

**BIOLOGÍA DE UNA POBLACIÓN DE *Tecia solanivora* (Lepidoptera:
Gelechiidae) RESISTENTE A CARBOFURAN**

**LADY DEL SOCORRO ZAMBRANO ESTRADA
TANIA ALEJANDRA JURADO CHAMORRO**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRONOMICA
SAN JUAN DE PASTO
2017**

**BIOLOGÍA DE UNA POBLACIÓN DE *Tecia solanivora* (Lepidoptera:
Gelechiidae) RESISTENTE A CARBOFURAN**

**LADY DEL SOCORRO ZAMBRANO ESTRADA
TANIA ALEJANDRA JURADO CHAMORRO**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniera Agrónoma**

ASESORES

**TITO BACCA Ph.D
MARIA PINEDA ARTEAGA I.A**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRONOMICA
SAN JUAN DE PASTO
2017**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo son responsabilidad exclusiva de los autores”.

Artículo 1 del acuerdo N° 324 de octubre 11 de 1996 emanado del honorable Concejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de Aceptación:

Firma del Presidente de tesis

Firma del Jurado

Firma del Jurado

San Juan de Pasto, Mayo de 2017

TABLA DE CONTENIDO

| | Pág. |
|---|-------------|
| RESUMEN | 6 |
| ABSTRACT | 7 |
| INTRODUCCIÓN | 8 |
| MATERIALES Y MÉTODOS | 10 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 14 |
| CONCLUSIONES | 20 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 20 |

**BIOLOGÍA DE UNA POBLACIÓN DE *Tecia solanivora* (Lepidoptera:
Gelechiidae) RESISTENTE A CARBOFURAN**
**BIOLOGY OF A POPULATION OF *Tecia solanivora* (Lepidoptera: Gelechiidae)
CARBOFURAN RESISTANT**

Lady Zambrano¹, Tania Jurado¹, Tito Bacca², Maria Pineda³

RESUMEN

El cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L) se ve afectado por diversas plagas y enfermedades, entre ellas se destaca la polilla guatemalteca *Tecia solanivora*. En los últimos años su control se ha basado principalmente en la utilización de productos químicos, trayendo como consecuencia el desbalance en los agroecosistemas asociados al sistema productivo, principalmente la aparición de resistencia de la plaga al uso de insecticidas. Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar la biología de dos poblaciones de *T. solanivora* resistente (R) y susceptible (S) a la aplicación del insecticida carbofuran mediante la construcción de tablas de vida. El ciclo de vida de la plaga en días acumulados desde huevo hasta pre-pupas, pupas y adultos, fue más rápida para la población resistente (R) al insecticida con respecto a la susceptible (S), con valores de 41,2 días (S) y 39,2 días (R) hasta pre-pupas; de 46,42 días; (S) y 42,28 días (R) hasta pupas y de 62,32 días (S) y 58,4 (R) hasta adultos. La tasa intrínseca de crecimiento (rm) (0,0744 (R), 0,080 (S)), y tasa finita de crecimiento (λ) (1,0773 (R), 1,083 (S)), mostraron que la población resistente presenta un crecimiento menor con respecto a la susceptible. Por lo tanto, los resultados anteriores demuestran que el costo de la adaptabilidad biológica asociado con el desarrollo de resistencia del carbofuran en *T. solanivora*, está acompañado con un alto gasto energético, traducido en una desventaja significativa que disminuye la capacidad de crecimiento poblacional y la disminución del ciclo biológico de la plaga.

Palabras claves: Tablas de vida, parámetros demográficos, resistencia, capacidad biológica.

¹ Estudiantes del programa de Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto, Colombia. ley.dy89@hotmail.com

² Docente tiempo completo, Ph.D. Universidad del Tolima. Ibagué, Colombia. titobacca@gmail.com

³ Docente hora cátedra, I.A. Universidad de Nariño. Pasto, Colombia. Mpinar274@hotmail.com

ABSTRACT

The potato cultivation (*Solanum tuberosum* L.) is affected by various pests and diseases. Among them, the Guatemalan moth *Tecia solanivora*, which in recent years has been mainly based on the use of chemical products, has resulted in imbalances in the agroecosystem, such as the appearance of resistance of the pest to the use of insecticides. The objective of this research was to evaluate the biology of two populations of *T. solanivora* resistant (R) and susceptible (S) to the application of carbofuran insecticide, through the construction of life charts. For the lifecycle of the pest in accumulated days from egg to pre-pupae, pupae and adults, the duration was most fast for the resistant (R) population to the insecticide with respect to the susceptible (S), with values of 41.2 days (S) and 39.2 days (R) to prepupas; Of 46.42 days; (S) and 42.28 days (R) to pupae and from 62.32 days (S) and 58.4 (R) to adults. The intrinsic growth rate (r_m) (0.0744 (R), 0.080 (S)), and finite growth rate (λ) (1.0773 (R), 1.083 (S)) Respect to the susceptible. Therefore, the above results demonstrate that the cost of biological adaptability associated with the development of carbofuran resistance in *T. solanivora* is accompanied by a high energy expenditure, translated into a significant disadvantage that diminishes the capacity of growth population and the decrease in the biological cycle of the pest.

Key words: Life charts, demographic parameters, resistance, biological capacity.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L) es una de las actividades agrícolas más sobresaliente de la zona fría andina de Colombia, el área del cultivo en la última década en el país ha fluctuado entre 122.000 y 138.631 hectáreas al año, con un rendimiento promedio de 16,8t.ha⁻¹ (García, 2014); Según el MADR (2015) la mayor producción del tubérculo se concentra en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Nariño y Antioquia. Es la actividad agropecuaria que más empleo e ingresos genera, constituyéndose en eje fundamental de la economía regional en estos departamentos. (FEDEPAPA, 2010) beneficia directamente a más de 95.000 familias, genera empleo a cerca de 20 millones de jornales directos, sin contar otros empleos que crea la cadena en torno a los procesos de distribución de insumos, empaques, maquinarias, semillas, procesamiento y comercialización (Cuervo *et al.*, 2012).

Uno de los mayores problemas sanitarios que presenta el cultivo de papa es el ataque del tubérculo de la polilla guatemalteca *T. solanivora*, esta plaga se ha adaptado a diferentes condiciones agroecológicas, favoreciendo su diseminación y causando grandes pérdidas económicas en Colombia (Araque y García, 1999; OEPP/EPPO, 2005.; Carillo y Torrado-León, 2013).

Con el fin de controlar este insecto plaga, a nivel mundial se ha usado de forma indiscriminada una gran cantidad de plaguicidas químicos (FAO, 2008), que son aplicados con frecuencia; lo cual, además de incrementar sustancialmente los costos de producción, origina una serie de problemas secundarios, entre ellos el desarrollo de resistencia a los plaguicidas (Sánchez *et al.*, 2000).

Para el caso de *T. solanivora*, se reportó resistencia al uso de tres grupos de insecticidas (piretroides, organofosforados y carbamatos) (Bacca y Pineda, 2015; Bacca *et al.*, 2017). Para el insecticida carbofuran, se encontraron niveles moderados de resistencia en varias poblaciones de Nariño y una de Boyacá, con un factor máximo de resistencia de 166.7, que corresponde a la dosis de aplicación de carbofuran que se tiene que realizar para el control de la plaga, comparado con una población susceptible al insecticida (Bacca y Pineda, 2015). En estas circunstancias, se sugiere la necesidad de emplear diversas estrategias de manejo integrado de la plaga, que minimicen la

presión de selección de los insecticidas utilizados (Bacca y Pineda, 2015; Bacca *et al.*, 2016).

La exposición de los individuos al uso intensivo de insecticidas resulta en una considerable presión de selección, de los cuales una pequeña proporción de individuos preadaptativamente tolerantes sobreviven y se reproducen con éxito (Germano, 2012). Ante la repetida aplicación del insecticida, el aumento de la proporción de insectos tolerantes al insecticida resulta en el desarrollo de una población resistente, es decir, una población que ha adquirido la capacidad de tolerar niveles de tóxico que serían letales para la mayoría de los individuos de una población normal de la misma especie (Tabashnik y Croft, 1990).

En poblaciones resistentes suceden cambios bioquímicos y fisiológicos en el desarrollo de un insecto (Roush y Daly, 1990), en los cuales se produce un gasto denominado costo adaptativo “fitness cost” (Gassmann *et al.*, 2009) expresándose en la reducción de la supervivencia, fecundidad (Sayyed *et al.*, 2008), baja fertilidad de huevos, alteraciones en el ciclo de desarrollo (Groeters *et al.*, 1994) peso larvario y propensión a diapausa (Carriere y Roff, 1995). El costo adaptativo producido en los individuos resistentes, pone a los organismos resistentes en desventaja biológica (Coustau *et al.*, 2000; Sayyed y Wright, 2001), retrasando el desarrollo de la resistencia en la población en ausencia de insecticida y en determinadas condiciones (Roush y McKencie, 1987; Carriere y Tabashnik, 2001).

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, el objetivo de este trabajo fue evaluar la biología de una población de *Tecia solanivora* con resistencia al uso de carbofuran, mediante la construcción de tablas de vida completas y de fecundidad, para determinar su comportamiento y posibles alteraciones en su ciclo biológico, para contribuir al conocimiento de la biología de la plaga.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El estudio se realizó en las instalaciones del insectario de la Universidad de Nariño sede Torobajo, municipio de Pasto ubicado a una latitud $1^{\circ} 14' 1.858''$ N, longitud $77^{\circ} 17' 35.871''$ W, y altitud 2488msnm. Con una temperatura promedio de 14 ± 2 °C y una humedad relativa de $70 \pm 5\%$.

Poblaciones de *T. solanivora*

La muestra de la población de *T. solanivora* susceptible a la aplicación del insecticida carbofuran, fue colectada en una finca productora de papa en la vereda Arrayanes del municipio de Gualmatán, Nariño, ($0^{\circ} 55' 5,9''$ N, $77^{\circ} 34' 32.6''$ W). La población resistente fue donada por el laboratorio de Entomología de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Tibaitatá, ésta población es originaria del municipio de Siachoque (Boyacá). Las dos poblaciones se obtuvieron mediante colectas realizadas durante en el año de 2012 (Bacca y Pineda, 2015).

Cría de *T. solanivora*

La cría de *T. solanivora* se realizó según las recomendaciones de Bacca y Pineda (2015), se utilizaron tubérculos de papa infestados por larvas del insecto, los cuales se depositaron en recipientes plásticos transparentes (370cc), con ventanas de aireación recubiertas con tela (tul) y un piso de papel absorbente, que se cambió periódicamente para evitar que por procesos fisiológicos, los tubérculos se pudran. En esta fase se obtuvieron alrededor de 400 larvas, lo que garantiza la variabilidad genética de los bioensayos. Cuando las larvas alcanzaron el estado de pre-pupa, salieron del tubérculo para empupar en el papel, aproximadamente un mes después de la oviposición.

Posteriormente las pupas se sexaron, teniendo en cuenta las características de los esternitos abdominales descritas por Rincón y López -Ávila, (2004), y se depositaron grupos de 10 pupas (5 hembras y 5 machos) en recipientes plásticos transparentes (1l) con ventanas de aireación recubiertas con tela (tul). Una vez emergieron los adultos (86% de emergencia), se alimentaron con miel diluida en agua en una concentración del 10%. En la tapa de cada recipiente se colgó acordeones papel crepé negro y en la base, círculos en el mismo material, como sustrato para la oviposición. Posteriormente

se cortaron porciones de papel con colonias de 20 huevos y se depositaron sobre un tubérculo sano, al cual se le hicieron microperforaciones con un alfiler estéril, para facilitar la entrada de las larvas neonatas. Estos tubérculos se llevaron a nuevos recipientes de 370 cc con las mismas características de los que se utilizaron en la cría preliminar. De esta forma se continuó con el mantenimiento de la cría para la realización de los bioensayos.

Estudio biológico de *T. solanivora*

Duración de los estados de desarrollo de *T. solanivora*. Con el propósito de determinar la duración en días acumulados de cada uno de los estados se tomó una cohorte de 1000 huevos de cada población, estos fueron revisados diariamente hasta su eclosión.

Para estudiar cada cohorte, se realizaron cámaras de copula de adultos previamente seleccionados (10 hembras y 5 machos) ubicados en recipientes transparentes de 1 litro de capacidad, cubiertas con tela muselina, %. En la tapa de cada recipiente se colgó acordeones papel crepé negro como sustrato de oviposición, esto se realizó de acuerdo con la metodología propuesta por Bacca y Pineda (2015). Los huevos fueron contados con ayuda de un estereomicroscopio Nikon SMZ800 modelo C-PS, rotulados y separados en grupos de 5 huevos hasta completar la cohorte de cada población.

Para la determinación de porcentaje de eclosión y mortalidad de huevos se establecieron 200 unidades experimentales, cada unidad experimental consistió en un tubérculo con 5 huevos, se realizaron perforaciones al tubérculo con un alfiler (esterilizado con flameos frecuentes) para facilitar el ingreso de larvas neonatas, durante este estado se realizaron evaluaciones diarias para determinar número de huevos muertos, huevos eclosionados y huevos sin eclosionar,

Para el estado de larva se realizaron evaluaciones destructivas de tubérculos cada cuatro días, dicha evaluación consistió en destruir 10 unidades experimentales, seleccionadas de forma aleatoria, los datos que se registraron en este periodo de observación fueron: larvas vivas, larvas muertas, instar en el que encontraba la larva y duración en días del estado larval.

A partir del momento en que las larvas de cuarto instar emergieron de los tubérculos, es decir, dejaron el hábito críptico se realizaron observaciones individuales por cada unidad experimental. Se consideró como estado pre-pupa, cuando la larva tomó una coloración roja en el dorso y verde en la región abdominal y su cuerpo pasó de tener apariencia larga a ovalada. El estado de pupa estuvo determinado desde el momento en el que la pre-pupa se queda inmóvil para iniciar la formación de capullo hasta la emergencia del adulto.

Fecundidad y longevidad de adultos de *T. solanivora*

Para determinar estos parámetros se tomó una corte de 200 pupas, de la población susceptible y 200 de la población resistente al insecticida, a estas se les determinó el sexo siguiendo la metodología propuesta por Rincón y López-Ávila (2004). Posteriormente las pupas se depositaron en recipientes plásticos de capacidad de un litro en una proporción de 1:1 (una hembra por un macho), se realizaron observaciones diarias durante el estado de pupa hasta el momento de emergencia del adulto, se hizo un conteo diario de huevos ovipositados hasta la muerte de todas las hembras.

Los adultos recién emergidos fueron alimentados con una solución agua-miel al 10%, impregnada en una mota de algodón, las variables registradas fueron las siguientes: Fecundidad (número de huevos durante el periodo de oviposición), periodo de oviposición (corresponde al número de días que transcurre desde el inicio de la oviposición hasta en el que la hembra deja de ovipositar), y longevidad de adultos. Con los datos obtenidos se calcularon los siguientes parámetros demográficos:

Parámetros poblacionales

Tasa reproductiva neta (Ro). Este parámetro representa principalmente la contribución neta por hembra a la próxima generación, expresada en el total de progenies hembra por hembra, durante el periodo completo de oviposición. En este parámetro, primero se calculó el número de progenies hembras que vienen de cada hembra por día (m_x), se tuvo en cuenta la proporción de hembras de cada cría, en segundo lugar se calculó la sobrevivencia acumulada por (l_x). Luego se hizo la sumatoria de ($l_x * m_x$) que es la tasa reproductiva neta. Expresada por la siguiente formula (Andrewartha y Birch, 1954).

$$Ro = \sum l_x * m_x$$

Tiempo medio generacional (T). Se define como el tiempo transcurrido entre el nacimiento de los individuos de una generación y los de la próxima. Se calculó a partir del modelo de crecimiento exponencial, mediante la fórmula (Andrewartha y Birch, 1954).

$$T = \sum l_x \cdot m_x / \sum l_x \cdot m_x$$

Tasa intrínseca de crecimiento de la población (r_m). Refleja la capacidad de multiplicación de la población en estudio, la expresión para estimar r_m se derivó del modelo de crecimiento exponencial (Andrewartha y Birch, 1954).

$$r_m = \ln(R_0) / T$$

Tiempo de doblaje (Dt). Es el tiempo necesario para duplicar la población inicial. Se calculó a partir del modelo de crecimiento exponencial (Andrewartha y Birch, 1954).

$$Dt = \ln(2) / r_m$$

Tasa finita de crecimiento (λ). Es un factor de multiplicación de la población original en cada periodo de tiempo. Expresado como el antilogaritmo de r_m , La parte decimal de la tasa finita de crecimiento corresponde a la tasa semanal de incremento expresada en porcentaje (Andrewartha y Birch, 1954).

$$\lambda = \text{Antilog}_{r_m}$$

Análisis estadístico

Los parámetros demográficos son puntuales y no existe un estimativo de errores típicos, lo que impide realizar comparaciones estadísticas. Para superar esta limitación se utilizó la técnica de Jackknife, que permite realizar estimaciones de error y asociar intervalos de confianza a los parámetros demográficos para la determinación de tablas de vida implementada por Maia *et al*, (2000) utilizando el paquete estadístico Infostat V. Estudiantil, para la comparación entre la duración acumulada de días de los estados biológicos de *T. solanivora*, para las dos poblaciones se utilizó una prueba de t ($p \leq 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desarrollo de los estados biológicos de *Tecia solanivora*

En la duración del estado de huevo se encontraron diferencias estadísticas significativas, siendo la población susceptible (Gualmatán) quien tuvo más duración, aproximadamente un día más que la población resistente (Siachoque) (Tabla 1), como se reporta en otros estudios de resistencia a la deltametrina del chinche *Triatoma infestans*, donde se encontró una respuesta similar a *T. solanivora* con respecto al insecticida carbofuran, puesto que en la población susceptible de *T. infestans* tuvo una duración en estado de huevo más larga y deposita significativamente más huevos que la población resistente (Germano, 2012).

Tabla 1. Comparación de la duración acumulada en días de desarrollo de los estados biológicos de *T. solanivora* en una población resistente (R) y susceptible (S) al uso del carbofuran, con una temperatura promedio de 14 ± 2 °C y una humedad relativa de $70 \pm 5\%$.

| Periodo evaluado | n Gualmatán | n Siachoque | $\bar{X} \pm$ de días acumulados (S) | $\bar{X} \pm$ de días acumulados (R) | Valor mínimo y máximo en días Gualmatán | Valor mínimo y máximo en días Siachoque |
|------------------|----------------|----------------|---|---|---|---|
| Huevo - huevo | 970 | 920 | $12,58 \pm 1,89$ a | $11,61 \pm 1,39$ b | (9 - 16) | (8 - 17) |
| Huevo - larva 1 | 75 | 90 | $16,13 \pm 2,06$ a | $16,11 \pm 2,05$ a | (14 - 18) | (14 - 18) |
| Huevo - larva 2 | 105 | 95 | $24,66 \pm 2,92$ a | $23,68 \pm 3,35$ a | (18 - 30) | (21 - 30) |
| Huevo - larvas 3 | 95 | 60 | $31,47 \pm 3,82$ a | $28,66 \pm 3,11$ a | (26 - 34) | (26 - 38) |
| Huevo - larva 4 | 55 | 150 | $35,2 \pm 1,93$ a | $36,23 \pm 2,81$ a | (30 - 38) | (34 - 38) |
| Huevo- Prepupas | 100 | 490 | $41,2 \pm 4,37$ a | $39,2 \pm 2,00$ b | (34 - 44) | (34 - 48) |
| Huevo - Pupa | 515 | 565 | $46,42 \pm 1,37$ a | $42,28 \pm 2,78$ b | (34 - 48) | (42 - 52) |
| Huevo - Adulto | 80 | 93 | $62,32 \pm 1,77$ a | $58,4 \pm 3,1$ b | (61 - 67) | (56 - 66) |

Letras diferentes de la misma fila significa que existen diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$), según la prueba de T.

En la fase larval no se encontraron diferencias estadísticas, con un tiempo acumulado de $35,2 \pm 1,93$ para la población susceptible y de $36,23 \pm 2,81$ para la población resistente (Tabla 1).

En el estado biológico de pre-pupa, se encontraron diferencias estadísticas significativas entre las dos poblaciones evaluadas, la duración hasta la fase pre-pupa en la población resistente fue tres días más rápida que en la población susceptible (Tabla 1). En pupa se encontraron diferencias estadísticas significativas, y se determinó que la población susceptible fue aproximadamente cuatro días más rápida que la resistente (Tabla 1).

En estudios realizados por Feng *et al.*, (2009), se reporta que el costo biológico como resultado de adaptación a la resistencia a tiametoxam de *Bemisia tabaci* biotipo-B a través de varias generaciones, el estado pupa fue más largo en poblaciones susceptibles al tiametoxan.

Distribución en el tiempo de huevos de *T. solanivora*

La oviposición en la población susceptible de Gualmatán (Figura 1), inició antes y presentó mayor número de huevos a través del tiempo que en la población resistente de Siachoque (Figura 2). Estos resultados coinciden con los obtenidos por Feng *et al.*, (2009), quien reporta que los individuos resistentes de *Bemisia tabaci* biotipo B tienen una fecundidad más baja con respecto al biotipo susceptible al insecticida, posiblemente debido que en la población resistente de Siachoque el estado adulto se demora más tiempo en eclosionar (Tabla 1).

Según Okunaga y Ochoa, 1987; Torres *et al.*, (1997), la copula generalmente ocurre durante el segundo o tercer día después de que los adultos emergen. Cada hembra fecundada puede colocar entre 150 y 360 huevos, bien sea individualmente o en grupos (Niño, 2004), la mayoría de huevos son puestos en los siete primeros días, con un pico máximo de oviposición entre el quinto y sexto día (Okunaga y Ochoa, 1987).

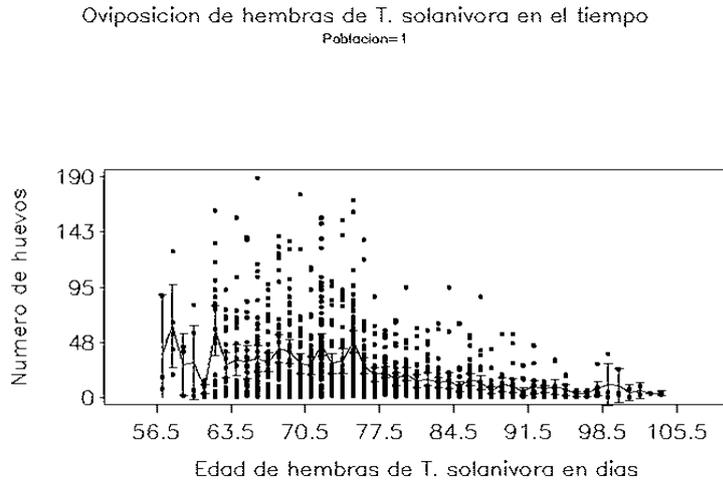


Figura 1. Distribución en el tiempo de oviposición de *T. solanivora*: población Gualmatán.

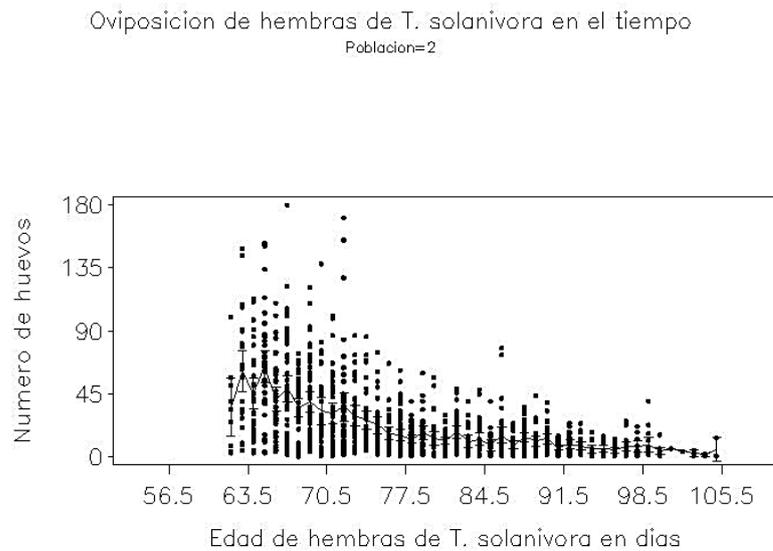


Figura 2. Distribución en el tiempo de oviposición de *T. solanivora*: población Siachoque.

Tasa neta reproductiva (Ro). Para la variable Ro no se encontraron diferencias estadísticas significativas con las poblaciones en estudio ($p \geq 0,05$) (Tabla 2). Andrewartha y Birch (1954), afirma que la tasa neta reproductiva es la capacidad de una plaga para incrementar en número y depende de su longevidad, fecundidad y velocidad de desarrollo, sin embargo la población resistente (Siachoque) se reproduce en una tasa menor, la hembra es reemplazada por aproximadamente 20,7 hijas menos

en la siguiente progenie que en la población susceptible, valor que resulta ser significativo.

Tasa intrínseca natural de crecimiento (r_m). El análisis mostró diferencias estadísticamente significativas para esta variable entre las dos poblaciones evaluadas ($p \leq 0,05$) (Tabla 2), la r_m es una característica genética para cada especie de insecto, que refleja la capacidad de multiplicación de la población en condiciones ambientales óptimas, útil para medir la velocidad con la cual una plaga está creciendo para alcanzar el nivel de daño económico (Andrewartha y Birch 1954).

La capacidad de multiplicación en poblaciones resistentes se puede ver afectada en el tiempo de desarrollo de cada estadio de las poblaciones en estudio, como ya se evidenció anteriormente (Tabla 1), la expresión de genes de resistencia puede aumentar (James y Price 2002), Disminuir (Ako *et al.*, 2004), por el contrario no afectar (Fournier *et al.*, 1988, Haubruge y Arnaud 2001), capacidad biológica del insecto.

En los resultados obtenidos se puede apreciar que la población resistente presenta una tasa de crecimiento de hembras /día menor que la población susceptible, este parámetro refleja una disminución de la capacidad biológica de *T. solanivora*, Solomon *et al.*, (2001) define la capacidad biológica de un organismo como la virtud de su genotipo para competir con éxito y contribuir con sus genes a las generaciones posteriores, ésta se puede alterar debido a la exposición a insecticidas o a diferentes niveles de resistencia (Roush y McKenzie 1987, Croft 1990, Arnaud y Haubruge 2002), influyendo en el potencial para modificar la densidad poblacional y convertirse en plagas importantes de las plantas cultivadas (Gould, 1991).

El efecto del genotipo o de la presencia de genes de resistencia a insecticidas en poblaciones de insectos plaga sobre la capacidad biológica se ha documentado en varias especies de insectos (Ferrari y Georghiou 1981, McKenzie *et al.*, 1982, Khatib y Georghiou 1985).

Guede *et al.*, (2006) estudió en *Sitophilus zeamais*, la biología de una población susceptible y dos con resistencia al DDT y piretroides, encontrando que en las poblaciones altamente resistentes a insecticidas piretroides presentaron una capacidad biológica inferior a la susceptible, observando que estas poblaciones tenían las células del tejido graso agrandadas y modificadas para almacenar más energía y su tasa de respiración era más alta. Esta energía adicional que utilizan algunas poblaciones de insectos resistentes, la obtienen a expensas de otras funciones biológicas; lo que se traduce en disminuciones significativas de la capacidad biológica del insecto.

Un estudio donde se compararon los parámetros adaptativos de dos poblaciones resistente y susceptible de la polilla de la manzana *Cydia pomonella* mostró un alto costo adaptativo, reflejándose en la baja fecundidad, tiempos prolongados en el desarrollo larval y longevidad del adulto prologada (Boivin *et al.*, 2001).

Tabla 2. Comparación de los parámetros reproductivos de *Tecia solanivora*, utilizando la técnica de Jackknife, de la población resistente (R) a Carbofurán de Siachoque y la población susceptible al insecticida (S) de Gualmatán.

| Parámetro reproductivo | Población de Siachoque (R) | Población de Gualmatán (S) | Probabilidad |
|--|----------------------------|----------------------------|--------------|
| Tasa neta reproductiva (R_0) | 92,3593 ± 5,63742 a | 113,053 ± 12,2012 a | 0,06331 |
| Tasa intrínseca natural de crecimiento (r_m) | 0,0744 ± 0,00106 a | 0,080 ± 0,0027 b | 0,03692 |
| Tiempo medio Generacional (T) | 60,8383 ± 0,37658 a | 59,506 ± 0,5734 a | 0,97285 |
| Tiempo de doblaje (Dt) | 9,3124 ± 0,13332 a | 8,680 ± 0,3248 a | 0,96259 |
| Tasa finita de crecimiento (λ) | 1,0773 ± 0,00115 a | 1,083 ± 0,0029 b | 0,03690 |

Letras diferentes de la misma fila significa que existen diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$), según la prueba de T.

Tiempo medio generacional (T). La variable no mostro diferencias estadísticas significativas ($P \geq 0,05$) (Tabla 2); los datos obtenidos muestran que el tiempo entre el nacimiento de las madres y el nacimiento de la siguiente generación es similar tanto en la población resistente como en la susceptible, se debe posiblemente a la mayor duración de estados inmaduros (huevos, pre-pupas y pupas) y la longevidad de

adultos, variables que afectan la tasa intrínseca de crecimiento natural de las poblaciones de insectos (Neubert y Caswell, 2000; García *et al.*, 2005).

Tiempo de doblaje (Dt). Para la variable Dt no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P \geq 0,05$) (Tabla 2); el tiempo de doblaje es la capacidad que tiene una especie en duplicar su población inicial, posiblemente los resultados obtenidos estén relacionados con el desarrollo tardío de cada estado (huevo, pre-pupa, pupas y adulto), entre menor sea el tiempo de duplicación de la plaga mayor será su capacidad de infestación, se puede afirmar que las poblaciones evaluadas no realizan un aporte significativo para alcanzar a doblar su población inicial y la capacidad de infestar el hospedero es baja.

Tasa finita de crecimiento (λ). Para esta variable se encontraron diferencias estadísticas significativas con un ($P \leq 0,05$) (Tabla 2). Según Andrewartha y Birch (1954), la tasa finita de crecimiento es un factor de multiplicación de la población por hembra por semana, la tasa finita de crecimiento sirve para determinar cómo es la curva de la población y obtener una tasa máxima de aumento de la población (Silveira *et al.*, 1976). El análisis muestra que la población resistente presenta un crecimiento menor con respecto a la población susceptible. El costo de la adaptabilidad biológica asociado con el desarrollo de resistencia a insecticidas, está acompañado con un alto costo energético, una desventaja significativa que disminuye la capacidad del insecto comparada con la contraparte susceptible (Coustau *et al.*, 2000).

Kliot y Ghanim (2012), reportan que el costo adaptativo en insectos con genes de resistencia, disminuye la frecuencia de copula, la fecundidad de hembras, eclosión de huevos y pupas y la producción de feromonas.

Estudios realizados por Valencia (2006), en poblaciones de *Zabrotes subfasciatus*, alimentados con genotipos de frijol (*Phaseolus vulgaris*) resistentes al ataque, demostraron que la resistencia causada por la planta afecta la biología del insecto en instares tempranos; en hembras provenientes de genotipos resistentes de *P. vulgaris* presentan efectos marcados que afectan el potencial reproductivo y biológico de *Z. subfasciatus*. Para la población resistente no consigue incrementar en tamaño a lo largo del tiempo, si no por el contrario, tiende a reducirse en las siguientes generaciones, posiblemente como resultado de la resistencia.

CONCLUSIONES

Considerando los resultados obtenidos en esta investigación, se puede concluir que la resistencia adquirida por *T. solanivora* a la aplicación de carbofuran repercute en el cambio de la biología del insecto, presentando menor fecundidad, y duración en los estadios de pre-pupa, pupa y adulto.

El desarrollo de resistencia a carbofuran de la población Siachoque está asociado a un costo de adaptabilidad, traducido en una desventaja significativa que disminuye la capacidad de crecimiento poblacional y la disminución del ciclo biológico de 1^o generación plaga.

El conocimiento de los cambios en la biología de la población resistente de *T. solanivora* a la aplicación del insecticida carbofuran, permite implementar estrategias de control eficaz, que mitiguen el daño en el agroecosistema y sean económicamente sostenibles para agricultores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREWARTHA, H. y BIRCH, L. 1954. The Distribution and Abundance of Animals. The University of Chicago Press, Chicago. 782p.

AKO, M., BORGEMEISTER, C., POEHLING, H., ELBERT, A., NAUEN, R. 2004. Effects of neonicotinoid insecticides on the bionomics of twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae). Journal Economical Entomology. 97:1587 - 1594.

ARNAUD, L. y HAUBRUGE, E. 2002. Insecticide resistance enhances male reproductive success in a beetle. Evolution. 56:2435 - 2444.

ARAQUE, M. y GARCIA, C. 1999. Manual integrado de la polilla guatemalteca de la papa *Tecia Solanivora* (Polvony). CRECED. Biblioteca digital MADR. Santander, Colombia. 46p.

BACCA, T. y PINEDA, M. 2015. Evaluación de la resistencia de *Tecia solanivora* (Lepidoptera: Gelechiidae) a insecticidas químicos en el departamento de Nariño. Resúmenes 42 Congreso, Sociedad Colombiana de Entomología, SOCOLEN, Medellín, p 220.

BACCA, T., HADDI, K., PINEDA, M., NARCISO, R., GUEDES, C. y OLIVEIRA, E. 2017. Pyrethroid resistance is associated with a *kdr*-type mutation (L1014F) in the potato tuber moth *Tecia solanivora*. *Pest Management Science*. 73(2):397 - 403.

BOIVIN, T., CHABERT, C., BOUVIER, J., BESLAY, D. y SAUPHANOR, B. 2001. Pleiotropy of insecticide resistance in the codling moth, *Cydia pomonella*. *Entomology Experimentalis et Applicata*. 99:381 - 386.

CARRILLO, D. y TORRADO-LEÓN, E. 2013. *Tecia solanivora* Povolny (Lepidoptera: Gelechiidae), an invasive pest of potatoes *Solanum tuberosum* L. in the Northern Andes. pp. 126 – 136. In: Peña JE. Potential invasive pests of agricultural crops. Cabi Publishing, Colección: Cabi Invasives Series Vol. 13, Wallingford, 216p.

CARRIERE, Y. y ROFF, D. 1995. Change in genetic architecture resulting from the evolution of insecticide resistance: a theoretical and empirical analysis. *Heredity*, 75(6):618 - 629.

CARRIERE, Y. y TABASHNIK, B. 2001. Reversing insect adaptation to transgenic insecticidal plants. *Proc. Royal. Soc. Lond. Series B-Biol. Sci.* 268. 1475 - 1480p.

COUSTAU, C., CHEVILLON, C. y FRENCH-CONSTANT, R. 2000. Resistance to xenobiotics and parasites: can we count the cost?. *Tree*. 15:379 - 383.

CROFT, B. 1990. Arthropod biological control agents and pesticides. Wiley-Interscience Publication, New York. 723p.

CUERVO, B., CASTRO, F., ESCOBAR, D., RODRIGUEZ, M. y VARGAS, J. 2012. Costos de Producción de Doce Productos Agropecuarios. En:

<http://www.fedesarrollo.org.co/wp-content/uploads/2013/02/IF-CostosagropecuariosFINAL.pdf>; consulta: febrero, 2017.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS, 2008. Gestión de las plagas y enfermedades de la papa. En: <http://www.potato2008.org.>; consulta: febrero, 2017.

FEDEPAPA. FEDERACIÓN COLOMBIANA DE PAPA. 2010. Acuerdo de competitividad de la cadena agroalimentaria de la papa en Colombia. En: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Papa/Documentos/004%20-%20Documentos%20Competitividad%20Cadena/004%20-%20D.C.%20-%20Nuevo%20Acuerdo%20Competitividad.pdf>; consulta: Diciembre, 2010.

FERRARI, J. y GEORGHIOU, G. 1981. Effects on insecticidal selection and treatment on reproductive potential of resistant, susceptible, and heterozygous strains of the Southern house mosquito. *Journal Economical of Entomology*. 74:323 - 327.

FENG, Y., WU, Q., XU, B., WANG, S., CHANG, X. y XIE, W. 2009. Fitness costs and morphological change of laboratory- selected thiamethoxam resistance in the B-type *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Journal of applied Entomology* 133:466 - 472.

FOURNIER, D., PRALAVORIO, M., COULON, J. y BERGÉ, J. 1988. Fitness comparison in *Phytoseiulus persimilis* strains resistant and susceptible to methidation. *Exp Appl Acarol* 5:55 - 64.

GARCÍA, J., BENITEZ, S. y LÓPEZ-ÁVILA, A. 2005. Tabla de vida de *Delphastus pusillus* (Coleoptera: Coccinellidae) en la mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Revista Colombiana de Entomología*. 31(2):155 - 160.

GASSMANN, A., CARRIERE, Y. y TABASHNIK, B. 2009. Fitness cost of insect resistance to *Bacillus thuringiensis*, *Annual Review of Entomol.* 54:147 - 163.

GARCIA J, 2014. Consumo y mercadeo de la papa en colombia. En: <https://consumoymercadodepapa.wordpress.com/2014/11/28/consumo-y-mercadeo-de-la-papa-en-colombia>; consulta: enero, 2017.

GROETERS, F., TABASHNIK, B., FINSON, N. y JOHNSON, M. 1994. Fitness costs of resistance to *Bacillus thuringiensis* in the diamondback moth (*Plutella xylostella*). *Evolution*. 48:197 - 201.

GERMANO, M. 2012. Herencia y efectos demográficos de la resistencia a deltametrina en *Triatoma infestas*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires. 157p.

GOULD, F. 1991. The Evolutionary Potential of Crop Pest. *American Scientist*. 74:496 - 507.

GUEDE, R., OLIVEIRA, E., GUEDES, N., RIBEIRO, B. y SERRÃO, J., E. 2006. Cost and mitigation of insecticide resistance in the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. *Physiological Entomology*. 31:30 - 38.

JAMES, D. y PRICE, T. 2002. Fecundity in two spotted spider mite (Acari: Tetranychidae) is increased by direct and systemic exposure to imidacloprid. *Journal Economical of Entomology* 95: 729-732.

KHATIB, Z. y GEORGHIOU, G. 1985. Comparative fitness of temephos-resistant, susceptible, and hybrid phenotypes of the southern house mosquito (Diptera: Culicidae). *Journal Economical of Entomology* 78: 1023-1029.

KLIOT, A. y GHANIM, M. 2012. Fitness costs associated with insecticide resistance. *Pest Management Science*. DOI: 10.1002/ps.3395.

MAIA, A., LUIZ, A. y CAMPANHOLA, C. 2000. Statistical inference on associated fertility life parameters using Jackknife technique: computational aspects. In: *Journal Economical of Entomology*. 93(2): 511-518.

MCKENZIE, J., WHITTEN, M. y ADENA, M. 1982. The effect of genetic background on the fitness of diazinon resistance genotypes of the Australian sheep blowfly, *Lucilia cuprina*. *Heredity* 49: 1-9.

NEUBERT, M. y CASWELL, H. 2000. Demography and dispersal. Calculation and Sensitivity Analysis of Invasion Speed for Structured Populations. *Ecology*, 81(6), 1613-1628.

NIÑO, L. 2004. Revisión sobre la polilla de la papa *Tecia solanivora* en Centro y Suramérica. Suplemento Revista Latinoamericana de la Papa. 18 p.

OEPP/EPPO. ORGANISATION EUROPÉENNE ET MÉDITERRANÉENNE POUR LA PROTECTION DES PLANTES. 2005. Data sheets on quarantine pests: *Tecia solanivora*. *OEPP/EPPO Bulletin*, 35, 399-401.

OKUNAGA, Y. y OCHOA, R. 1987. Estudios de dinámica reproductiva en palomilla de la papa *S. solanivora* y relación natalidad/mortalidad para *S. solanivora* y *Phthorimaea operculella*. En: XIII Reunión ALAP. Panamá: 9 al 13 de marzo de 1987. pp. 402-418.

RINCÓN, D. y LOPÉZ-ÁVILA, A. 2004 Dimorfismo sexual en pupas de *Tecia solanivora* (Povolný) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Revista Colombiana de Entomología*. 33 (2): 133-140.

ROUSH, R. y MCKENZIE, J. 1987. Ecological genetics of insecticide and acaricide resistance. *Annual Review of Entomology* 32: 361-380.

ROUSH, R. y DALY, J. 1990. The role of population genetics in resistance research and management, pp. 97-152. *En* R. T. Roush and B. E. Tabashnik (eds.), *Pesticide resistance in arthropods*. Chapman and Hall, New York.

SAYYED, A., AHMAD, M. y CRICKMORE, N. 2008. Fitness costs limit the development of resistance to indoxacarb and deltamethrin in *Heliothis virescens* (Lepidoptera:Noctuidae), *Journal Economical of Entomology*. 101: 1927- 1933.

SÁNCHEZ, G., LONDOÑO, L. y PEÑA, E. 2000. Manejo Integrado de Plagas. En: Manejo Integrado del Cultivo de la papa. Manual técnico. CORPOICA, Bogotá. 160 p.

SILVEIRA, S., NAKANO, O. y BARBIN, D. 1976. Manual de ecología de insectos. Sao Paulo: Ceres, 419 p.

SOLOMON, E., BERG, L. y MARTIN, D. 2001. Biología. Quinta edición en español. McGraw-Hill Interamericana, México, D.F., 1237p.

TABASHIK, B. y CROFT, B. 1990. Evolution of pesticide resistance in apple pests and their natural enemies. *Entomophaga* 30:37 - 49.

TORRES, F., NOTZ, A., VALENCIA, L. 1997. Ciclo de vida y otros aspectos de la biología de la polilla de la papa *Tecia solanivora* (Povolny) (Lepidoptera:Gelechiidae) en el Estado de Táchira, Venezuela. *Boletín Entomología Venezolana*. 12 (1):95 - 106.

VALENCIA, SANDRA. 2006. Efectos subletales de resistencia antibiótica a inmaduros en la demografía de adultos de los gorgojos de frijol *Acanthoscelides obtetus* (say) y *Zabrotes subfasciatus* (Boheman) (Coleoptera: Bruchidae). Facultad de Ciencias Agropecuarias, Palmira, Valle del Cauca, CO. 135p.