

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA.

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES.



CIENCIAS BIOLÓGICAS.

TESINA DE GRADO.

**Influencia de la temperatura sobre los índices nutricionales de *Plutella xylostella* (L.)
(Lepidoptera: Plutellidae).**

Estudiante: Emiliano Ceccarelli

Director: Mariano P. Grilli

**CREAN: Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales
(IMBIV-CONICET-UNC).**

AÑO: 2021

Contenido

1. Resumen.....	3
2. Abstract.....	4
3. Introducción	5
Objetivo general.....	8
Hipótesis	8
Predicciones.....	8
4. Metodología	9
Figura 1.....	9
Figura 2.....	10
Índices nutricionales.....	11
Tabla 1.....	11
5. Resultados	13
Variación del peso seco de <i>P. xylostella</i> en el tiempo	13
Figura 3.....	13
Figura 4.....	14
Figura 5.....	14
Figura 6.....	15
Figura 7.....	15
Pesos secos de las larvas	15
Tabla 2.....	16
Peso seco de los adultos.....	16
Tabla 3.....	16
Tamaño corporal y alar de adultos.....	16
Tabla 4.....	17
Figura 8.....	17
Índices nutricionales.....	17
Tabla 5.....	18
6. Discusión	19
Variación del peso seco de <i>P. xylostella</i> en el tiempo	19
Peso seco obtenido	20
Peso de alimento consumido.....	20
Heces producidas	21
Tamaño y peso de los adultos.....	21
Índices nutricionales.....	22
7. Conclusiones.....	23
8. Agradecimientos.....	24
9. Bibliografía.....	25

1. Resumen

Plutella xylostella (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) más conocida como la polilla de las coles o polilla dorso de diamante, es una plaga agrícola muy distribuida en el mundo. Es la principal plaga de las coles, especies de la familia Brassicaceae. Esta plaga produce pérdidas de millones de dólares anuales, aunque en Argentina ese valor aún es desconocido. En la zona hortícola de la ciudad de Córdoba las coles se cultivan de forma continua durante todo el año, por lo que las poblaciones de *P. xylostella* deben desarrollarse y sobrevivir en un amplio rango de temperaturas. Por ello, el estudio del efecto de la temperatura sobre el desarrollo, nutrición y crecimiento de *P. xylostella* es un avance importante para el futuro manejo de esta plaga. Para ello se alimentaron larvas de *P. xylostella* a cinco diferentes temperaturas (5, 15°, 23°, 25°, 30°). De cada una de las larvas se obtuvo el peso fresco, se estimó el peso seco y se pesó el alimento consumido y las heces producidas. Con esos datos se evaluó y comparó como la temperatura influye en estas mismas variables y cuál es el efecto de la temperatura en los índices nutricionales de esta especie. No se observaron diferencias significativas en el peso de los individuos ni el peso del alimento consumido a diferentes temperaturas, sin embargo, sí hubo diferencia significativa entre las heces producidas por individuos alimentados a diferentes temperaturas. También se observaron diferencias significativas en el tamaño del cuerpo y la envergadura alar entre individuos alimentados a diferentes temperaturas, siendo mayor en los individuos que se alimentaron a 25 °C. Finalmente se determinó que los índices nutricionales son independientes entre sí, y que las diferentes temperaturas sólo afectaron a algunos de ellos.

2. Abstract

Plutella xylostella (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), known as the cabbage moth or diamondback moth, is an agricultural pest widely distributed throughout the world. It is the main pest of cabbages, a species of the Brassicaceae family. This plague produces losses of millions of dollars annually worldwide, although there are no records for Argentina. In the horticultural area of Córdoba city cabbages are grown continuously throughout the year, so *P. xylostella* populations must develop and survive in a wide range of temperatures. For this reason, studying the effect of the temperature on the development, nutrition and growth of *P. xylostella* is a step forward for future management of this pest. For this, individuals in an immature state were fed at five different temperatures; 5, 15 °, 23 °, 25 °, 30 °. Both fresh and dry weights were registered, as well as the food and feces produced by each larvae. With these data, it was evaluated how temperature influences these same variables, as well as the role that it plays in the nutritional indexes. The results show that both the weight of the individuals and the weight of the food consumed were not different between temperatures, however, the feces produced were. On the other hand, both body size and wing span showed differences at different temperatures, obtaining the biggest individuals at 25 degrees. And finally, it was demonstrated that there is an independence between the nutritional indexes.

3. Introducción

La polilla dorso de diamante, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), es una plaga importante y exclusiva de cultivos de plantas de la familia Brassicaceae, que causa pérdidas significativas en el rendimiento en varias regiones del mundo (Marchioro y Foerster, 2016). Un análisis mostró que el costo anual mundial asociado a su gestión se estima en 4.000 millones de dólares (Marchioro y Foerster, 2016). La situación en Argentina, es una incógnita y si bien se sabe que es una de las principales plagas hortícolas, no existen datos suficientes para saber cuál es el valor real de la pérdida que ocasiona.

Este insecto es un microlepidóptero que posee un ciclo de vida corto, desarrolla resistencia a un amplio espectro de insecticidas y posee una capacidad de dispersión variable en su estado adulto, con un rango de dispersión que va desde de cientos de metros hasta miles de kilómetros (Coulson *et al.*, 2002; Figueiroa *et al.*, 2019)

La aplicación de insecticidas es el principal método de control de *P. xylostella*, pero la alta tolerancia a la mayoría de los insecticidas y los problemas ambientales asociados pueden dar lugar a brotes de la plaga por la destrucción de sus enemigos naturales (Ahmad *et al.*, 2012). Estos inconvenientes han aumentado el interés por otros métodos de control, como el control biológico el desarrollo de cultivares resistentes (Haseeb *et al.*, 2004; Xu *et al.*, 2004; Fathipour y Sedarati, 2013). Estudiar las características biológicas, fisiológicas y ecológicas de las especies de insectos plaga en diferentes plantas hospedantes es una forma de establecer la resistencia de la planta a estos herbívoros (Sarfray y Keddie, 2005). El rol de la calidad del alimento en la relación insecto – planta ha sido estudiada en numerosas oportunidades, lo que incluye la tasa de ingestión, el crecimiento y la eficiencia de utilización de los nutrientes (David y Gardiner, 1962; Sheikher *et al.*, 2001; Xue *et al.*, 2010).

Para poder desarrollar estrategias de control de insectos herbívoros de importancia económica, es necesario conocer a fondo su respuesta nutricional (Majd-Marani *et al.*, 2018). Se ha establecido que casi todas las plantas sufren el ataque de los herbívoros y que la mayoría ha desarrollado diferentes estrategias de resistencia a estos atacantes (War *et al.*, 2012; Mitchell *et al.*, 2016). Uno de los mecanismos naturales de defensa de las plantas contra las plagas de insectos es el bloqueo de las enzimas digestivas mediante inhibidores, privándolas así de nutrientes y energía (Borzoui *et al.*, 2018). En las Brassicaceae, la característica de las sustancias químicas secundarias, esto es el sistema defensivo glucosinolato-mirosinasa, y sus productos de descomposición son bien conocidos por reducir eficazmente el rendimiento de las plagas de insectos especialistas y generalistas (Müller y Sieling, 2006; Hopkins *et al.* 2009; Petzold-Maxwell *et al.*, 2011). Aunque algunas plagas especializadas pueden ser capaces de neutralizar las

defensas presentes en sus plantas huésped (Kahuthia-Gathu *et al.*, 2009), la elección de cultivares resistentes podría reducir sus poblaciones y daños.

Los nutrientes que los herbívoros obtienen de sus hospedadores son esenciales para su desempeño (Chapman *et al.*, 2012), y también pueden influir en sus tasas de crecimiento, digestibilidad, eficiencias de utilización de alimento y tiempos de desarrollo (Levesque *et al.*, 2002; Borzoui *et al.*, 2018). Además, se ha demostrado que la calidad y la cantidad del alimento son factores importantes que regulan la diapausa en algunos insectos, influyendo en la acumulación de energía necesaria para la hibernación (Zvereva, 2002; M. Mohammadzadeh & Izadi, 2018; Mozghan Mohammadzadeh & Izadi, 2018). Estudios previos señalan que el cambio en la calidad, la cantidad o el tipo de proteasas y amilasas en el intestino de los insectos está relacionado con las características de la dieta del huésped, como los macronutrientes y los inhibidores (Karasov *et al.*, 2011). En términos nutricionales, la eficiencia de utilización de los nutrientes refleja la calidad del alimento consumido (Bagheri *et al.*, 2013; Naseri *et al.*, 2010). El conocimiento de las interacciones entre las plantas hospedadoras y los insectos que se alimentan de ellas resulta fundamental para establecer la idoneidad de las diversas plantas hospedadoras como alimento para la plaga (Wei *et al.*, 2013). Por su parte, la obtención de índices nutricionales, sirven como herramienta para comprender las bases conductuales y fisiológicas de las interacciones entre los insectos y sus plantas hospedadoras (Bryant *et al.*, 1987). Las tasas de consumo de alimento, el crecimiento y la eficiencia de utilización del alimento ingerido son indicadores clave del rendimiento de los herbívoros. Las respuestas de los insectos herbívoros a los cambios en la calidad de la planta huésped varían en función de las fuentes de alimento (Awmack & Leather, 2002).

En el caso de *P. xylostella*, muchos trabajos se han centrado en los efectos de diferentes cultivares de Brassica sobre la biología y sus índices nutricionales. Por ejemplo, Golizadeh *et al.* (2009) informaron de diferencias significativas en el tiempo de desarrollo, la supervivencia, el peso corporal y las tasas de oviposición de *P. xylostella* cuando se criaba en cinco cultivares de colza. Por su parte Kianpour *et al.*, (2014) investigaron el efecto de diferentes cultivares de colza sobre los índices nutricionales de *P. xylostella* y encontraron que las larvas que se alimentaban de un tipo particular de cultivar crecían más. Nouri-Ganbalani *et al.*, (2020) mostró que los parámetros poblacionales de *P. xylostella* fueron afectados por los diferentes cultivares de colza que probaron y Fathipour *et al.* (2019) determinó que las larvas se desarrollaban más rápido, con una tasa intrínseca de crecimiento mayor en dos cultivares específicos.

Por otra parte, la temperatura desempeña un papel fundamental en el desarrollo, el consumo de alimentos y la multiplicación de los insectos (Fand *et al.*, 2015). Dado que la temperatura afecta a todos los procesos vitales de los insectos, también afecta a la fisiología del consumo y la utilización de los alimentos (Hegazi & Schopf, 1984; Karmakar *et al.*, 2017). A medida que aumentan las temperaturas, las demandas

metabólicas de los insectos se incrementan exponencialmente y es probable que los insectos satisfagan estas demandas mediante un mayor consumo de alimentos (O'Connor, 2009). Es por esto que para poder proponer una estrategia de manejo eficiente de una especie de insecto plaga, resulta fundamental determinar la influencia de la temperatura sobre sus parámetros de consumo y utilización de alimentos. En un estudio sobre el efecto de la temperatura sobre el desarrollo de *S. litura*, Karmakar *et al.* (2017) concluyeron que el cambio de temperatura tenía un impacto directo sobre los parámetros nutricionales de esta plaga. Observaron que 30 °C fue la temperatura más favorable para el consumo y la utilización de nutrientes por parte de esta polilla. Por su parte, Morisita (1962) mostró que ciertas poblaciones de *P. xylostella* de Japón, tendieron a consumir más hojas de repollo a menores temperaturas, y que presentaron una relación directa entre la cantidad de repollo consumida y el peso de las pupas, mientras que Shirai y Nakamura (1994) determinaron que, para las mismas poblaciones, las larvas criadas a menores temperaturas, producían adultos más grandes, con mayor envergadura alar.

Los índices nutricionales son una expresión matemática que resume adecuadamente la utilización general del alimento que consumen los insectos (Waldbauer, 1968). Estos índices, incorporan a qué ritmo se consume el alimento, la cantidad de alimento ingerido que se digiere, y que parte del alimento se incorpora como biomasa. Para el cálculo de estos índices es necesario recurrir a tres medidas básicas: el peso del alimento ingerido, el peso de las heces que corresponden al alimento ingerido y el peso ganado por el insecto en el tiempo en el que se alimenta. Estas tres medidas nos permiten calcular la tasa de alimentación, digestibilidad y eficiencia de conversión de alimento en masa corporal. Generalmente estos índices se utilizan cuando están presentes alimentos integrales (peso fresco), materia seca, energía, carbohidratos, nitrógeno u otros constituyentes. Los datos que proporcionan estos índices son más útiles si se reducen a términos que permitan comparar, por ejemplo, la utilización de diferentes alimentos, la utilización de un estadio a otro, o los efectos de los factores ambientales sobre la utilización (Waldbauer, 1968).

En el área hortícola peri urbana de la ciudad de Córdoba el cultivo de crucíferas se mantiene durante todo el año y *P. xylostella* está presente de manera continua (Grilli *et al.*, 2015). Es por esto que las poblaciones de la polilla se encuentran expuestas a un rango amplio de temperaturas durante las diferentes estaciones del año (Ovando *et al.*, 2018).

La exposición a diferentes temperaturas de las poblaciones locales plantea la necesidad de estudiar la respuesta nutricional de los individuos de estas poblaciones. La determinación de índices nutricionales de un insecto a diferentes temperaturas es una herramienta para evaluar a nivel local y estacional la dinámica poblacional de la especie y el posible daño que esta pueda ocasionar en los cultivos y así mismo mejorar los métodos de control (Majd-Marani *et al.*, 2018). Este conocimiento permitiría desarrollar programas de manejo integrado de esta plaga para mantenerla por debajo del umbral de daño económico.

Objetivo general

Evaluar la influencia de los regímenes de temperatura controlada en los índices nutricionales de *P. xylostella*.

Hipótesis

Considerando el clima templado de la ciudad de Córdoba, se propone que en las poblaciones locales de *P. xylostella* a mayor temperatura tanto la digestibilidad como la eficiencia de convertibilidad de alimento será mayor.

Predicciones

En las poblaciones locales, a temperaturas mayores se ve favorecido el incremento de masa de los individuos en menor tiempo.

En las poblaciones locales, el tamaño de los adultos aumenta a medida que la temperatura de cría a la cual consumen el alimento aumenta.

4. Metodología

Para evaluar la influencia de la temperatura en los índices nutricionales, en primer lugar, se criaron larvas recién emergidas de *P. xylostella* en una cámara de ambiente controlado a 23° C, 60% de humedad y un fotoperiodo de 8:16 horas de luz y oscuridad. Cada individuo permaneció en estas condiciones siendo alimentadas con plantines de *Brassica oleracea* var. *capitata* hasta que alcanzó el estadio número 4 (Fig. 1). Se utilizó individuos en estadio 4, debido a que poseen la mayor tasa de supervivencia (Ferreira Toledo, 2021), sumado a que su manipulación es más sencilla. Este estadio es reconocido por la aparición de las gónadas en el lado dorsal del individuo y es el estadio larval previo a la pupa (Guimarães *et al.*, 2011). Una vez obtenidas larvas de estadio 4, fueron colocadas de manera individual en una caja de Petri junto a una hoja de plántula de *Brassica oleracea* var. *capitata*, especie en la cual se ha demostrado que produce una mayor masa corporal con menor alimento consumido (Kianpour *et al.*, 2014). Dicha hoja contenía un algodón húmedo en el extremo del pedicelo de la misma con el objeto de conservar la turgencia necesaria para alimentar a la larva (Fig. 2) (Kianpour *et al.*, 2014). Cada larva y cada hoja colocada en la caja de Petri fueron previamente pesadas. Las cajas de Petri con las hojas y las larvas, se colocaron a 5 diferentes temperaturas: 5, 15, 23, 25 y 30 °C. En cada temperatura se colocaron entre 30 y 45 individuos.



Figura 1. Larva en estadio número 4, se marca en un círculo rojo las gónadas, indicador de que dicha larva llegó a estadio 4



Figura 2. Larva en estadio 4 lista para ser pesada junto a hoja de plantín de *Brassica oleracea* var. *capitata* con algodón en su pedicelo para impedir la desecación de la hoja. Previamente a ser pesada y contabilizada su peso.

Posteriormente en una microbalanza, se pesó el contenido de cada una de las cajas de Petri. Es decir, que de cada caja se pesó por, en primera instancia la larva por si sola, luego únicamente la hoja y finalmente las heces producidas por el individuo, asignándole un número a cada caja. Estos datos se recolectaron diariamente dos veces por día con una separación de 8 o 9 horas cada medición hasta que cada individuo llegó a su fase adulta.

A continuación, se seleccionaron por única vez, 10 larvas de cada temperatura (un total de 50 larvas), 8 pupas de cada temperatura (40 en total) y 10 hojas. Cada uno de estos individuos fueron pesados individualmente donde se obtuvo el peso seco de cada individuo. Luego, se realizó un secado de los individuos, que consiste en la deshidratación mediante una fuente de calor artificial. Para este secado se utilizó una estufa a 60 °C, y los individuos permanecieron allí durante 48 horas, tal como realizó Kianpour *et al.* (2014) en su estudio. Una vez obtenidas las 10 larvas de cada temperatura, las 8 pupas de cada temperatura y las 10 hojas deshidratadas, se pesaron nuevamente y se obtuvo el peso seco de cada una de ellas. Al contar con los pesos frescos (obtenidos previo al secado) y secos para larvas, pupas y hojas, se pudo realizar una regresión lineal para estimar la relación entre el peso fresco y el peso seco de larvas, pupas y hojas, para cada una de las temperaturas. En el modelo de regresión se utilizó al peso fresco como variable independiente y al peso seco como variable dependiente. Se obtuvieron 5 ecuaciones, cada una correspondía a cada temperatura utilizada (5 °C, 15 °C, 23 °C, 25 °C, 30 °C). Las ecuaciones obtenidas se utilizaron para estimar los valores de pesos seco de larvas, pupas, hojas y heces de todos los tratamientos.

Estas estimaciones se utilizaron para la obtención de los índices nutricionales según el método descrito por Waldbauer (1968), ya que los mismos incluyen datos de pesos secos tanto de la larva, del alimento y las heces (Tabla 1).

Índices nutricionales

Abreviación	Índice nutricional	Fórmula
TRC	Tasa relativa de consumo	$E / (A \times T)$
PSR	Peso seco relativo	$P / (A \times T)$
DA	Digestibilidad aproximada	$[(E - F) / E] \times 100$
CAI	Eficiencia de conversión de alimentos ingeridos	$(P/E) \times 100$
CAD	Eficiencia de conversión de alimentos digeridos	$[P / (E - F)] \times 100$

Tabla 1. Fórmulas de índices nutricionales de *P. xylostella* calculados (Waldbauer, 1968). **P**: peso seco obtenido (mg) por la larva; **A**: peso seco inicial (mg) de la larva; **T**: duración del periodo de alimentación (días); **E**: peso seco de alimento ingerido (mg); **F**: peso seco de heces producidas (mg).

La Tasa Relativa de Consumo (**TRC**) indica cuanto peso seco consumió una larva en un tiempo determinado. Este índice relaciona el peso seco consumido con el peso seco final, considerando el tiempo que estuvo consumiendo el alimento. El Peso Seco Relativo (**PSR**) indica el peso seco que ganó cada individuo teniendo en cuenta la relación del mayor peso seco alcanzado por el tiempo en el que pasó consumiendo alimento. La Digestibilidad Aproximada (**DA**) indica el porcentaje de alimento realmente digerido, en donde no interviene el peso de las heces producidas. La eficiencia de Conversión de Alimento Ingerido (**CAI**) indica que tan eficiente es el individuo para convertir los alimentos **ingeridos** en biomasa corporal. Finalmente, la eficiencia de Conversión de Alimento Digerido (**CAD**) indica la capacidad efectiva del individuo de convertir los alimentos **digeridos** en biomasa corporal.

Una vez obtenido el valor de los distintos índices para cada uno de los individuos, se realizaron comparaciones mediante pruebas paramétricas (ANOVA) y no paramétricas (Test de Kruskal Wallis) para determinar el efecto de las diferentes temperaturas sobre los índices nutricionales propuestos. En aquellos casos donde se observaron diferencias significativas se realizaron pruebas *a posteriori*.

También se compararon mediante pruebas paramétricas (ANOVA) y no paramétricas (Test de Kruskal Wallis) el efecto de las diferentes temperaturas sobre el peso final de las larvas, peso de las pupas, peso de los individuos adultos, tamaño del cuerpo de los adultos, envergadura alar, peso seco consumido por

cada individuo y heces producidas. Se realizaron pruebas *a posteriori* en aquellos casos que lo requirieron. Los análisis estadísticos se realizaron mediante el software estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2020).

5. Resultados

Variación del peso seco de *P. xylostella* en el tiempo

Se analizó la progresión de la masa en función del tiempo de los individuos de *P. xylostella* criados en el laboratorio a cada una de las temperaturas.

Para este análisis descriptivo se realizó una curva de progresión en el tiempo del peso promedio de todos los individuos en cada temperatura desde que la larva fue colocada a alimentarse en la caja de Petri hasta el momento de la emergencia del adulto (Figs. 3, 4, 5, 6 y 7).

En casi todos los casos se observa que el peso llega a un punto de inflexión, que representa la última etapa de su fase larval. Pasado este punto de inflexión la masa disminuye y el individuo comienza la transformación a pupa. En este estado el peso sigue disminuyendo hasta la emergencia del adulto. Se puede observar que al final del ciclo la masa del individuo adulto es considerablemente menor a la masa inicial de la larva. Este comportamiento se observa claramente en los experimentos de 5, 15 y 23 grados, aunque el punto de inflexión mencionado no es tan evidente en las temperaturas más elevadas de 25 y 30 °C. El tiempo de desarrollo fue en orden decreciente a medida que la temperatura fue en aumento.

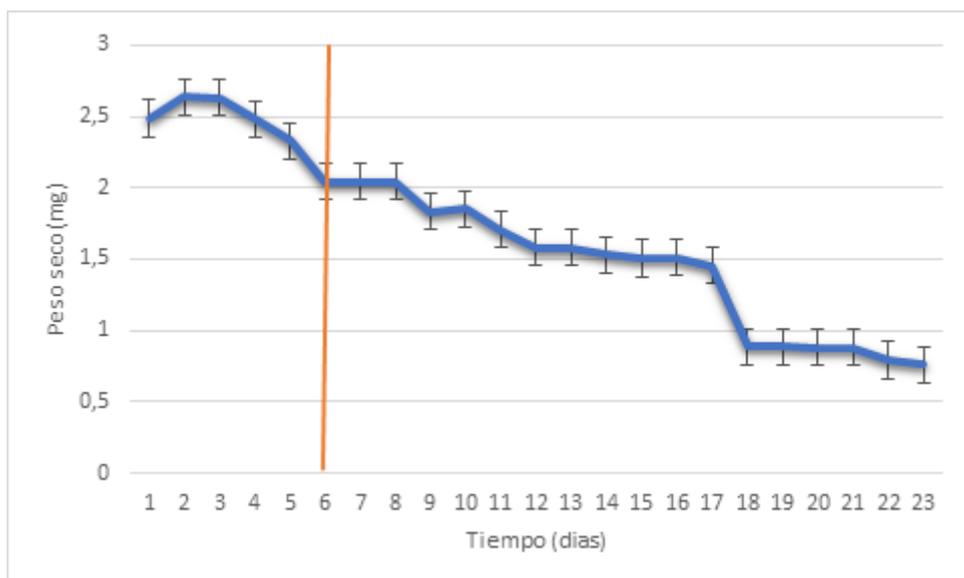


Figura 3. Evolución del peso seco (promedio) en función del tiempo (días) de los individuos criados y alimentados a una temperatura de 5°C. Las barras representan el desvío estándar. La línea vertical en naranja indica el instante en donde el individuo pasó al estadio de pupa. El dato final indica al individuo en su fase adulta.

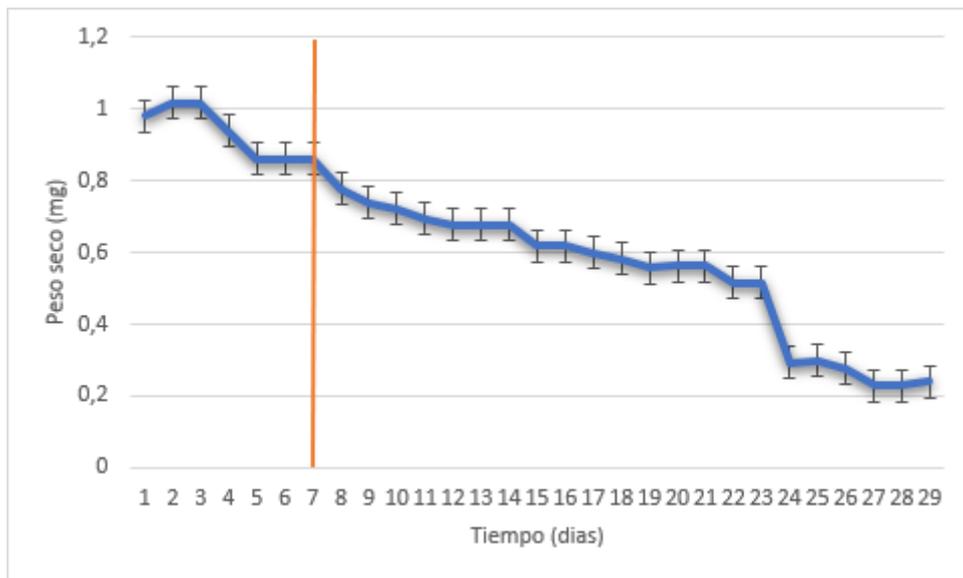


Figura 4. Evolución del peso seco (promedio) en función del tiempo (días) de los individuos criados y alimentados a una temperatura de 15°C. Las barras representan el desvío estándar. La línea vertical en naranja indica el instante en donde el individuo paso al estadio de pupa. El dato final indica al individuo en su fase adulta.

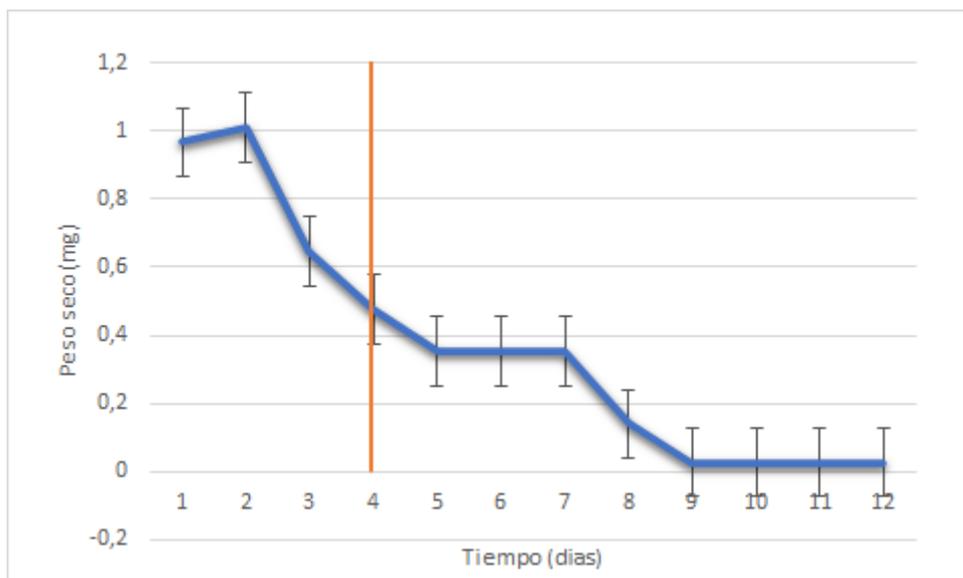


Figura 5. Evolución del peso seco (promedio) en función del tiempo (días) de los individuos criados y alimentados a una temperatura de 23 °C. Las barras representan el desvío estándar. La línea vertical en naranja indica el instante en donde el individuo paso al estadio de pupa. El dato final indica al individuo en su fase adulta.

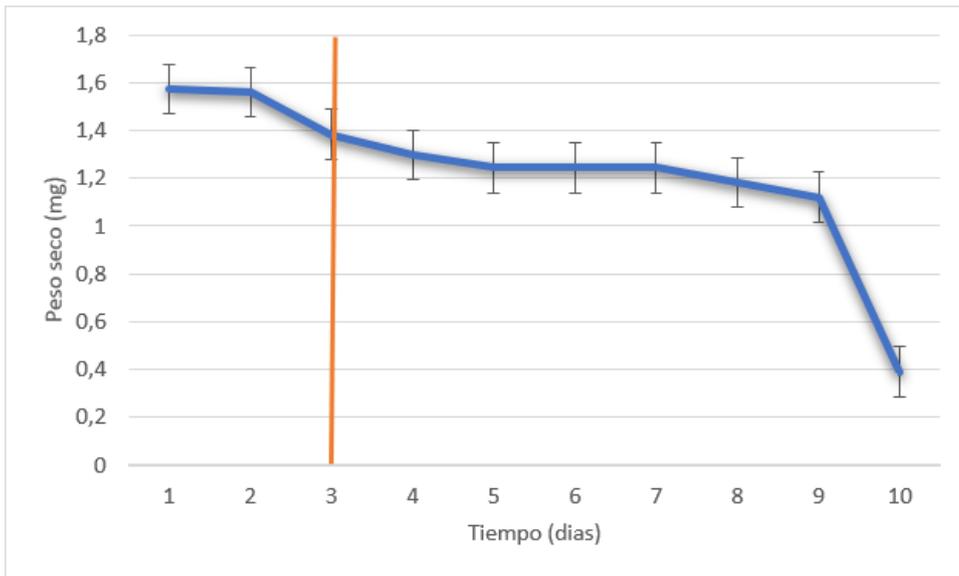


Figura 6. Evolución del peso seco (promedio) en función del tiempo (días) de los individuos criados y alimentados a una temperatura de 25 °C. Las barras representan el desvío estándar. La línea vertical en naranja indica el instante en donde el individuo paso al estadio de pupa. El dato final indica al individuo en su fase adulta.

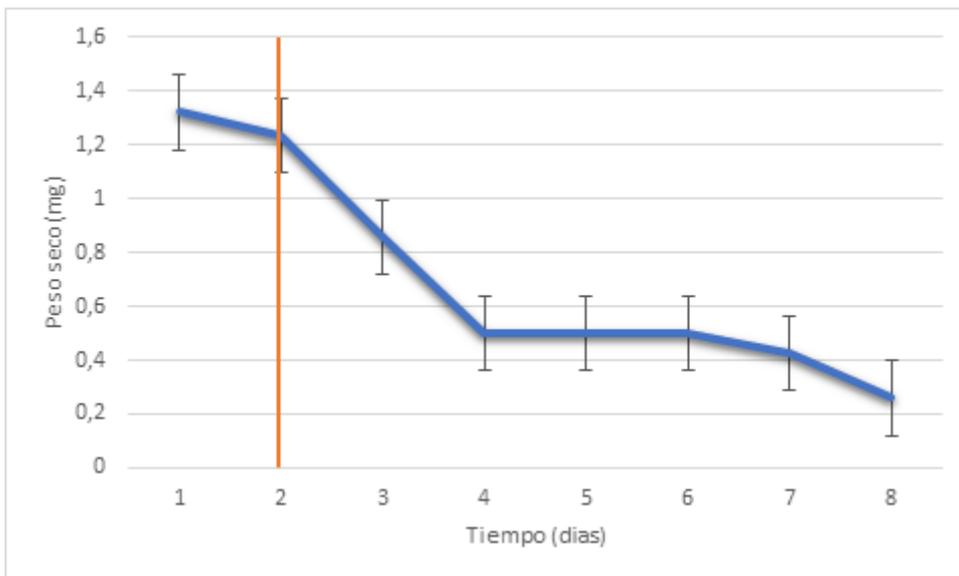


Figura 7. Evolución del peso seco (promedio) en función del tiempo (días) de los individuos criados y alimentados a una temperatura de 30 °C. Las barras representan el desvío estándar. La línea vertical en naranja indica el instante en donde el individuo paso al estadio de pupa. El dato final indica al individuo en su fase adulta.

Pesos secos de las larvas

Los resultados de los pesos secos obtenidos, consumidos y de heces producidas de las larvas de cuarto estadio de *P. xylostella* se muestran en la Tabla 2. Los datos utilizados en este análisis no se ajustaban a una distribución normal, por ello se realizó una prueba no paramétrica de Kruskal Wallis. La comparación de los pesos secos obtenidos entre las diferentes temperaturas no mostró diferencias significativas ($p > 0.05$) lo que indica que independientemente de la temperatura a la que se alimentaron las larvas, la biomasa final, representada por los pesos secos será igual en todos los casos. Tampoco se observa un patrón

creciente o decreciente del peso según el incremento de la temperatura. Por otra parte, el peso seco de alimento consumido sí evidenció diferencias entre las temperaturas ($p = 0.0004$). Las temperaturas donde mayor peso de alimento se consumió fueron 25° y 5° , y la menor de ellas fue a 23° . Por su parte cuando se analizaron las heces producidas también se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0.0009$). Las comparaciones *post hoc* mostraron que, a 15°C , el peso de las heces es significativamente mayor al observado en restantes temperaturas (Tabla 2).

Temperatura ($^\circ\text{C}$)	Peso seco obtenido (mg)	Peso seco consumido (mg)	Heces producidas (mg)
5	0.00056	0.00773 bc	0.00215 a
15	0.00037	0.00607 b	0.00690 b
23	0.00025	0.00090 a	0.00350 a
25	0.00035	0.01153 c	0.00230 a
30	0.00032	0.00376 a	0.00295 a

Tabla 2. Pesos secos de larvas, pesos secos consumidos de hojas y heces producidos por las larvas (4 estadio) de *P. xylostella*. Las comparaciones se realizaron mediante el test no paramétrico de Kruskal Wallis, los valores que figuran en cada columna corresponden a los valores de las medianas. Letras diferentes indican medias significativamente diferentes entre sí.

Peso seco de los adultos

El peso seco de los adultos también se comparó mediante test no paramétrico de Kruskal Wallis debido a que no se cumplió el supuesto de normalidad de los errores.

Se observaron diferencias significativas entre las temperaturas ($p < 0,05$). El peso de los adultos criados a 25°C fue significativamente mayor al resto, mientras que a 23°C se observó el menor peso (Tabla 3).

Temperatura ($^\circ\text{C}$)	Peso seco (mg)
5	0.00219 c
15	0.00095 b
23	0.00016 a
25	0.00137 c
30	0.00086 b

Tabla 3. Pesos secos en miligramos final de los adultos de *P. xylostella* alimentados a diferentes temperaturas. Las comparaciones se realizaron mediante el test no paramétrico de Kruskal Wallis, los valores mostrados en esta tabla corresponden a las medianas. Letras diferentes indican medias significativamente diferentes entre sí.

Tamaño corporal y alar de adultos

Los tamaños corporales se compararon mediante un modelo completamente aleatorizado a un factor, ya que en este caso se cumplieron los supuestos del Análisis de la Varianza. Se observó una diferencia

significativa tanto entre los tamaños corporales ($p < 0.0001$) y los alares ($p < 0.0001$), entre los individuos alimentados a diferentes temperaturas (Tabla 4, Fig. 8). Las pruebas a posteriori mostraron que los individuos a 25°C fueron los más grandes con un largo del cuerpo de 0,61 cm y un tamaño alar de 0,69 cm. A temperaturas más bajas (23, 15 y 5) se observa una disminución del tamaño corporal al igual que a 30 °C.

Temperatura (°C)	Tamaño del Cuerpo (cm)	Tamaño de las Alas (cm)
5	0,50625 b	0,66250 b
15	0,47727 ab	0,58545 a
23	0,42875 a	0,52000 a
25	0,60600 c	0,69100 b
30	0,43750 a	0,56375 a

Tabla 4. Tamaño medio en cm del cuerpo y alas de adultos de *P. xylostella*. Las comparaciones se realizaron mediante ANOVA. Letras diferentes indican medias significativamente diferentes entre sí.

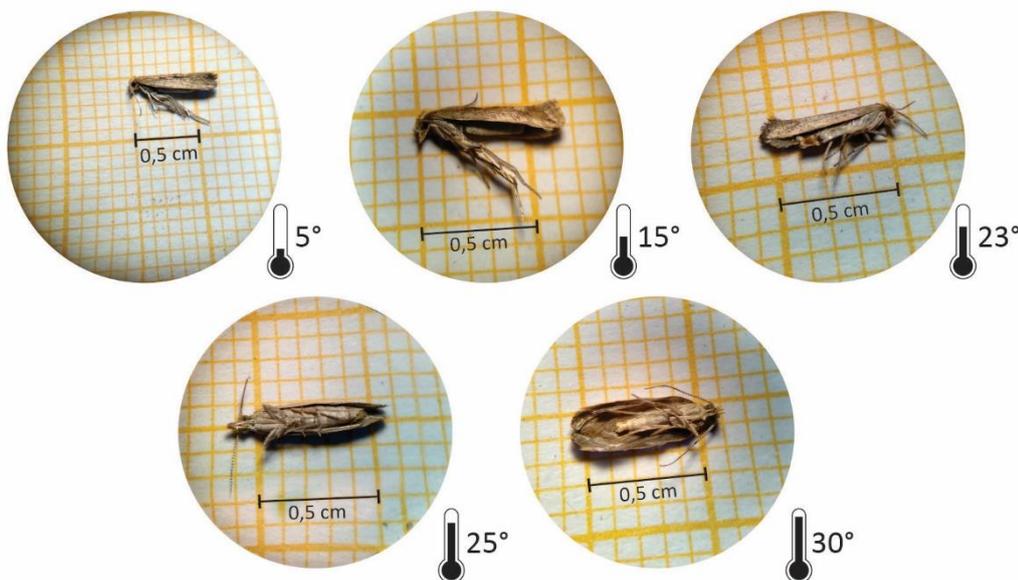


Figura 8. Adultos de *P. xylostella* alimentados a diferentes temperaturas tomadas en una lupa con aumento 2x sobre papel milimetrado. Dentro de cada imagen figura la temperatura a la que corresponde y la escala de la foto.

Índices nutricionales

La comparación de los índices nutricionales se realizó mediante una prueba no paramétrica de Kruskal Wallis debido a que no cumplían con el supuesto de normalidad (Tabla 5). Se observaron diferencias significativas en la Tasa Relativa de Consumo (TRC), el Peso Seco Relativo (PSR) y el Porcentaje de

Digestibilidad Aproximada (DA). Por otra parte, los índices de eficiencia de Conversión de Alimento Ingerido (CAI) y Conversión de Alimento Digerido (CAD) no mostraron diferencias significativas entre las diferentes temperaturas.

Temperatura (°C)	TRC (g/g/días)	PSR (g/g/días)	DA (%)	CAI (%)	CAD (%)
5	0.9718 a	0.0651 a	0.00337 a	7.7206	4.2215
15	1.5779 a	0.0981 ab	0.00226 a	5.0299	-3.7646
23	0.4730 a	0.2033 b	0.00170 a	2.6088	-2.7252
25	3.8151 b	0.1883 b	0.01249 b	2.4403	2.8471
30	1.5118 ab	0.1286 b	0.00033 a	10.5772	12.0485

Tabla 5. Comparación de los índices nutricionales de *P. xylostella* alimentadas a diferentes temperaturas. Las comparaciones se realizaron mediante el test no paramétrico de Kruskal Wallis, los valores presentados en la tabla representan el valor de las medianas. Letras diferentes indican medias significativamente diferentes entre sí.

El análisis de la tasa relativa de consumo (TRC) mostró diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$). Las pruebas a posteriori indican que los valores máximos de tasa relativa de consume corresponden a las temperaturas mayores de 30 y 25°. Los valores de Pesos Secos Relativos (PSR) también mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$; $H=11.46$). Las pruebas a posteriori muestran que hay dos grupos diferenciados entre sí. Los individuos alimentados a temperaturas más bajas como 5 °C y 15 °C, presentan diferencias significativas, con respecto a las temperaturas mayores como lo son 23 °C, 25 °C y 30 °C (Tabla 5). A su vez, el valor máximo de ellos fue a los 23°. También se observó diferencia significativa en el Porcentaje de Digestibilidad Aproximada (% DA) entre las diferentes temperaturas ($p = 0,006$, $H = 14.31$). Las comparaciones a posteriori muestran que a 25 °C el %DA es significativamente diferente a las otras temperaturas, aunque el mayor valor lo obtuvo la menor temperatura 5° (Tabla 5).

6. Discusión

Uno de los interrogantes en los estudios de las especies cosmopolitas es el comportamiento y adaptación de las poblaciones locales a las condiciones propias del sitio donde se encuentran (Peshin y Dhawan, 2009). La temperatura es un factor limitante e importante en la conformación de estas poblaciones. Ella incide tanto a nivel biológico y fisiológico propia de la especie, como en la disponibilidad y accesibilidad de los recursos que los individuos utilizan (Gilbert y Raworth, 1996). Puntualmente en esta tesina nos enfocamos en el recurso alimento. El alimento proporciona los nutrientes necesarios para el correcto desarrollo de los individuos que los consumen garantizando su supervivencia y reproducción. El consumo de alimento a nivel individual se ve reflejado en el peso y el tamaño del individuo como en la cantidad y calidad de los desechos producidos (Kianpour 2014). Por otra parte a nivel ambiental se ve reflejado en los daños producidos a la planta hospedadora (Mello y Silva-Filho, 2015), en este caso distintas variedades de *Brassica oleracea*. Es por esto que las observaciones y posterior análisis de dichas expresiones nos darán una estimación de como la temperatura influye en estos aspectos de la vida de la especie. Para complementar estas observaciones y teniendo en cuenta que del alimento ingerido los insectos obtienen los nutrientes que luego son aprovechados por los individuos, el estudio de los índices nutricionales en poblaciones de insectos plaga juegan un rol fundamental para la toma de decisiones de medidas de control de las mismas. Dichos índices son un resumen o una simplificación del aprovechamiento de nutrientes obtenidos del alimento. Es sabido que los índices nutricionales de algunas especies varían su valor o eficiencia de acuerdo al alimento consumido y al estadio larval en el que se encuentra el individuo.

Variación del peso seco de *P. xylostella* en el tiempo

Este análisis tuvo como finalidad conocer como fue la evolución del peso seco en el tiempo de alimentación de la larva y en el tiempo en que no se alimenta. Nuestros resultados mostraron que el aumento de la temperatura disminuyó de manera directa el tiempo de alimentación de cada larva. Estos resultados concuerdan con lo encontrado por otros autores tanto para *P. xylostella* como para otras especies de lepidópteros. Por ejemplo, Li y colaboradores (2013) observaron en la especie *Conopomorpha sinensis* (Lepidoptera: Gracillariidae) que el periodo pupal y larval fue más largo en la temperatura de 15°, y empezó a decrecer a medida que la temperatura fue aumentando siendo la de más corta duración la de 35°, dichas temperaturas corresponden a la menor y mayor utilizadas respectivamente. Por otro lado, Hegazi y Schopf (1984) observaron que en *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae) se acortaba su fase de desarrollo a medida que la temperatura aumentaba. De igual manera en *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) este comportamiento resultaba similar, donde a medida que aumentaba la temperatura las tasas de crecimiento fueron mayores, en distintas especies de plantas hospedadoras (Karmakar y Pal 2017). Con respecto al peso de los individuos, cuantificado como peso seco, observamos que en todas las temperaturas éste llega al mismo valor máximo para posteriormente dejar de alimentarse cuando pasa al estado de pupa (Gilbert y Raworth, 1996). El peso seco es importante, ya que indica de qué manera los individuos

aprovechan el alimento consumido (Nathan *et al.*, 2005), es decir, cuanto de lo que la larva ingiere es convertido en biomasa. Los resultados también muestran que después de ese umbral máximo de peso seco, este peso decrece hasta que el individuo se convierte en adulto, en donde el peso del adulto es menor incluso que la larva en estadio 4 en todas las temperaturas por igual. Sin embargo, el tiempo que demoraron en consumir todas las reservas hasta llegar a adulto, generalmente fue disminuyendo a medida que la temperatura aumentaba, esto indica que este aumento de peso y acumulación de reservas es vital para que el adulto logre un desarrollo adecuado (Shirai, 1993). De todos modos, la temperatura no afectó los pesos máximos y mínimos de cada individuo, pero sí en la cantidad de tiempo en que dicho individuo se alimenta y el tiempo en el cual consume sus reservas.

Peso seco obtenido

No se observaron diferencias significativas en los pesos promedios alcanzados entre las diferentes temperaturas para llegar a adulto, independientemente del tiempo que tardaron para llegar a este estado. En otras palabras, se puede decir que no importa la temperatura ni velocidad de consumo, sino que las larvas requieren llegar a un umbral de crecimiento y acumulación de reservas óptimo (Romero Zarate, 2019). Estas reservas se necesitan para ser consumidas en el estadio de pupa para poder llegar a la fase adulta, ya que, en la fase pupal el individuo no se alimenta (Jaimez, 2006). De todos modos, no siempre este comportamiento se da de esta manera. Por ejemplo, Morisita (1990) mostró que el peso de las pupas en un gradiente de temperatura que va desde los 15°C hasta los 35°C disminuyó a medida que la temperatura aumentaba (Morisita 1990). También, la relación entre el peso y la temperatura observado en *S. littoralis* muestra que, en este caso, el peso de las larvas disminuye con el aumento de temperatura, incluso se observa que la diferencia de peso entre un estadio y el siguiente es menor a medida que la temperatura aumenta. Es decir, que cada aumento de peso es independiente del peso anterior (Hegazi y Schopf 1984). En el caso de *P. xylostella* es posible que la clave del desarrollo de la larva sea durante las primeras etapas de crecimiento (Ali Golizadeh *et al.*, 2009 b). De todos modos, en nuestro caso dichas etapas previas no fueron tenidas en cuenta, lo que causó una homogeneización de los datos.

Peso de alimento consumido

En el caso de la cantidad de alimento consumido, expresado en peso seco, es evidente que la temperatura juega un rol fundamental en el consumo. A una temperatura de 25° el valor de peso seco consumido fue mayor que en las demás, indicando que la temperatura óptima de consumo de alimento de *P. xylostella* es ésta. Es decir, a 25 °C las poblaciones locales de *P. xylostella* producirán más daños a los cultivos en términos biomasa de hojas consumidas por individuo. Estos resultados coinciden con lo observado en otras especies de polillas, como *S. litura*, en donde la temperatura óptima de consumo y digestión es a 25°, incluso en distintas plantas hospedadoras (Karmakar & Pal, 2017). A 25 °C Kianpour *et al.* (2014) analizó el peso seco que consumieron las larvas de *P. xylostella* en 4 variedades de *Brassica oleracea*, sin observar diferencias significativas entre las variedades de Brassica. Estos valores oscilan entre 0.110 y 0.980

miligramos, y en ambos casos estos valores se encuentran por encima de los valores obtenidos en este estudio.

Heces producidas

La temperatura afectó la producción de heces por parte de las larvas de *P. xylostella*. Las larvas que se alimentaron a 15 °C produjeron significativamente más heces que las larvas alimentadas a otras temperaturas. Considerando que no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los pesos de las larvas a las diferentes temperaturas, está claro que en las larvas alimentadas a 15 °C gran parte de lo consumido es defecado y no asimilado por la larva y convertido en masa corporal (Hegazi y Schopf, 1984), como también al no asimilar de igual manera el alimento consumido es que necesita 29 días en convertirse en adulto (Fig. 4). Es decir, que al disminuir su capacidad de asimilar alimento necesita más días para transformar lo ingerido en biomasa corporal. *P. xylostella*, así como la mayoría de los insectos poseen enzimas involucradas en el proceso de ingestión y digestión de los alimentos, estas enzimas se ven afectadas por el alimento y su funcionamiento estaría afectado por la temperatura (Nouri-Ganbalani *et al.*, 2018).

Tamaño y peso de los adultos

El peso seco de los adultos fue notablemente menor que el peso seco de las larvas 4. Esto se debe a que las reservas que acumula en las etapas inmaduras son consumidas para lograr la emergencia del adulto (Jaimez, 2006). Por otro lado, los individuos que más pesaron se obtuvieron a 25°, lo que indica que a esta temperatura resulta la más favorable para el desarrollo de los individuos de las poblaciones de *P. xylostella* del cinturón verde de la ciudad de Córdoba. Ferreyra Toledo (2021) observó que a 25 °C las larvas de estadio 4 de *P. xylostella* de las mismas poblaciones que utilizamos en esta tesina, tuvieron la máxima tasa de desarrollo. Por lo que, si a esto le sumamos que los procesos anabólicos se ven favorecidos a 25°, y que la supervivencia del adulto es mayor a esta misma temperatura (Ali Golizadeh *et al.*, 2009) se puede inferir que la temperatura adecuada para el mayor desempeño de crecimiento es a 25°. Un valor a tener en cuenta de estos resultados es el segundo valor significativo del estudio, el correspondiente a la temperatura de 5°, en la ciudad de Córdoba esta temperatura coincide con la media mínima de los meses más fríos (Nobile *et al.*, 2002). Esto puede indicar que por más que ese periodo del año las poblaciones de *P. xylostella* disminuye, debe contrarrestar esta deficiencia con el aumento de peso para sobrevivir a las bajas temperaturas con reservas (Rebaudo y Rabhi, 2018).

En sintonía con el peso, el tamaño de los adultos muestra resultados similares. La envergadura alar es mayor en 25° y 5°, esto puede explicarse que al ser las temperaturas óptimas y en la que debe sobrevivir, el tamaño de las alas debe desarrollarse en mayor proporción para facilitar el vuelo y con ello ser más eficiente en la dispersión (Shirai, 1993).

Índices nutricionales

Por último, se observaron dos grupos de resultados de los índices nutricionales. Aquellos que mostraron diferencias influenciadas por la temperatura y aquellos que no.

Al igual que lo descrito previamente, a 25 °C también se observa la mayor Tasa Relativa de Consumo (TRC), y considerando que a esta temperatura se obtuvieron los mayores pesos de adultos (Tabla 3) y el mayor tamaño final de los mismos (Tabla 4), resulta evidente que esta es la temperatura óptima a la cual las larvas ingieren la mayor cantidad de alimento y transforma ese alimento en biomasa. En cambio, el peso seco relativo (PSR) a 5° es donde se observó una diferencia estadística. Esto se debe a que permanece un mayor tiempo alimentándose que las demás temperaturas, llega a pupa en el día 6, el doble al observado a 25 °C (Fig. 3). De todos modos, la variación observada en pesos, tamaños e índices nutricionales muestran que la temperatura no afecta de manera lineal (Shirai, 1993), sino que, llega a un máximo óptimo de temperaturas medias y luego decrece.

Lo dicho recientemente puede ejemplificarse con un estudio realizado por Karmakar y Pal (2017) donde observaron en *S. litura* que los distintos índices son claramente diferentes en distintas temperaturas, y no necesariamente en un orden creciente o decreciente. Por ejemplo, el TRC y PSR tuvo un mayor valor en la temperatura media a la de los extremos. Por el lado de la digestibilidad aproximada (DA) sigue la tendencia del valor mayor a 25°, pero con diferencia de los demás índices analizados hasta acá la de menor valor resultó ser la de mayor temperatura. Esto puede implicar que al ser índices completamente independientes (Hegazi & Schopf 1984), las enzimas involucradas en la digestibilidad y las que participan en la ingesta de alimento también lo sean y cumplan un rol determinante en condiciones de temperatura distintas. Del mismo modo que su participación en la ingesta y digestibilidad de distintas variedades de alimento (Nouri-Ganbalani *et al.*, 2020). Esta independencia entre los índices ya fue observada en *S. littoralis* donde se determinó que la temperatura afecta a cada índice por separado (Karmakar & Pal 2017).

El segundo grupo de índices son aquellos que resumen la convertibilidad de alimento: el de convertibilidad de alimento ingerido (CAI), y el de convertibilidad de alimento digerido (CAD). El índice de Convertibilidad de alimento ingerido (CAI) indica la capacidad de un insecto para utilizar los alimentos consumidos para el crecimiento y desarrollo, mientras que convertibilidad de alimento digerido (CAD) es un índice general de eficiencia de conversión de alimentos digeridos en biomasa (Nathan *et al*, 2005). Como ya se mencionó no mostraron diferencias en el análisis. Por ende, la convertibilidad de alimento que la larva ingiere (CAI), y la convertibilidad de alimento digerido (CAD) no se ven afectados por la temperatura, sino que posiblemente haya otros factores involucrados, como por ejemplo el tipo de alimento consumido (Nouri-Ganbalani *et al.*, 2020). Estos diferentes valores y modificaciones de los índices por influencia de la temperatura se dan por un proceso de compensación que se produce con el cambio de temperatura, esta compensación permite que la capacidad de consumir alimento sea adecuada

y óptima en distintas condiciones (Hegazi & Schopf, 1984; Karmakar & Pal, 2017). Dicha capacidad está compuesta por tres elementos: la actividad de alimentación + digestión + eficiencia para asimilar los alimentos (Hegazi & Schopf, 1984). Teniendo en cuenta que existen enzimas que cambian su efecto de acuerdo al tipo de alimento que consumido, este cambio tiene un claro efecto sobre los índices nutricionales (Nouri-Ganbalani *et al.*, 2020). La temperatura a la que estas enzimas actúan también puede tener un efecto sobre los índices, sin embargo, para ello sería necesario hacer un análisis de estas enzimas a las mismas temperaturas de manera directa para comprobarlo.

Si bien no se verificaron las hipótesis propuestas sí se observó que tanto la digestibilidad de alimento aumentó hasta llegar a un umbral óptimo para luego decrecer y la convertibilidad del alimento ingerido en biomasa no se vio afectada por la temperatura. Por otra parte, los índices nutricionales se comportaron de manera independiente entre sí, tendiendo a compensarse.

7. Conclusiones

Se observó que independientemente de la temperatura el peso de las larvas llega a un umbral máximo y decrece hasta llegar a adultos. Y, por otra parte, se observó que a 25° muchos atributos relacionados con la biología del insecto son favorecidos. El primero de ellos es que el nivel de daño que genera el insecto a las plantas hospedadoras es mayor a esta temperatura, ya que, la cantidad de peso seco consumido a 25 °C fue significativamente mayor. Segundo, los adultos criados y alimentados a 25° son más pesados y su tamaño corporal y alar también resultó favorecido. Y, por último, se observó que la tasa relativa de consumo y la digestibilidad aproximada claramente se ve incrementada por esta temperatura.

8. Agradecimientos

A mis padres Sandra y Marcelo que fueron mis pilares todo este tiempo y siempre, a mis hermanos Agustín y Julieta que los amo, a mi abuela. A mis amigos que bancaron siempre en las buenas y en las malas. A mi director por el acompañamiento, conocimiento, consejos y ayuda en esta tesis. A la Universidad Nacional de Córdoba y a la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales por permitirme ser parte de su historia.

9. Bibliografía.

- Ahmad, N., Ansari, M. S., & Hasan, F. (2012). Effects of neem based insecticides on *Plutella xylostella* (Linn.). *Crop Protection*, 34, 18–24.
- Awmack, A. S., & Leather S. R. (2002). Host Plant Quality and Fecundity in Herbivorous Insects. *Annual Review of Entomology*, 4, 817–844.
- Bagheri, F.; Fathipour, Y.; Naseri, B. (2013). Nutritional indices of *Helicoverpa armigera* (Lep.: Noctuidae) on seeds of five host plants. *Appl. Ent. Phytopath*, 80(2).
- Borzoui, E., Bandani, A. R., Goldansaz, S. H., & Talaei-Hassanlouei, R. (2018). Dietary Protein and Carbohydrate Levels Affect Performance and Digestive Physiology of *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Economic Entomology*, 111(2), 942–949.
- Bryant, J. P., Clausen, T. P., Reichardt, P. B., McCarthy, M. C., & Werner, R. A. (1987). Effect of nitrogen fertilization upon the secondary chemistry and nutritional value of quaking aspen (*Populus tremuloides* Michx.) leaves for the large aspen tortrix (*Choristoneura conflictana* (Walker)). *Oecologia*, 73(4), 513–517.
- Chapman, J. W., Bella, J. R., Burginc, L. E., Reynolds, D. R., Pettersson, L. B., Hillf, J. K., Bonsall, M. B., & Thomas, J. A. (2012). Seasonal migration to high latitudes results in major reproductive benefits in an insect. *Pnas*, 109(37), 14924.
- Coulson, S. J., Hodkinson, I. D., Webb, N. R., Mikkola, K., Harrison, J. A., & Pedgley, D. E. (2002). Aerial colonization of high Arctic islands by invertebrates: The diamondback moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae) as a potential indicator species. *Diversity and Distributions*, 8(6), 327–334.
- David, W. A. L., & Gardiner, B. O. C. (1962). Observations on the larvae and pupae of *Pieris brassicae* (L.) in a laboratory culture. *Bulletin of Entomological Research*, 53(2), 417–436.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2020). *InfoStat* (versión 24). Universidad Nacional de Córdoba.
- Fand, B. B., Nitin, T. S., & Santanu, K. B. (2015). Temperature Impacts the Development and Survival of Common Cutworm (*Spodoptera litura*): Simulation and Visualization of Potential Population Growth in India under Warmer Temperatures through Life Cycle Modelling and Spatial Mappin. *PLoS ONE*, 10(4), e0124682.
- Fathipour, Y., Kianpour, R., Bagheri, A., Karimzadeh, J., & Hosseinaveh, V. (2019). Bottom-up effects of Brassica genotypes on performance of diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Crop Protection*, 115(August 2018), 135–141.
- Fathipour, Y., & Sedarati, A. (2013). Integrated Management of *Helicoverpa armigera* in Soybean Cropping Systems. *Soybean - Pest Resistance*.
- Ferreira Toledo, E. (2021). Desarrollo termo-dependiente de *Plutella xylostella*, una plaga agrícola del cinturón verde de la ciudad de Córdoba Contenido. In *Tesina de grado para optar título de Biólogo Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales - Universidad Nacional de Córdoba*.
- Figueiroa, L. E., Cristina, R., Trindade, P., Pablo, J., Acevedo, M., Santo, A., Junior, N., Ribeiro, E., Filho Paz, E. R., Gonzaga, E. P., & Lopez Espinosa, J. (2019). Pathogenicity and multiplication of entomopathogenic

- nematode isolates for the control of *Plutella xylostella* (Linnaeus) (Lepidoptera: Plutellidae). *Revista Chilena de Entomologia*, 45(1), 15–20.
- Gilbert, N., & Raworth, D. A. (1996). Insects and temperature. *The Canadian Entomologist*, 128(1), 1–13.
- Golizadeh, A., Kamali, K., Fathipour, Y., & Abbasipour, H. (2009). Life table of the diamondback moth, *plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) on five cultivated brassicaceous host plants. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 11(2), 115–124.
- Golizadeh, Ali, Kamali, K., Fathipour, Y., & Abbasipour, H. (2009). Effect of temperature on life table parameters of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) on two brassicaceous host plants. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 12(4), 207–212.
- Grilli, M. P., Pedemonte, M. L., Bruno, M., & Fachinetti, R. (2015). The effect of landscape structure on two species of different trophic levels in an arid environment. *Landscape Ecology*, 30(7), 1335–1349.
- Guimarães, J. A., Michereff Filho, M., & Liz, R. S. (2011). Manejo de pragas em campos de produção de sementes de hortaliças. *Circular Técnica Nº 94 Embrapa*, 1–21.
- Haseeb, M., Liu, T. X., & Jones, W. A. (2004). Effects of selected insecticides on *Cotesia plutellae*, endoparasitoid of *Plutella xylostella*. *BioControl*, 49(1), 33–46.
- Hegazi, E. M., & Schopf, R. (1984). The influence of temperature on consumption and utilization of artificial diet by *Spodoptera littoralis* (Boisd.) (Lepidopt., Noctuidae). *Zeitschrift Für Angewandte Entomologie*, 97(1–5), 321–326.
- Hopkins, R. J., Van Dam, N. M., & Van Loon, J. J. A. (2009). Role of glucosinolates in insect-plant relationships and multitrophic interactions. *Annual Review of Entomology*, 54, 57–83.
- Jaimez, I. (2006). *Diversidad y Actividad de Lepidópteros diurnos, relacionadas con variables ambientales en La Mucuy, estado Mérida Venezuela* (Issue October 2016).
- Kahuthia-Gathu, R., Löhr, B., Poehling, H. M., & Mbugua, P. K. (2009). Diversity, distribution and role of wild crucifers in major cabbage and kale growing areas of Kenya. *Bulletin of Entomological Research*, 99(3), 287–297.
- Karasov, W. H., Martínez Del Rio, C., & Caviedes-Vidal, E. (2011). Ecological physiology of diet and digestive systems. *Annual Review of Physiology*, 73, 69–93.
- Karmakar, P., Chandra, B., Viswavidyalaya, K., Pal, S., Chandra, B., & Viswavidyalaya, K. (2017). Influence of temperature on food consumption and utilization parameters of the common cutworm, *Spodoptera litura* (Fab.) (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Entomology and Zoology Studies*, September.
- Kianpour, R., Fathipour, Y., Karimzadeh, J., & Hosseinaveh, V. (2014). Influence of different host plant cultivars on nutritional indices of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Journal of Crop Protection*, 3(1), 43–49.
- Levesque, K. R., Fortin, M., & Mauffette, Y. (2002). Temperature and food quality effects on growth, consumption and post-ingestive utilization efficiencies of the forest tent caterpillar *Malacosoma disstria* (Lepidoptera: Lasiocampidae). *Bulletin of Entomological Research*, 92(2), 127–136.

- Li, P., Chen, B., Dong, Y., Xu, S., & Chen, K. (2013). Effect of temperature and supplementary nutrition on the development, longevity and oviposition of *Conopomorpha sinensis* (Lepidoptera: Gracillariidae). *Florida Entomologist*, 96(2), 338–343.
- Majd-Marani, S., Naseri, B., Nouri-Ganbalani, G., & Borzoui, E. (2018). Maize hybrids affected nutritional physiology of the khapra beetle, *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae). *Journal of Stored Products Research*, 77, 20–25.
- Marchioro, C. A., & Foerster, L. A. (2016). Biotic factors are more important than abiotic factors in regulating the abundance of *Plutella xylostella* L., in Southern Brazil. *Revista Brasileira de Entomologia*, 60(4), 328–333.
- Mello, M. O., & Silva-Filho, M. (2015). Plant-insect interactions: an evolutionary arms race between two distinct defense mechanisms. *Encyclopedia of Food Grains: Second Edition*, 4–4 (figure 1), 126–139.
- Mitchell, C., Brennan, R., & Graham, J. (2016). Plant Defense against Herbivorous Pests: Exploiting Resistance and Tolerance Traits for Sustainable Crop Protection. *Frontiers in Physiology*, 7, 1132.
- Mohammadzadeh, M., & Izadi, H. (2018). Cold acclimation of *Trogoderma granarium* everts is tightly linked to regulation of enzyme activity, energy content, and ion concentration. *Frontiers in Physiology*, 9, 1427.
- Mohammadzadeh, Mozghan, & Izadi, H. (2018). Different diets affecting biology, physiology and cold tolerance of *Trogoderma granarium* Everts (Coleoptera: Dermestidae). *Journal of Stored Products Research*, 76, 58–65.
- Morisita, M. (1962). \log -Index, a measure of dispersion of individuals. *Researches on Population Ecology*, 4(1), 1–7.
- Müller, C., & Sieling, N. (2006). Effects of glucosinolate and myrosinase levels in *Brassica juncea* on a glucosinolate-sequestering herbivore - and vice versa. *Chemoecology*, 16(4), 191–201.
- Naseri, B., Fathipour, Y., Moharramipour, S., & Hosseiniveh, V. (2010). Nutritional indices of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*, on 13 soybean varieties. *Journal of Insect Science*, 10.
- Nathan, S. S., Chung, P. G., & Murugan, K. (2005). Effect of biopesticides applied separately or together on nutritional indices of the rice leafhopper *Cnaphalocrocis medinalis*. *Phytoparasitica*, 33(2), 187–195.
- Nobile, R. A., Edreira, G. E., & Rienzo, J. D. (2002). Comportamiento fenológico de *Galinsoga parviflora* Cav. “albahaca silvestre” en el cinturón verde de Córdoba (Argentina). *Agriscientia*, 19(0), 67–72.
- Nouri-Ganbalani, G., Borzoui, E., Shahnavazi, M., & Nouri, A. (2018). Induction of resistance against *Plutella xylostella* (L.) (Lep.: Plutellidae) by jasmonic acid and mealy cabbage aphid feeding in *Brassica napus* L. *Frontiers in Physiology*, 9(JUL).
- Nouri-Ganbalani, G., Naseri, B., Majd-Marani, S., & Borzoui, E. (2020). Canola cultivars affect nutrition and cold hardiness of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). *International Journal of Tropical Insect Science*, 40(4), 741–750.
- O'Connor, M. I. (2009). Warming strengthens an herbivore-plant interaction. *Ecology*, 90(2), 388–398.
- Ovando, G., Sayago, S., Bellini, Y., & Bocco, M. (2018). Evaluación del desempeño de productos satelitales para estimar precipitación en Córdoba (Argentina). *X Congreso de AgroInformática (CAI) - JAIIO 47 (CABA,*

2018), 203–214.

- Peshin, R., & Dhawan, A. K. (2009). Integrated pest management. In *Integrated Pest Management* (Vol. 1).
- Petzold-Maxwell, J., Wong, S., Arellano, C., & Gould, F. (2011). Host plant direct defence against eggs of its specialist herbivore, *Heliothis subflexa*. *Ecological Entomology*, *36*(6), 700–708.
- Rebaudo, F., & Rabhi, V. B. (2018). Modeling temperature-dependent development rate and phenology in insects: review of major developments, challenges, and future directions. In *Entomologia Experimentalis et Applicata* (Vol. 166, Issue 8, pp. 607–617).
- Romero Zarate, M. A. (2019). *Ciclo de Vida y estadios de Morpho achilles L. y Agrias hewitsonius beata S., en cautiverio con fines de reposición ecológica.*
- Sarfraz, M., & Keddie, A. B. (2005). Biological control of the diamondback moth, *Plutella xylostella*: A review. *Biocontrol Science and Technology*, *15*(8), 763–789.
- Sheikher, C., Sharma, R., & Sharma, K. C. (2001). Consumption and utilization of cabbage by cabbage butterfly *Pieris brassicae* (L.). *Journal of Insect Science*, *14*(33–35), 2001.
- Shirai, Y. (1993). Factors Influencing Flight Ability of Male Adults of the Diamondback Moth, *Plutella xylostella*, with Special Reference to Temperature Conditions during the Larval Stage. *Applied Entomology and Zoology*, *28*(3), 291–301.
- Shirai, Y., & Nakamura, A. (1994). Dispersal Movement of Male Adults of the Diamondback Moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae), on Cruciferous Vegetable Fields, Studied Using the Mark-Recapture Method. *Applied Entomology and Zoology*, *29*(3), 339–348.
- Waldbauer, G. P. (1968). The Consumption and Utilization of Food by Insects. *Advances in Insect Physiology*, *5*(C), 229–288.
- War, A. R., Paulraj, M. P., Ahmad, T., Buhroo, A. A., & Hussain, B. (2012). Mechanisms of plant defense against insect herbivores. *Plant Signaling & Behavior*, *7*(10), 1306–1320.
- Wei, S. J., Shi, B. C., Gong, Y. J., Jin, G. H., Chen, X. X., & Meng, X. F. (2013). Genetic Structure and Demographic History Reveal Migration of the Diamondback Moth *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) from the Southern to Northern Regions of China. *PLoS ONE*, *8*(4), e59654.
- Xu, Y. Y., Liu, T. X., Leibe, G. L., & Jones, W. A. (2004). Effects of selected insecticides on *Diadegma insulare* (Hymenoptera: Ichneumonidae), a parasitoid of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Biocontrol Science and Technology*, *14*(7), 713–723.
- Xue, M., Pang, Y. H., Wang, H. T., Li, Q. L., & Liu, T. X. (2010). Effects of four host plants on biology and food utilization of the cutworm, *Spodoptera litura*. *Journal of Insect Science*, *10*(1).
- Zvereva, E. L. (2002). Effects of host plant quality on overwintering success of the leaf beetle *Chrysomela lapponica* (Coleoptera: Chrysomelidae). *European Journal of Entomology*, *99*(2), 189–195.