

PREFERENCIA DE LA POLILLA DE LA QUINUA: *Eurysacca melanocampta* Meyrick (LEPIDOPTERA: GELECHIIDAE) POR DOS VARIEDADES DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.) EN ENSAYOS DE OLFATOMETRÍA

Preference of quinoa moth: *Eurysacca melanocampta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae) to two varieties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in olfactometry assays

Juan F. Costa^{1*}, Walter Cosio¹, Maritza Cardenas¹, Erick Yábar¹, Ernesto Gianoli²

ABSTRACT

Insects are attracted to plants by visual and olfactory cues. The quinoa moth, *Eurysacca melanocampta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae), is the main insect pest of the quinoa crop, *Chenopodium quinoa* Willdenow (Chenopodiales: Chenopodiaceae), in the southern Peruvian Andes causing loss of grain production. The aim of this study was to investigate the behavioural response to olfactory stimuli of quinoa moth adults. Specifically, the objectives of this study were: 1) to determine the capacity of *E. melanocampta* adults of searching of quinoa plants using plant olfactory cues; 2) to determine the preference of *E. melanocampta* females for the odours derived from two different varieties of quinoa: Amarilla de Marangani and Blanca de Junín; and 3) to assess the attraction of quinoa moths males towards *E. melanocampta* females and the host plant in olfactometric bioassays. Adults chose quinoa plant odor sources in election tests when distilled water was used as a control ($P < 0.0001$). Females were more attracted to Blanca de Junín variety than Amarilla de Marangani variety ($P < 0.05$). Males were more attracted towards the odour derived from females than to the volatile compounds from plants (both varieties) or towards the odour blend derived from plants plus females together. The level of attraction of males towards females is negatively affected by the presence of the quinoa plants.

Key words: attraction, Chenopodiaceae, Gelechiidae, searching, olfactometry, quinoa.

¹ Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Facultad de Ciencias Biológicas, Ciudad Universitaria. Av. De la Cultura 735, Cusco, Perú. E-mail: jfrancosta@gmail.com. *Autor para correspondencia.

² Universidad de Concepción, Casilla 160-C, Concepción, Chile. E-mail: egianoli@udec.cl
Presentado en el XXVII Congreso Nacional de Entomología, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. 23-25 de noviembre de 2005. Sociedad Chilena de Entomología, Santiago, Chile.

RESUMEN

La atracción de insectos hacia las plantas es causada tanto por estímulos visuales como olfativos. La polilla de la quinua, *Eurysacca melanocampta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae), es la principal plaga en el cultivo de quinua, *Chenopodium quinoa* Willd. (Chenopodiales: Chenopodiaceae), en los Andes del sur peruano causando pérdidas en la producción de granos. El objetivo de este estudio fue evaluar las respuestas conductuales frente a estímulos olfativos de adultos de la polilla de la quinua. Específicamente, los objetivos del estudio fueron: 1) estudiar la capacidad de búsqueda de plantas de quinua de los adultos de *E. melanocampta* utilizando plantas como estímulos olfativos; 2) determinar la preferencia de hembras de *E. melanocampta* por olores derivados de plantas de dos variedades de quinua: Amarilla de Marangani y Blanca de Junín; y 3) estudiar la atracción de los machos hacia hembras de *E. melanocampta* y hacia las plantas hospederas en bioensayos de olfatometría. Los adultos eligieron fuentes de olor de las plantas de quinua en pruebas de elección cuando el control fue agua destilada ($P < 0,0001$). Las hembras fueron más atraídas hacia la var. Blanca de Junín que hacia la var. Amarilla de Marangani ($P < 0,05$). Los machos fueron más atraídos por el olor de hembras que por los compuestos volátiles de las plantas (ambas variedades) o hacia el olor derivado de hembras más plantas. El nivel de atracción de los machos hacia las hembras fue negativamente afectado por la presencia de las plantas de quinua.

Palabras clave: atracción, Chenopodiaceae, Gelechiidae, búsqueda, olfatometría, quinua.

INTRODUCCIÓN

El reconocimiento por los insectos de sus plantas hospederas es facilitado por diferentes estímulos: visuales, olfativos, gustativos y táctiles (Bernays y Chapman, 1994). La percepción de los químicos de una planta les permite identificar su ubicación, disponibilidad y calidad (Awmack y Leather, 2002; Nieminen *et al.*, 2003). La preferencia por una determinada planta (Singer, 2000) es un importante paso en el proceso de selección y búsqueda de una fuente de alimento, lugar de ovipostura o refugio por parte de insectos herbívoros (Roitberg *et al.*, 1999; West y Cunningham, 2002; Stamps y Linit, 2002; Nieminen *et al.*, 2003).

La quinua, *Chenopodium quinoa* Willd. (Chenopodiales: Chenopodiaceae), es una planta originaria de los Andes. El cultivo de este grano se realiza desde el nivel del mar hasta los 4500 m de altitud (Tapia, 1997). Su valor nutritivo es superior al de los cereales tradicionales (Tapia, 1997), y es uno de los cultivos promisorios para la alimentación humana (National Research Council, 1989). Las variedades Amarilla de

Marangani y Blanca de Junín son las variedades comerciales cultivadas en mayor proporción en los Andes del sur peruano (Ormachea y Quispe, 1993). La diferencia entre variedades de quinua se presenta en la morfología, fenología y la composición química de sus tejidos (Bertero *et al.*, 2004).

La polilla *Eurysacca melanocampta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae) es la principal plaga en el cultivo de quinua en los Andes del sur de Perú (Delgado, 1989; Ormachea y Quispe, 1993; Rasmussen *et al.*, 2000; 2001; Sequeiros, 2001; Rasmussen *et al.*, 2003). Las hembras depositan sus huevos sobre las hojas en el estado de prefloración o cuando los granos ya están desarrollados (J.F. Costa, observación personal). Las larvas de los primeros estadios se alimentan de las hojas y posteriormente de los granos en desarrollo y granos maduros (Ortiz, 1991; Ochoa, 1996; Melo, 2001; Rasmussen *et al.*, 2003). El apareamiento se realiza sobre las plantas de quinua o sobre hierbas cercanas al cultivo (J.F. Costa, observación personal).

La preferencia o aceptación de la hembra por una planta para su alimentación o para la búsqueda de un sitio adecuado para la ovipostura estaría determinada por las características que las plantas presentan; por ejemplo: calidad y cantidad de nutrientes (néctares, polen, aminoácidos, entre otros), compuestos volátiles, metabolitos secundarios, fenología, dureza de los tejidos, defensas mecánicas (Joachim-Bravo *et al.*, 2001; McNeely y Singer, 2001; Awmack y Leather, 2002; Morewood *et al.*, 2003; De Bruyn *et al.*, 2002; Meiners *et al.*, 2005; Mannion *et al.*, 2003; Coley *et al.*, 2006). La elección de estas características permite a la hembra alimentarse apropiadamente o permite proveer condiciones adecuadas para el desarrollo de su progenie (Courtney y Kibota, 1990). Para el apareamiento, el macho debe encontrar a una hembra adulta receptiva por lo que requiere utilizar estrategias de búsqueda, por ejemplo, encontrar la planta hospedera de la hembra (por medios químicos o visuales), buscar fuentes de olor de la interacción hembra más planta hospedera, o seguir fuentes de olor (feromonas) para la búsqueda exclusiva de la hembra.

Se propusieron los siguientes objetivos en un estudio de respuestas olfativas: 1) estudiar la capacidad de búsqueda de plantas de quinua de los adultos de *E. melanocampta* utilizando plantas como estímulos olfativos, 2) determinar la preferencia de hembras de *E. melanocampta* por olores derivados de plantas de dos variedades de quinua: Amarilla de Marangani y Blanca de Junín, y 3) estudiar la atracción de los machos hacia las hembras de *E. melanocampta* y hacia las plantas hospederas en ensayos de olfatometría.

MATERIALES Y MÉTODOS

Insectos

Se colectaron larvas de *E. melanocampta* de panojas de quinua con granos secos y maduros en campos de cultivo de quinua de la var. Amarilla de Marangani en la localidad de Ollantaytambo, Urubamba, Cusco (13°15' S, 72°16' O). Las parcelas de cultivo de quinua de la var. Amarilla de Marangani tenían maíz (*Zea mays* L. var. Blanco Urubamba) como cultivo asociado. Se colectaron aproximadamente 600 larvas para obtener el mayor número posible de polillas adultas. Se criaron en condiciones de laboratorio (temperatura: $22 \pm 1^\circ$ C, humedad relativa (HR): 60%). Las larvas se alimentaron con hojas frescas y granos secos de quinua de la var. Amarilla de Marangani. Se identificó el sexo de los especímenes de *E. melanocampta* en el estado de crisálida y estas crisálidas se aislaron en potes plásticos de 1 L hasta la emergencia de los adultos (Ochoa, 1990). Los adultos machos y hembras se mantuvieron aislados y alimentados con miel diluida (10%) durante una semana hasta el inicio de los bioensayos. La colecta de larvas, crianza de larvas, recuperación de adultos y bioensayos de olfatometría se realizaron entre los meses de abril y agosto del 2005.

Variedades de quinua

Se eligieron plantas sanas de dos variedades de quinua: Amarilla de Marangani y Blanca de Junín, cultivadas en el Campus de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú. Las plantas se cultivaron por 75 días y luego se transportaron en recipientes plásticos de 3 L a invernadero por 15 días, donde se mantuvieron hasta la realización de las pruebas. Las plantas utilizadas en los ensayos tuvieron una altura aproximada de 30 cm y se seleccionaron por tener panojas en desarrollo. Las plantas se reemplazaron por otra planta en cada nuevo bioensayo.

Respuesta de la hembra a estímulos de olor

Los bioensayos se realizaron en un olfatómetro “Y” (**Figura 1**), siguiendo el modelo de Eiras y Mafra-Neto (2001). El tamaño y forma de los recipientes de “flexiglass” se elaboraron de acuerdo al tamaño de las macetas y plantas a utilizar. El olfatómetro “Y” se elaboró teniendo en cuenta que el espacio en su interior permita un desplazamiento adecuado de los adultos de *E. melanocampta* (brazo largo: 12 cm, brazos cortos: 6 cm, lado: 4 cm). Se realizaron dos tipos de bioensayos. El primer bioensayo consistió en la preferencia de adultos entre fuentes de olor de una planta de quinua (var. Amarilla de Marangani) y agua destilada como control. En este ensayo se utilizaron adultos indistintamente del sexo, elegidos al azar de un recipiente plástico donde se colocaron 50 adultos (machos/hembras: 1/1). Se realizaron 20 bioensayos. El objetivo de este ensayo fue demostrar que los adultos (machos y hembras) pueden identificar y preferir los compuestos volátiles de su planta hospedera (quinua, indistintamente de la variedad) en el sistema de respuestas olfativas sin que intervengan estímulos visuales. Se realizó el bioensayo únicamente con la var. Amarilla de Marangani debido a que las variedades de quinua presentan

igual composición química y la diferencia entre variedades reside en la morfología, el tiempo de desarrollo fenológico y en la concentración de estos compuestos en sus tejidos (Mastebroek *et al.*, 2000; Bertero *et al.*, 2004). El segundo bioensayo consistió en la preferencia de las hembras entre dos plantas de dos variedades de quinua: Blanca de Junín y Amarilla de Marangani. Se realizaron 25 bioensayos. En esta segunda prueba, utilizando únicamente hembras, el objetivo fue demostrar la existencia de diferencia en la preferencia entre ambos cultivares.

Los bioensayos se realizaron en condiciones de oscuridad a $18 \pm 1^\circ \text{C}$ y 65% HR. Los adultos de *E. melanocampta* tiene mayor actividad nocturna. Las hembras se alimentan y oviponen durante la noche y los machos son más activos para la búsqueda de hembras durante las horas de la noche, ya que en el día los adultos se refugian entre las hojas de las plantas de quinua o en plantas asociadas al cultivo. Además, se observaron algunos adultos refugiándose en las grietas del suelo (observaciones personales de los autores). Teniendo en cuenta estas observaciones, se eligieron las condiciones mencionadas para no alterar el comportamiento y la intensidad de la actividad de los adultos de *E. melanocampta*. Asimismo, se esperaba que la elección de un estímulo por parte de los adultos fuera enteramente olfativa evitando el estímulo visual en dicha elección.

Posteriormente, la hembra se encerró dentro del olfatómetro y se permitió el paso de flujo de aire de 260 mL min^{-1} en cada uno de los brazos del olfatómetro. Se utilizaron dos estímulos de olor diferentes, uno en cada brazo del olfatómetro, provenientes de recipientes de “flexiglass” conteniendo macetas con plantas íntegras de quinua. El aire se purificó por su paso a través de un recipiente de vidrio conteniendo carbón activado. Para los bioensayos se seleccionaron hembras de una semana después de la emergencia desde crisálida. Las hembras que mostraron mayor actividad se eligieron para la realización de las pruebas. Se introdujeron en el olfatómetro 10 min antes del inicio de cada prueba para su acondicionamiento. La actividad de cada insecto se observó durante 10 min y se registró el tiempo de permanencia en cada brazo. El tiempo de permanencia se midió desde el momento en que el insecto se acercó a una fuente de olor en el área de toma de decisión (bifurcación de los brazos del olfatómetro). Si un individuo no presentaba actividad o elección por uno de los estímulos de olor en un tiempo máximo de 5 min, era cambiado por otro individuo y la prueba empezaba nuevamente. Todos los especímenes respondieron a algún estímulo de olor y ningún ejemplar se utilizó por segunda vez. Los conectores y olfatómetros “Y” se lavaron con detergente neutro después de la finalización de cada prueba, no se utilizaron consecutivamente y se secaron en cámara aislada para evitar la impregnación de olores.

Respuesta del macho a estímulos de olor

Las evaluaciones se realizaron en un olfatómetro de cuatro brazos (“arena”). La “arena” se elaboró de acuerdo a la descripción propuesta por Pettersson (1970). En el ensayo se utilizaron machos de una semana después de la emergencia desde crisálida. Se utilizaron cuatro estímulos de olor diferentes, uno en cada brazo del olfatómetro: 1) plantas de Amarilla de Marangani, 2) plantas de Blanca de Junín, 3) plantas de Amarilla de Marangani más cuatro hembras vírgenes, y 4) cuatro hembras vírgenes. Se realizaron en total 25 ensayos, de los cuales dos especímenes no respondieron a ninguna fuente de olor. Se utilizó un olfatómetro diferente para cada bioensayo al igual que las mangueras conectoras. Las mangueras con los flujos de olor se ubicaron al azar en cada uno de los brazos del olfatómetro para cada bioensayo. Las condiciones fueron similares a las descritas en los bioensayos del olfatómetro “Y”. En esta prueba se intentó determinar si los machos identifican y prefieren la fuente de olor de las hembras solas (feromonas), sometiéndolos a diferentes fuentes de olor simultáneamente.

Análisis estadístico

Se realizó una prueba pareada de Wilcoxon (Zar, 1996) para los ensayos en el olfatómetro de tubo “Y”. Para los ensayos en olfatómetro de cuatro brazos se realizaron pruebas pareadas de U Mann-Whitney (Zar, 1996) para el tiempo de permanencia entre las cuatro fuentes de olor. Los análisis se realizaron con el programa Statistica 6.0[®] (StatSoft, 2001).

RESULTADOS

En el primer bioensayo en olfatómetro “Y”, el tiempo de permanencia de las polillas adultas (machos y hembras) fue mayor en los cursos de olor de las plantas de quinua (var. Amarilla de Marangani) que en el agua destilada ($Z = 3,92$; $P < 0,0001$) (**Figura 2**). En el segundo bioensayo las hembras mostraron mayor preferencia por la var. Blanca de Junín, el tiempo de permanencia por parte de las hembras en su curso de olor fue mayor que en el de las plantas de la var. Amarilla de Marangani ($Z = 2,08$; $P = 0,037$) (**Figura 3**).

En los bioensayos en olfatómetro de cuatro brazos, los machos mostraron mayor preferencia por la fuente de olor de las hembras solas. El tiempo de permanencia en la fuente de olor de las hembras fue mayor que en cualquier otra fuente de olor. Esta preferencia fue seguida por el curso de olor de las plantas de la var. Amarilla de Marangani (**Figura 4**). Los cursos de olor menos preferidos fueron la combinación de olor de planta más hembras y la var. Blanca de Junín (**Figura 4**). La prueba de suma de rangos de U Mann-Whitney entre dos fuentes de olor mostró significancia cuando se comparó la preferencia entre Blanca de Junín vs. Hembras ($U = 145,00$; $Z_{ajustado} = -2,625$; $P = 0,006$), Amarilla de Marangani más Hembras vs. Amarilla de Marangani ($U = 177,00$; $Z_{ajustado} = -2,152$; $P = 0,031$) y Amarilla de Marangani más Hembras

vs. Hembras ($U = 132,00$; $Z_{\text{ajustado}} = -3,143$; $P = 0,002$). No existieron diferencias para la preferencia entre las demás fuentes de olor.

DISCUSIÓN

Los adultos de la polilla de la quinua eligieron rápidamente el curso de olor de las plantas, entre 5 y 15 s después de iniciadas las pruebas (observaciones personales de los autores) y mostraron preferencia por la fuente de olor de las plantas de quinua (var. Amarilla de Marangani). Aunque la polilla de la quinua no es considerada como insecto específico del cultivo de quinua, esta planta cultivada es la principal planta hospedera de esta polilla (Rasmussen *et al.*, 2003). *E. melanocampta* completa su ciclo biológico sobre plantas de quinua y se registra como su principal plaga, existiendo una interacción estrecha entre planta e insecto que permitiría a los adultos de *E. melanocampta* identificar rápidamente la fuente de olor de las plantas de quinua.

Las hembras eligen una planta hospedera para la ovipostura que provea condiciones adecuadas para el desarrollo de su progenie (Courtney y Kibota, 1990). Esta elección es mediada por las características de las plantas, por ejemplo: defensas químicas, defensas físicas, madurez y dureza de los tejidos, entre otros (Awmack y Leather, 2002; Mannion *et al.*, 2003; Meiners *et al.*, 2005; Coley *et al.*, 2006). La hembra de *E. melanocampta* elige plantas de quinua sanas y en prefloración en condiciones de campo (J.F. Costa, observación personal). En la prueba de elección (primer bioensayo en olfatómetro Y), en condiciones de oscuridad y agua destilada como control, las hembras eligieron la fuente de olor de la planta de quinua. En esta condición (oscuridad), la preferencia por una planta es olfativa y depende de los metabolitos y compuestos químicos emitidos por la planta hospedera (Coracini *et al.*, 2004).

En el segundo bioensayo en olfatómetro Y, la preferencia mayor de las hembras por plantas de quinua var. Blanca de Junín puede ser causada por un contenido menor de saponinas presentes en esta variedad. La var. Amarilla de Marangani es uno de los cultivares con mayor concentración de saponinas en sus tejidos (Bertero *et al.*, 2004). Por lo general, las hembras muestran preferencia por oviponer sobre la planta en la cual se desarrollaron (Courtney y Kibota, 1990) o en plantas que presentan mayor calidad de nutrientes que permitan el mejor desarrollo de la progenie (Janz y Nylin, 1997; Awmack y Leather, 2002; Morewood *et al.*, 2003; Coley *et al.*, 2006). De esta manera, eligiendo la variedad con menos contenido de saponina, que tiene efectos repelentes o tóxicos sobre insectos (Morrisey y Osbourn, 1999, citados por Francis *et al.*, 2002), la hembra estaría proveyendo una fuente de alimento adecuado para el desarrollo de su progenie. Este hecho explicaría la elección de la hembra por plantas de quinua de la var. Blanca de Junín a

pesar de haber sido criada sobre plantas de quinua de la var. Amarilla de Marangani. En este estudio, las hembras utilizadas en los bioensayos fueron hembras vírgenes, explicando solamente la preferencia e identificación de sus plantas hospederas. En este caso determinamos la preferencia y aceptabilidad de una planta (quinua) por las hembras de *E. melanocampta* (Singer, 2000). Es necesario realizar bioensayos con hembras oviplenas que permitan resultados conclusivos sobre esta preferencia por las variedades de quinua para la ovipostura.

La emisión de feromonas sexuales de hembras de polillas puede ser detectada por los machos en distancias relativamente grandes, entre 250 y 1100 m (Sharov *et al.*, 2002; White *et al.*, 2003); y la identificación por parte del macho depende de la composición química, condiciones ambientales y concentraciones en las cuales las feromonas son emitidas (Linn y Roelofs, 1989; Kawazu *et al.*, 2001; Sharov *et al.*, 2002; Botero-Garcés e Isaacs, 2004; Takanashi *et al.*, 2006; Larraín *et al.*, 2007). En los bioensayos realizados en el olfatómetro de cuatro brazos, los machos reaccionaron positivamente y con mayor intensidad al estímulo de olor de las hembras solas que a las fuentes de olor de plantas más hembras y por el olor de plantas solas. Este hecho parece indicar que la combinación de olor planta más hembras disminuye la capacidad de los machos de distinguir plenamente las feromonas sexuales producidas por las hembras. De acuerdo a estos resultados, asumimos que las plantas de quinua emiten compuestos volátiles (alomonas, Whitman *et al.*, 1990) como mecanismo de defensa para evitar herbivoría o deposición de la ovipostura sobre sus tejidos, y que a su vez puedan causar disminución en la concentración de las feromonas sexuales emitidas por las hembras, actuando negativamente en la búsqueda de las hembras por parte del macho. Por tanto, la búsqueda exclusiva de la hembra de *E. melanocampta* (mediado por feromonas), parece ser el mecanismo utilizado por los machos para la ubicación de las hembras. A pesar de los resultados, debemos tener en cuenta que los machos pueden identificar y mostrar preferencia similar entre feromonas sexuales y compuestos químicos emitidos por la planta hospedera; por ejemplo: Coracini *et al.* (2004) demostraron esta preferencia en ensayos olfatométricos experimentales y de campo en la polilla de la manzana, *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera: Tortricidae). Por otro lado, las hembras ubicadas sobre plantas de quinua pueden emitir menor cantidad de feromonas que las hembras que se encuentran solas (en el caso de los bioensayos) o sobre hierbas (en condiciones de cultivo), e implicaría una ventaja reproductiva para las hembras que descansan sobre plantas diferentes a la planta hospedera (quinua). En cualquier caso, la planta hospedera parece tener un rol importante en la interacción polilla-quinua, actuando de manera negativa sobre la búsqueda de la hembra.

La respuesta a estímulos olfatorios en interacciones insecto-planta es un proceso ecológico difícil de cuantificar y analizar. Este hecho es causado por los complejos factores que interactúan en dichas relaciones (Keller, 1999; Heard, 2000; van Klinken, 2000). Considerando estos hechos, debemos tener en cuenta que los bioensayos se realizaron en condiciones controladas y que las variables que interactúan en condiciones de cultivo (agroecosistemas) son múltiples (Singer y Lee, 2000). Los bioensayos diseñados tratan de explicar, de la mejor manera posible, los mecanismos de atracción y preferencia en este sistema de estudio. Sin embargo, si estas observaciones se demuestran en condiciones agroecológicas (Coracini *et al.*, 2004), se podría explicar de manera más precisa la interacción ecológica estrecha entre una planta de importancia económica y su principal insecto plaga.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados, se demostró que los adultos de *E. melanocampta* pueden identificar su planta hospedera por medios olfativos en condiciones de oscuridad. Además, la hembra muestra una preferencia mayor por plantas de quinua de la var. Blanca de Junín que por plantas de la var. Amarilla de Marangani, pudiendo existir un efecto negativo de estas últimas sobre la preferencia de la hembra. Por otro lado, el macho de *E. melanocampta* identifica y prefiere la fuente de olor de las hembras solas y la interacción planta más hembras parece disminuir la capacidad de búsqueda de las hembras por parte del macho.

RECONOCIMIENTOS

El presente estudio fue financiado por el Proyecto PER: 02, International Science Programme (ISP), Uppsala University, Sweden. Magaly Aquino brindó asistencia en las colectas de campo y la crianza en laboratorio.

LITERATURA CITADA

Awmack, C.S., and S.R. Leather. 2002. Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Annu. Rev. Entomol.* 47:817-844.

Bernays, E.A., and R.F. Chapman. 1994. *Host-plant selection by phytophagous insects*. 312 p. Chapman & Hall, New York, USA.

Bertero, H.D., A.J. De La Vega, G. Correa, S.E. Jacobsen, and A. Mujica. 2004. Genotype and genotype-by-environment interaction effects for grain yield and grain size of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as revealed by pattern analysis of international multi-environment trials. *Field Crops Res.* 89:299-318.

Botero-Garcés, N., and R. Isaacs. 2004. Movement of the grape berry moth, *Endopiza viteana*: displacement distance and direction. *Physiol. Entomol.* 29(5):443-452.

Coley, P.D., M.L. Bateman, and T.A. Cursar. 2006. The effects of plant quality on caterpillar growth and defense against natural enemies. *Oikos* 115(2):219-228.

Coracini, M., M. Bengtsson, I. Liblikas, and P. Witzgal. 2004. Attraction of codling moth males to apple volatiles. *Entomol. Exp. Appl.* 110:1-10.

Courtney, S.P., and T.T. Kibota. 1990. Mother doesn't know best: selection of hosts by ovipositing insects. p. 161-188. *In* Bernays, E.A. (ed.) *Insect-plant interactions*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.

Delgado, P.M. 1989. Determinación taxonómica y porcentaje de parasitismo de insectos benéficos sobre *Eurysacca melanocampta* Meyrick "Kcona Kcona" en quinua. 46 p. Tesis Biólogo. Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Biológicas y Agrarias, Puno, Perú.

De Bruyn, L., Scheirs, J., and R. Verhagen. 2002. Nutrient stress, host plant quality and herbivore performance of a leaf-mining fly on grass. *Oecologia*, 130:594-599.

Eiras, A.E., e A. Mafra-Neto. 2001. Olfatometria aplicada ao estudo do comportamento de insetos. p. 27-40. *In* Vilela, E.F. e T.M.C. Della Lucia (eds.) *Feromônios de insetos*. 2nd ed. Holos, Ribeirão Preto, Brasil.

Francis, G., Z. Kerem, H.P.S. Makkar, and K. Becker. 2002. The biological action of saponins in animal systems: a review. *Br. J. Nutr.* 88:587-605.

Heard, T.A. 2000. Concepts in insect host-plant selection behaviour and their application to host specificity testing. p. 1-10. *In* Van Driesche, R.G., T. Heard, A.S. McClay, and R. Reardon (eds.) *Proceedings: Host Specificity Testing of Exotic Arthropod Biological Agents: The Biological Basis for*

Improvement in Safety. X International Symposium on Biological Control of Weeds, Montana, USA. July 4-14, 1999. Bozeman, United States Department of Agriculture (USDA), Forest Service Bulletin, FHTET-99-1, Morgantown, West Virginia, USA.

Janz, N., and R. Nylin. 1997. The role of female search behaviour in determining host plant range in plant feeding insects: a test of the information processing hypothesis. *Proc. R. Soc. London, Ser. B* 264:701-707.

Joachim-Bravo, I.S., O.A. Fernandes, S.A. De Bortoli, and F.S. Zucoloto. 2001. Oviposition behavior of *Ceratitis capitata* Wiedemann (Diptera: Tephritidae): association between oviposition preference and larval performance in individual females. *Neotrop. Entomol.* 30(4):559-564.

Kawazu, K., O. Setokuchi, K. Kohno, K. Takahashi, Y. Yoshiyasu, and S. Tatsuki. 2001. Sex pheromone of the rice leaffolder moth, *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Crambidae); synthetic Indian and Philippine blends are not attractive to male *C. medinalis*, but are attractive to *C. pilosa* in the South-Western islands in Japan. *Appl. Entomol. Zool.* 36(4):471-474.

Keller, M.A. 1999. Understanding host selection behaviour: the key to more effective host specificity testing. p. 84-92. *In* Whithers, T.M., L. Barton-Browne, and J. Stanley (eds.) *Host specificity testing in Australasia: Towards improved assays for biological control.* Scientific Publishing, Queensland Department of Natural Resources, Brisbane, Queensland, Australia.

Larraín, P., M. Guillon, J. Kalazich, F. Graña, and C. Vásquez. 2007. Efficacy of different rates of sexual pheromone of *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae) in males of potato tuber moth captures. *Agric. Téc. (Chile)* 67:431-436.

Linn, C.E., and W.L. Roelofs. 1989. Response specificity of male moths to multicomponent pheromones. *Chemical Senses* 14:421-437.

Mannion, C., A. Hunsberger, J. Peña, and L. Osborne. 2003. Oviposition and larval survival of *Diaprepes abbreviatus* (Coleoptera: Curculionidae) on select host plants. *Fla. Entomol.* 86:165-173.

McNeely, C., and M.C. Singer. 2001. Contrasting the roles of learning in butterflies foraging for nectar and oviposition sites. *Anim. Behav.* 61:1-7.

Mastebroek, D., H. Limburg, T. Gilles, and H.J.P. Marvin. 2000. Occurrence of sapogenins in leaves and seeds of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *J. Sci. Food. Agric.* 80:152-156.

Meiners, T., N.K. Hacker, and M. Hilker. 2005. Response of the elm leaf beetle to host plant induced by oviposition and feeding: the infestation rate matters. *Entomol. Exp. Appl.* 115:171-176.

Melo, L.A. 2001. Insectos asociados al cultivo de quinua en Cusco. 51 p. Tesis Bachiller en Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Facultad de Ciencias Biológicas, Cusco, Perú.

Morewood, W.D., P.R. Neiner, J.R. McNeil, J.C. Sellmer, and K. Hoover. 2003. Oviposition preference and larval performance of *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae) in four eastern North American hardwood tree species. *Environ. Entomol.* 32:1028-1034.

National Research Council. 1989. Lost crops of the Incas: Little known plants of the Andes with promise for worldwide cultivation. p. 148-161. Natl. Acad. Press, Washington D.C., USA.

Nieminen, M., J. Suomi, S. Van Nouhuys, P. Sauri, and M.L. Riekkola. 2003. Effect of iridoid glycoside content on oviposition host plant choice and parasitism in a specialist herbivore. *J. Chem. Ecol.* 29(4):823-844.

Ochoa, M.R. 1990. Ciclo biológico de la polilla de la quinua en condiciones de laboratorio. 60 p. Tesis Biólogo. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Facultad de Ciencias Biológicas, Cusco, Perú.

Ochoa, J.A. 1996. Principales plagas y sus enemigos naturales en el cultivo de quinua en la localidad de Huacarpay, Cusco. 45 p. Tesis Bachiller en Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Facultad de Ciencias Biológicas, Cusco, Perú.

Ormachea, E., y D. Quispe. 1993. Evaluación de parasitoides de la "polilla de la quinua" *Eurysacca melanocampta*, en el Cusco. *In XXXV Convención Nacional de Entomología*, Arequipa, Perú. 11-14 noviembre 1993. Sociedad Entomológica del Perú, Lima, Perú.

Ortíz, R. 1991. Pérdidas ocasionadas por insectos plaga en cultivos andinos: campañas 1990-1991. 10 p. Convenio Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Altiplano (FCA/UNA). Proyecto Programa Interinstitucional de Waru Waru (PIWA), Puno, Perú.

Pettersson, J. 1970. Studies on *Rhopalosiphum padi* (L.): laboratory studies on olfactometric responses to winter host *Prunus padus* L. Lantbrukshoegsk. Ann. 36:381-399.

Rasmussen, C., S.E. Jacobsen, y A. Lagnaoui. 2000. Las polillas de la quinua. Especies en Perú de *Eurysacca* (Lepidoptera: Gelechiidae) en la quinua (*Chenopodium quinoa* Willdenow). In XLII Convención Nacional de Entomología, Tarapoto, Perú. 22-26 de octubre de 2000. Sociedad Entomológica del Perú, Lima, Perú.

Rasmussen, C., S.E. Jacobsen, y A. Lagnaoui. 2001. Las polillas de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el Perú: *Eurysacca* (Lepidopt.: Gelechiidae). Rev. Per. Entomol. 42:57-59.

Rasmussen, C., A. Lagnaoui, and P. Esbjerg. 2003. Advances in the knowledge of quinoa pests. Food Rev. Int. 19:61-75.

Roitberg, B.D., I.C. Robertson, and J.G.A. Tyerman. 1999. Vive la variance: a functional oviposition theory for insect herbivores. Entomol. Exp. Appl. 91:187-194.

Sequeiros, P.A. 2001. Fluctuación poblacional de plagas insectiles en quinua y sus controladores naturales. 82 p. Tesis Biólogo. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Facultad de Ciencias Biológicas, Cusco, Perú.

Sharov, A.A., K.W. Thorpe, and K. Tcheslavskaja. 2002. Effect of synthetic pheromone on gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) trap catch and mating success beyond treated areas. Environ. Entomol. 31:1119-1127.

Singer, M.C. 2000. Reducing ambiguity in describing plant-insect interactions: "preference", "acceptability" and "electivity". Ecol. Lett. 3:159-162.

Singer, M.C., and J.R. Lee. 2000. Discrimination within and between host species by a butterfly: implications for design of preference experiments. Ecol. Lett. 3:101-105.

Stamps, W.T., and M.J. Linit. 2002. Oviposition choice by the black walnut curculio (Coleoptera: Curculionidae): A ten-year study. *Environ. Entomol.* 31:281-284.

StatSoft. 2001. Statistica (data analysis software system), version 6. StatSoft Inc., Tulsa, Oklahoma, USA. Available at <http://www.statsoft.com>.

Takanashi, T., I. Yukio, P. Anderson, Y. Huang, C. Löfstedt, S. Tatsuki, and B.S. Hansson. 2006. Unusual response characteristics of pheromone-specific olfactory receptor neurons in the Asian corn borer moth, *Ostrinia furnacalis*. *J. Exp. Biol.* 209:4946-4956.

Tapia, M. 1997. Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. 2da. ed. 273 p. FAO, Oficina Regional para América Latina y el Caribe, Santiago, Chile.

van Klinken, R.D. 2000. Host specificity testing: why do we do it and how we can do it better. p. 54-68. *In* Van Driesche, R.G., T. Heard, A.S. McClay, and R. Reardon (eds.) *Proceedings: Host Specificity Testing of Exotic Arthropod Biological Agents: The Biological Basis for Improvement in Safety*. X International Symposium on Biological Control of Weeds, Montana, USA. July 4-14, 1999. Bozeman, United States Department of Agriculture (USDA), Forest Service Bulletin, FHTET-99-1. Morgantown, West Virginia, USA.

West, S.A., and J.P. Cunningham. 2002. A general model for host plant selection in phytophagous insects. *J. Theor. Biol.* 214:499-513.

White, M.A., Host, G.E., and D.R. Benson. 2003. Northeastern Minnesota trapping study: Effects of temperature and trap density on male gypsy moth recapture and flight patterns. *Forest Insect Dis. Newsl.* November 2003. Minnesota Department of Natural Resources, St. Paul, Minnesota, USA. Available at <http://www.dnr.state.mn.us/fid/nov03/research.html> (Accessed July 2007).

Whitman, D.W., M.S. Blum, and D.W. Alsop. 1990. Allomonones: chemicals for defense. p. 289-351. *In* Evans, D.L., and J.O. Schmidt (eds.) *Insect defenses: adaptive mechanisms and strategies of prey and predators*. State University of New York Press, Albany, New York, USA.

Zar, J.H. 1996. *Biostatistical analysis*. 662 p. Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA.

Figura 1. Esquema del sistema de respuestas olfativas del olfatómetro Y. El aire es insuflado por un compresor hacia el filtro de carbón activado por medio de las mangueras conectoras. El aire purificado después de su paso por el filtro de carbón activado fluye hacia los recipientes de “flexiglass” que contienen las plantas o compuestos volátiles (fuentes de olor). El aire que contiene los compuestos volátiles es derivado por medio de conectores a cada uno de los brazos del olfatómetro Y. Los adultos de *Eurysacca melanocampta* fueron ingresados dentro del olfatómetro Y para la realización de los bioensayos.

Figure 1. System of olfactory responses in a Y-olfactometer. The air is derived to the activated charcoal filter by a compressor using little hoses. The purified air is flowed to flexible glass pots. These pots contain whole plants or volatile compounds (odor sources). The air with volatile compounds is flowed by little hoses to each arm of the Y-olfactometer. *Eurysacca melanocampta* adults were included inside of Y-olfactometer for realizing the bioassays.

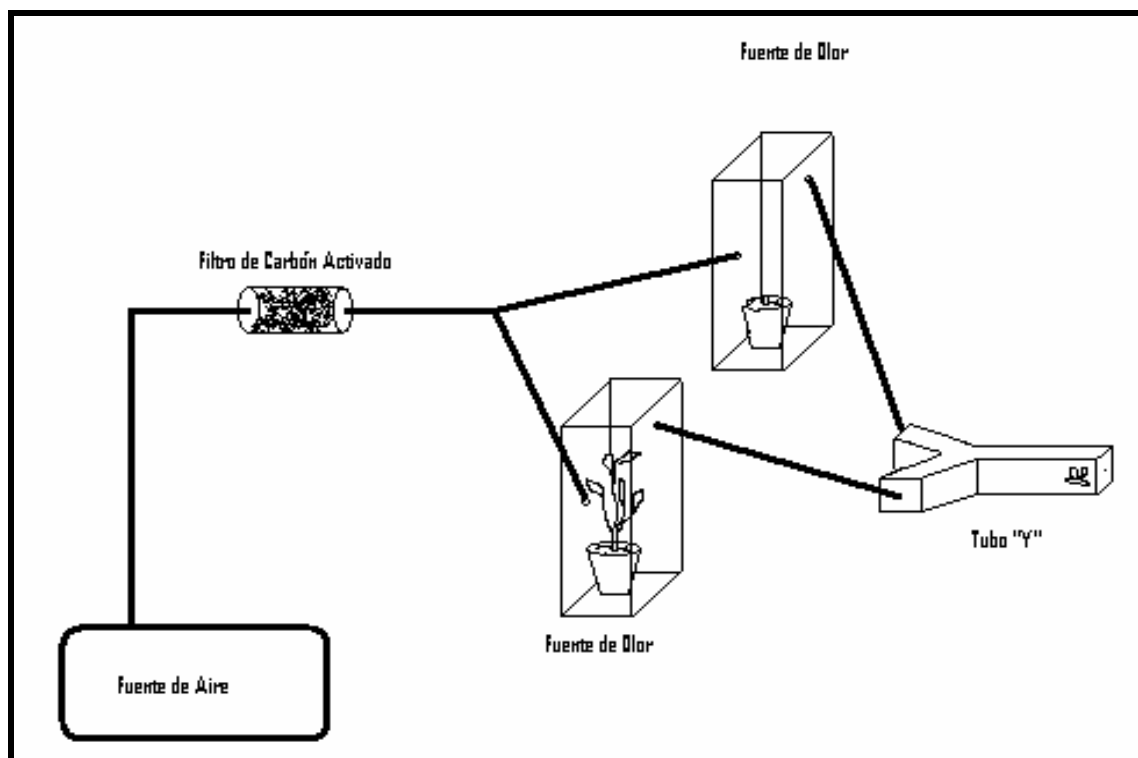
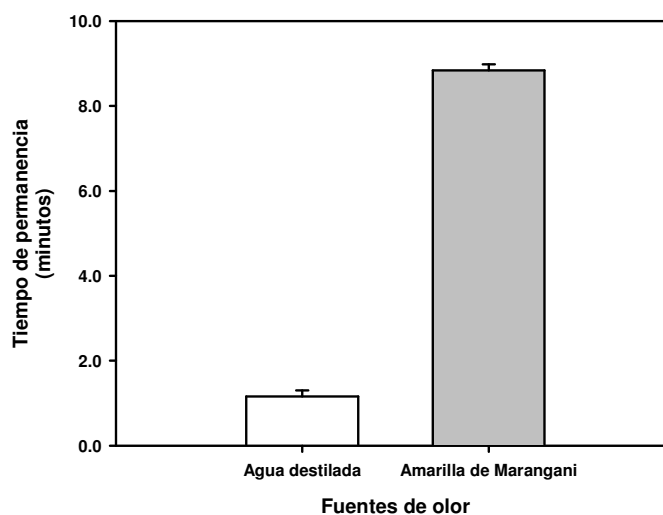


Figura 2. Preferencia de adultos de *Eurysacca melanocampta* en un olfatómetro Y por dos fuentes de olor. Las plantas de quinua (*Chenopodium quinoa*) utilizadas fueron de la variedad Amarilla de Marangani. Se realizó una prueba pareada de Wilcoxon.

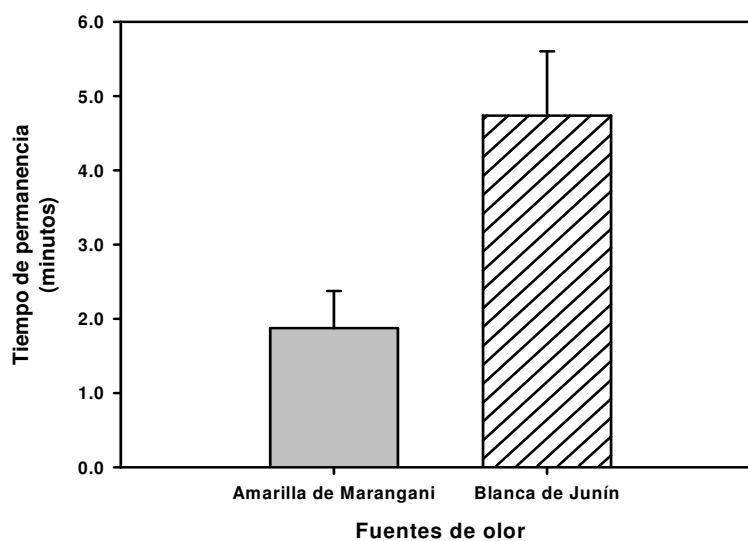
Figure 2. Preference of *Eurysacca melanocampta* adults in a Y-olfactometer by two odor sources. Quinoa plants (*Chenopodium quinoa*) of Amarilla de Marangani variety were used. Wilcoxon paired test was performed.



Las barras representan el promedio del tiempo de permanencia en la fuente de olor y las líneas superiores sobre la barras representan el error estándar.

Figura 3. Preferencia de hembras de *Eurysacca melanocampta* en un olfatómetro Y por dos fuentes de olor provenientes de plantas de dos variedades de quinua: variedad Amarilla de Marangani vs. variedad Blanca de Junín. Se realizó una prueba pareada de Wilcoxon.

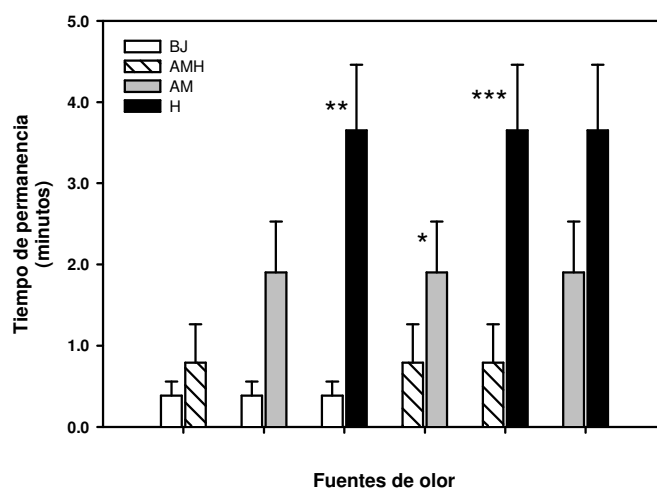
Figure 3. Preference of *Eurysacca melanocampta* females in a Y-olfactometer by two odor sources: Amarilla de Marangani plants vs. Blanca de Junín plants. Wilcoxon paired test was performed.



Las barras representan el promedio del tiempo de permanencia en la fuente de olor y las líneas superiores sobre la barras representan el error estándar.

Figura 4. Preferencia de machos de *Eurysacca melanocampta* entre estímulos de olor en un olfatómetro de cuatro brazos. BJ = plantas de la variedad Blanca de Junín; AMH = plantas de la variedad Amarilla de Marangani más hembras; AM = plantas de la variedad Amarilla de Marangani; H = hembras. Se realizaron pruebas de U Mann-Whitney para el tiempo de permanencia de los machos entre dos fuentes de olor.

Figure 4. Preference of *Eurysacca melanocampta* males between odor stimuli in a 4-arms olfactometer. BJ = Blanca de Junín plants; AMH = Amarilla de Marangani plants plus females; AM = Amarilla de Marangani plants; H = females. U Mann-Whitney tests were performed.



Las barras representan el tiempo promedio de permanencia en la fuente de olor. Las líneas sobre las barras representan el error estándar.

* P < 0,05

** P < 0,01

*** P < 0,005