

Producción de frutos de *Virola koschnyi* Warb. y *Simarouba amara* Aubl., en un paisaje fragmentado de la zona Norte de Costa Rica

Mientras se mantengan árboles de diámetros reproductivos a distancias menores de 300 metros garantizaremos la producción de frutos para *V. koschnyi* y *S. amara*.

John Mario Rodríguez

RESUMEN

Se evaluó la producción de frutos de dos especies dioicas, *Virola koschnyi* y *Simarouba amara*. La investigación se realizó al noreste de Costa Rica en bosques tropicales de bajura bajo manejo sostenible y en bosques fragmentados. Para valorar la producción se utilizaron trampas colocadas bajo la copa de los árboles hembra. Se predijo que había diferencias en la producción de frutos de ambas especies al comparar árboles en fragmentos con aquellos de bosque continuo. No se encontró indicios de que la producción de frutos disminuyera en bosques fragmentados para ambas especies si se compara con los árboles de bosque continuo.

Palabras clave: *Virola koschnyi*; *Simarouba amara*; bosque tropical; bosque fragmentado; fruto; dioicismo; Costa Rica.

SUMMARY

Fruit production of two dioecious tree species, *Virola koschnyi* and *Simarouba amara*, in a landscape fragments in north of Costa Rica. The production of fruits of two dioecious species, *Virola koschnyi* and *Simarouba amara* was evaluated in tropical rain forests fragments in northeastern Costa Rica. To determine fruit production traps were used placed under the crown of female tree. It was predicted that differences would exist in the production of fruits from both species when comparing trees in fragments with continuous forest. However, no evidence was found that the production of fruits diminished in fragments forests, comparatively with continuous forest for both species.

Keywords: *Virola koschnyi*; *Simarouba amara*; tropical forest; fragments forest; dioecious; Costa Rica.

Debido al desarrollo agrícola, el proceso de deforestación se ha llevado a cabo de forma muy acelerada en el sureste asiático y en sur de América, especialmente en áreas de bosques tropicales lluviosos. En Costa Rica, la conversión de bosques primarios en tierras agrícolas o ganaderas ha sido una constante desde 1950 y, a pesar de los esfuerzos de conservación, la tasa anual de deforestación llegó a ser de un 3,6%. Este hecho ocasionó que, entre 1950 y 1990, se perdieran las dos terceras partes de la cobertura boscosa del país (Sánchez y Azofeifa 1996).

El estudio de Guindon (1996), sobre fragmentación en el norte de Costa Rica, muestra la magnitud de la deforestación en el área que rodea la reserva de Monteverde, ubicada al noroeste del territorio costarricense; en esta zona existen fragmentos entre 0,30 y 7,92 ha (totalizando 72,56 ha) para un área total de 28 mil hectáreas (Sánchez- Azofeifa 1996) y esta fragmentación puede afectar la reproducción de las plantas en diferentes formas. Por un lado, se

presentan cambios en las comunidades de animales (Ambrecht y Ulloa-Chacon 1999, Dooley y Bowers 1998) incluidos los que están implicados en la polinización (Becker *et al.* 1991). Uno de los efectos que pueden sufrir los polinizadores es la extinción local (Allen-Wardell *et al.* 1998), por la fragmentación física, y en algunos casos por la llamada fragmentación química.

Adicionalmente en bosques tropicales la mayoría de especies de árboles están a muy bajas densidades, se encuentran densidades de 1 individuo ha^{-1} (Hubbell y Foster 1983 en Clark y Clark 1987). En comparación con los bosques templados, una gran proporción de estos árboles son de fecundación cruzada obligada (Bawa y O'Malley 1987) y su éxito reproductivo está ligado a su amplia dependencia de la polinización animal.

Ante las bajas densidades de árboles reproductivamente maduros y su dependencia de polinizadores las poblaciones están propensas a perder variabilidad genética por una reducción del número de individuos reproductivos y a disminuir su producción de semilla por cada individuo (Mack 1997), ya que los potenciales donantes de polen más cercanos han podido ser extraídos de las zonas. Las bajas densidades de individuos reproductivos, que pueden llegar a 0,33 árboles ha^{-1} , también son frecuentes en especies dioicas. En este sitio se encontraron razones de sexo desequilibradas (Thomas y LaFrankie 1993), con más machos que hembras, lo que reduce el tamaño efectivo de población, haciéndolas particularmente sensibles a la fragmentación del hábitat.

También se evaluó el efecto de la fragmentación en la producción de frutos de las especies dioicas de interés forestal, *V. koschnyi* y *S. amara*, y se calculó el efecto de la distancia del coespecífico macho más cercano a la hembra sobre la producción de frutos en cada tipo de bosque (continuo y fragmentado).

Metodología

El proyecto se realizó en el noreste de Costa Rica, Cantón de Sarapiquí, en tres fragmentos de bosque primario intervenido, manejados por la Funda-

ción para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central (FUNDECOR), bajo criterios de sostenibilidad. Los muestreos se realizaron en dos fragmentos tanto para *S. amara* como para *V. koschnyi* (Figura 1 y Cuadro 1).

Como bosque continuo se utilizó el ubicado en la Estación Biológica La Selva. La Estación está localizada en la confluencia de los ríos Sarapiquí y Puerto Viejo en el Cantón de Sarapiquí, provincia de Heredia. La reserva tiene 1536 ha. La precipitación media anual es de 3 962 mm; la máxima precipitación mensual ocurre en junio (500 mm) y la mínima en marzo (147 mm). La temperatura media anual es de 24°C y la zona se clasifica como bosque húmedo tropical (Sanford *et al.* 1994).

Para la selección de árboles en bosque continuo se utilizaron los inventarios (102 árboles de *Simarouba amara*) proporcionados por los investigadores David y Deborah Clark. Se decidió no utilizar todos los árboles listados pues solo el 29,4% de los árboles había sido sexado como hembra entre 1991 a 1997. De estos últimos el 63,3% (19 árboles) fue sexado como hembra en más de un año. Al azar se tomaron un total de 11 árboles. Sin embargo de estos últimos solo tres árboles estaban en floración. De manera que se eligieron, sobre el mapa de la Estación Biológica, tres sitios al azar para completar un total de 11 árboles > 20 cm de dap. Los árboles de

V. koschnyi se tomaron de tres sitios escogidos al azar sobre el mapa de la estación biológica; así fueron ubicados 10 individuos con un dap mayor que 50 cm.

La elección de árboles en los bosques fragmentados se efectuó seleccionando sitios al azar, siguiendo los carriles trazados durante el plan de manejo; de esta forma se encontraron 10 árboles con un dap > 19 cm, de *Simarouba amara* y 6 árboles de *Virola koschnyi* con un dap > 40 cm.

Para calcular el número de frutos se colectaron en ocho trampas (0,8 m x 0,9 m) de 0,72 m^2 y a 1,30 m del suelo para evitar pérdida de frutos por depredadores. El área total de trampas por árbol fue de 5,76 m^2 .

Se estableció un círculo cuyo radio estuvo determinado por el borde de la copa y se hizo una división en cuatro cuadrantes (q). Las trampas fueron colocadas al azar en los cuatro cuadrantes imaginarios del círculo utilizando una tabla de número aleatorios y seleccionando la posición sobre una cuadrícula del cuadrante. Para esti-

Cuadro 1. Área de bosque en las fincas bajo estudio

Tipo de bosque	N° finca ¹	Área bosque (ha)
Primario intervenido	7	117
Primario intervenido	10	344,2
Primario intervenido	14	137,3

Fuente: Planes de Manejo, FUNDECOR

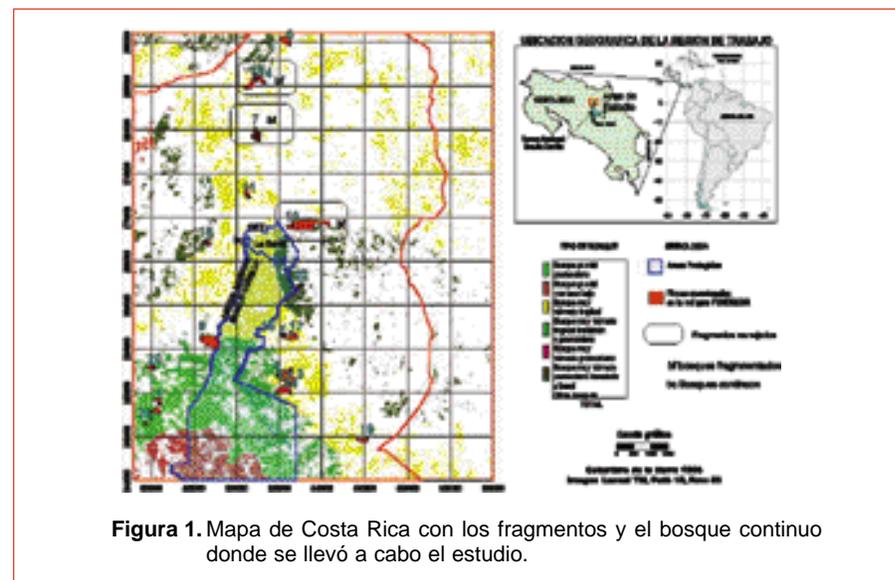


Figura 1. Mapa de Costa Rica con los fragmentos y el bosque continuo donde se llevó a cabo el estudio.

¹ La numeración corresponde a los fragmentos según se aprecia en la figura 1.

mar la producción de frutos se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Número de frutos en un cuadrante (q)} = \left(\frac{d^2 \times \text{número de frutos}}{4 \text{ en trampas en cuadrante q}} \right)$$

Para el análisis de los datos se realizó la prueba de correlación de Pearson y análisis de covarianza, tomando como covariable el dap de los árboles hembra para comparar la producción de frutos en ambos tipos de bosque. Se generaron modelos de regresión con la variable más significativa, diámetro a la altura del pecho, para explicar la producción en ambos tipos de bosque.

Resultados y discusión

Se comprobó que no existe correlación significativa ($p < 0,272$ $n = 11$) entre la producción de frutos de *S. amara* y la distancia al coespecífico macho más cercano, para el caso de bosque continuo. Para los bosques fragmentados la correlación no fue estadísticamente significativa ($p < 0,723$ $n = 10$). Para todas las hembras siempre se encontraron machos en los fragmentos a distancias (≤ 172 m) menores de 300 m, por esto tenían asegurada una fuente de polen ubicada en el mismo fragmento (Figura 2). El modelo de regresión múltiple, considerando las variables distancia y diámetro para *S. amara*, mostró que el diámetro es una variable significativa $p < 0,0001$ y la distancia, no $p < 0,85$, indicando que la producción de frutos está en función del diámetro de las

hembras y no de las distancias entre coespecíficos.

Para *S. amara* existió una significativa correlación positiva en ambos tipos de bosque (Figura 3), entre diámetro y producción, ($p < 0,001$ bosque continuo, $p < 0,005$ bosque fragmentado). El análisis de covarianza demostró que no hay diferencias significativas en la producción de frutos entre ambos tipos de bosque, $p < 0,777$ (Figura 3).

Para *V. koschnyi* resultó que en bosques fragmentados no existe correlación ($p < 0,129$ $n = 6$) entre la producción de frutos y la distancia al coespecífico macho más cercano. La correlación no fue significativa ($p < 0,416$ $n = 10$) en bosque continuo. No se encontró ninguna correlación ($p < 0,68$) entre el diámetro de la hembra y la producción de frutos en árboles ubicados en bosque fragmentado (Figura 4). La distancia promedio (Figura 5) entre hembras y machos fue mayor en fragmentos (≤ 117) que en bosque continuo (≤ 105). Contrariamente en bosque continuo hubo una correlación positiva altamente significativa ($p < 0,005$) entre el diámetro de la hembra y la producción de frutos (Figura 4).

Estos resultados se ajustan a la evidencia indirecta, proveniente de las altas tasas de cruzamiento en especies de árboles de bajas densidades (e.g. *Bertholettia excelsa*), que los polinizadores pueden dispersar a grandes distancias entre árboles florecidos. La distancia tampoco restringe la polinización en otras especies de árboles de

bosques tropicales (Hamrick y Muranski 1990 citado por Nason y Hamrick 1997) polinizadas por pequeñas abejas y las que pueden desplazarse a extensiones mayores de 300 ó 350 m.

El hecho que la distancia no esté correlacionada con la producción y no contribuya a explicarla coincide con lo sugerido por O'Malley y Bawa. (1987) en el sentido que la dispersión de polen en una especie de árbol, (*Pithecellobium pedicellare*) con densidades de 2 individuos maduros por hectárea, no está restringida a la distancia entre árboles. También cabe anotar que *V. koschnyi* tiene densidades muy bajas² (0,11 ind. ha⁻¹) en otros bosques fragmentados y aprovechados de la zona norte donde, además, no se encontraron muestras de declinaciones de polinizadores ni de recursos florales (Rincón *et al.* 1999). Lo anterior hace suponer que las especies pueden recibir polen de polinizadores presentes en estos fragmentos aún a bajas densidades. La persistencia de polinizadores en fragmentos de bosque aprovechados no es extraña y concuerda con lo hallado por Becker *et al.* (1991) en bosques fragmentados del Amazonas. De la misma forma, en bosques aprovechados y fragmentados de África Central no se han encontrado pruebas de cambios en la composición en especies de mariposas (Willot *et al.* 2000).

Como es obvio, la fertilización cruzada obligada crea una total dependencia de los polinizadores y de las distancias que pueden recorrer entre machos y hembras. En el caso de las especies estudiadas se encontró que la producción de frutos y su relación con la distancia al coespecífico del sexo opuesto más cercano no es significativa en los dos tipos de bosque analizados. Se ha demostrado que en bosque continuo hay una alta tasa de fertilización cruzada incluso a bajas densidades, indicando que el movimiento de polen puede hacerse a grandes distancias. Las altas tasas de flujo de genes entre poblaciones (Nason y Hamrick *et al.* 1997), unida a la prevalencia de la fertilización cruzada en árboles tropicales (Bawa y O'Malley 1987, Bawa y Opler 1975) es un indicio que las especies rutinariamente pueden dispersar su polen a

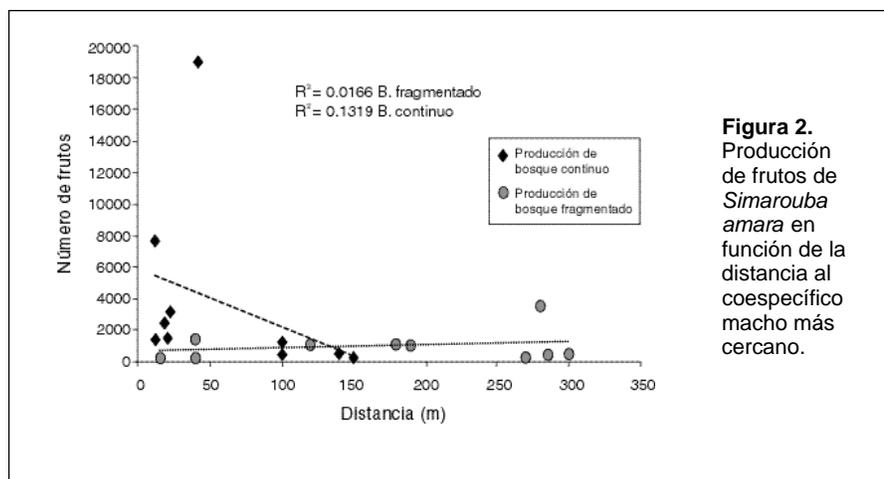


Figura 2. Producción de frutos de *Simarouba amara* en función de la distancia al coespecífico macho más cercano.

² Datos de la Unidad de Manejo de Bosques Naturales (UMBN), CATIE. Información sin publicar

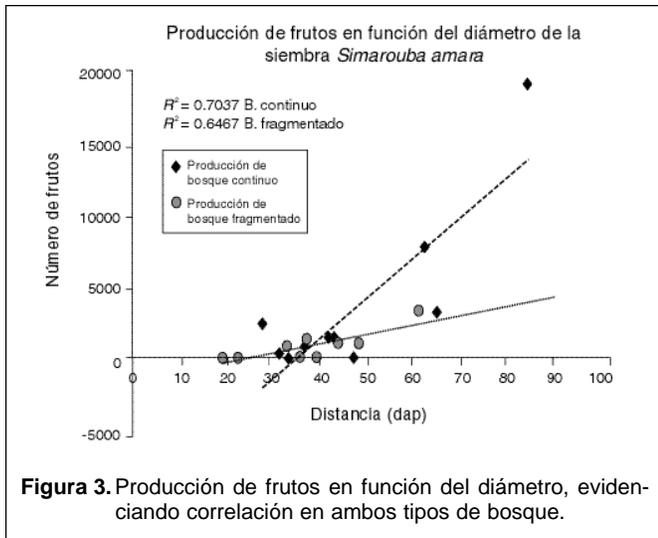


Figura 3. Producción de frutos en función del diámetro, evidenciando correlación en ambos tipos de bosque.

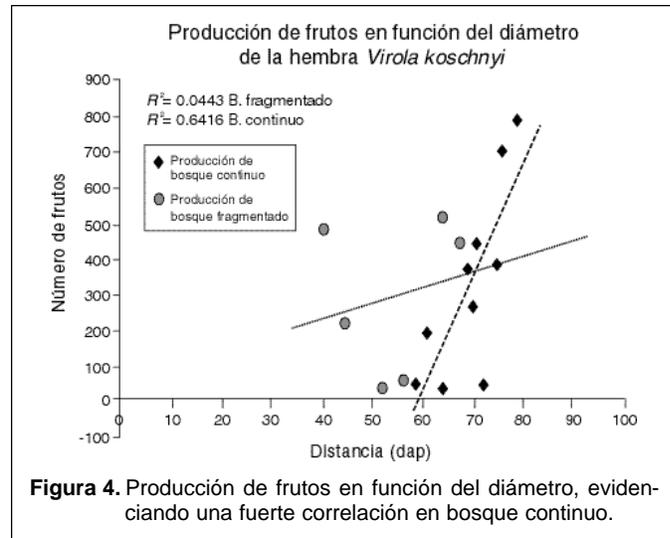


Figura 4. Producción de frutos en función del diámetro, evidenciando una fuerte correlación en bosque continuo.

grandes distancias, desde pocos metros hasta cientos, lo cual en ocasiones es comparable con las distancias que separan a los fragmentos de bosque entre sí o a los árboles dentro de fragmentos. El hecho de tener individuos portadores de semillas en bajas densidades es una condición presente en muchas especies dióicas (Janzen 1970); por tanto, los polinizadores pudieron evolucionar concomitantemente, en el sentido de adaptarse a las distancias que debían recorrer para encontrar flores pistiladas, que poseen órganos sexuales femeninos. Por esto, es probable que las distancias entre sexos no muestren efectos sobre la producción de frutos.

Tal como se presenta de forma frecuente en varias especies de árboles (Bullock y Bawa 1981), para la especie *S. amara* se comprobó la correlación positiva entre el diámetro y la producción de frutos. El diámetro está fuertemente correlacionado con la producción de frutos, tanto en bosque continuo ($p < 0,001$) como en bosque fragmentado ($p < 0,001$). Por lo anterior, es un buen método para estimar la producción de frutos (Chapman *et al.* 1992).

Al combinar la distancia al coespecífico de sexo opuesto con el diámetro, en un modelo de regresión múltiple, el efecto de tratamientos se redujo a niveles no significativos por la covariable diámetro en los dos tipos de bosque. Aquí se comprobó que no existe diferencia significativa en la producción de frutos entre los

dos tipos de bosque ($p < 0,86$). Es probable que la ubicación de los árboles de *Simarouba amara* en los fragmentos, específicamente en los bordes, hubiera favorecido a polinizadores provenientes de la matriz (Aizen y Feisinger 1994) o bien el flujo de polen que se hace entre individuos espaciados por apreciables distancias (Nason y Hamrick 1997). El modelo ($p < 0,006$) de regresión múltiple explicó hasta un 65% de la producción de frutos en función de la distancia y el diámetro, pero siempre manteniendo una mayor significancia para la variable diámetro.

Al comprobar que la covariable diámetro afecta significativamente la producción de frutos en los tipos de bosque, se obtuvieron los modelos de regresión (ajustados por la covariable diámetro $p < 0,0012$ y con $p < 0,01$ para el intercepto) para los efectos de

los tratamientos en bosque continuo. También se obtuvieron modelos ajustados por la covariable diámetro ($p < 0,005$ y con $p < 0,05$ para el intercepto) para los efectos de los tratamientos en bosque fragmentado.

Bosque continuo

$$P = a + b ()$$

donde

= diámetro

P = producción de frutos

Producción =

$$-93940 + 2685,26 * \text{diámetro hembra}$$

El modelo de regresión explicó la producción de frutos en función del diámetro en un 67%.

Bosque fragmentado

$$P = a + b ()$$

donde

= diámetro

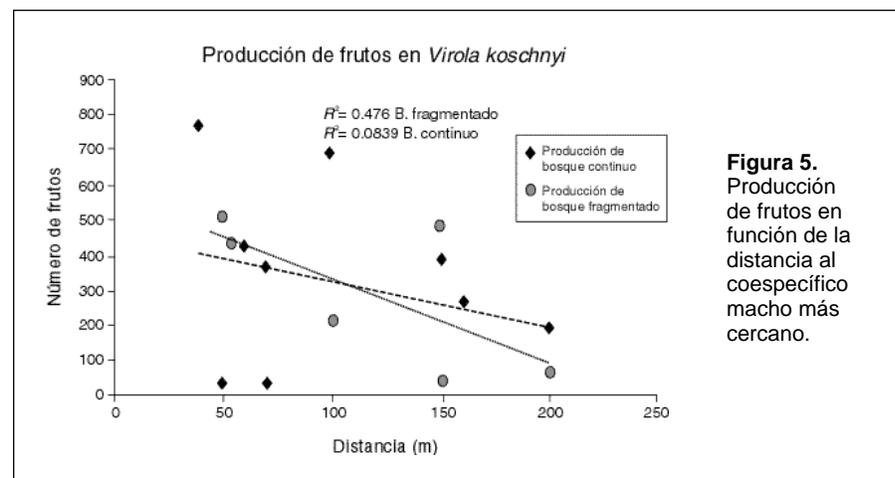


Figura 5. Producción de frutos en función de la distancia al coespecífico macho más cercano.

P = producción de frutos
Producción =
-13817 + 598,75 * diámetro hembra

El modelo de regresión explicó la producción de frutos en función del diámetro en un 60,25%.

La producción en bosque continuo tuvo un mínimo de 531 frutos y un máximo de 188 128 frutos. Los 11 árboles muestreados tuvieron una media de producción de $\leq 33\ 927$ frutos. Para los árboles ubicados en bosques fragmentados la producción semanal tuvo un mínimo de 322 frutos y un máximo de 32 589 frutos. La producción para los 10 árboles tuvo una media de ≤ 7978 frutos.

Para el caso de *V. koschnyi* no se encontró ninguna correlación, como en otras especies dioicas (Mack 1997), entre el diámetro de la hembra y la producción de frutos en árboles de bosques fragmentados. Contrariamente en bosque continuo existió una correlación positiva altamente significativa entre el diámetro de la hembra y la producción de frutos, pero la distancia al coespecífico de sexo opuesto no ejerció ninguna influencia en dicha producción. Se encontró que la producción de frutos de *V. koschnyi* no es estadísticamente diferente en bosques fragmentados y bosque continuo, $p < 0,208$.

Los árboles muestreados en bosque continuo presentaron una producción mínima de 260 frutos y un máximo de 7709 frutos. Para bosques fragmentados se presentó un mínimo de producción de frutos de 289 frutos y un máximo de 5015 frutos. La producción de frutos en bosque continuo fue de ≤ 3143 frutos y para bosques fragmentados ≤ 2814 frutos.

Para *V. koschnyi* solo se generó el modelo de regresión para bosque continuo, teniendo en cuenta que solo en este tipo de bosque se encontró correlación entre diámetro y producción de frutos:

$$P = a + b(\)$$

donde

= diámetro

P = producción de frutos

Producción =

-18258 + 306,81 * diámetro hembra

El modelo de regresión explicó la producción de frutos en función del diámetro en un 59,68%.

V. koschnyi es un árbol de dosel que se encuentra en el gremio de las especies tolerantes a la sombra y que en nuestro caso se encontró siempre en el interior del bosque, lo que hace suponer que si los polinizadores, en este caso particular hubieran sido afectados la producción de frutos debió disminuir. Aunque ésta fue una tendencia no se tuvieron pruebas estadísticas significativas. Por otro lado, al ser una especie con preferencia por sitios de buena cobertura boscosa, en el caso de fragmentos esto sería en el interior del bosque, donde los efectos de borde son atenuados por su distancia, donde los polinizadores pueden estar sufriendo menos efectos derivados del borde.

Literatura citada

- Aizen, MA; Feinsinger, P. 1994. Habitat fragmentation, native insect pollinators, and feral honey bees in Argentina "chaco serrano". Ecological Applications 4(2):378 - 392.
- Allen-Wardell. 1998. The potential consequences of pollinator declines on the conservation of biodiversity and stability of food crop yields. Conservation Biology 12:378 - 392
- Armbrecht,I;Ulloa-Chacón, P.1999.Rareza y diversidad de hormigas en fragmentos de bosque seco Colombianos y sus matrices. Biotropica 31(4):646 - 653.
- Bawa, KS;O'Malley, DM.1987. Estudios genéticos y de sistemas de cruzamiento en algunas especies arbóreas de bosques tropicales. Revista de Biología Tropical 35 (supl.1): 117 - 188.
- Bawa,KS;Opler,PA.1975.Dioecism in tropical forest trees. Evolution 29:167-179.
- Becker, P; Mouse, JS, Peralta, FJ. 1991. More about Euglossine bees in Amazonian forest fragments. Biotropica 23(4b):586 - 591.
- Bullock,SH;Bawa,KS. 1981.Sexual dimorphism and the annual flowering pattern in *Jacaratia dolichaula* (D. Smith) woodson (Caricaceae) in Costa Rican rain forest. Ecology 62(6):1494-1504.
- Chapman, CA; Chapman, LJ; Wingham,R;Hunt,K; Gebu, D; Gardner, L. 1992. Estimators of fruit abundance of tropical trees. Biotropica 24(4):527 - 531.
- Clark, DA;Clark,DB. 1987. Análisis de la regeneración de árboles de dosel en bosque muy húmedo tropical: aspectos teóricos y prácticos. Revista de Biología Tropical 35(Supl. 1): 41 - 54.
- Dooley, JL;Bowers, MA.1998.Demographic responses to habitat fragmentation:experimental tests at the landscape and patch scale. Ecology 79(3):969-980
- Guindon, FC. 1996. The importance of forest fragments to the maintenance of regional biodiversity in Costa Rica. In Forest patches in tropical landscapes. Eds J. Schelhas; R. Greenberg. Washington, DC. Island Press.p. 168-186
- Janzen,DH.1970.Herbivores and the number of tree species in tropical forest. American Naturalist 104:501 - 528.
- Mack,AL.1997.Spatial distribution,fruit production and seed removal of a rare, dioecious canopy tree species (*Aglaiia* aff. *Flavida* Merr. et Perr.) in Papua New Guinea. Journal of Tropical Ecology 13:305 - 316
- Nason,JD;Aldrich,PR.; Hamrick,JL.1997.Dispersal and the dynamics of genetic structure in fragmented tropical tree populations. In Tropical Forest Remnants. Eds. WF. Laurance; Bierregaard. Chicago University Chicago Press.p. 304 -320
- Nason,J; Hamrick,JL.1997.Reproductive and genetic consequences of forest fragmentation: two cases studies of neotropical canopy trees. Journal of Heredity 88:264 - 276
- O'Malley D.M., Bawa,K.S. 1987. Mating system of a tropical rain forest tree species. American Journal of Botany 74(8):1143 - 1149.
- Rincón, M; Roubik, DW; Finegan, B, Delgado, D; Zamora, N. 1999.Understory bees and floral resources in logged and silvicultural treated Costa Rican rainforest plots. Journal of Kansas Entomological Society 72:379 - 393.
- Sánchez-Azofeifa,GA.1996.Assesing land use/cover change in Costa Rica. Tesis de Doctorado. San José,Universidad de Costa Rica,181 p.
- Sanford, RL; Paaby, P; Luvall, C; Phillips, E.1994. Climate, Geomorphology, and Aquatic system. In La Selva: Ecology and Natural History of a Neotropical Rain Forest.Eds LA, McDade; KS, Bawa; HA, Hespentheide;GS, Hartshorn.Chicago,The University Chicago Press.p. 19 - 33
- Thomas, SC;LaFrankie,J.V. 1993.Sex, size, and inter-ayer variation in flowering among dioecious tress of the Malayan rain forest. Ecology 74(5):1529-1537
- Willot, SJ; Lim,DC; Compton, SG; Sutton,SL. 2000. Effects of selective logging on the butterflies of a bornean rainforest.Conservation Biology 14(4):1055 - 1065

Los efectos de la fragmentación en bosques, adicionalmente aprovechados de manera sostenible,sobre la producción de frutos en estas dos especies no son claros. Es obvio que mientras se mantienen árboles de diámetros reproductivos a distancias menores de 300 m se está garantizando la producción de frutos de manera comparable a la que sucede en bosques continuos, lo que supone que los polinizadores no están encontrando barreras para la dispersión de polen en estos bosques fragmentados,en particular. 

John Mario Rodríguez Pineda
Master en Manejo y Conservación de
Bosques Tropicales y Biodiversidad
Profesor Investigador, Universidad
Tecnológica de Pereira, Colombia
Telefax:(5763) 215623 ó (5763) 212443
engide@utp.edu.co