora of Puerto Rico and adjacent islands: a systematic synopsis. Editorial de la Universidad de Puerto Rico, Río Piedras, Puerto Rico. 382 pp.
- Lipow, S. y R. Wyatt. 1998. Reproductive biology and breeding system of *Gonolobus suberosus* (Asclepiadaceae). *J. Torrey Bot. Soc.* 125: 183-193.
- Mack, A. L. 1997. Spatial distribution, fruit production, and seed removal of a rare, dioecious canopy tree species (*Aglaia aff flavida* Merr. et Perr.) in Papua New Guinea. *J. Trop. Ecol.* 13: 305-316.
- Martínez-Garza, C. y Howe, H.F. 2003. Restoring tropical diversity: beating the time tax on species loss. *J. Appl. Ecol.* 40: 423-429.
- Maschinski, J., J. E. Baggs y C. F. Sacchi. 2004. Seedling recruitment and survival of an endangered limestone endemic in its natural habitat and experimental reintroduction sites. *Am. J. Bot.* 91: 689-698.
- Melampy, M. N y H. F. Howe. 1977. Sex ratio in the tropical tree *Triplaris americana* (Polygonaceae). *Evolution* 31: 867-872.
- Menges, E. 1991. The application of minimum viable population theory to plants. En: Falk D. A. y K. E. Holsinger, eds. *Genetics and conservation of rare plants*, pp. 45-61. Oxford University Press, New York, Oxford. 283 pp.
- Messmore, N. A. y J. S. Knox. 1997. The breeding system of the narrow endemic, *Helenium virgicum* (Asteraceae). *J. Torrey Bot. Soc.* 124: 318-321.
- Moles, T. A y M. Westoby. 2004. Seedling survival and seed size: a synthesis of the literature. *J. Ecol.* 92: 372-383.
- Moreno, C. P. 1996. *Ciencia para todos*. Fondo de Cultura Económica, México. <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/146/htm/vidayob.htm>

- Newstrom, L. E., G. W. Frankie y H. G. Baker. 1994. A new classification for plant phenology based on flowering patterns in lowland tropical rain forest trees at La Selva, Costa Rica. *Biotropica* 26: 141-159.
- Opler, P. A., H. G. Baker y G. W. Frankie. 1975. Reproductive biology of some Costa Rican *Cordia* species (Boraginaceae). *Biotropica* 7: 234-247.
- Osunkoya, O. O. 2003. Two-sex population projection of the endemic and dioecious rainforest shrub, *Gardenia actinocarpa* (Rubiaceae). *Biol. Conservation* 114: 49-51.
- Pannell, J. R. y S. C. H. Barret. 1998. Baker's Law revisited: reproductive assurance in a metapopulation. *Evolution* 52: 657-668.
- Pascarella, J. B. 1996. Reproductive ecology of *Picramnia pentrandra* (Picramniaceae) in South Florida. *Caribbean J. Sci.* 32: 99-104.
- Pellmyr, O. y L. B. Thien. 1986. Insect reproduction and floral fragrances: keys to the evolution of the angiosperms? *Taxon* 35: 76-85.
- Pielou, E. C. 1961. Segregation and symmetry in two-species populations as studied by nearest-neighbour relationship. *J. Ecol.* 49: 255-269.
- Primack, R. B. 1987. Relationships among flowers, fruits and seeds. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 18: 490-530.
- Primack, R. B. 1993. *Essentials of conservation biology*. Sinauer Associates Inc., Sunderland, MA. 564 pp.
- Ramírez, N. 2002. Reproductive phenology, life-forms, and habitats of the Venezuelan central plain. *Am. J. Bot.* 89: 836-842.
- Rathcke, B y E. P. Lacey. 1985. Phenological patterns of terrestrial plants. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 16: 179-214.
- Renner, S. S. y R. E. Ricklefs. 1995. Dioecy and its correlates in the flowering plants. *Am. J. Bot.* 82: 596-606.
- Report to U. S. Fish and Wildlife Service on monitoring programs for plant species, the Puerto Rico Boa and the Broad Winged Hawk. PR-10 Highway, Arecibo-Utuado. AC-001091 and AC- 1000017. Monthly report N° 7. Period November 1995.
- Report to U. S. Fish and Wildlife Service on monitoring programs for plant species, the Puerto Rico Boa and the broad Winged Hawk. PR-10 Highway, Arecibo-Utuado. AC-001091 and AC- 1000017. Monthly report N° 29. Period August 1997.

- Rojas, G. M. 1994. Reproductive and population ecology of *Polygala cowellii* (Britton) Blake (Polygalaceae). M. S. thesis, University of Puerto Rico, Mayagüez Campus. 155 pp.
- Santiago, V. E. 1995. Reproductive and population ecology of *Goetzea elegans* Wydler (Solanaceae or Goetzeaceae). M. S. thesis, University of Puerto Rico, Mayagüez Campus. 174 pp.
- Schemske, D. W., B. C. Husband, M. H. Ruckelshaus, C. Goodwillie, I. M. Parker y J. G. Bishop. 1994. Evaluating approaches to the conservation of rare and endangered plants. *Ecology* 75: 584-606.
- Silander, S., H. Gil de Rubio, M. Miranda. y M. Vázquez. 1986. Los bosques de Puerto Rico, Volumen II. Compendio enciclopédico de los recursos naturales de Puerto Rico. Puerto Rico Department of Natural Resources, San Juan, Puerto Rico. 410 pp.
- Silvertown, W. J y D. J. Lovett. 1993. Introduction to plant population biology. 3rd ed. Blackwell Science Ltd., Oxford. 210 pp.
- Simberloff, D. 1988. The contribution of population and community biology to conservation science. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 19: 473-511.
- Soil survey of Mayagüez area of western Puerto Rico. 1975. United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service in cooperation with University of Puerto Rico, College of Agricultural Sciences.
- Somanathan, H. y R. M. Borges. 2000. Influence of exploitation on population structure, spatial distribution and reproductive success of dioecious species in a fragmented cloud forest in India. *Biol. Conservation* 94: 243-256.
- Steven, J., T. Rooney, O. D. Boyle y D. M. Waller. 2003. Density-dependent pollinator visitation and self-incompatibility in upper Great Lakes populations of *Trillium grandiflorum*. *J. Torrey Bot. Soc.* 130: 23-29.
- Thomas, G. W. 1996. Soil pH and soil acidity. En: Bartels R. C, ed. *Methods of soil analysis, Part 3: Chemical Methods*, pp. 475-490. Soil Science Society of America, Inc., Madison, WI. 1390 pp.
- UICN. 2001. Categorías y criterios de la Lista Roja de la UICN: Versión 3.1. Comisión de Supervivencia de Especies de la UICN. UICN, Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido. ii + 33 pp.
- Urban, I. 1899. *Symb. Antill.* 1: 393.
- U. S. Fish and Wildlife Service. 1999. Recovery plan for *Cordia alliodora*. Atlanta, GA. 18 pp.

- Valido, A., Y. L. Dupont y D. M. Hansen. 2002. Native birds and insects, and introduced honey bees visiting *Echium wildpretii* (Boraginaceae) in the Canary Islands. *Acta Ecologica* 23: 413-419.
- Vamosi. J. C. y S. M. Vamosi. 2005. Present day risk of extinction may exacerbate the lower species richness of dioecious clades. *Diversity Distrib.* 11: 25-32.
- Van Schaik, C. P., J. W. Terborg y S. J. Wright. 1993. The phenology of tropical forest: Adaptive significance and consequences for primary consumers. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 24: 353-377.
- Walck, J., J. Baskin y C. Baskin. 1999. Ecology of the endangered species *Solidago shortii*. VI. Effects of habitat type, leaf litter, and soil type on seed germination. *J. Torrey Bot. Soc.* 126: 117-123.
- Walters, M. B y P. B. Reich. 2000. Seed size, nitrogen supply and growth rate affect tree seedling survival in deep shade. *Ecology* 81: 1887-1901.
- Weller. S. G. 1994. The relationship of rarity to plant reproductive biology. En: Bowles, M. L. y C. J. Whelan, eds. *Restoration of endangered species*, pp. 90-117. Cambridge University Press, New York. 394 pp.
- Weltzin, J. F y G. R. McPherson. 1999. Facilitation of conspecific seedling recruitment and shifts in temperate savanna ecotones. *Ecol. Monogr.* 69: 513-534.
- Whittaker, R. H. 1954. The ecology of serpentine soils. I. Introduction. *Ecology* 35: 258-259
- Wyatt, R. 2004. Mound microclimate, nutrients and seedlings survival. *Am. Midl. Nat.* 152: 12-24.
- Young, L. 2002. Patterns of seed survival and seedling recruitment: the role of herbivores in palm population dynamics.
<http://www.ots.duke.edu/en/education/reu/2002/projects/Laura%20Young.pdf>
- Zomlefer, W.B. 1994 *Guide to flowering plant families*. UNC Press, Chapel Hill and London. 430 pp.

TABLAS

Tabla 1. Reducción de las poblaciones de *Cordia bellonis* entre los años 1990 y 2005 en los Bosques Estatales de Maricao, Río Abajo y Susúa.

Bosques Estatales	1990	2005	Nº de individuos desaparecidos	Porcentaje de reducción
Maricao	87	34	53	60.9
Río Abajo	118	34	84	71.1
Susúa	5	0	5	100
Total taxón	210	68	142	67.6

Tabla 2. Reducción de las poblaciones de *Cordia bellonis* entre los años 1990 y 2005 en el Bosque Estatal de Maricao.

Sitios	1990	2005	Nº de individuos desaparecidos	Porcentaje de reducción
Carretera 120	53	33	20	37.7
Carretera 362	21	0	21	100
Criadero de peces	11	1	10	90.9
Casa de Piedra	2	0	2	100
Total taxón	87	34	53	60.9

Tabla 3. Lista de plantas asociadas con *Cordia bellonis* en el Bosque Estatal de Maricao.

Familia	Especie	Endémica
Acanthaceae	<i>Ruellia coccinea</i> (L.) Vahl	
Anacardiaceae	<i>Comocladia glabra</i> (Schult.) Spreng.	
Apocynaceae	<i>Plumeria krugii</i> Urb.	X
Asteraceae	<i>Bidens alba</i> (L.) DC. var. <i>radiata</i> (C.H.Schulz) Melchert	
	<i>Koanophyllon polyodon</i> (Urb.) R.M.King & H.Rob.	X
	<i>Elephantopus mollis</i> Kunth	X
	<i>Vernonia borinquensis</i> Urb.	
	<i>Vernonia sericea</i> Rich.	
Boraginaceae	<i>Cordia lima</i> (Desv.) Roem. & Schult.	
	<i>Cordia polycephala</i> (Lam.) I.M.Johnst.	
	<i>Cordia sulcata</i> DC.	
	<i>Tabebuia haemantha</i> (Bert.) DC.	
	<i>Tournefortia laurifolia</i> Vent.	X
Clusiaceae	<i>Clusia clusioides</i> (Griseb.) D'Arcy	
	<i>Clusia gundlachii</i> Stahl	X
Euphorbiaceae	<i>Croton impressus</i> Urb.	
Fabaceae	<i>Abrus precatorius</i> L.	
Flacourtiaceae	<i>Casearia arborea</i> (Rich.) Urb.	
	<i>Homalium racemosum</i> Jacq.	

Tabla 3. Cont.

Gentianaceae	<i>Lisianthus gracilis</i> Perkins	X
Lauraceae	<i>Ocotea leucoxydon</i> (Sw.) Mez <i>Persea americana</i> Mill.	
Malvaceae	<i>Sida rhombifolia</i> L.	
Melastomataceae	<i>Miconia laevigata</i> (L.) DC.	
Menispermaceae	<i>Cissampelos pereira</i> L.	
Mimosaceae	<i>Mimosa ceratonia</i> L.	
Moraceae	<i>Ficus americana</i> Aubl. <i>Ficus trigonata</i> L.	
Oleaceae	<i>Jasminum multiflorum</i> (Burm.f.)	
Polygonaceae	<i>Coccoloba diversifolia</i> Jacq.	
Polypodiaceae	<i>Nephrolepis rivularis</i> (Vahl) Mett.	
Rosaceae	<i>Rubus rosifolius</i> Smith.	
Rubiaceae	<i>Borreria verticillata</i> (L.) Meyer <i>Gonzalagunia hirsuta</i> (Jacq.) K. Schum. <i>Guettarda ovalifolia</i> Urb. <i>Guettarda pungens</i> Urb. <i>Guettarda scabra</i> (L.) Vent.	
Sapotaceae	<i>Sideroxylon cubense</i> (Griseb.) Penn.	
Smilacaceae	<i>Smilax havanensis</i> Jacq.	

Tabla 3. Cont.

Solanaceae	<i>Cestrum laurifolium</i> L.
	<i>Cestrum macrophyllum</i> Vent.
Zingiberaceae	<i>Renealmia jamaicensis</i> (Gaerth.) Horaninow

Tabla 4. Comparación del diámetro basal entre individuos reproductivos y no reproductivos de *Cordia bellonis* en el Bosque Estatal de Maricao.

Fuente	g.l.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	P
Modelo	1	3.35930311	3.35930311	42.66	<.0001*
Error	82	6.45747473	0.07874969		
Total	83	9.81677784			

* Diferencias significativas

Tabla 5. Comparación del diámetro basal entre machos y hembras en el Bosque Estatal de Maricao.

Fuente	g.l.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	P
Modelo	1	0.01288170	0.01288170	0.13	0.71
Error	49	4.68005726	0.09551137		
Total	50	4.69293896			

Tabla 6. Prueba de segregación espacial de Pielou (1961) aplicada a la segregación de sexos de *Cordia bellonis* en el Bosque Estatal de Maricao

		Base de la planta	
		Machos	Hembras
Vecino más cercano	Machos	18 (21.05)	12 (8.94)
	Hembras	9 (14.73)	12 (6.26)

$$\chi^2 = 8.98, P < 0.05$$

Tabla 7. Prueba de simetría de Pielou (1961) para machos y hembras de *Cordia bellonis* en el Bosque Estatal de Maricao. Para establecer los grados de libertad de la prueba no se tomaron en cuenta las columnas 3, 4 y 5.

Número de árboles para los cuales cada árbol sirvió como vecino más cercano

		Número de árboles para los cuales cada árbol sirvió como vecino más cercano						
		0	1	2	3	4	5	Total
Sexos	Machos	6 (8.95)	19 (13.81)	5 (5.53)	0	0	0	30
	Hembras	3 (6.26)	12 (9.66)	6 (3.86)	0	0	0	21
Total		9	31	11				51

$$\chi^2 = 6.41, P < 0.05$$

Tabla 8. Características del entorno de *Cordia alliodora* en el Bosque Estatal de Maricao.

Característica	Rango	n	Media	d.e.
Pendiente (°)	0 – 90	84	35.72	19.25
Humedad	0 – 10	84	6.10	2.14
Profundidad suelo (cm)	0 – 50	84	15.92	9.53
Profundidad hojarasca (cm)	1 – 16	84	5.84	2.90

Tabla 9. Distancia (metros) entre las hembras y el macho más cercano de *Cordia bellonis* en el Bosque Estatal de Maricao. Individuos femeninos que no fructificaron en el 2004 y 2005 (*).

Hembras		Machos		Distancia (m)
Individuo N°	Localidad N°	Individuo N°	Localidad N°	
2, 3, 6(*)	2	1	1	42.53
18	7	20	8	26.53
19, 22, 63	8	21	8	3.50
25	11	24	10	30.59
30(*)	15	26	12	940.87
31	16	33	17	130.30
35	19	34	18	28.16
36	20	34	18	44.08
37	21	34	18	154.07
43(*)	26	45	28	178.10
44	27	45	28	109.51
46	29	45	28	565.59
51	32	52	33	188.32
53	34	52	33	45.40
59	35	52	33	202.02
81	42	82	43	104.52
83	44	82	43	374.88

Tabla 10. Número de flores de *Cordia bellonis* visitadas y tiempo (segundos) promedio gastado por flor por *Apis mellifera*, Syrphidae, Pompilidae y Noctuidae. El número entre paréntesis indica el número de insectos visitantes.

Especie	N	Media (s)	d.e.
<i>Apis mellifera</i>	21 (11)	4.19	0.7
Syrphidae	6 (7)	5.25	0.5
Pompilidae	3 (1)	4.00	1
Noctuideae	29 (13)	11.68	1.03

Tabla 11. Análisis de suelo de 18 hembras de *Cordia bellonis* en el Bosque Estatal de Maricao.
P= Fósforo disponible, MO= Materia orgánica.

Hembra N°	Localidad	Hembras con plántulas bajo la copa	P (ppm)	MO (%)	pH
2	2		0.468091	8.11	6.12
3	2		0.543426	7.7	5.71
6	2		0.090625	4.49	6.42
18	7		2.807422	10.98	5.62
19	8		3.034736	11.06	6.54
22	8	X	2.129058	11,68	6.56
25	11		1.903133	12.8	6.06
30	15		0.694656	10,64	7.27
31	16	X	0.392631	5.96	7.12
35	19		0.015104	0	6.43
37	21		0	3.65	5.87
44	27	X	0.090598	5.33	6.54
46	29	X	0	4.42	6.12
51	32	X	0.468231	7.7	6.48
53	34	X	0	2.46	6.47
59	35	X	0	4.91	6.35
63	8		1.450006	4.14	6.29
81	42	X	0.392671	6.41	5.99

Tabla 12. Comparación del fósforo disponible para las hembras de *Cordia bellonis* que presentaban plántulas bajo la copa y hembras sin plántulas bajo la copa en el bosque Estatal de Maricao.

Fuente	g.l.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	P
Modelo	1	0.48357338	0.48357338	2.18	0.1594
Error	16	3.55216122	0.22201008		
Total	17	4.03573459			

Tabla 13. Comparación del contenido de materia orgánica para las hembras de *Cordia bellonis* que presentaban plántulas bajo la copa y hembras sin plántulas bajo la copa en el bosque Estatal de Maricao.

Fuente	g.l.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	P
Modelo	1	6.9250136	6.9250136	0.54	0.4742
Error	16	206.2558975	12.8909936		
Total	17	213.1809111			

Tabla 14. Comparación del pH del suelo para las hembras de *Cordia bellonis* que presentaban plántulas bajo la copa y hembras sin plántulas bajo la copa en el Bosque Estatal de Maricao

Fuente	g.l.	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F	P
Modelo	1	0.21658028	0.21658028	1.21	0.2882
Error	16	2.87119750	0.17944984		
Total	17	3.08777778			

FIGURAS

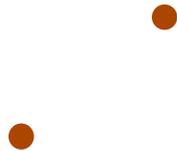


Figura 1. Mapa que muestra la localización de los Bosques de Maricao y Río Abajo, al suroeste y centro de Puerto Rico. Fuente: Dr. Jesús Danilo China. Universidad de Puerto Rico, Facultad de Artes y Ciencias, Departamento de Biología.

Figura 2. Localidades de las poblaciones de *Cordia bellonis* en el Bosque Estatal de Río Abajo.

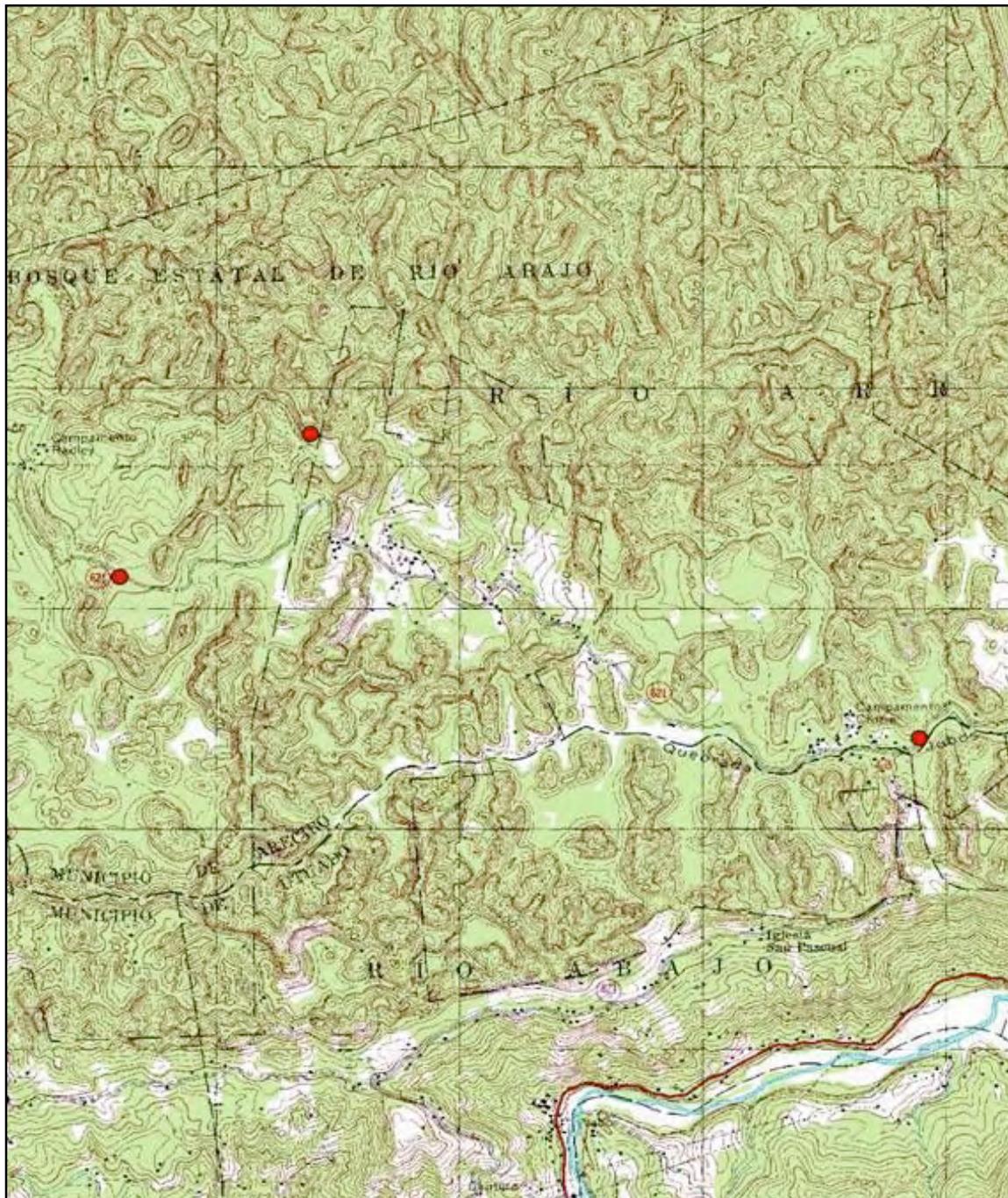
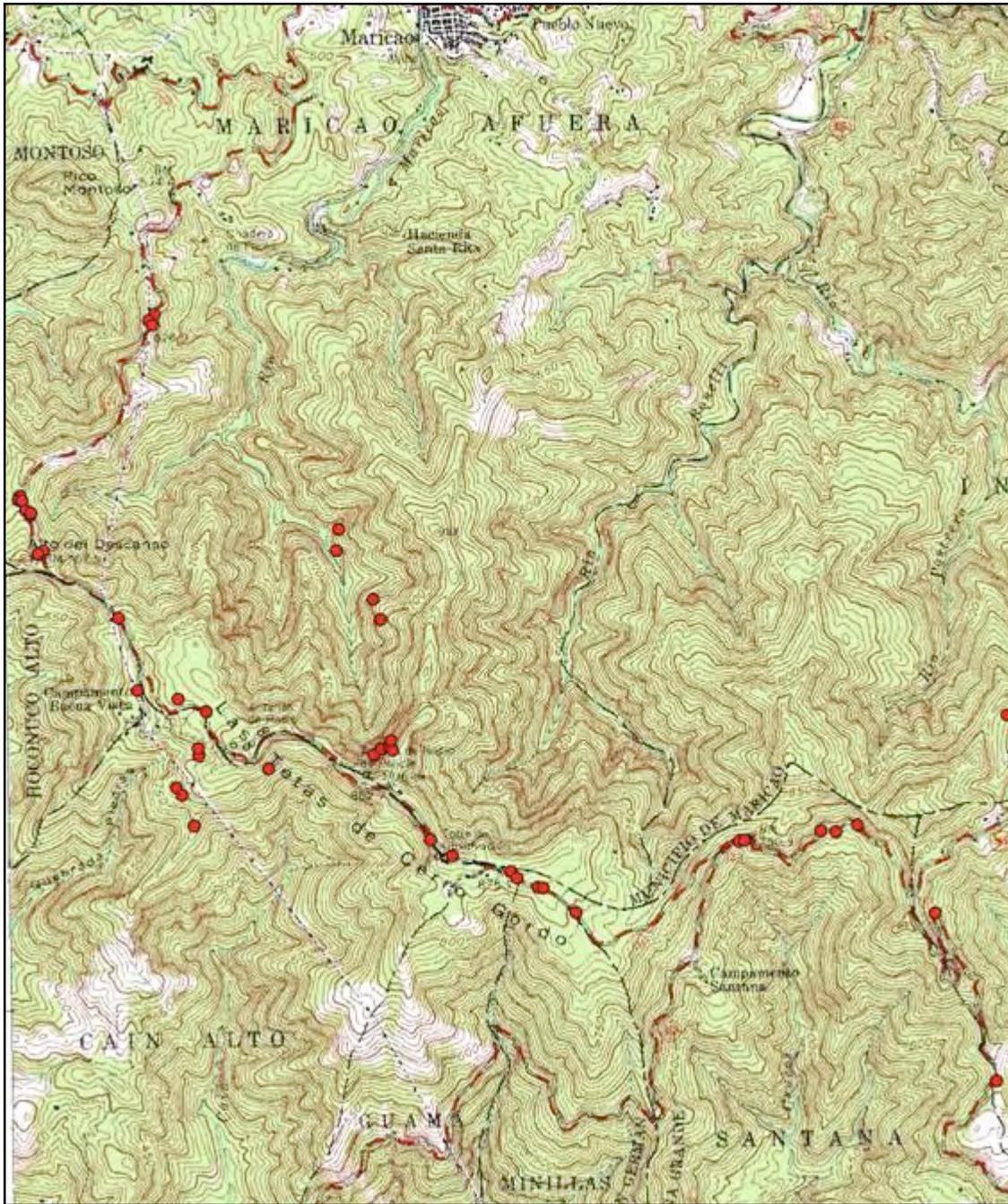


Figura 3. Localidades de las poblaciones de *Cordia bellonis* en el Bosque Estatal de Maricao.



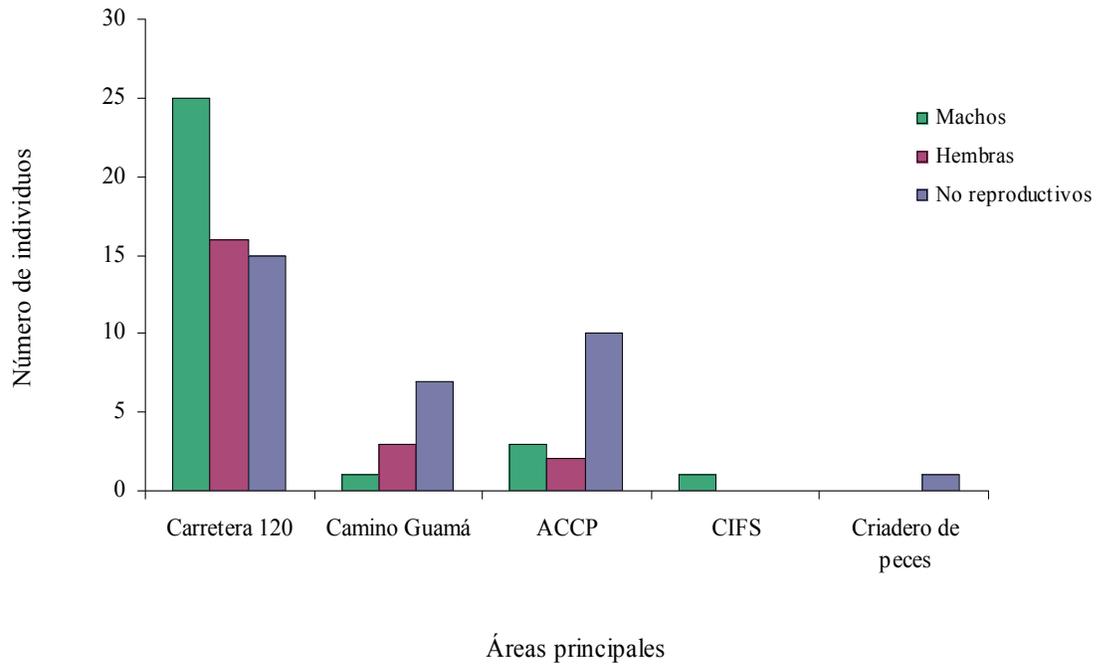


Figura 4. Distribución de individuos reproductivos y no reproductivos de *Cordia bellonis* en el Bosque Estatal de Maricao. Las cinco áreas son: la carretera 120 desde el kilómetro 18 hasta el 9, Camino Guamá, ACCP (antiguo camino al criadero de peces), CIFS (camino interpretativo Falcón de Sierra) y Criadero de peces de Maricao.

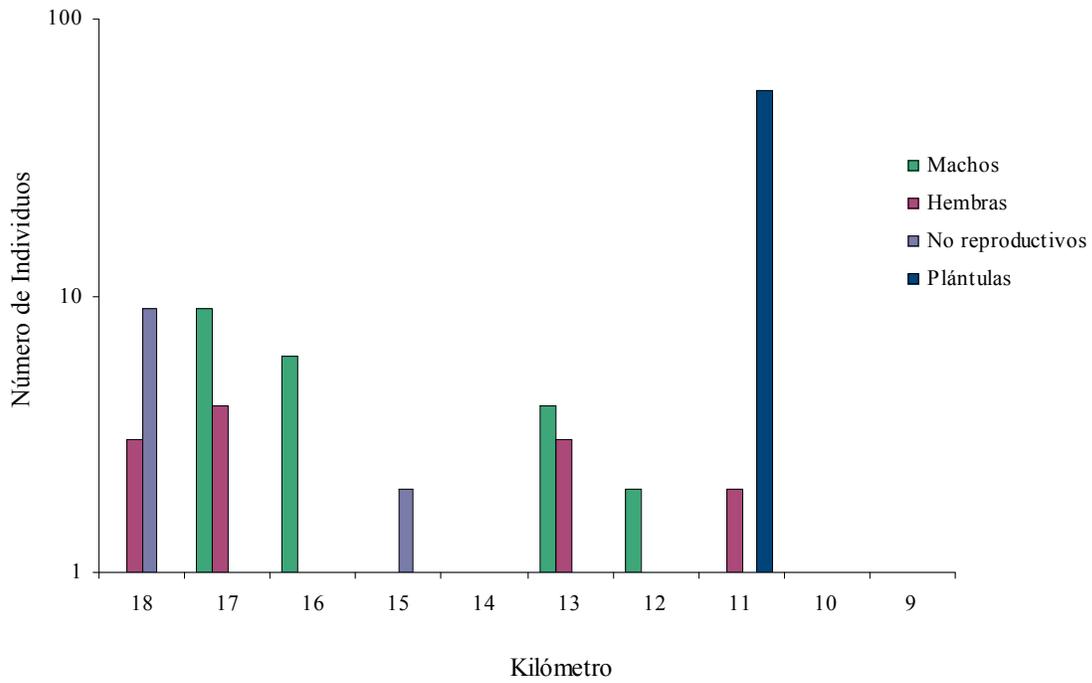


Figura 5. Distribución de individuos reproductivos, no reproductivos y plántulas de *Cordia bellonis* sobre la carretera 120 desde el kilómetro 18 hasta el 9 en el Bosque Estatal de Maricao.

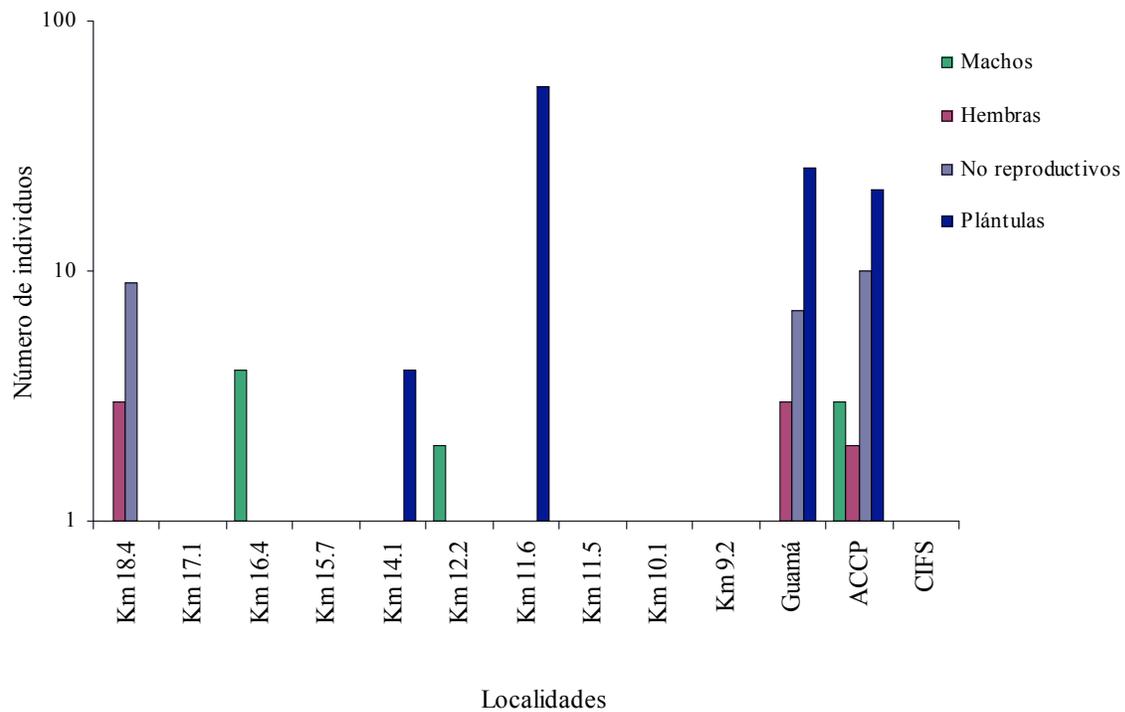


Figura 6. Distribución de individuos reproductivos, no reproductivos y plántulas de *Cordia bellonis* con nuevo registro sobre la carretera 120 desde el kilómetro 18.4 hasta el 9.2. Camino Guamá, ACCP: Antigo camino al criadero de peces y CIFS: Camino interpretativo Falcón de Sierra en el Bosque Estatal de Maricao.

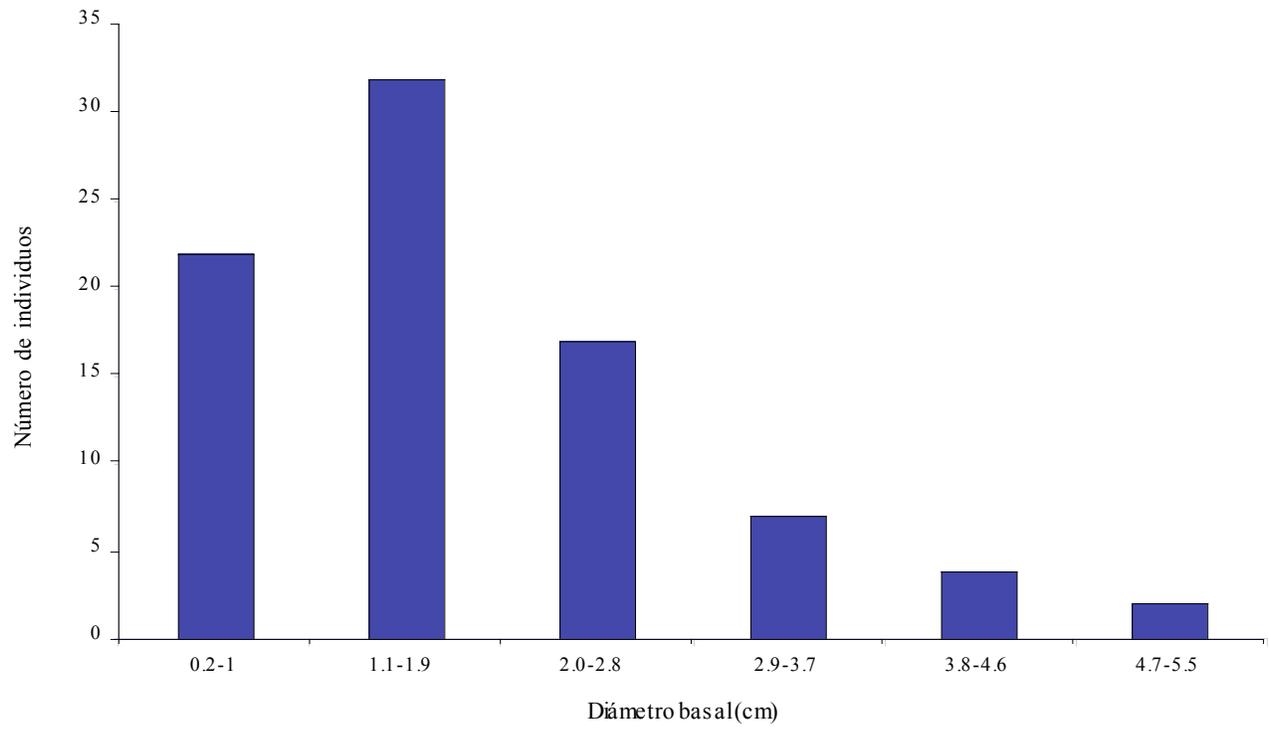


Figura 7. Distribución de frecuencias del diámetro basal para todos los individuos de *Cordia bellonis* en el Bosque Estatal de Maricao.

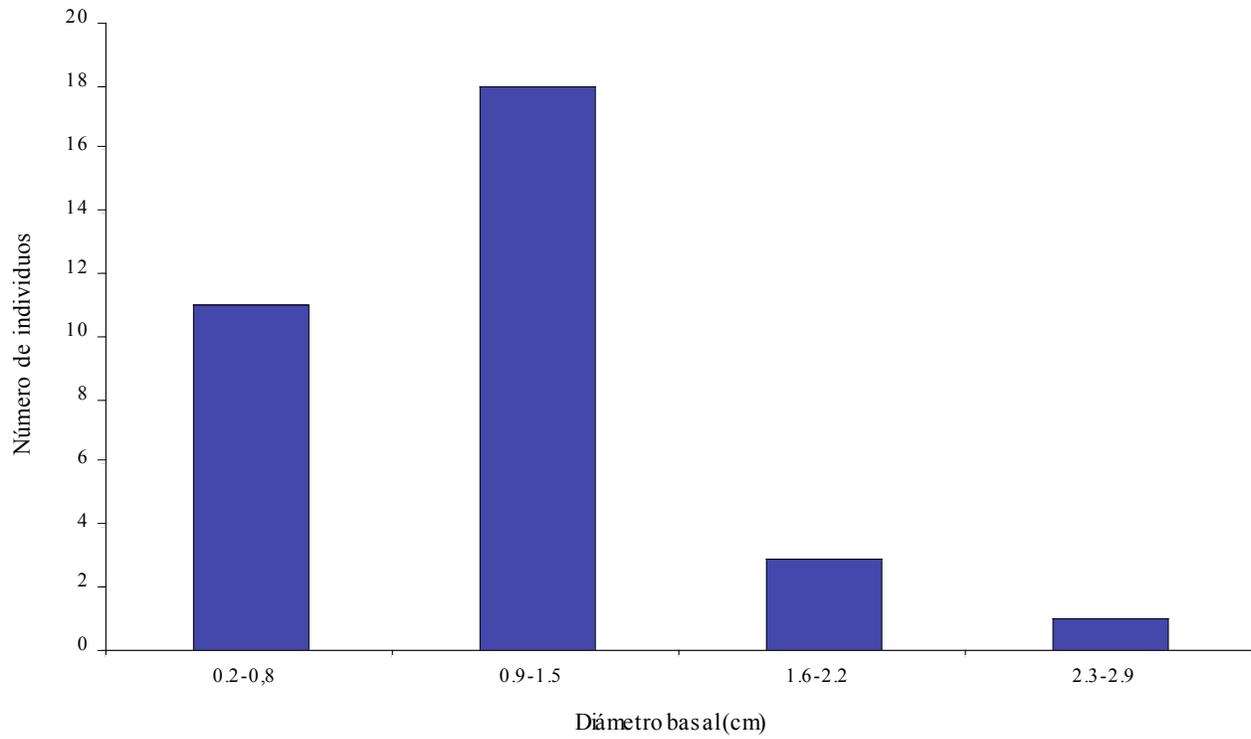


Figura 8. Distribución de frecuencias del diámetro basal para individuos no reproductivos de *Cordia bellonis* en el Bosque Estatal de Maricao.

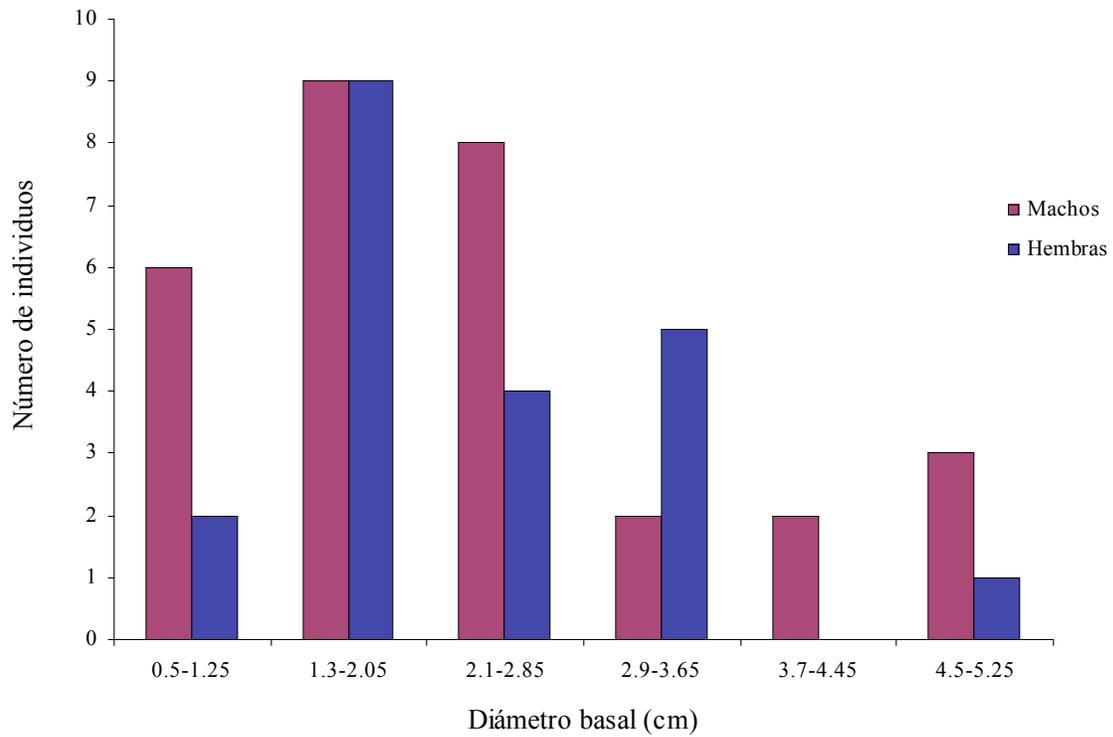


Figura 9. Distribución del diámetro basal para individuos reproductivos de *Cordia bellonis* en el Bosque Estatal de Maricao.

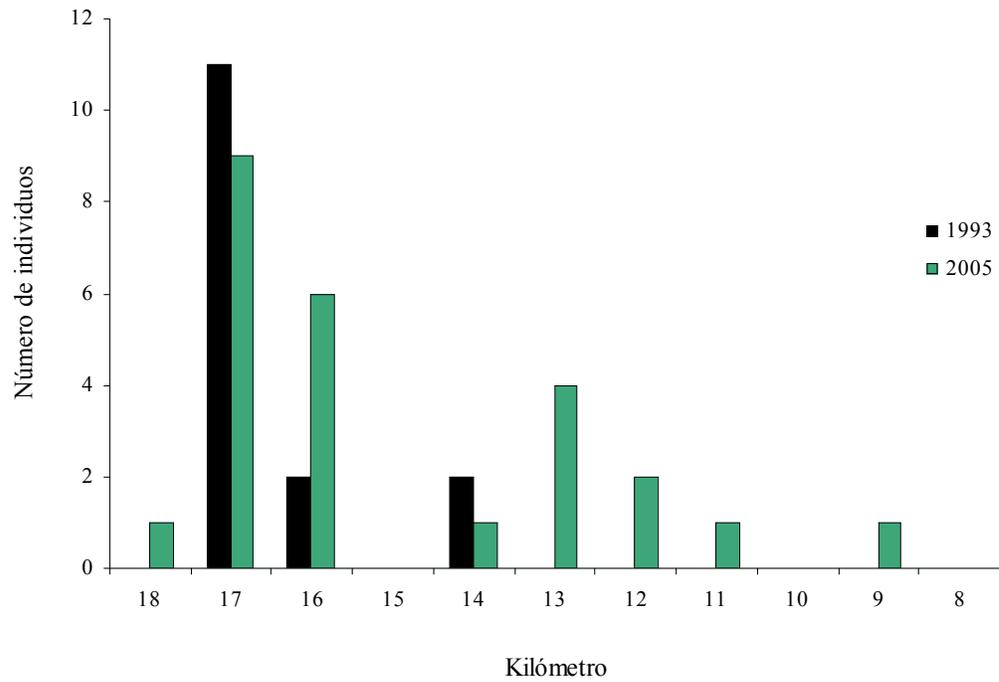


Figura 10. Comparación de abundancia y distribución de machos de *Cordia bellonis* sobre la carretera 120 desde los kilómetros 18 a 8, entre 1993 (Breckon y Kolterman, 1993) y 2005.

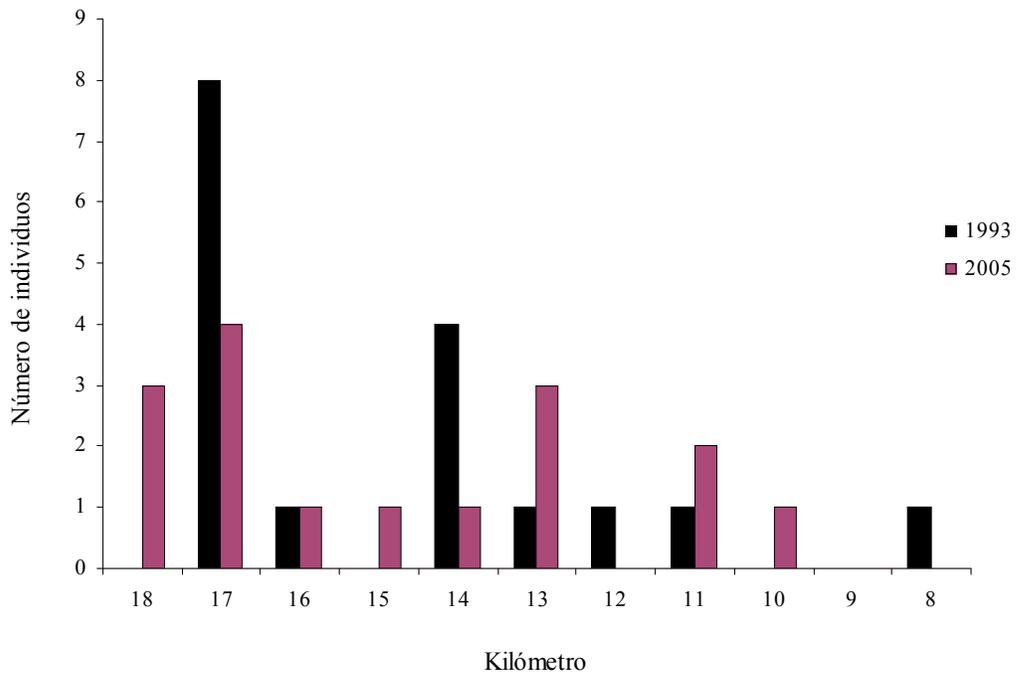


Figura 11. Comparación de abundancia y distribución de hembras de *Cordia bellonis* sobre la carretera 120 desde los kilómetros 18 a 8, entre 1993 (Breckon y Kolterman, 1993) y 2005.

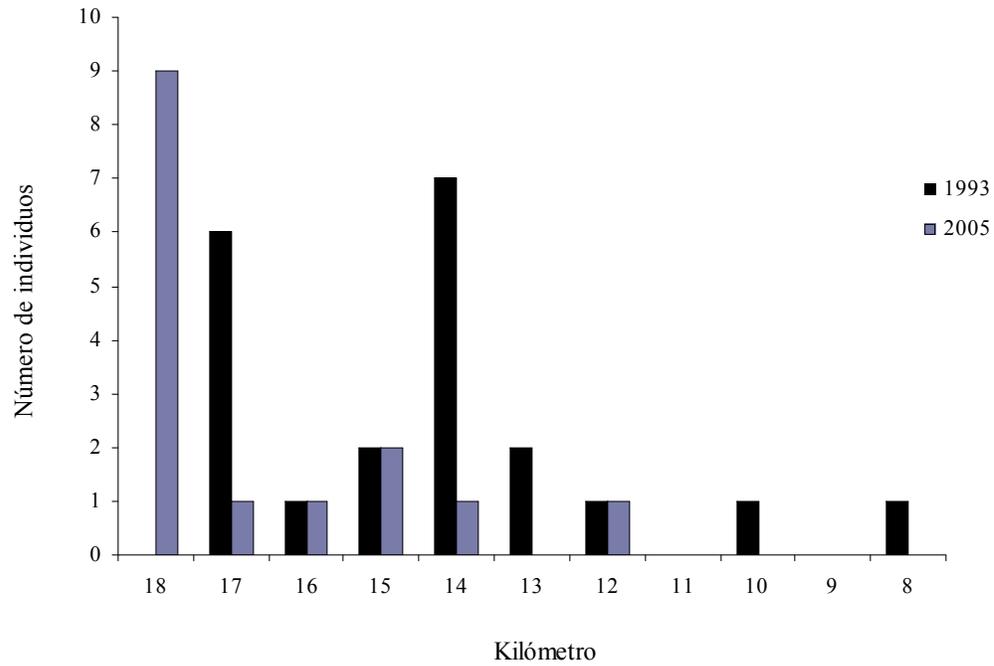


Figura 12. Comparación de abundancia y distribución de individuos no reproductivos de *Cordia bellonis* sobre la carretera 120 desde los kilómetros 18 a 8, entre 1993 (Breckon y Kolterman, 1993) y 2005.

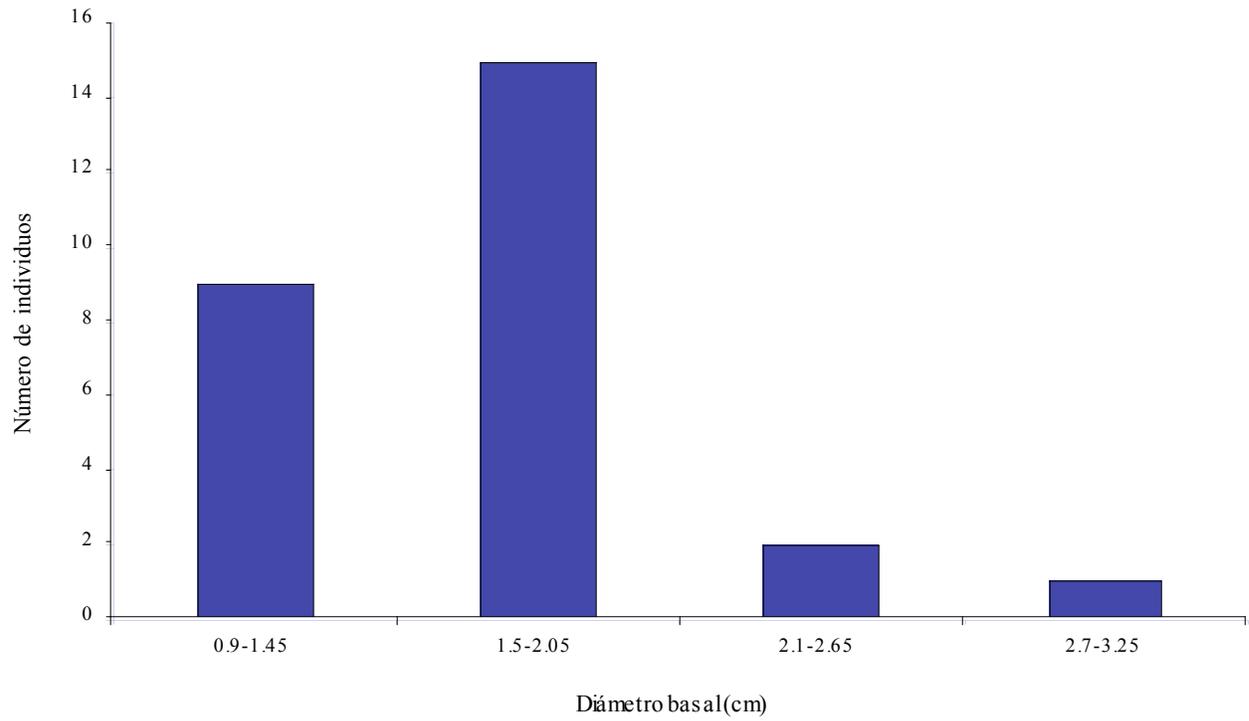


Figura 13. Distribución de frecuencias del diámetro basal para todos los individuos de *Cordia bellonis* en el Bosque Estatal de Río Abajo.



Figura 14. Plántulas reclutadas de *Cordia bellonis* en la localidad 27, segundo grupo en el Bosque Estatal de Maricao.

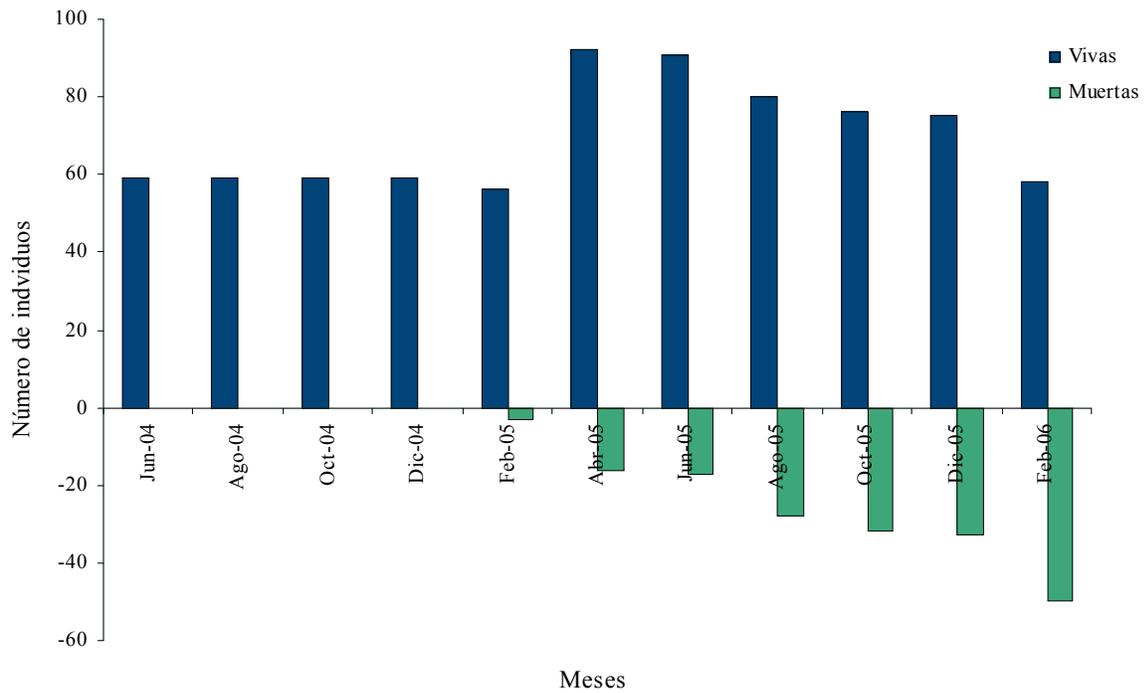


Figura 15. Supervivencia y mortalidad de todas las plántulas de *Cordia bellonis* en el Bosque Estatal de Maricao, desde junio de 2004 a febrero de 2006. Mortalidad dada por factores ambientales y disturbios antrópicos.

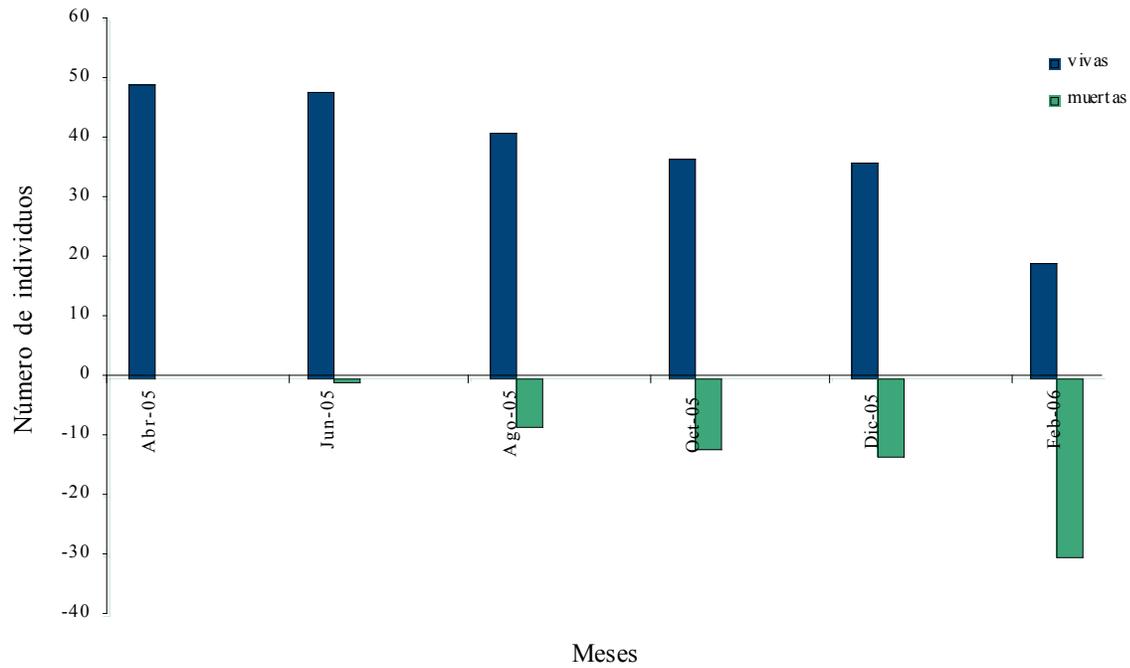


Figura 16. Supervivencia y mortalidad de las 49 plántulas de *Cordia bellonis* reclutadas en abril de 2005 en el Bosque Estatal de Maricao. Mortalidad dada por factores ambientales.



Figura 17. Individuo reproductivo de *Cordia bellonis* en el Bosque Estatal de Maricao.

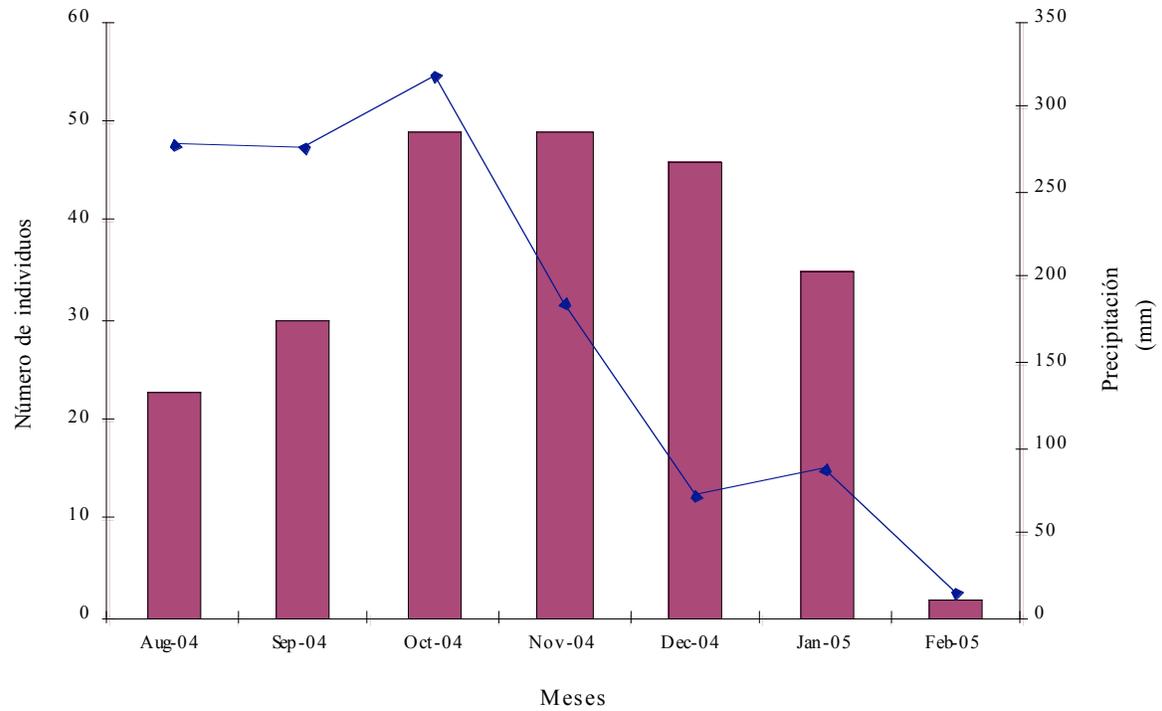


Figura 18. Número de individuos con yemas florales de *Cordia bellonis* y precipitación total entre agosto de 2004 y febrero de 2005 en el Bosque Estatal de Maricao.



Figura 19. Individuos reproductivos (femenino arriba, masculino abajo) de *Cordia bellonis* en el Bosque Estatal de Maricao.

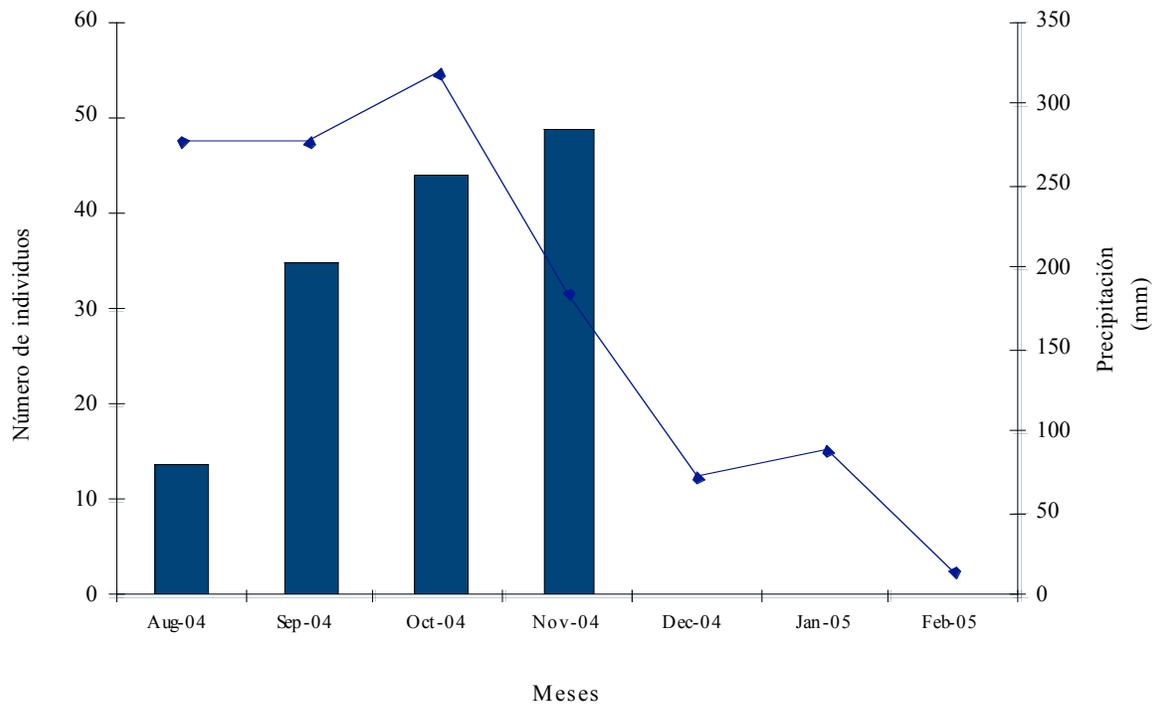


Figura 20. Número de indivíduos com flores de *Cordia bellonis* y precipitación total entre agosto de 2004 y febrero de 2005 en el Bosque Estatal de Maricao.



Figura 21. Frutos inmaduros de *Cordia bellonis* en el Bosque Estatal de Maricao.

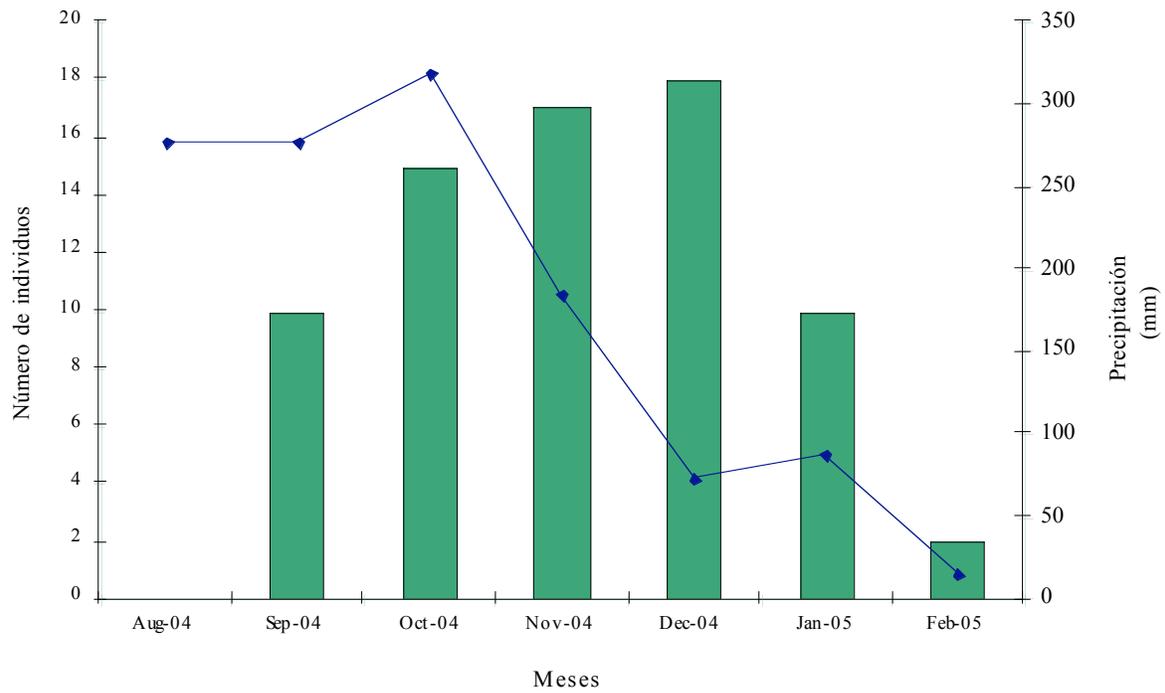


Figura 22. Número de individuos con frutos inmaduros de *Cordia bellonis* y precipitación total entre agosto de 2004 y febrero de 2005 en el Bosque Estatal de Maricao.



Figura 23. Frutos maduros de *Cordia bellonis* en el Bosque Estatal de Maricao.

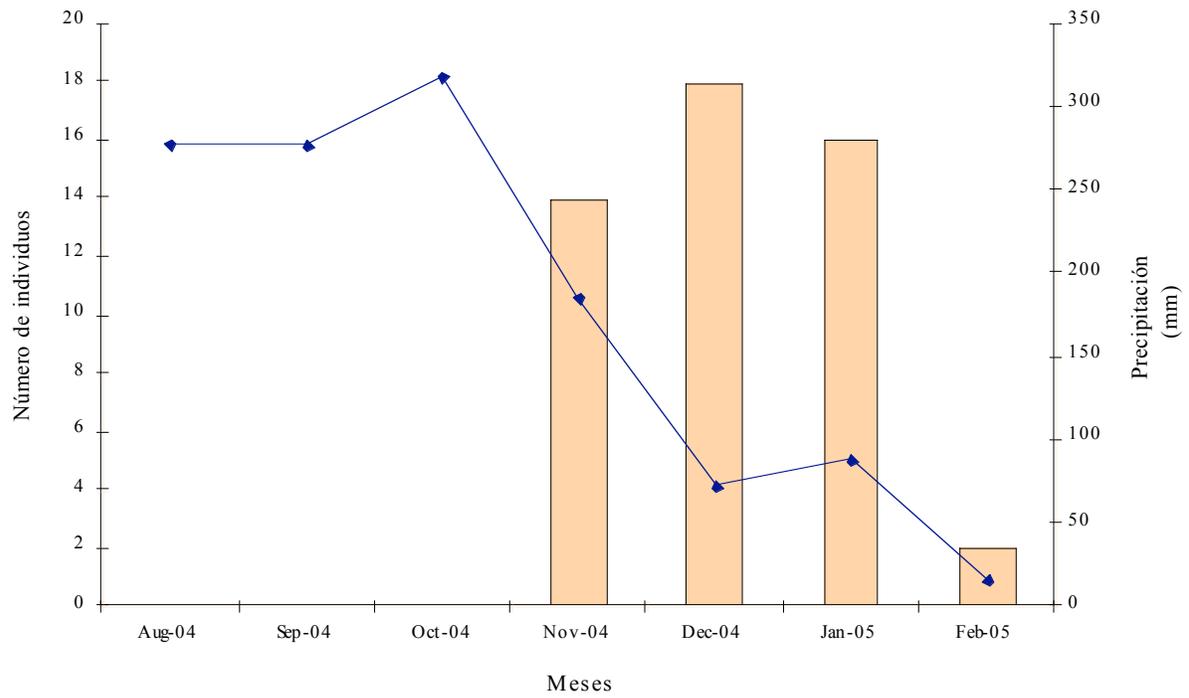


Figura 24. Número de individuos con frutos maduros de *Cordia bellonis* y precipitación total entre agosto de 2004 y febrero de 2005 en el Bosque Estatal de Maricao.

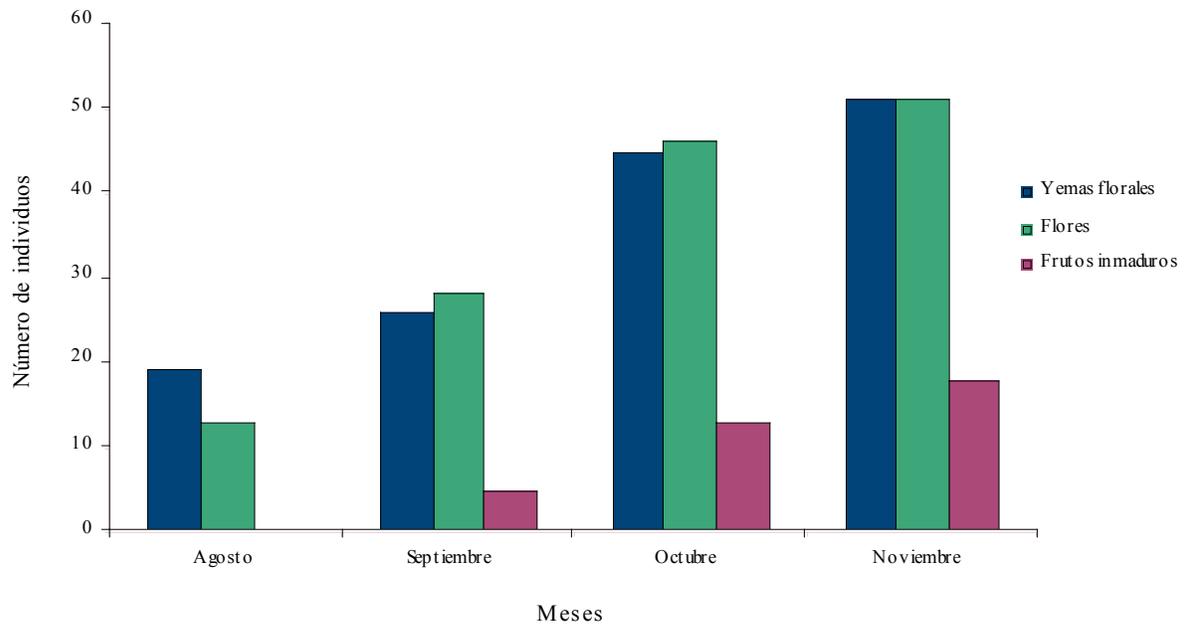


Figura 25. Número de individuos con estructuras reproductivas de *Cordia bellonis* de agosto a noviembre de 2005 en el Bosque Estatal de Maricao.



Figura 26. Principal visitante floral (Noctuidae-Lepidoptera) de *Cordia bellonis* en el Bosque Estatal de Maricao.

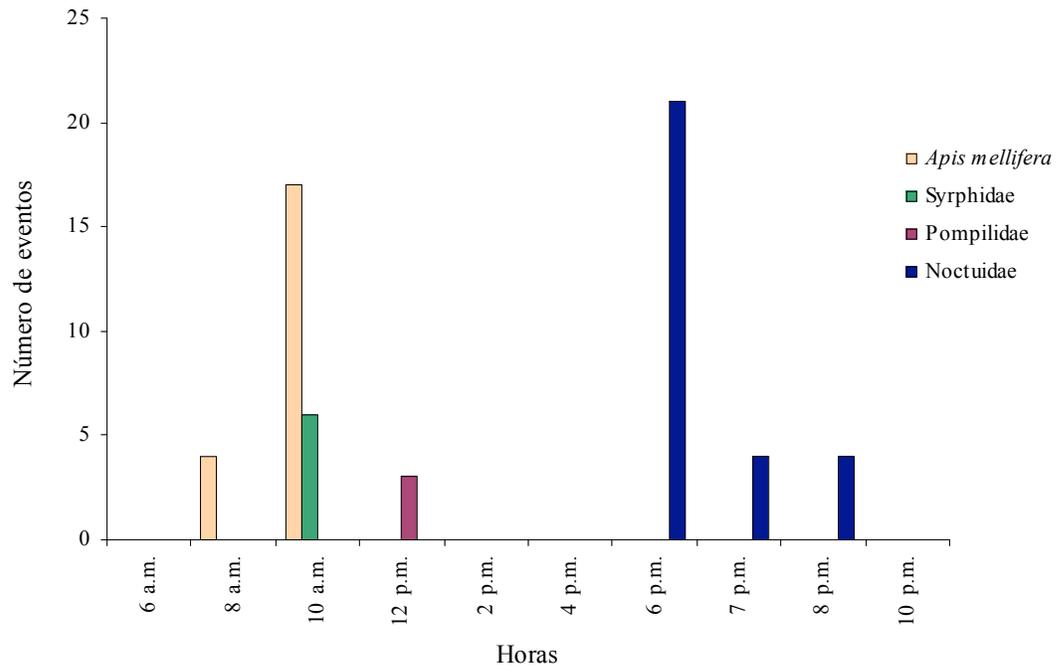


Figura 27. Distribución de la actividad diurna y nocturna de los visitantes florales de *Cordia bellonis* en el Bosque Estatal de Maricao.

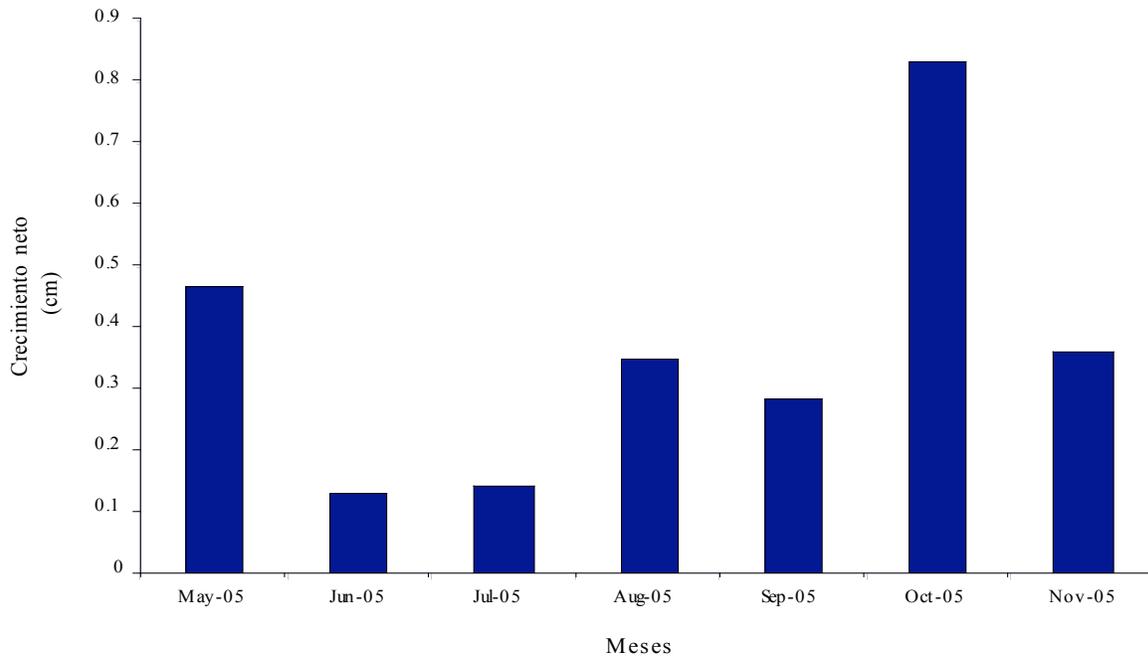


Figura 28. Crecimiento promedio mensual de plántulas de *Cordia bellonis* en el Bosque Estatal de Maricao, de abril a noviembre 2005.

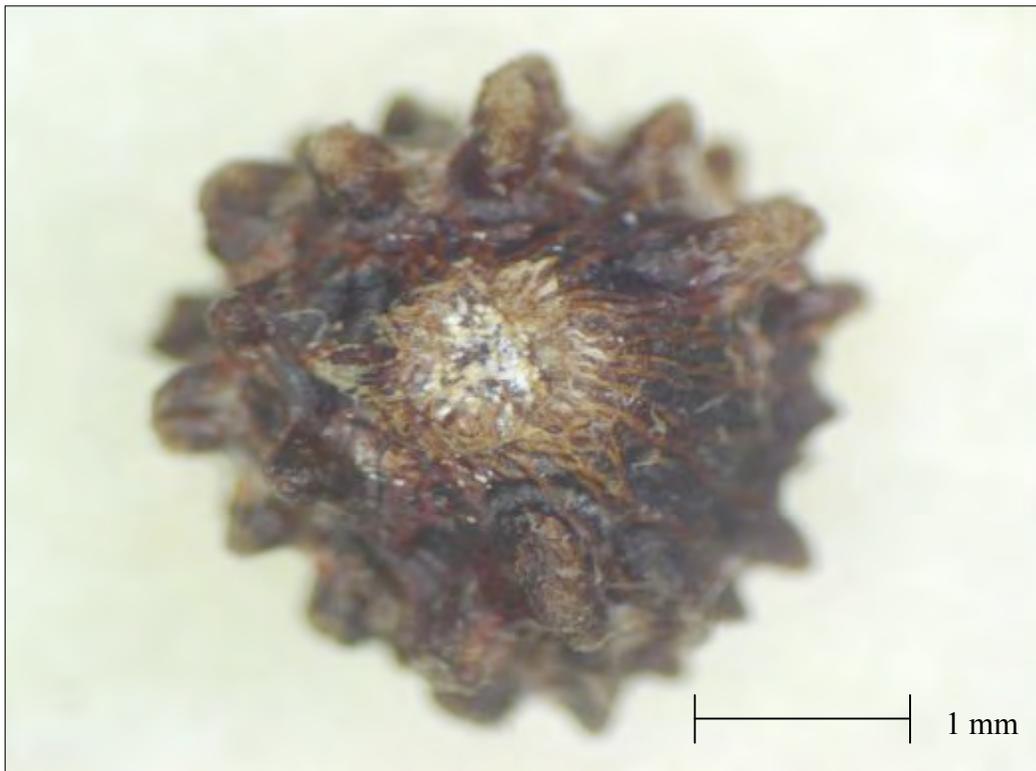


Figura 29. Semilla de *Cordia bellonis* encontrada en el Bosque Estatal de Maricao. El diámetro de la semilla es aproximadamente 3 mm.