

Estudio de Algunos Factores que Afectan la Fertilización de Flores y la Abscisión de Frutos de Chayote (*Sechium edule* Sw.) en Cultivo en Costa Rica¹

M. A. Ramirez*, E. Valverde*, M. V. Sáenz*

ABSTRACT

Three experiments were carried out in Ujarras Valley, Costa Rica, to evaluate the effect of the amount of pollen grains, number of pollen applications and adjacent fruit removal on flower fertilization and consequent growth of hand-pollinated chayote (*Sechium edule* Sw.). None of the treatments showed any significant improvement of the fruit setting rate (under natural conditions between 9 and 17%). Furthermore, due to manipulation during hand-pollination, some flowers and stems were unavoidably damaged causing a slightly lower fruit-setting rate than under natural conditions. A higher growth rate was recorded on those fruits from hand-pollinated flowers, probably due to a temperature increase inside the paper bags used to isolate the flowers. The low fruit-setting rate is probably caused by factors other than pollination problems. More research is required to evaluate the effect of these factors on the fruit-setting rate.

COMPENDIO

En el valle de Ujarrás, Costa Rica, se llevaron a cabo tres experimentos para determinar la influencia de la cantidad de granos de polen depositados en la flor, el número de aplicaciones recibidas por una misma flor y la remoción de frutos aledaños sobre la polinización y el aborto de frutos de chayote (*Sechium edule* Sw.) en condiciones de cultivo. Ninguno de los tratamientos evaluados mostró un efecto benéfico sobre el porcentaje de frutos "cuajados" (que en condiciones de polinización natural fue entre 9 y 17%), por el contrario, la manipulación de las flores para realizar la polinización manual provocó cierto grado inevitable de daño a la flor y al tallo, por lo que la proporción de frutos retenidos por la planta fue inferior a la obtenida con polinización natural. Los frutos provenientes de flores polinizadas manualmente crecieron de forma más acelerada que aquellos de flores polinizadas de manera natural, quizás debido a que la bolsa de papel empleada para aislar las flores provocó un incremento de la temperatura y por tanto, un favorecimiento de la penetración del tubo polínico y de la acción hormonal del polen. La baja tasa natural de "cuaje" de frutos es probablemente causada por otros factores más que por deficiencias de polinización. Se sugiere entonces realizar más investigación tendiente a definir la importancia de estos otros factores sobre el "cuaje" de frutos de chayote.

INTRODUCCION

En Costa Rica, la producción de chayote (*Sechium edule* Sw.) se ha convertido en una actividad de gran importancia para muchos agricultores, principalmente de la zona de Ujarrás, Cartago, por cuanto sus frutos se exportan a diferentes partes de los Estados Unidos de Norteamérica y a Europa, constituyendo una importante fuente de empleo y de ingreso de divisas para el país.

Desafortunadamente, la información acerca de esta planta es escasa y se desconocen muchos de los factores que pudieran afectar su producción, quizás uno de los más importantes vacíos de conocimiento se refiere a la biología reproductiva y los factores que inciden sobre ella.

El chayote es dependiente de los insectos para la transferencia de polen. Las chayoterías son polinizadas principalmente por abejas del género *Trigona* spp. y en forma secundaria, por otras abejas y algunas especies de avispas (3, 6).

En las especies monoicas, particularmente en las cucurbitáceas, el desarrollo de los tejidos del ovario está influenciado por la temperatura y las horas de iluminación (1). Los frutos juveniles pueden abortar de acuerdo con factores como la sequía, limitaciones nutricionales, plagas y enfermedades, fuentes de polen, orden de polinización, número de semillas en desarrollo, así como la especie misma. La regulación de la abscisión minimiza la cantidad de recursos gastados por la floración y la fructificación y conserva muchos recursos para los frutos restantes y otros procesos de crecimiento (5).

En investigaciones sobre el sistema de reproducción del chayote, Newstrom (3) encontró diferencias en el porcentaje de "cuaje" de frutos para la polinización natural en Turrialba (53% de cuaje en 1981) y el

¹ Recibido para publicación el 15 de noviembre 1988. Parte de la tesis de grado presentada por el primer autor ante la Escuela de Fitotecnia de la Universidad de Costa Rica.

* Programa de Horticultura Poscosecha, Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica.

Valle de Ujarrás (3.8% en 1985) en Costa Rica, y en Huatusco, México (0% en 1984). Por otro lado, en el Valle de Ujarrás obtuvo un 2.6% de frutos por autopolinización; 3.5% para polinización cruzada (empleando polen del chayote tipo "cocoro") y ningún fruto para la no aplicación de polen. En Huatusco, el porcentaje de "cuaje" para autopolinización y la no aplicación de polen fue del 0%. La polinización cruzada con polen de plantas silvestres presentó un 33% de frutos. Las diferencias encontradas en las distintas zonas hacen pensar que algunos factores pudieran estar influyendo sobre el proceso de desarrollo y crecimiento de los frutos.

El bajo porcentaje de frutos obtenidos cuando se emplea polinización manual es un problema para el mejoramiento de diversas especies de cucurbitáceas, por lo que se hace necesario desarrollar metodologías de trabajo para cada caso (2).

El presente trabajo tuvo como objetivo el determinar los efectos de la cantidad de granos de polen aplicados a la flor, el número de aplicaciones, así como la posible influencia de frutos aledaños en el crecimiento de frutos de chayote.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se llevó a cabo en el período comprendido entre los meses de agosto a diciembre de 1986, en una finca de la compañía AGRIMO. S.A., localizada en el valle de Ujarrás, Cantón de Paraiso, provincia de Cartago, a una altura de 1 050 msnm con una temperatura promedio anual de 22°C, con máximas de 26°C y mínimas de 15°C. El ensayo se realizó durante la época lluviosa que se extiende entre los meses de mayo a noviembre con un promedio anual de precipitación de 1 790 mm.

Las plantas utilizadas pertenecen a la selección local conocida como "quelite", seleccionada principalmente por las características del fruto para exportación y por rendimiento de la planta.

Se realizaron tres experimentos:

A— Efecto de la cantidad aplicada de polen sobre la abscisión de frutos. Entre los tratamientos evaluados se tuvo: 1. testigo o polinización natural; 2. sin polinización (cero polen); 3. polinización manual con aplicación de poco polen (50-100 granos, esto se determinó por observación previa de flores polinizadas); 4. polinización manual con aplicación de mucho polen (100-200 granos).

B— Efecto del raleo de frutos aledaños sobre la abscisión de frutos. Se evaluaron los siguientes trata-

mientos: 1. testigo, polinización natural sin eliminación de frutos aledaños; 2. polinización manual con poco polen y sin raleo de frutos; 3. polinización manual con poco polen y raleo del fruto anterior a la posición de la flor seleccionada; 4. polinización manual con poco polen y raleo del fruto posterior a la posición de la flor seleccionada; 5. polinización manual con poco polen y raleo de los frutos anterior y posterior a la posición de la flor seleccionada.

C— Efecto de una doble aplicación de polen sobre la abscisión de frutos. Los tratamientos incluidos fueron: 1. testigo; polinización natural; 2. una polinización manual con aplicación de poco polen; 3. dos polinizaciones manuales (mañana y tarde) con aplicación de poco polen.

En los tres ensayos, la unidad experimental estuvo constituida por una flor femenina en cada una de las ramas seleccionadas. Los tratamientos se dispusieron en el campo en un diseño irrestrictamente al azar con 100 repeticiones (flores). Para ello se seleccionaron 100 flores femeninas, antes de su antesis, por cada tratamiento. Las ramas seleccionadas se marcaron de forma tal que se facilitara su localización.

Las ramas con flores seleccionadas fueron bajadas del alambrado, con excepción del testigo, hasta una altura conveniente (altura del pecho) para ser embolsadas (bolsas de papel de 21 x 45 cm). Al siguiente día (8:30 am) se desembolsaron las ramas para polinizar las flores seleccionadas (pincel No 6) con polen proveniente de anteras, del tipo comercial "quelite", colectadas el mismo día entre 5:00 y 8:00 am. Una vez polinizada cada flor, la rama se embolsó de nuevo en forma inmediata. La segunda polinización del tercer ensayo, tratamiento 3, se realizó ese mismo día en horas de la tarde, de 12:00 m a 2:00 pm.

A partir del día de la eliminación definitiva de la bolsa y colocación de las ramas en su posición normal en el alambrado trece días después de la antesis), se efectuaron evaluaciones semanales, para cada tratamiento, del número de frutos abortados y del crecimiento del fruto en longitud y diámetro transversal en la base del fruto, determinándose finalmente el número de frutos que alcanzaron tamaño comercial. La utilización de un análisis de variancia fue obstaculizado por la existencia de un número no constante de repeticiones.

Las labores propias del cultivo fueron efectuadas por el personal de la compañía, pero evitando la aplicación de insecticidas durante los períodos en que se establecieron los ensayos, para evitar que los polinizadores naturales fueran afectados por los agroquímicos.

RESULTADOS Y DISCUSION

1. Efecto de la cantidad aplicada de polen sobre la abscisión de frutos.

Los cambios en la integridad celular durante la formación de la zona de abscisión culminan en la muerte y caída de frutos en desarrollo; caída que presenta valores muy altos durante los primeros 17 días posteriores a la antesis floral (Cuadro 1). Los tratamientos con polinizaciones manuales exhibieron mayor número de frutos abortados que las polinizaciones naturales en la primera evaluación (a los 10 días); una semana después, la polinización natural superó ampliamente a los demás tratamientos (Cuadro 1).

Lo anterior constituye un indicativo de que la no manipulación de las flores favorece una menor velocidad de degradación celular, que se evidencia como un menor porcentaje de frutos abortados en el tratamiento testigo, tanto a los 17 como 24 días después de la antesis floral

Cuadro 1. Efecto de la cantidad aplicada de polen sobre las variables cantidad de frutos de chayote abortados durante su ciclo de crecimiento y número de frutos con tamaño comercial* en el valle de Ujarrás (período del 11 de agosto al 3 de setiembre de 1986).

Tratamiento	Frutos abortados días después de la antesis floral			Frutos con tamaño comercial
	10	17	24	
Polinización natural	43	40	6	11
Cero polen	81	19	0	0
Poco polen	78	18	3	1
Mucho polen	82	17	0	1

* Para efectos de exportación, el fruto se cosecha con un tamaño entre 10-12 cm. Con un peso de 350-450 g (20).

Las flores cuyos estigmas no recibieron polen mostraron una tasa inicial de abscisión del 81% (Fig. 1), muy cercana a las obtenidas con los tratamientos de poco y mucho polen sobre los estigmas, 82 y 78% respectivamente. La no abscisión inicial de los 19 frutos sin polinización puede explicarse con base en la aparente pseudoapomixis del chayote señalada por Newstron (3).

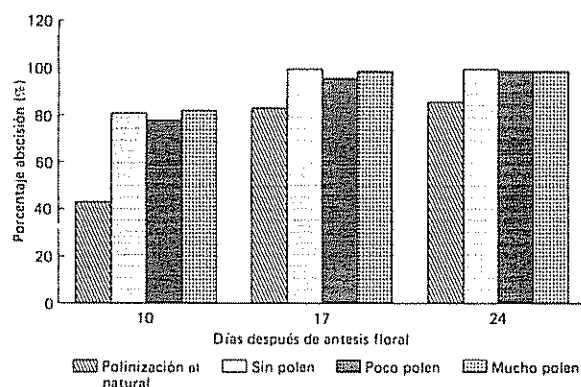


Fig. 1. Porcentaje acumulado de abscisión de frutos de chayote en el Valle de Ujarrás (período del 11 de agosto al 3 de setiembre de 1986), en relación con la cantidad de polen aplicada

El mayor número de frutos con tamaño adecuado para cosecha, y por tanto el mayor porcentaje de desarrollo exitoso (11%) correspondió a la polinización natural (Cuadro 1).

No obstante lo anterior, se detectó que en los primeros 10 días de desarrollo del fruto, aquellos que provenían de polinización natural, mostraron una tasa de crecimiento superior (Cuadro 2), sin embargo, a los 17 días, los frutos formados de flores a las que se aplicó mucho polen crecieron más rápidamente, logrando el tamaño comercial con una semana de anticipación a los frutos polinizados de forma natural; esto evidencia un favorecimiento del desarrollo del fruto por parte de la técnica de polinización empleada.

Cuadro 2. Variación promedio en la longitud y diámetro transversal de los frutos de chayote, en el Valle de Ujarrás, durante su ciclo de crecimiento de acuerdo con la cantidad aplicada de polen (período del 11 de agosto al 3 de setiembre de 1986).

Tratamiento	Edad del fruto (DDA)*					
	10		17		24	
	long	diam**	long	diam	long	diam
Polinización natural	1.78	1.26	5.72	4.44	9.10	7.23
Cero polen	0.99	0.59	-	-	-	-
Poco polen	1.32	0.94	3.29	2.43	9.45	7.83
Mucho polen	1.07	0.69	7.92	6.07	-	-

* Días después de la antesis

** Longitud y diámetro en cm.

Es probable que la utilización de la bolsa de papel para aislar las flores creará un microambiente alrededor de la flor, que unido a una mayor cantidad de polen, favoreciera la acción hormonal de éste y la penetración del tubo polínico.

Las diferencias existentes en el número de frutos de tamaño comercial logrados con cada tratamiento, pueden explicarse por el hecho de que la manipulación de la flor implica posibles lesiones a la misma y a la rama en general. Estas lesiones pueden provocar o acelerar la liberación de hormonas, como el ácido abscísico y el etileno que estimulan la formación de enzimas degradativas de la pared celular y el desarrollo de la zona de abscisión, acontecimientos que desembocan en la caída del fruto.

2. Efecto del raleo de frutos aledaños sobre la abscisión de frutos.

El número total de frutos abortados en cada uno de los tratamientos de polinización manual (Cuadro 3) mostró ser siempre mayor al de la polinización natural, la cual presentó un valor final de 91 frutos abortados a los 24 días luego de la anthesis floral; esto significa que en la polinización manual se presentó aborto de frutos aún siete días después de que habría finalizado en los tratamientos de polinización manual. Los valores finales de abscisión para tratamientos de polinización manual resultaron ser muy similares entre sí, el raleo en forma simultánea de los frutos anterior y posterior manifestó, al igual que la eliminación solamente del fruto posterior, un máximo de caída de frutos del 97% al momento de la segunda evaluación efectuada a los 17 días (Fig. 2)

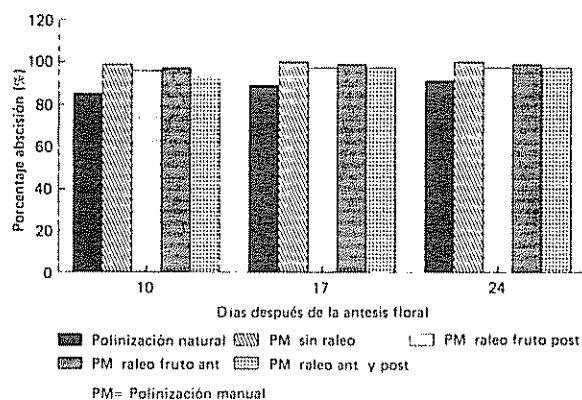


Fig. 2. Porcentaje acumulativo de abscisión de frutos de chayote en el Valle de Ujarrás (período del 9 de setiembre al 1 de octubre de 1986), de acuerdo con la eliminación de frutos adyacentes.

La polinización manual con raleo del fruto anterior exhibió un único fruto con tamaño comercial. Mientras que en el caso de polinización manual con aplicación de poco polen y sin raleo de frutos la abscisión de frutos fue del 100% (Cuadro 3).

Cuadro 3. Efecto de la eliminación de frutos adyacentes sobre las variables cantidad de frutos de chayote abortados durante su ciclo de crecimiento y número de frutos con tamaño comercial en el Valle de Ujarrás (período del 11 de agosto al 3 de setiembre de 1986).

Tratamiento (poco polen)	Frutos abortados días después de la anthesis floral			Frutos con tamaño comercial
	10	17	24	
Polinización natural	85	4	2	9
Polinización manual sin raleo de frutos	99	1	0	0
Polinización manual con raleo del fruto posterior a la flor seleccionada	96	1	0	3
Polinización manual con raleo del fruto anterior	97	2	0	1
Polinización manual con raleo del fruto anterior y posterior	93	4	0	3

Los resultados obtenidos en este ensayo coinciden con los reportados por Newstron (3) en el Valle de Ujarrás, al efectuar raleo de los frutos anterior y posterior a cada flor polinizada manualmente. La similitud de estos resultados hace pensar que la caída de frutos no es tanto consecuencia de la competencia por nutrientes entre frutos, sino que el fenómeno podría estar más ligado a características genéticas, condiciones climáticas y prácticas de cultivo, por lo que los resultados podrían variar en otras condiciones de clima o de cultivo. De nuevo, los tratamientos con polinización manual mostraron tasas de crecimiento superiores a la del testigo (Cuadro 4).

3. Efecto de la doble aplicación de polen sobre la abscisión de frutos de chayote.

El comportamiento de la variable, cantidad de frutos abortados por evaluación para la polinización natural no varió en forma alguna con el descrito para los ensayos anteriores: un menor número inicial de frutos abortados que en los tratamientos de poliniza-

Cuadro 4. Variación promedio en la longitud y diámetro transversal de los frutos de chayote, en el Valle de Ujarrás, durante su ciclo de crecimiento (del 9 de setiembre al 1 de octubre de 1986) de acuerdo con los tratamientos de eliminación de frutos adyacentes.

Tratamiento (poco polen)	Edad del fruto (DDA)*					
	10		17		24	
	long	diam**	long	diam	long	diam
Polinización natural	2.19	1.60	6.60	5.25	9.58	7.90
Polinización manual sin raleo de frutos	1.48	0.96	-	-	-	-
Polinización manual con raleo del fruto posterior a la flor seleccionada	3.79	2.47	10.06	6.90	-	-
Polinización manual con raleo del fruto anterior	3.56	2.78	8.56	7.63	-	-
Polinización manual con raleo del fruto anterior y posterior	3.12	2.13	10.00	7.55	-	-

* Días después de la antesis

** Longitud y diámetro en cm.

ción manual, presencia de abscisión de frutos aún 24 días después de la antesis y un porcentaje total de frutos abortados del 83%, en comparación con 97 y 98% obtenida con la realización de una o dos aplicaciones de polen respectivamente (Cuadro 5). El tratamiento de polinización natural es, por tanto, el que produjo la mayor cantidad de frutos de tamaño comercial.

Los frutos del tratamiento de polinización natural mostraron un crecimiento más lento que los frutos provenientes de polinizaciones manuales (Cuadro 6).

La realización de polinizaciones manuales (simulando la visita de los polinizadores durante el transcurso de la mañana y la tarde) con el objeto de determinar el efecto de un segundo grupo de granos de polen, resultó en un 97% de abscisión, porcentaje inferior en un 1% al obtenido con una sola aplicación de polen. Es probable que el doble manipuleo de las flores provoque mayor caída de frutos y no se evidencie el potencial efecto benéfico de la doble aplicación de polen sobre el porcentaje de frutos con desarrollo exitoso.

Cuadro 5. Efecto del número de polinizaciones manuales sobre la variable cantidad de frutos de chayote abortados durante su ciclo de crecimiento y número de frutos con tamaño comercial en el Valle de Ujarrás (período del 29 de octubre al 26 de noviembre de 1986).

Tratamiento (poco polen)	Frutos abortados días después de la antesis floral			Frutos con tamaño comercial
	10		17	
	10	17	24	
polinización natural	67	15	1	17
1 Polinización manual	96	2	0	2
2 Polinizaciones manuales	94	3	0	3

Los resultados finales para la polinización natural de 11, 9 y 17% en los ensayos 1, 2 y 3 difieren del 53 y del 3.8% encontrados por Newstron (3) en Turrialba (en 1981) y en Ujarrás (en 1985) respectivamente. Lo que constituye un indicativo de que la tasa de abscisión de frutos varía de acuerdo con las condiciones climáticas y zonas de cultivo. Es probable, también, que existan diferencias genéticas en cuanto a retención de frutos y que la fuerte selección realizada por los agricultores de Ujarrás aumentara la cantidad de flores producidas por unidad de tiempo y redujera las posibilidades de las plantas para retener todos los frutos formados.

La inhabilidad de los diferentes tratamientos evaluados para aumentar el número de frutos formados

Cuadro 6. Variación promedio en la longitud y diámetro transversal de los frutos de chayote, en el Valle de Ujarrás, (período del 29 de octubre al 26 de noviembre), durante su ciclo de crecimiento de acuerdo con el número de aplicaciones manuales de polen.

Tratamiento (poco polen)	Edad del fruto (DDA)*					
	10		17		24	
	long	diam**	long	diam	long	diam
Polinización natural	3.16	2.30	6.91	5.19	8.95	6.51
1 Polinización manual	4.37	3.25	9.72	7.39	-	-
2 Polinizaciones manuales	4.03	2.83	9.10	7.36	-	-

* Días después de la antesis.

** Longitud y diámetro en cm.

y que más bien redujeron el porcentaje de "cuaje", no se debe tanto al tratamiento en sí mismo, sino al daño mecánico sufrido por la flor y por la rama en el proceso de polinización

La evidencia recopilada muestra que en general, frutos polinizados manualmente, crecieron más rápido que los frutos de polinización natural, principalmente debido al efecto de las bolsas de papel, como se discutió anteriormente

Entre las prácticas de cultivo que se cree influyen sobre el "cuaje" de frutos están: a. edad de la plantación y distancia de siembra; el grado de cobertura de la plantación influye sobre el crecimiento de *Macrophomina* sp. que se encontró asociado con la caída de algunos frutos, así como en la eficiente utilización de la radiación solar para procesos de fotosíntesis; b. la aplicación de agroquímicos que pueden destruir o alejar a los polinizadores naturales; c. aplicaciones excesivas de fertilizantes nitrogenados que al causar un incremento en la turgencia de los tejidos los hace más susceptibles a enfermedades y daños físicos; d. la excesiva precipitación o prácticas inadecuadas de riego pueden provocar la caída de flores y frutos por efecto del impacto de las gotas, además, entorpecen la polinización al limitar el desplazamiento de los polinizadores.

En general, en el transcurso de los tres experimentos no se presentaron problemas con los polinizadores pues las poblaciones fueron normales y por observación se determinó que cada flor era visitada al menos dos veces por los polinizadores.

CONCLUSIONES

El chayote presenta una alta tasa de abscisión de frutos en condiciones de cultivo comercial en el valle de Ujarrás. Los resultados muestran que no se logró un aumento en el número de frutos retenidos por la planta al realizar eliminación de frutos aledaños, aplicación de cantidades variables de polen o realizar una doble polinización, en comparación con polinización natural; por el contrario, se observó que los tratamientos de polinización manual indujeron una mayor pérdida de frutos debido a la manipulación a que deben someterse la rama y la flor para realizar tal operación.

Se detectó un incremento en la velocidad de crecimiento de los frutos polinizados manualmente, esto pudo ser atribuido a un microambiente creado dentro de la bolsa de papel empleada para aislar las flores y que podría haber acelerado el proceso de fecundación y la acción hormonal de los granos de polen.

Se confirmó la observación realizada por Newstron (3) acerca del fenómeno de Pseudoapomixis que presenta el chayote, esto es un crecimiento del fruto durante la primera y/o segunda semana luego de la antesis floral, aún cuando los óvulos no hayan sido fecundados, presentándose, posteriormente, un 100% de abscisión de esos ovarios

En apariencia, la alta tasa de abscisión de frutos mostrada por las plantas de chayote en cultivo comercial podría deberse a una combinación de factores: la alta dosis de fertilización nitrogenada reportada por otros autores; la selección a que ha sido sometida la población de chayote de la zona, tendiente a producir plantas con ciertas características de frutos y alta productividad; y la periodicidad de cosecha, en la cual se remueven los frutos dos o tres veces por semana, forzando a la planta a producir más frutos de los que normalmente podría formar y retener.

LITERATURA CITADA

- 1 BARCELLO, C.J. *et al.* 1980. Fisiología Vegetal Madrid, España, Pirámide. 750 p
- 2 MANN, L.K. 1953. Honey bee activity in relation to pollinization and fruit set in the cantaloupe (*Cucumis melo*). American Journal of Botany 40:545-553.
- 3 NEWSTRON, L.E. 1986. Studies in the origin and evolution of chayote *Sechium edule* Sw., Cucurbitaceae. Tesis Ph.D. Berkeley, University of California. 138 p
- 4 STEPHENSON, G.A. 1981. Flower and fruit abortion: proximate causes and ultimate functions. Annual Review of Ecological Systematics 12:252-279.
- 5 STEPHENSON, G.A. 1981. Fruit set, herbivory, fruit reduction and the fruiting strategy of *Catalpa speciosa* (Bignoniaceae). Ecology 61(1):57-64.
- 6 WILLIE, A.; OROZCO, E.; RAABE, C. 1983. Polinización del chayote *Sechium edule* Swartz, en Costa Rica. Biología Tropical 31(1):145-154