

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

“Efectos del incremento de temperatura en los ciclos biológicos de *Brevicoryne brassicae*
(Hemiptera: Aphididae) y su parasitoide *Diaeretiella rapae* (Hymenoptera: Braconidae)
como consecuencia del cambio climático”

Disertación previa a la obtención del título de Licenciada en
Ciencias Biológicas

Emilia Alejandra Moreno Coellar

Quito, 2013

CERTIFICACIÓN

Certifico que la disertación de Licenciatura en Ciencias Biológicas de la candidata Emilia Alejandra Moreno Coellar ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.

Álvaro Barragán, M. Sc.
Director de la Disertación

Quito, 2013

para Analía

*“Por el huevo roto en el suelo
Por el 5 de julio
Por el pez en la pecera
Por el viejo de la habitación nº 9
Por el gato sobre el muro*

Por ti mismo

*No por la fama
Ni por el dinero*

Tienes que seguir luchando...”

Charles Bukowski

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer principalmente a Álvaro Barragán, con quien he trabajado desde el primer semestre de mi carrera y de quien he aprendido además de ciencia, valiosas lecciones de vida.

A mi familia (mami, papi, ita, ñañi querida, Tín y Lía) por su cariño, apoyo y paciencia.

A Pablo, Álvaro, Vero, Cami y Ricardo muchas gracias por su ayuda para responder todas las dudas que aparecieron durante la realización de la tesis.

A la ayuda, experiencia y paciencia de Álvaro, Pablo, Vero, Doctor De Vries y del Ingeniero Julio Sánchez, ¡muchas gracias!

A Pauli, Andre, Saúl, Sofi, Mary y a todos los que pasaron por el lab y el invernadero, con quienes pude compartir la experiencia de trabajar con estos bichos.

A los panas del laboratorio (Álvaro, Vero, Pucho, Redro, Ferni, David, Saúl) gracias por compartir conmigo durante toda esta etapa ese amor raro por los bichos.

A todos los panas que me oyeron hablar y hablar de la tesis (Karlita, Nico, Daniel, Tín, Cami, Ricardo, Vale, Pancha, Saúl, Álvaro, Afro, etc.)

A la SENECYT por el financiamiento otorgado para la realización del proyecto “Cambio Climático y Plagas Agrícolas” del cual fue parte esta investigación.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Diferencia de las medias del tiempo de desarrollo (TD) del áfido *B. brassicae* entre los tres escenarios de temperatura.....62
- Figura 2.** Diferencia de las medias de la fecundidad (F) del áfido *B. brassicae* entre los tres escenarios de temperatura63
- Figura 3.** Diferencia de las medias de los valores de la tasa intrínseca de crecimiento poblacional (r_m) del áfido *B. brassicae* entre los tres escenarios de temperatura.....64
- Figura 4.** Diferencia de las medias de la longevidad (L) del áfido *B. brassicae* entre los tres escenarios de temperatura.....65
- Figura 5.** Diferencia de las medias en días del tiempo de desarrollo (TD) de la avispa parasitoide *D. rapae* entre los tres escenarios de temperatura.....66
- Figura 6.** Diferencia de las medias del porcentaje de parasitismo (%P) la avispa parasitoide de *D. rapae* entre los tres escenarios de temperatura.....67
- Figura 7.** Diferencia de las medias de la proporción de hembras (PH) de la avispa parasitoide *D. rapae* entre los tres escenarios de temperatura.....68
- Figura 8.** Diferencia de las medias de la longevidad (L) de la avispa parasitoide *D. rapae* entre los tres escenarios de temperatura.....69

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1.** Medias de las variables del Ensayo *Efecto de la temperatura en el tiempo de desarrollo (TD), fecundidad (F), Tasa intrínseca de crecimiento (rm) y longevidad (L) de Brevicoryne brassicae* bajo los tres escenarios de temperatura.....71
- Tabla 2.** Esquema del ANOVA de las variables del Ensayo *Efecto de la temperatura en el tiempo de desarrollo (TD), fecundidad (F), Tasa intrínseca de crecimiento (rm) y longevidad (L) de Brevicoryne brassicae*.....72
- Tabla 3.** Medias de las variables del Ensayo *Efecto de la temperatura en el tiempo de desarrollo (TD), porcentaje de parasitismo (%P), Proporción de hembras (PH) y longevidad (L) de Diaeretiella rapae* bajo los tres escenarios de temperatura.....73
- Tabla 4** Esquema del ANOVA de las variables del Ensayo *Efecto de la temperatura en el tiempo de desarrollo (TD), porcentaje de parasitismo (%P), Proporción de hembras (PH) y longevidad (L) de Diaeretiella rapae*.....74

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 a) Predicciones del aumento en las emisiones de CO ₂ según los escenarios propuestos por la IPCC.....	76
Anexo 1 b) Temperatura media según los cuatro escenarios propuestos por la IPCC.....	77
Anexo 2. <i>Brevicoryne brassicae</i>	78
Anexo 3. a) Hembra adulta <i>Diaeretiella rapae</i>	79
Anexo 3 b) Momia de <i>Diaeretiella rapae</i>	79
Anexo 4. Ciclo biológico de avispas parasíticas.....	80
Anexo 5. Descripción gráfica de la cría del áfido <i>Brevicoryne brassicae</i> . Establecimiento de líneas clonales en los tres escenarios de temperatura.....	81
Anexo 6. Descripción gráfica de la cría de la avispa parasitoide <i>Diaeretiella rapae</i> : Establecimiento de líneas clonales en los tres escenarios de temperatura.....	82
Anexo 7. Cajas plásticas utilizadas para realizar los ensayos.....	83
Anexo 8. Descripción gráfica del Ensayo <i>Efecto de la temperatura en el tiempo de desarrollo (TD), fecundidad (F), Tasa intrínseca de crecimiento (rm) y longevidad (L) de Brevicoryne brassicae</i>	84
Anexo 9. Ninfa de <i>B. brassicae</i>	85
Anexo 10. <i>D. rapae</i> macho y hembra en cápsulas de gelatina, previo a la cópula.....	85

Anexo 11. Descripción gráfica del Ensayo: <i>Efecto de la temperatura en el tiempo de desarrollo (TD), porcentaje de parasitismo (%P), Proporción de hembras (PH) y longevidad (L) de Diaeretiella rapae</i>	86
Anexo 12. Mapa de distribución potencial actual del áfido ceniciento de la col, <i>Brevicoryne brassicae</i>	87
Anexo 13. Mapa de distribución potencial futura (2080) bajo el escenario A2, del áfido ceniciento de la col, <i>Brevicoryne brassicae</i>	88

TABLA DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	III
LISTA DE FIGURAS	IV
LISTA DE TABLAS	V
LISTA DE ANEXOS	VI
TABLA DE CONTENIDOS	VIII
1. RESUMEN	1
2. ABSTRACT	3
3. INTRODUCCIÓN	5
3.1 CAMBIO CLIMÁTICO (CC).....	5
3.2 CONSECUENCIAS DEL CC EN LAS INTERACCIONES MULTITRÓFICAS	7
3.3 ESTUDIOS PREVIOS	9
3.3 JUSTIFICACIÓN	10
3.4 OBJETIVOS	14
4. MATERIALES Y MÉTODOS	15
4.1 SUJETOS DE ESTUDIO.....	15
4.1.1 PLANTA HOSPEDERA.....	15
4.1.2 ÁFIDO HOSPEDERO	16
4.1.3 AVISPA PARASITOIDE	17
4.2 ÁREA DE ESTUDIO.....	18
4.2.1 LUGAR DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS	18

4.2.2 ESCENARIOS DE TEMPERATURA	18
4.3 CRÍA DE LA PLANTA HOSPEDERA	19
4.4 CRÍA DE AFIDOS: ESTABLECIMIENTO DE LINEAS CLONALES	19
4.5 CRÍA DE AVISPAS: ESTABLECIMIENTO DE LINEAS CLONALES	20
4.6 ENSAYO: Efecto de la temperatura en el tiempo de desarrollo (TD), fecundidad (F), Tasa intrínseca de crecimiento (rm) y longevidad (L) de <i>Brevicoryne brassicae</i>	21
4.6.1 Tiempo de desarrollo (TD).....	21
4.6.2 Fecundidad (F)	21
4.6.3 Tasa Intrínseca de crecimiento (rm).....	22
4.6.4 Longevidad (L).....	22
4.7 ENSAYO: Efecto de la temperatura en el tiempo de desarrollo (TD), porcentaje de parasitismo (%P), Proporción de hembras (PH) y longevidad (L) de <i>Diaeretiella rapae</i>	22
4.7.1 Tiempo de desarrollo (TD).....	23
4.7.2 Porcentaje de parasitismo (%P).....	23
4.7.3 Proporción de hembras (PH).....	23
4.7.4 Longevidad (L).....	24
4.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.....	24
5. RESULTADOS	26
5.1 ANOVA PARA ENSAYO: Efecto de la temperatura en el tiempo de desarrollo (TD), fecundidad (F), tasa intrínseca de crecimiento (rm) y longevidad (L) de <i>Brevicoryne brassicae</i>	26
5.1.1 Tiempo de desarrollo (TD).....	26
5.1.2 Fecundidad (F)	26
5.1.3 Tasa Intrínseca de crecimiento (rm).....	27
5.1.4 Longevidad (L).....	27
5.2 ANOVA PARA ENSAYO : Efecto de la temperatura en el tiempo de desarrollo (TD), porcentaje de parasitismo (%P), Proporción de hembras (PH) y longevidad (L) de <i>Diaeretiella rapae</i>	28

5.2.1 Tiempo de desarrollo (TD).....	28
5.2.2 Porcentaje de Parasitismo (%P)	28
5.2.3 Proporción de hembras (PH)	28
5.2.4 Longevidad (L).....	29
6. DISCUSIÓN.....	30
6.1 ENSAYO: Efecto de la temperatura en el tiempo de desarrollo (TD), fecundidad (F), Tasa intrínseca de crecimiento (rm) y longevidad (L) de <i>Brevicoryne brassicae</i>	30
6.1.1 Tiempo de desarrollo (TD).....	30
6.1.2 Fecundidad (F)	31
6.1.3 Tasa intrínseca de crecimiento (rm)	32
6.1.4 Longevidad (L).....	33
6.2 ENSAYO : Efecto de la temperatura en el tiempo de desarrollo (TD), porcentaje de parasitismo (%P), Proporción de hembras (PH) y longevidad (L) de <i>Diaeretiella rapae</i>	33
6.2.1 Tiempo de desarrollo (TD).....	33
6.2.2 Porcentaje de parasitismo (%P).....	36
6.2.3 Proporción de hembras (PH)	37
6.2.4 Longevidad (L).....	39
6.3 CC, Temperatura y Áfidos	40
7. CONCLUSIONES	46
8. RECOMENDACIONES	47
9. GLOSARIO	48
10. LITERATURA CITADA	50
11. FIGURAS.....	61
12. TABLAS.....	70
13. ANEXOS	75

1. RESUMEN

El Cambio Climático (CC) tiene efectos en la abundancia y distribución de las especies. Las predicciones indican que para el año 2100 las concentraciones de CO₂ atmosférico se podrían duplicar y la temperatura media de la tierra aumentaría de 1.4–5.8 °C. Los organismos deberán adaptarse a las nuevas condiciones, migrar en busca de ambientes óptimos o extinguirse. El objetivo de esta investigación fue conocer cómo el incremento en la temperatura media, como una de las consecuencias del CC, afecta a las interacciones tróficas entre el áfido ceniciento de la col, *Brevicoryne brassicae*, y su avispa parasitoide, *Diaeretiella rapae*.

Poblaciones de las dos especies fueron expuestas a tres escenarios de CC en laboratorio, que se diferenciaron únicamente en la temperatura media. Se tomaron datos diarios de 6 variables: Tiempo de desarrollo (TD), Fecundidad (F), Tasa intrínseca de crecimiento (rm), Longevidad (L), Porcentaje de parasitismo (%P) y Proporción de hembras (PH). Las variables TD y L disminuyeron a medida que aumentó la temperatura, mientras que las variables F, rm y %P aumentaron con la temperatura. Los análisis estadísticos mostraron diferencias altamente significativas entre tratamientos para todos los parámetros menos para proporción de hembras, que mostró diferencias no significativas. El incremento en la tasa de crecimiento poblacional (rm) de la plaga podría traer consecuencias negativas en varios cultivos, sin embargo, las respuestas de los parasitoides fue acelerar su tasa de ataque a medida que aumentaba la temperatura, lo que sugiere que la avispa podría controlar las poblaciones del áfido.

Los ciclos biológicos tanto del áfido ceniciento como de su parasitoide se encuentran influenciados directamente por cambios en la temperatura ambiental. La variación en la temperatura media indujo cambios en la biología del áfido ceniciento, produciendo, a su vez, cambios en la biología del parasitoide, el cual tuvo que adaptarse a las condiciones de su hospedero. La temperatura media influye en el desempeño de las dos especies, mas no es la única variable que determina su dinámica poblacional ni su posible distribución en un escenario de CC. Se recomienda realizar estudios bajo temperaturas constantes, además de la realización de modelos fisiológicos para estas dos especies para predecir con más precisión la distribución futura de ésta plaga y la de su enemigo natural.

Palabras clave: Áfido ceniciento, *Brevicoryne brassicae*, cambio climático (CC), *Diaeretiella rapae*, enemigo natural, temperatura media.

2. ABSTRACT

Climate Change (CC) is having serious effects on species abundance and distribution. Predictions indicate that in the next century the planet will experience a doubling of atmospheric CO₂ and a rise in global mean temperatures by 1,4–5,8 °C. Organisms can adapt to the new conditions, shift their location or go extinct. The objective of this study was to investigate how mean temperature increase as a consequence of CC, may alter the trophic interactions between the cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* and its parasitoid wasp, *Diaeretiella rapae*.

Populations of the two species were exposed to three different climate change scenarios, which differed in their mean temperature. Six parameters were measured: Developmental time, fecundity, intrinsic rate of increase, longevity, parasitism and female proportion. Developmental time and longevity decreased with increasing mean temperature, while fecundity, intrinsic rate of increase and parasitism rised with temperature. Statistical analyses showed highly significant differences between the three temperature treatments in all parameters, but female proportion showed no significant differences between treatments. The increase on the intrinsic rate of increase of the aphid population could bring negative consequences in several crops. Nevertheless, our results suggest that increased pest performance with climate warming may be counteracted with increasing parasitism rate with temperature.

Life cycles of the two species were directly affected by changes on mean temperature. Variation on mean temperature induced changes on aphid biology and at the same time produced changes on the parasitoid biology, who adapted to the host's new conditions. Temperature affects the performance of these species; however it is not the only factor that defines its population dynamic or its potential distribution under a CC scenario. It is recommended to make studies under constant temperatures and to make physiological models for these two species, so we can predict more precisely the future distribution of the pest and its natural enemy.

Key words: Cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae*, climate change, *Diaeretiella rapae*, mean temperature, natural enemy

3. INTRODUCCIÓN

3.1 CAMBIO CLIMÁTICO (CC)

La temperatura es uno de los principales factores que influye en la biología de los organismos, en especial en los organismos ectotermos como los insectos cuya temperatura corporal depende directamente de la temperatura ambiental; cambios en este factor afectan directamente a las especies que componen un sistema (Kindlmann *et al.*, 2010).

Durante los últimos 200 años las concentraciones de gases a efecto invernadero (GEI), dióxido de carbono (CO₂), óxido nítrico (NO₂), metano (CH₄) entre otros, los que se generan por el uso de combustibles fósiles, aerosoles, deforestación, etc., han aumentado considerablemente trayendo consigo un alza en la temperatura media del planeta (IPCC, 2001). En los últimos 100 años la temperatura media de la superficie del planeta ha incrementado en aproximadamente 0.6 °C, este incremento es el más alto que ha ocurrido en 1000 años (Houghton *et al.*, 2001). Los niveles futuros de las emisiones de los gases a efecto invernadero son inciertos, ya que dependerán directamente de la estructura social, económica y política futura (Arnell *et al.*, 2004). Las predicciones indican que para el año 2100 las concentraciones de CO₂ atmosférico podrían duplicarse a 700 ppm y la temperatura media de la tierra aumentaría entre 1.4 – 5.8 °C (Anexo 1) (IPCC- TG CIA, 2006). Frente a esto, el Panel Intergubernamental del Cambio Climático, IPCC, diseñó 4 escenarios del “posible clima futuro” (B1, B2, A1 y A2). Estos escenarios climáticos se

basan en características demográficas, sociales, económicas y de cambio tecnológico, las cuales integradas a modelos climáticos han permitido realizar estimaciones del clima futuro (IPCC- TGCIA, 2006). Muchos organismos, entre ellos los insectos ya se han enfrentado antes a cambios en la temperatura. La evidencia paleontológica revela cambios en la distribución de animales y plantas durante la última glaciación, debidos principalmente a cambios en el clima (Heie y Wegierek, 1998). La respuesta de los insectos herbívoros ante los cambios en la temperatura fue mover sus rangos de distribución en busca de condiciones óptimas donde, además, se encuentren sus plantas hospederas (Coope, 1995). Esta búsqueda se encontraba limitada por cambios en latitud que producían cambios en el fotoperiodo. Sólo las especies que podían tolerar este tipo de cambios lograban establecerse mientras que las especies que no se adaptaban a la nueva latitud o que no tenían la capacidad de moverse, como las formas ápteras, se extinguían (Fahnestock *et al.*, 2000). Si las predicciones actuales son correctas, y la temperatura sigue aumentando, la capacidad de los organismos para adaptarse a estos cambios ambientales puede no ser suficiente (Flynn *et al.*, 2006) debido a los cambios mucho más drásticos producidos por la influencia del hombre; el desarrollo de la agricultura contribuyó al establecimiento de plagas agrícolas, las ciudades crecen cada vez más invadiendo hábitats antes no disturbados que ahora han sido reemplazados por carreteras y casas. En la última glaciación las especies que cambiaron su rango migraron a hábitats con condiciones apropiadas, en la actualidad esto es casi imposible por la presencia de carreteras, áreas de agricultura y otros tipos de asentamientos humanos (Crooks, 2002).

El aumento en las concentraciones de CO₂ atmosférico tiene efectos en el crecimiento de las plantas, y por consiguiente en los insectos en general. En el Anexo 1 podemos

observar las predicciones del aumento en las emisiones de CO₂ según los cuatro escenarios propuestos por la IPCC. Sin embargo, el aumento de la temperatura media tiene un efecto mucho mayor (Bezemer *et al.*, 1998) ya que las funciones y procesos biológicos de los insectos, al ser organismos ectotermos, dependen de la temperatura ambiental (Bezemer *et al.*, 1998; Chiu *et al.*, 2011; Parmesan, 2006; Deutsch *et al.*, 2008). Las respuestas de los insectos ante estos cambios son especie específicas, variando incluso la respuesta de la misma especie de insecto en distintas plantas hospederas (Awmack *et al.*, 1997; Newman *et al.*, 1999).

Muchas especies van a tener que enfrentarse a extinciones locales o a cambios en su distribución como consecuencias del cambio climático (Chiu *et al.*, 2011; Parmesan, 2006). En las zonas templadas se predice que los insectos se verán beneficiados por el calentamiento global ya que los inviernos menos severos les dan ventajas en supervivencia y en reproducción, y como resultado tendrían poblaciones más grandes y más generaciones anuales (Chiu *et al.*, 2011). En las zonas frías los insectos también se beneficiarían con el incremento de temperatura debido a que estarían más cerca de sus óptimos térmicos y su desempeño aumentaría. Sin embargo, los insectos tropicales ya viven muy cerca de sus óptimos de temperatura por lo que el riesgo de la extinción de estas poblaciones debido al incremento de temperatura es muy probable (Deutsch *et al.*, 2008; Chiu *et al.*, 2011).

3.2 CONSECUENCIAS DEL CC EN LAS INTERACCIONES MULTITRÓFICAS

Procesos como tiempo de desarrollo, crecimiento, reproducción, fecundidad, mortalidad, comportamiento, cortejo, ovoposición y supervivencia son dependientes de la

temperatura (Parmesan, 2006; Gillespie *et al.*, 2012; Davis *et al.*, 2006). Otro factor importante que tiene una fuerte influencia de la temperatura es la interacción de las redes alimenticias (Gillespie *et al.*, 2012; Roux *et al.*, 2010), debido a que las relaciones multitróficas son el resultado de un largo proceso de co-evolución entre las especies que conforman un sistema y sus condiciones ambientales específicas (Kindlmann *et al.*, 2010). Cambios en la temperatura ambiental pueden llegar a desestabilizar la dinámica de las especies y llevar a la extinción a una parte del sistema trófico (van der Putten *et al.*, 2004). Todos los niveles tróficos se ven afectados por el CC (Hance *et al.*, 2007), desde plantas hospedadoras, herbívoros, parasitoides, predadores hasta endosimbiontes, ya que las funciones de estos organismos serán alteradas de diferentes maneras por los cambios en el clima. Sin embargo, los niveles tróficos superiores tendrán efectos más profundos porque dependen de la capacidad de los niveles inferiores de adaptarse (Hance *et al.*, 2007).

En general en un sistema parasitoide-hospedero (avispa-áfidos), los hospederos siempre tienen un tiempo generacional más corto que el de sus parasitoides, y la temperatura va a ser el principal factor que determine estas diferencias (Harrington *et al.*, 2001). El parasitismo depende de la capacidad que tiene el insecto adulto para localizar, seleccionar y evadir el sistema inmune de su hospedero, el que depende principalmente de bacterias endosimbiontes (Hance *et al.*, 2007). Los áfidos poseen una variedad de bacterias simbiotas entre las que se encuentra el endosimbionte obligado *Buchnera aphidicola* (Munson *et al.*, 1991). Los estudios demuestran que esta bacteria influye directamente en la resistencia ante parasitoides, tolerancia al estrés térmico, entre otros. Estos endosimbiontes pueden ser afectados hasta el punto de su eliminación si se los expone por periodos breves a altas temperaturas (Thomas y Blandford, 2003).

Los niveles tróficos superiores son los más afectados por el incremento en la temperatura. Uno de los factores más estudiados es la sincronización en el momento de emerger entre áfidos y parasitoides, el cual está también influenciado directamente por la temperatura. Si los parasitoides emergen antes, cuando las poblaciones de áfidos se encuentran en números bajos, el escenario sería una gran cantidad de avispas adultas en busca de hospedero, lo que traería como consecuencia una disminución en la población de áfidos, causando una disminución en el número de áfidos en la siguiente generación y a su vez dificultando el hallazgo de hospederos de la siguiente generación de parasitoides haciendo que la población disminuya considerablemente y que la de áfidos aumente (Godfray *et al.*, 1994).

3.3 ESTUDIOS PREVIOS

Se han realizado una gran cantidad de estudios para conocer las respuestas de los áfidos y sus parasitoides al calentamiento global. Estos estudios se han concentrado en uno o dos factores asociados con el cambio climático, ya sea el incremento de CO₂, humedad relativa o de temperatura media. Bezemer y colaboradores (1999) aseguran que el incremento en la temperatura media va a tener consecuencias más graves que el incremento en CO₂, ya que las funciones y procesos biológicos en insectos dependen de las fluctuaciones ambientales. En la mayoría de estudios realizados para predecir y comparar las respuestas de los organismos ante distintas condiciones de temperatura, se utilizan cámaras climatizadas con el fin de tener temperaturas constantes durante la investigación. Sin embargo, estos estudios no pueden predecir a ciencia cierta las respuestas de los organismos en el campo, ya que son los ciclos diarios de fluctuación de temperatura

ambiental o termo periodos los que influyen en la biología de los insectos (Brakefield y Mazzota, 1995). Los estudios en cámaras climatizadas, donde se controlan las condiciones del ambiente pudiendo obtener temperaturas fluctuantes, temperaturas muy altas (para simular olas de calor) o muy bajas, así como la duración del fotoperiodo, son los más recomendados para comparar las condiciones actuales con las posibles condiciones futuras, además de que nos permiten conocer los requerimientos térmicos de las especies.

En general, los resultados de estas investigaciones a pesar de tener resultados numéricos distintos, tienen la misma tendencia: a medida que aumenta la temperatura el tiempo de desarrollo y la longevidad de áfidos y parasitoides disminuyen mientras que la tasa de crecimiento poblacional y la tasa de ataque aumentan (Chiu *et al.*, 2011; Roux *et al.*, 2010; Deutsch *et al.*, 2008; Campbell *et al.*, 1974). Las diferencias en las respuestas de áfidos y parasitoides cambia según la posición geográfica dentro de la misma especie, lo que quiere decir que los diferentes biotipos se encuentran adaptados a las condiciones climáticas locales (Campbell *et al.*, 1974), por lo que es necesario estudiar a la misma especie en diferentes localidades ya que posiblemente las respuestas van a ser diferentes.

3.3 JUSTIFICACIÓN

Según estudios en 1700 especies de plantas y animales, el 50% de las especies ya son afectadas por el calentamiento global, y alrededor del 15% - 37% se extinguirán para el año 2050 (IPCC-TGCIA, 2006). En el Ecuador se han registrado cambios en las respuestas de los organismos producto de las variaciones en el clima debidas posiblemente a los efectos del CC. Eventos como cambios drásticos en las estaciones, donde las épocas secas y

lluviosas se desfasan, provocando pérdidas en diferentes cultivos agrícolas (Barragán *et al.*, 2011), el aumento de la radiación solar, la pérdida de la biodiversidad (Coloma *et al.*, 2010), el retroceso de los glaciares (Francou, 2007), el ingreso de especies invasivas (Puillandre *et al.*, 2008), y las observaciones del cambio en la distribución de las especies de insectos (Moret, 2005) son algunas de las evidencias del CC en el Ecuador.

Los insectos tropicales, al vivir tan cerca de sus óptimos de temperatura, corren mayor riesgo de extinguirse en comparación con los insectos de las zonas templadas (Deutsch *et al.*, 2008), por lo que sería suficiente un pequeño cambio de temperatura para sobrepasar del límite óptimo y llevarlos a la extinción. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que la tolerancia térmica de un organismo responde a la variación de la temperatura ambiental que éstos experimentan (Deutsch *et al.*, 2008). Diferentes poblaciones de la misma especie pueden tener diferentes rangos de temperatura, dependiendo de las condiciones en las cuales sus antepasados se desarrollaron, lo que significa que los requerimientos térmicos se ajustan a las distintas condiciones climáticas locales (Satar *et al.*, 2004). Además, la adaptación térmica de las especies se encuentra también influenciada por la heterogeneidad espacial de la temperatura. En el caso de los organismos que habitan en zonas donde la temperatura varía drásticamente a lo largo del día (e.j. montañas tropicales) se podrían producir especies más “adaptables” (Bonebrake y Deutsch, 2012).

Existen registros fósiles que demuestran que en el pasado los áfidos ya se han enfrentado a cambios drásticos en abundancia e incluso a las extinciones de sus hospederos durante periodos de cambios drásticos en el clima (Kindlmann, 2010) Muchas especies

sobrevivieron gracias a las migraciones hacia hábitats apropiados, la gran diferencia con la situación actual se debe a la influencia del hombre. La fragmentación del hábitat, el desarrollo de la industria, la agricultura, la construcción de ciudades y de carreteras van a afectar inmensamente las probabilidades de estos insectos de migrar ya que se encontrarán con todo tipo de asentamientos humanos en el camino. Para el caso de los áfidos de cultivos los problemas serán mucho menores ya que podrán encontrar hospedero con más facilidad. Los efectos de la fragmentación del hábitat y del Cambio Climático representan uno de los problemas más importantes a nivel mundial (Crooks, 2002). En el Ecuador no existen estudios para comprender las respuestas fisiológicas de los áfidos ni de sus parasitoides ante las variaciones ambientales. Estos estudios son de suma importancia para realizar predicciones acerca de la fenología y distribución geográfica de éstos insectos. Estas predicciones permitirían avanzar en el conocimiento de campos como la Entomología Económica, el estudio de Especies Invasivas, la Ecología de Plagas y en programas de Manejo Integrado de Plagas (Crespo, 2012).

El control biológico de plagas es una técnica en la que se usan a los enemigos naturales de una plaga para controlar los niveles de infestación en lugar de utilizar plaguicidas. El interés por el control biológico ha aumentado en las últimas décadas (Van Driesche *et al.*, 2007), debido al uso irresponsable de plaguicidas (causantes de la aparición de resistencia de muchas especies plaga), por la demanda de los consumidores exigiendo productos más sanos, y principalmente por el reciente compromiso por la gestión social entre los productores y los consumidores. Actualmente el control de áfidos en los cultivos de crucíferas en nuestro país se basa en el uso de plaguicidas, por lo que lograr que los programas de control biológico sean conocidos y accesibles para los agricultores debe ser

una prioridad, y mucho más al enfrentarnos con las consecuencias del CC. Se han utilizado a varias especies de enemigos naturales para controlar las poblaciones de áfidos en cultivos de importancia económica alrededor del mundo (Kindlmann *et al.*, 2010) entre los que se encuentran principalmente mariquitas y micro avispa. Estos regulan los tamaños poblacionales de los áfidos, pero no son los causantes de la mayor parte de la disminución de las poblaciones, ya que los áfidos se auto regulan cuando sus colonias son muy densas mediante la producción de alados migrantes que buscan otros hospederos (Dixon, 1998). Esto adquiere especial importancia para los enemigos naturales ya que necesitan desarrollar estrategias para encontrar a su presa cuando el tamaño poblacional del hospedero es óptimo (Kindlmann *et al.*, 2010). Los requerimientos térmicos de los enemigos naturales determinan el éxito del control biológico de la población del hospedero (Bernal y González, 1995), ya que el momento en el que aparezca el hospedero debe coincidir con la liberación del enemigo natural o con la implementación de un sistema planta- hospedero no plaga, que atraiga al enemigo natural.

Mejorar el entendimiento mediante la obtención de datos de cambios en abundancia y en distribución de esta plaga y su parasitoide nos permitirán tener una base para predecir las respuestas de estos insectos ante el calentamiento global (Parmesan, 2006; Chiu *et al.*, 2011).

3.4 OBJETIVOS

El principal objetivo de este estudio es determinar los efectos del incremento de la temperatura media en la biología del áfido ceniciento de la col, *Brevicoryne brassicae*, y en la de su parasitoide, *Diaeretiella rapae*, criados en plantas de col (*Brassica oleraceae*). Mediante la realización de los distintos ensayos bajo las tres condiciones de temperatura, se pretende conocer el tiempo de desarrollo (TD), la fecundidad (F), la tasa de crecimiento poblacional (r_m), la longevidad (L), la proporción de hembras (PH) y porcentaje de parasitismo (%P) de *B. brassicae* y de *D. rapae*. Los resultados obtenidos a partir de los ensayos se utilizarán para conocer (tomando en cuenta únicamente la temperatura media) los efectos del cambio climático en las poblaciones de áfidos y avispas, además de aportar con información del desempeño de ésta plaga y su parasitoide en el contexto de control biológico de plagas. De esta manera se espera poder contribuir al conocimiento de la dinámica poblacional de las dos especies en estudio.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 SUJETOS DE ESTUDIO

4.1.1 PLANTA HOSPEDERA

Brassica oleraceae, comúnmente conocida como col, es una planta crucífera de la familia *Brassicaceae*, la cual crece a lo largo del callejón interandino en el Ecuador. Es una planta de cultivo que se observa comúnmente en huertos familiares de la sierra ecuatoriana, lo que le permite estar presente durante todo el año. Sus hojas son cerosas, lisas, carnosas y turgentes. Ensayos previos demostraron que la col se adapta fácilmente a temperaturas altas si las plantas son expuestas a las nuevas temperaturas al mes de edad, a diferencia de otras crucíferas como la mostaza o el nabo que murieron durante su aclimatación antes de lograr alcanzar el tamaño suficiente para ser utilizadas en los distintos ensayos. En la col, al ser la planta hospedera original del cual se colectaron las poblaciones madre de áfidos y avispas en Machachi, se tuvo éxito inmediato al momento de ser infestada, lo que quiere decir que los áfidos aceptaron a la planta de inmediato. Además, al tener hojas lisas el parasitoide tuvo más facilidad de moverse alrededor de la planta en busca de hospedero (obs. pers). Por estas razones se eligió a las plantas de col como hospederos en este estudio, representando al primer nivel trófico del sistema estudiado.

4.1.2 ÁFIDO HOSPEDERO

El áfido ceniciento de la col, *Brevicoryne brassicae* (Anexo 2), tiene una distribución cosmopolita y es altamente específico de su hospedero, ya que se alimenta exclusivamente de la savia de especies de la familia *Brassicaceae* tanto en cultivos como en plantas silvestres (Cole, 1997). Constituye un problema mundial con impactos negativos en la agricultura y horticultura (Ellis *et al.*, 1998; Cole, 1997; Ortego, 2006) debilitando a las plantas por la extracción de savia causando blanqueamiento y distorsión de las hojas. Es un importante vector de varios virus como la mancha negra de la col y la necrosis del anillo de la col (Ellis *et al.*, 1998). Los áfidos tienen ciclos de vida complejos que están asociados a la alternancia de hospederos y a su reproducción por partenogénesis cíclica. Este tipo de reproducción clonal permite que cada genotipo sea representado por muchos individuos (Dixon, 1998), permitiendo que los diferentes clones experimenten distintos ambientes y fuerzas evolutivas. Los áfidos comienzan a desarrollarse dentro de sus abuelas, proceso conocido como generaciones telescópicas, de esta forma pueden anticipar los cambios en el ambiente desde que su madre es un embrión (Dixon, 1998). La partenogénesis cíclica y el crecimiento telescópico de generaciones confieren a las poblaciones de áfidos un alto potencial demográfico (Dixon, 1998; Terán, 2011). Es importante mencionar que la falta de recombinación genética en la reproducción partenogenética no influye en la adaptación de los áfidos a condiciones nuevas (Dixon, 1998) ya que la plasticidad fenotípica ha permitido que los áfidos se adapten a las condiciones cambiantes (Terán, 2011).

Los áfidos son un muy buen modelo para estudiar los efectos del CC ya que tienen ciclos de vida cortos, varias generaciones al año y una alta fecundidad (Dixon, 1998). La

biología de los áfidos ha sido bien estudiada, pero la cantidad de factores que influyen en su desempeño biológico son tantos que muchas veces los resultados de los estudios pueden ser contradictorios (Dixon, 2010).

4.1.3 AVISPA PARASITOIDE

Diaeretiella rapae (Stary, 1970) (Anexo 3a) (Hymenoptera: Braconidae) tiene una distribución cosmopolita, es un endoparasitoide solitario koinobionte, es decir permite que su hospedero permanezca vivo durante su desarrollo (Godfray, 1994). Esta micro avispa es generalista y parasita a más de 14 especies de áfidos entre los que se incluyen a *Brevicoryen brassicae*, *Rhopalosiphum padi*, *Myzus persicae*, *Lipaphis erisimi*, *Diuraphis noxia*, entre otras (Muller *et al.*, 1999; Reed *et al.*, 1994). Los hospederos parasitados se convierten en “momias” (Anexo 3b) que consisten en los exoesqueletos endurecidos de los áfidos hospederos. La larva parasitoide crece dentro del áfido permitiendo que éste siga con vida mientras la avispa se alimenta y se desarrolla para luego emerger de su hospedero como un adulto (Dixon, 1998) (Anexo 4). Los insectos parasitoides representan el tercer nivel trófico, y al desarrollarse dentro de sus hospederos deben manejar su propio estrés térmico así como con el estrés de su áfido hospedero (Hance *et al.*, 2007; Roux *et al.*, 2010), ya que éstos dependen de una serie de adaptaciones a la ecología y fisiología del áfido hospedero, por lo que son muy sensibles a los cambios en el ambiente (Hance *et al.*, 2007).

4.2 ÁREA DE ESTUDIO

4.2.1 LUGAR DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

Se recolectaron las muestras tanto del áfido ceniciento de la col *Brevicoryne brassicae*, como de su avispa parasitoide, *Diaeretiella rapae*, en Machachi (lat: S 0° 30', Lon: W 78° 46') Machachi se encuentra en el Cantón Mejía en la Provincia de Pichincha y ha sido una localidad utilizada anteriormente (Zamorano, 2012; Terán, 2011; Barragán *et al.*, 2011) para la recolección de poblaciones naturales tanto de áfidos como de avispas por la facilidad al encontrar crucíferas silvestres como nabo y rábano, y por la presencia de pequeños huertos familiares con plantas de col (obs.pers).

4.2.2 ESCENARIOS DE TEMPERATURA

Se seleccionó ambientes que tengan un incremento de temperatura parecido a los escenarios del posible “clima futuro” propuestos por la IPCC. Es fundamental mencionar que los escenarios propuestos por la IPCC no solo se encuentran bajo la influencia de la temperatura media, al contrario son varios los factores que intervienen e influyen en los supuestos cambios que se darán en el planeta por el CC. Para obtener la temperatura media de cada escenario, se colocaron data loggers programados para tomar datos de temperatura cada 30 minutos durante la duración de los ensayos.

Escenario 1: Este escenario se encuentra en el invernadero de entomología ubicado en la parte trasera del edificio de las Escuela de Ciencias Biológicas. Este ambiente tiene una temperatura media de 17, 6 ° C, y está expuesto a las variaciones ambientales diarias

Escenario 2: Este escenario se encuentra a la intemperie del edificio de la Escuela de Ciencias Biológicas de la PUCE y está expuesto a cambios ambientales, por lo que la temperatura en este escenario es variable. Este ambiente tiene una temperatura media de 19.2 °C y está expuesto a las variaciones ambientales diarias

Escenario 3: Este escenario se encuentra en el laboratorio 207 de la Escuela de Ciencias Biológicas y tiene una temperatura media de 23,3°C. Este ambiente al encontrarse dentro del edificio no tiene fluctuaciones de temperatura mayores.

4.3 CRÍA DE LA PLANTA HOSPEDERA

Se sembraron plantas de col (*Brassica oleracea*) en semilleros de 2cm x 2cm. La siembra se realizó en el invernadero de entomología de la Escuela de Ciencias Biológicas. Una vez que las plántulas tenían aproximadamente 1 mes de edad, fueron trasplantadas a vasos plásticos de 16 oz y trasladadas a los distintos escenarios para su aclimatación. Las plantas fueron utilizadas para mantener las crías de áfidos y avispas así como para realizar los ensayos.

4.4 CRÍA DE AFIDOS: ESTABLECIMIENTO DE LINEAS CLONALES

Con el propósito de eliminar los efectos genotípicos y únicamente analizar la variación debido a la plasticidad fenotípica del áfido hospedero, se establecieron líneas clonales de áfidos a partir de las ninfas hermanas paridas por una fundatrix proveniente de la población recolectada en Machachi.

Se recolectó una colonia de áfidos en Machachi proveniente de plantas de col que fue colocada en plantas de col sembradas previamente en cada uno de los tres ambientes. Las

plantas infestadas con áfidos estuvieron bajo observación durante 10 días para asegurarse que no exista formación de momias con parasitoides. Se permitió que los áfidos permanezcan en cada ambiente durante una generación completa (aproximadamente 15 días). Se seleccionó a una sola colonia de áfidos y se transfirieron con un pincel suave 3 hembras adultas de la colonia a plantas de col nuevas (1 mes de edad) en cada ambiente. Las hembras formaron colonias que se mantuvieron en cada uno de los escenarios durante ocho generaciones, permitiendo de esta manera que los áfidos se aclimatasen a cada temperatura. Ver Anexo 5 para una descripción gráfica de la cría.

4.5 CRÍA DE AVISPAS: ESTABLECIMIENTO DE LINEAS CLONALES

Se recolectaron colonias de áfidos con momias parasitadas por *Diaeretiella rapae* en Machachi y se las trasladó a cada escenario. Se cortaron y depositaron a las momias en cápsulas de gelatina y se las mantuvo bajo observación para asegurarse que no existan hiperparasitoides. Una vez que las avispas eclosionaron, se las colocó en plantas de col infestadas con áfidos en cada ambiente. Se alimentó a los adultos de la colonia utilizando un algodón humedecido en una mezcla de agua y azúcar (3:1). Se cortó las momias directamente de las hojas con tijeras finas para luego encapsularlas. Cuando las avispas eclosionaron se separaron hembras de machos y se encapsularon tres parejas para que copulen (Anexo 10). Después de 24 horas se liberaron a las hembras en cajas plásticas transparentes que tenían plantas de col infestadas con áfidos. Se mantuvo las colonias de avispas en los tres escenarios durante ocho generaciones para su respectiva aclimatación antes de realizar el ensayo. Ver Anexo 6 para una descripción gráfica de la cría.

4.6 ENSAYO: Efecto de la temperatura en el tiempo de desarrollo (TD), fecundidad (F), Tasa intrínseca de crecimiento (r_m) y longevidad (L) de *Brevicoryne brassicae*

Una vez que los áfidos se aclimataron, se separó una hembra adulta de la colonia y se la colocó con un pincel suave en una planta de col hasta que produjo descendencia. Se tomaron 10 ninfas hermanas recién nacidas y se las colocó en plantas de col de un mes de edad. Cada planta de col tenía una ninfa (Anexo 9) y se encontraba dentro de una caja plástica transparente con una cara de organza para la ventilación del sistema (Anexo 7). Se revisaron las cajas a diario. El mismo procedimiento se repitió en cada ambiente con su colonia de áfidos correspondiente. Ver Anexo 8 para una descripción gráfica del Ensayo Se realizaron diez repeticiones en cada escenario. Se tomaron datos de las repeticiones para medir cinco parámetros diferentes:

4.6.1 Tiempo de desarrollo (TD)

Se tomó en cuenta el tiempo en días desde que se colocaron las ninfas hermanas hasta que eran adultos y pusieron su primera cría (5to estadio). Si las ninfas morían durante los dos primeros días de transcurso del ensayo, éstas fueron reemplazadas por ninfas hermanas de la misma edad.

4.6.2 Fecundidad (F)

Se calculó el número de ninfas paridas por una hembra a lo largo de su vida. Se contó el número de ninfas recién nacidas diariamente en las 10 repeticiones en

cada escenario. Las ninfas fueron retiradas después de cada conteo con un pincel suave, de esta forma se evitó contar a las mismas ninfas dos veces.

4.6.3 Tasa Intrínseca de crecimiento (rm)

El parámetro r_m es ideal para comparar las diferencias en el crecimiento de varias poblaciones bajo distintas condiciones ambientales (Chiu *et al.*, 2011; Davis *et al.*, 2006). Se calculó en base a la siguiente fórmula (tomado de Terán, 2011):

$$RM= 0.738 [(\ln F)/TD]$$

4.6.4 Longevidad (L)

Se tomaron datos diarios del tiempo en días desde que se colocaron las ninfas recién nacidas en cada planta de col hasta que murieron. Se realizaron reemplazos cuando las ninfas murieron durante los dos primeros días.

4.7 ENSAYO: Efecto de la temperatura en el tiempo de desarrollo (TD), porcentaje de parasitismo (%P), Proporción de hembras (PH) y longevidad (L) de *Diaeretiella rapae*

Se encapsularon 50 momias de la colonia de avispas. Cuando las avispas eclosionaron, se separaron hembras y machos y se formaron 10 parejas, las que se colocaron en 10 tubos ephendorf (una pareja en cada tubo). Dentro de los tubos se colocó algodón humedecido en una mezcla de azúcar y agua (3:1) para que las avispas se alimenten. Se dejó a las avispas dentro del tubo por 1 día para que copulen. Se liberó a cada

pareja dentro de una caja plástica que contenía a una planta de col infestada con 50 áfidos ápteros de 3er a 4to estadio. Estos áfidos se obtuvieron de una cría mantenida para este fin. En esta cría se permitía que las hembras adultas pusieran crías cada dos días en distintas plantas, así siempre estarían disponibles áfidos del estadio requerido. Se permitió parasitar a la avispa durante 24 horas tomando en cuenta que ovispositan al menos el 80% de sus huevos durante los dos primeros días después de emerger (Fernández y Nentwig, 1997). Después se la retiró de la caja. El mismo procedimiento se repitió en cada ambiente con su colonia de avispas y áfidos correspondiente. Ver Anexo 11 para una descripción gráfica del Ensayo Se realizaron diez repeticiones para cada escenario. Se tomaron datos de las repeticiones para medir cuatro parámetros diferentes:

4.7.1 Tiempo de desarrollo (TD)

Se tomó en cuenta el periodo de tiempo huevo- adulto, lo que quiere decir el tiempo desde que fue liberada la avispa madre dentro de la caja y ésta parasitó, hasta que eclosionaron las avispas hijas resultantes del parasitismo.

4.7.2 Porcentaje de parasitismo (%P)

Se contaron y encapsularon las momias resultantes del parasitismo. Este parámetro se calculó dividiendo el número de momias de cada repetición para la población inicial de áfidos (50 áfidos).

4.7.3 Proporción de hembras (PH)

En las avispas parasíticas generalmente se tienen un Proporción de hembras ligeramente mayor al de machos (Qayyum, 2000). Esto permite tener un número

mayor de individuos en la población total así como un mayor número de genes, en comparación a las poblaciones con una Proporción de hembras 1:1 (machos: hembras) (Futuyma, 2005). La Proporción de hembras nos permite conocer el porcentaje de hembras de una población, y dependiendo de estos resultados se puede estimar si el tamaño poblacional va a ser numeroso o no en la siguiente generación. Para la diferenciación de los sexos se tomó en cuenta la presencia del ovipositor en el abdomen de las hembras una vez que los adultos eclosionaron dentro de las capsulas. La Proporción de hembras se calculó dividiendo el número de hembras eclosionadas para el número total de momias que tuvieron éxito y eclosionaron.

4.7.4 Longevidad (L)

Se tomaron avispas hembras adultas resultantes de las repeticiones del Ensayo 2, y se las colocó en las mismas cajas plásticas con una planta de col nueva sin infestar. Se las alimentó una sola vez con una mezcla de agua y azúcar (3:1) y se las observó a diario. Se tomaron datos en días desde la eclosión hasta la muerte.

4.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Utilizando el programa estadístico SPSS[®] 18.0 (IBM) se analizaron los distintos parámetros utilizando un diseño completamente aleatorizado de un factor o One way ANOVA, con 10 repeticiones para cada tratamiento.

El ANOVA One way fue aplicado en las variables tiempo de desarrollo (TD), fecundidad (F), longevidad (L), tasa intrínseca de crecimiento poblacional (r_m), porcentaje de parasitismo (%P) y proporción de hembras (PH).

5. RESULTADOS

5.1 ANOVA PARA ENSAYO: Efecto de la temperatura en el tiempo de desarrollo (TD), fecundidad (F), Tasa intrínseca de crecimiento (rm) y longevidad (L) de *Brevicoryne brassicae*

5.1.1 Tiempo de desarrollo (TD)

Los resultados muestran una disminución en el TD a medida que aumenta la temperatura (Tabla 1). El análisis estadístico muestra que existen diferencias altamente significativas entre las tres temperaturas ($p < 0,001$) para la variable tiempo de desarrollo (TD) (Tabla 2). La Figura 1 muestra como la prueba de significación de TUKEY agrupó a los tratamientos en dos subconjuntos y además podemos observar la diferencia de las medias para el TD bajo los tres escenarios.

5.1.2 Fecundidad (F)

Los resultados muestran un aumento en la F a medida que aumenta la temperatura (Tabla 1). El análisis estadístico muestra que existen diferencias altamente significativas entre las tres temperaturas ($p < 0,001$) para la variable fecundidad (F) (Tabla 2). La Figura 2 muestra como la prueba de significación de TUKEY agrupó a los tratamientos en dos subconjuntos y además podemos observar la diferencia de las medias para la F bajo los tres escenarios.

5.1.3 Tasa Intrínseca de crecimiento (rm)

Los resultados muestran un aumento en la rm a medida que aumenta la temperatura (Tabla 1). El análisis estadístico muestra que existen diferencias altamente significativas entre las tres temperaturas ($p < 0,001$) para la variable tasa intrínseca de crecimiento (rm) (Tabla 2). La Figura 3 muestra como la prueba de significación de TUKEY agrupó a los tratamientos en tres subconjuntos y además podemos observar la diferencia de las medias para la rm bajo los tres escenarios.

5.1.4 Longevidad (L)

Los resultados muestran una disminución en la L a medida que aumenta la temperatura (Tabla 1). El análisis estadístico muestra que existen diferencias altamente significativas entre las tres temperaturas ($p < 0,001$) para la variable longevidad (L) (Tabla 2). La Figura 4 muestra como la prueba de significación de TUKEY agrupó a los tratamientos en tres subconjuntos y además podemos observar la diferencia de las medias para la L bajo los tres escenarios.

5.2 ANOVA PARA ENSAYO : Efecto de la temperatura en el tiempo de desarrollo (TD), porcentaje de parasitismo (%P), Proporción de hembras (PH) y longevidad (L) de *Diaeretiella rapae*

5.2.1 Tiempo de desarrollo (TD)

Los resultados muestran una disminución en el TD a medida que aumenta la temperatura (Tabla 3). El análisis estadístico muestra que existen diferencias altamente significativas entre las tres temperaturas ($p < 0,001$). (Tabla 4). La Figura 5 muestra como la prueba de significación de TUKEY agrupó a los tratamientos en tres subconjuntos y además podemos observar la diferencia de las medias para el TD bajo los tres escenarios.

5.2.2 Porcentaje de Parasitismo (%P)

Los resultados muestran un aumento en el %P a medida que aumenta la temperatura (Tabla 3). El análisis estadístico muestra que existen diferencias altamente significativas entre las tres temperaturas ($p < 0,001$) (Tabla 4). La Figura 6 muestra como la prueba de significación de TUKEY agrupó a los tratamientos en dos subconjuntos y además podemos observar la diferencia de las medias para %P bajo los tres escenarios.

5.2.3 Proporción de hembras (PH)

Los análisis estadísticos mostraron diferencias no significativas entre tratamientos (Tabla 4). Se puede observar de manera gráfica las diferencias en la Figura 7 y las medias en la Tabla 3.

5.2.4 Longevidad (L)

Los resultados muestran una disminución en la L a medida que aumenta la temperatura (Tabla 3). El análisis estadístico muestra que existen diferencias altamente significativas entre las tres temperaturas ($p < 0,001$) (Tabla 4). La Figura 8 muestra como la prueba de significación de TUKEY agrupó a los tratamientos en tres subconjuntos y además podemos observar la diferencia de las medias para la L bajo los tres escenarios.

6. DISCUSIÓN

Todos los organismos tienen la capacidad de modificar su comportamiento así como sus características fisiológicas y morfológicas en respuesta a la temperatura ambiental (Angilletta, 2009). A continuación se discuten los resultados obtenidos de las 6 poblaciones (3 poblaciones de áfidos y 3 poblaciones de avispas) en estudio. Además, se analizan las distintas respuestas generales de los sujetos de estudio ante las variaciones de la temperatura media en el contexto de cambio climático, prediciendo las posibles consecuencias para estas poblaciones.

6.1 ENSAYO : Efecto de la temperatura en el tiempo de desarrollo (TD), fecundidad (F), Tasa intrínseca de crecimiento (r_m) y longevidad (L) de *Brevicoryne brassicae*

6.1.1 Tiempo de desarrollo (TD)

La tasa de desarrollo de un insecto depende de la temperatura a la cual éste está expuesto (Campbell *et al.*, 1974). Mientras la temperatura incrementa, el tiempo de desarrollo de los áfidos disminuye debido a un incremento en la tasa metabólica (Chiu *et al.*, 2011). Según estudios realizados por Satar y colaboradores en el 2004, donde se analizan las respuestas del áfido ceniciento de la col en hojas de col bajo distintas temperaturas, obtienen como resultado una disminución en el tiempo de desarrollo del áfido a medida que aumenta la temperatura. Estudios en otras especies de áfidos arrojan

resultados similares (Asin y Pons, 2001; Satar *et al.*, 2008). Los resultados de estos estudios concuerdan con los obtenidos en el presente ensayo, donde se reduce el tiempo de desarrollo mientras aumenta la temperatura (Tabla 1).

6.1.2 Fecundidad (F)

El incremento en la tasa metabólica por el aumento en la temperatura hace que los áfidos depositen mayor cantidad de clones (Chiu *et al.*, 2011). Asin y Pons (2001) estudiaron los efectos del incremento de temperatura en el crecimiento y reproducción de varios áfidos hospederos del maíz. Encontraron que a medida que se incrementaba la temperatura también aumentaba el número de ninfas paridas por hembra, con una media de 39,5 ninfas a 22 °C; 42,4 ninfas a 25°C y 45 ninfas a 27.5 °C para *R. padi*. En general, los estudios realizados para conocer los efectos del incremento de temperatura en la fecundidad diaria y total (Satar *et al.*, 2004; Wang y Tsai, 2000; Hughes, 1963) siguen el mismo patrón: a mayor temperatura aumenta la fecundidad. Estos estudios muestran también que cuando los áfidos son sometidos a temperaturas que sobrepasan su límite superior térmico, el número de ninfas se reduce, lo que tendrá una consecuencia en la tasa de crecimiento poblacional (r_m). Los resultados de la presente investigación concuerdan con lo esperado en esta variable, incrementando el número de ninfas paridas a medida que incrementa la temperatura. El aumento en la fecundidad y el acortamiento en los ciclos de vida hacen que aumenten las generaciones anuales (Chiu *et al.*, 2012), lo cual a su vez está directamente vinculado con la tasa intrínseca de crecimiento poblacional (r_m).

6.1.3 Tasa intrínseca de crecimiento (rm)

La r_m es una medida basada en la fecundidad y en el tiempo de desarrollo ($R_M=0.738[(\ln F/ TD)]$), y es un parámetro muy importante al ser el único estadístico que resume la cualidades fisiológicas de un organismo con respecto a su capacidad para multiplicarse. Los números positivos como resultados para esta variable muestra que la población está en crecimiento, y estos datos se interpretan de tal forma que mientras más se acerque el valor a 0 la población tendrá más tendencia a ser estacionaria ($r_m=0$). Según los resultados, la r_m obtenida en el escenario 1 (17,6°C) es la más cercana a 0 ($r_m=0,173$), por lo que este régimen de temperatura es el que menos crecimiento poblacional muestra. Los valores de r_m varían significativamente dependiendo de la temperatura, permitiendo observar un incremento a medida que aumenta la temperatura, teniendo el mayor valor de r_m en el escenario 3 (0,316) y el menor en el escenario 1 (0,173). Esto concuerda con lo obtenido en estudios realizados por Wang y Tsai (2000), donde se expuso a *Aphis spiraecola* a varias temperaturas arrojando valores de r_m que incrementan desde 0,078 a 10 ° C hasta 0,308 a 25 ° C (los valores de r_m disminuyen a partir de los 28 ° C por ser temperaturas extremas para esta especie en particular). En general los valores altos de este parámetro se deben a un acortamiento en el tiempo de desarrollo y en el periodo reproductivo, lo que da como resultado tiempos generacionales más cortos (Wang y Tsai, 2000). Davis y colaboradores (2006) obtienen resultados similares en *Myzus persicae*, donde la r_m aumenta a medida que aumenta la temperatura desde 0,125 a 15 °C hasta 0,225 a 25°C. Al igual que el estudio mencionado anteriormente temperaturas extremas de 5, 32 y 35 °C causan que los valores de r_m disminuyan. La importancia de la tasa de incremento poblacional en una especie plaga se puede analizar desde un punto de vista económico. Si

las poblaciones de esta plaga aumentan de manera considerable como consecuencia del CC, los cultivos de crucíferas de importancia económica como el brócoli, se verán afectados, trayendo como consecuencia una baja en la economía del país.

6.1.4 Longevidad (L)

Satar y colaboradores (2004) estudian a *B. brassicae* bajo distintos regímenes de temperatura, encontrando una disminución en la longevidad del áfido a medida que aumenta la temperatura, con una variación pequeña de 16,3 días a 15°C, 14,5 días a 20 °C, y una disminución a 9,4 días a 30 °C, temperatura a la cual se daba la mayor mortalidad de ninfas y un crecimiento poblacional escaso. Chui y colaboradores (2011) obtienen como resultados que la longevidad del áfido *M. persicae* disminuye a medida que incrementa la temperatura, variando de 18,6 días a 28,8 °C a 13,5 días a 30 °C. Esto concuerda con los resultados obtenidos en el presente estudio, donde los áfidos expuestos a la temperatura más baja del ensayo tuvieron la mayor longevidad (71,3 días) (Tabla 1).

6.2 ENSAYO : Efecto de la temperatura en el tiempo de desarrollo (TD), porcentaje de parasitismo (%P), Proporción de hembras (PH) y longevidad (L) de *Diaeretiella rapae*

6.2.1 Tiempo de desarrollo (TD)

La temperatura a la cual se encuentran expuestos los insectos ectotermos durante su desarrollo va a afectar a la tasa metabólica y al tamaño del cuerpo influyendo como

consecuencia en el desempeño de éstos cuando llegan a la adultez (Le Lann *et al.*, 2011). El tiempo de desarrollo desde la oviposición hasta la eclosión de las avispa como adultas disminuye mientras aumenta la temperatura (Malina y Praslicka, 2008). En estudios realizados por Le Lann y colaboradores (2011) utilizando a la avispa parasitoide *A. rhopalosiphii* y someténdola a varios regímenes de temperatura (10, 15, 20 y 25°C), encontraron que a medida que aumentaba la temperatura el tiempo de desarrollo disminuía. Malina y Praslicka someten a cuatro regímenes de temperatura al parasitoide *A. ervi* (15, 20, 25 y 30 °C) mostrando como el tiempo de desarrollo decrece linealmente a medida que aumenta la temperatura, variando de 25 días a 15°C hasta 9,53 días a 30°C en el caso de *A. ervi*. Varios estudios en diferentes poblaciones de *D. rapae* parasitando a otras especies de hospederos han reportado patrones similares. Bernal y Gonzales (1993, 1995) obtienen un TD de 48,32 y de 46 días a 10 °C; de 23,69 días a 15°C y de 16,72 días a 20°C. Los resultados que arroja ésta investigación cumplen con el supuesto mencionado, ya que el TD disminuyó a medida que aumentó la temperatura (Tabla 3).

Los parasitoides al desarrollarse más lento que sus hospederos, aseguran que al eclosionar van a tener acceso a un mínimo de recursos lo que va a garantizar su supervivencia (Campbell, 1974). El periodo de tiempo desde el parasitismo hasta la momia, y desde la formación de la momia hasta la eclosión del adulto, son medidas de importancia para saber en qué momento del ciclo de la vida del parasitoide la temperatura tiene más efecto (Bernal y González, 1993). En el presente estudio no se tomaron estos datos, y únicamente se tomó en cuenta el tiempo total desde el parasitismo hasta la eclosión sin embargo es un buen acercamiento para entender la influencia de la temperatura en el sistema hospedero-parasitoide. Para mantener la estabilidad de un sistema hospedero-

parasitoide es necesario una duración del TD del parasitoide entre 0,5 y 1,5 veces más que el de su hospedero, y un desarrollo juvenil de las dos especies mayor al de la vida del adulto (Godfray *et al.*, 1994). Cualquier cambio en estos parámetros puede afectar la dinámica poblacional de estas especies. En el presente estudio, realizando los cálculos propuestos por Godfray, se encontró que el sistema áfido- parasitoide en los tres escenarios es estable.

La sincronización entre planta-áfido así como entre áfido-parasitoide es de especial importancia, ya que se puede desestabilizar si varían estos dos procesos dependientes de la temperatura (Kindlman *et al.*, 2010). Por ejemplo, una población hipotética de parasitoides que está aclimatada a una temperatura más baja que la de su hospedero (por el cambio de estación, o por eventos de calor extremo en los que aumenta la temperatura) emergerá más temprano en el tiempo en comparación al momento de picos poblacionales del áfido. Así las micro avispas no encontrarán hospedero donde ovipositar. Si este tipo de evento ocurre una vez cada 25 años o menos, el sistema sigue estable, pero si ocurre una vez cada 20 años o menos, el sistema puede llegar a extinguirse localmente (Godfray *et al.*, 1994). Hoover y Newman (2004) desarrollaron un modelo para un sistema áfido-parasitoide donde se analiza cómo influye la llegada del parasitoide a la colonia de áfidos en el crecimiento poblacional del parasitoide y en el control de la población de áfidos. Si el parasitoide emerge antes, y por consecuencia se presenta más temprano, la población de parasitoides puede desaparecer antes de que la población de áfidos aumente o puede darse el caso de que se elimine a la pequeña población de áfidos existente antes de que éstos alcancen su fase de crecimiento poblacional lo que toma gran importancia en el desarrollo de programas

de control biológico de plagas ya que de ahí parte la necesidad de estudiar la duración de ciclos, las respuestas y la dinámica de las dos especies ante los cambios en el ambiente.

6.2.2 Porcentaje de parasitismo (%P)

La tasa de ataque del parasitoide es limitada por la tasa de encuentro con áfidos en condiciones “aceptables” para que se produzca el parasitismo (que estén o no previamente parasitados y en los estadios indicados), y por la tasa de producción de huevos de la avispa, (que a su vez está influenciada directamente por la temperatura) (Hoover y Newman, 2004). Malina y Praslicka sometieron a cuatro regímenes de temperatura al parasitoide *A. ervi* para conocer el porcentaje de parasitismo de ésta avispa. Como resultados obtuvieron un incremento en el porcentaje de parasitismo a medida que aumentó la temperatura con 10,8 % de momias formadas a 15°C, 13,1 % a 20°C y 16,9 % a 25°C; a los 30 °C el porcentaje de parasitismo disminuyó a 14,6%. Los resultados de la investigación concuerdan con lo obtenido en otros estudios, ya que la media del porcentaje de parasitismo en el escenario con menor temperatura (escenario 1) es de 8,5%, seguida por la media del escenario 2 (17,2%) y por último la media del escenario 3 (22,2%). El comportamiento de defensa por parte de los áfidos decrece cuando incrementa la temperatura. Estudios en *M. persicae* muestran que a medida que aumenta la temperatura estos áfidos reducen la tendencia de botarse de su planta hospedera (Kindlmann *et al.*, 2010), lo que justificaría también el mayor porcentaje de parasitismo en el escenario tres, de todas maneras para comprobar esta teoría se debe tomar datos del número de áfidos que se encuentran fuera de la planta (en este caso en las macetas que contienen los vasos con las plantas). La velocidad a la cual un parasitoide camina aumenta con la temperatura, y está asociada directamente al

porcentaje de parasitismo o porcentaje de áfidos parasitados que resultan en momias (Mason y Hopper, 1997). Esta sería otra razón para esperar un mayor porcentaje de parasitismo en el ambiente con mayor temperatura media. La variable %P tiene especial importancia para el parasitoide como enemigo natural, ya que el parasitismo influye en el éxito de la avispa en el momento de controlar a las poblaciones de áfidos en los cultivos. Incluso si el parasitismo no es totalmente exitoso (no todas las momias llegan a eclosionar) de todas maneras está teniendo impactos en la población plaga. Ahora, el parasitismo como tal controla a la población de áfidos que pertenece solo a esa generación, pero el porcentaje de hembras que eclosionan a partir de un áfido parasitado es el factor que determina qué tan efectivo es el enemigo natural para el control de la plaga en la siguiente generación (Zamorano, 2012).

6.2.3 Proporción de hembras (PH)

La proporción de hembras es muy variable dentro de los himenopteros parasíticos, y esta variación se explica por el control que tiene la madre sobre el sexo de su descendencia, teniendo machos como resultado de huevos no fecundados (fecundación hapodiploide) y hembras de huevos fecundados. Las hembras himenópteras tienen control del ingreso del esperma al huevo, lo que les permite manipular el sexo de su descendencia en respuesta a las condiciones del ambiente donde se encuentran. Esta manipulación se debe principalmente a dos factores: la competencia local por pareja (dependiendo de la estructura poblacional) y a la calidad del hospedero (de hospederos grandes emergen avispas hembras, y de hospederos pequeños avispas machos) (Godfray, 1994). Sin embargo, estudios en Braconidae muestran preferencia de la hembra por áfidos en estadios y con tamaños

específicos en el momento del ataque (3ero y 4to estadio), mas no en la elección de tamaños corporales grandes (Li y Mills, 2004).

Existe una gran cantidad de estudios sobre las respuestas de los organismos ectotermos ante las variaciones del ambiente durante su desarrollo, y todos los estudios muestran un patrón general: los individuos desarrollados a bajas temperaturas crecen relativamente lento pero demoran su crecimiento lo suficiente como para alcanzar tamaños corporales mas grandes cuando adultos a diferencia de los individuos que se desarrollaron a temperaturas más altas. Este efecto es llamado “Regla del Tamaño y la Temperatura” o TSR (por sus siglas en ingles: Temperature Size Rule). Para estos individuos plásticos, el incremento o decremento en la tasa metabólica puede generar un cambio en la inversión de energía en funciones como el desarrollo y la reproducción, y como consecuencia en el comportamiento de forrajeo, en este caso del parasitoide (Le Lann *et al.*, 2011). La asignación del sexo por parte de las avispas parasíticas cumple con una generalidad: las hembras ovipositan huevos machos en hospederos pequeños, y huevos hembras en hospederos grandes (Size advantage hypothesis) (Li y Mills, 2004; Godfray, 1994). Sin embargo, muchos organismos no cumplen con la regla del tamaño versus la temperatura, por lo que es importante realizar más estudios de morfometría en áfidos y avispas para demostrar primero si existe una influencia de la temperatura en los distintos tamaños de los áfidos de cada estadio, y para saber si hay diferencias en la proporción de hembras de las avispas al emerger de hospederos con distintos tamaños. La proporción de hembras de muchas avispas parasíticas se encuentra influenciado por la temperatura, la luminosidad y la humedad relativa (Godfray, 1994). En el presente estudio se obtuvo una media de hembras de 64% en el escenario 1, 57,2 % de hembras en el escenario 2 y 74,8% en el

escenario 3 pero sin diferencias significativas, lo que significa que no existieron diferencias entre tratamientos. Si las poblaciones de áfidos llegan a alcanzar un pico poblacional en el verano, las avispa van a responder a las temperaturas altas teniendo una tasa de sexos que favorezca a la producción de hembras (Godfray, 1994), lo que va a lograr que éstas tengan más descendencia para controlar la plaga en la siguiente generación.

6.2.4 Longevidad (L)

La longevidad está relacionada negativamente con la temperatura (Faroni y García-Mari, 1992). Estudios realizados por Bernal y Gonzales (1997) donde utilizaron a *D. rapae* parasitando a *D. noxia*, sometiéndolos a diferentes temperaturas, muestran como a medida que aumenta la temperatura disminuye la longevidad de la avispa, variando de 28,7 días a 10°C a 6,2 días a 26,7 °C (para hembras). Malina y Praslicka (2008) obtienen también una reducción en la longevidad de *A. ervi* a medida que aumentaba la temperatura, disminuyendo desde 25 días a 15°C, 16,6 días a 20°C, 12,1 días a 25°C hasta 9,5 días a 30°C. Los resultados de la presente investigación concuerdan con lo obtenido en otros estudios, disminuyendo la longevidad a medida que aumenta la temperatura, mostrando una media de 17,1 días en el escenario 1 (17,6°C), 13,1 días en el escenario 2 (19,2°C) y 9,6 días en el escenario 3 (23,3°C). El tiempo de vida de los parasitoides depende directamente de la disposición de comida, hospedero y temperatura (Godfray, 1994). En este estudio las condiciones a las que fueron expuestas las avispa son las mismas: plantas de col de la misma edad con el mismo número de hojas, solución azucarada de la misma concentración y en la misma cantidad una sola vez durante todo el Ensayo 2. Por lo que las diferencias en tiempo de vida se esperan sean únicamente debido a variables ambientales como la

temperatura a la cual estuvieron expuestas durante el Ensayo. Se concluye que si el ensayo es diseñado de otra manera en la que a las avispas se les permita copular y parasitar, el tiempo de vida va a disminuir por lo que se recomienda que se realice el ensayo en distintas condiciones para comparar los resultados.

6.3 CC, Temperatura y Áfidos

Los efectos del CC en los áfidos son complejos. La gran cantidad de estudios realizados muestran diferentes reacciones por parte de las distintas especies, que dependen mucho de la ubicación geográfica. Cocu y colaboradores (2005) mostraron un incremento en la abundancia del áfido *Myzus persicae* en Europa relacionado directamente con el incremento en la temperatura y con la expansión de las plantaciones de su planta hospedera; Hoover y Newman (2004) sugieren un declive en la población del áfido de cereales *Rhopalosiphum padi* en el sur de Gran Bretaña , debido el incremento de emisiones de CO₂ y de temperatura y al decremento en la cantidad de lluvias (la principal razón es la temperatura deletérea de 25°C, sobre la cual aumenta el tiempo de desarrollo y se reducen la fecundidad y la longevidad). Skirvin y colaboradores (1997) predicen veranos más calientes en Gran Bretaña lo que traería como consecuencia un incremento en las poblaciones de coccinélidos lo que a su vez desencadenaría en una reducción de las poblaciones del áfido *Sitovium avenae*. Los estudios mencionados anteriormente fueron realizados en zonas templadas, contaban con conocimiento acerca de las temperaturas óptimas y los límites letales de las especies en cuestión. En el Ecuador no existen estudios sobre óptimos o límites térmicos, lo que hace que sea más difícil predecir las posibles respuestas de los áfidos y sus parasitoides ante el CC. Para realizar este tipo de

investigación es indispensable contar con equipos especializados como cámaras climatizadas donde se puede controlar variables como la temperatura, la humedad relativa, el fotoperiodo, etc. Satar (2004) y Campbell (1974) obtuvieron límites mínimos y máximos térmicos similares para la el áfido ceniciento ($5^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}$) en zonas templadas, donde los veranos tienen temperaturas más altas que las que experimentamos en el trópico. Tomando en cuenta los límites térmicos de Satar y Campbell, existe la posibilidad de que las poblaciones ecuatorianas que se encuentran a temperaturas mayores a los 20°C , con el incremento de temperatura media sobrepasen sus límites térmicos y se vean obligadas a cambiar su distribución en busca de mejores condiciones o a que disminuya considerablemente su desempeño biológico. Sin embargo, hay que tomar en cuenta el potencial de adaptación de los áfidos ante estos cambios, ya que es posible que se desarrollen clones resistentes a temperaturas extremas (Chiu *et al.*, 2011). Es probable que el incremento en la temperatura como consecuencia del cambio climático, tenga efectos positivos en el desarrollo y crecimiento poblacional de organismos poikiloterms como los áfidos (Dixon, 1998), sin embargo otras variables influyen también en la distribución de ésta plaga. Variables climáticas relacionadas con la precipitación son de especial importancia en el caso de los áfidos, ya que las lluvias determinan la existencia de las colonias en el campo (obs. pers), volviendo a las poblaciones escasas cuando las lluvias son fuertes y regulares.

Los modelos de nicho ecológico (MNE) son la principal herramienta para dilucidar los posibles efectos del cambio climático sobre la biodiversidad (Martínez, 2010). Los MNE predicen los rangos geográficos de los organismos en función del ambiente mediante el uso de algoritmos matemáticos, donde se combinan capas climáticas con puntos de

presencia de las especies, esto quiere decir que se predicen las zonas con los requerimientos ecológicos (nicho fundamental) de la especie en estudio (Barragán *et al.*, 2011). Para conocer cómo el CC afectará a las especies, los investigadores modelan el nicho fundamental de la especie y luego identifican la localización de este nicho en algún punto en el futuro. Se pueden generar mapas de aptitud de hábitat en base a distintos métodos que se diferencian entre sí por la calidad y tipo de datos (Liger, 2010). Entre estos modelos se encuentran los modelos correlativos en el que se incluye sistema de modelamiento de máxima entropía (MAXENT) y los modelos fisiológicos. Los modelos fisiológicos a diferencia de los modelos correlativos son específicos de cada especie, ya que en los modelos fisiológicos la distribución de las especies se encuentra definida por la información de la fisiología del organismo (Hijmans *et al.*, 2005). Información sobre los registros de presencia de la especie no es necesaria para realizar el modelo, por lo que éste tipo de modelo es considerado ideal, ya que la distribución potencial es el resultado de una relación entre el clima y la fisiología de la especie (Hijmans y Graham, 2006). El limitante para realizar este tipo de modelos es que muchas veces los datos fisiológicos de las especies no se encuentran disponibles (Hijmans y Graham, 2006). La relación entre la temperatura y el tiempo de desarrollo es de mucha utilidad en la construcción de modelos fisiológicos que nos permiten conocer la distribución potencial de una especie (Abril *et al.*, 2008). Este tipo de estudios necesitan datos bajo temperaturas constantes para poder ser calibrados con precisión (Blank *et al.* 2000). Liger (2010), realizó mapas de riesgo predictivos utilizando modelos correlativos (MAXENT) y modelos fisiológicos en tres especies de polillas de la papa, y analizó cuál de los dos tipos de modelos tenía una mejor aproximación con la realidad. Como resultado de la investigación el modelo MAXENT sobre estimaba el área

de distribución en comparación al modelo fisiológico, pero variables que no fueron tomadas en cuenta en el modelo fisiológico (e.g. precipitación) pueden cambiar la distribución de las especies, sin embargo los dos modelos se acercaban a la realidad cuando se compararon con los datos obtenidos en el campo. En el proyecto “Cambio Climático y Plagas Agrícolas” (Barragán *et al.*, 2011), se identificaron regiones potencialmente óptimas para el establecimiento del áfido ceniciento de la col, *Brevicoryne brassicae*, en el Ecuador. Para esto se georeferenció la distribución del áfido ceniciento en el Ecuador, con los datos de presencia obtenidos en el campo y en cuatro hospederos (*Brassica oleraceae* (col), *Brassica napus* (nabo), *Capsella bursa pastoris* (bolsa de pastor) y *Raphanus sativus* (rábano)). Como resultado se obtuvieron *mapas de riesgo*, llamados así por trabajar con especies plaga, donde se muestran las zonas donde es más probable que se establezca la plaga. El primer mapa muestra la distribución potencial actual de *B. brassicae* y el segundo mapa muestra la distribución potencial de *B. brassicae* en el 2080 bajo el escenario A2. El escenario A2 se caracteriza por un crecimiento poblacional rápido, desarrollo tecnológico y económico lento además de mostrar las mayores emisiones de gases de efecto invernadero (IPCC, 2000) (Anexo 1) (IPCC, 2000). Según este estudio la distribución potencial actual del áfido ceniciento se encuentra a lo largo de todo el callejón interandino en las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua y Chimborazo y con menos área en las provincias de Bolívar, Cañar, Azuay, Loja y Zamora (Anexo 12); mientras que el mapa proyectado a futuro para el año 2080 bajo el escenario A2 muestra una reducción en los nichos disponibles en las provincias de Loja, Azuay, Cañar y Bolívar, concentrando el área de distribución al este de Cotopaxi, al este de Pichincha, cubriendo a Imbabura y al sur de Carchi (Anexo 13) En general, la reducción en el área de distribución puede deberse a una

posible disminución de nichos disponibles para las plantas hospederas (*B. brassicae* es especialista de las crucíferas), o al aumento mismo de temperatura que afecta al desempeño de los áfidos al sobrepasar los límites térmicos de la especie. La distribución de las dos especies (hospedero-parasitoide) dependerá de sus capacidades de adaptación y de sus tolerancias térmicas (desconocidas para poblaciones ecuatorianas). Conocer las temperaturas óptimas y letales (mínimas y máximas) es de gran ayuda para predecir la distribución potencial y abundancia de un insecto (Campbell *et al.*, 1974), ya que éstos no podrán ocupar lugares donde la temperatura exceda estos límites, y tendrán un mejor desempeño, en cuanto a crecimiento poblacional y número de generaciones, en los lugares con temperaturas cercanas a sus óptimos térmicos. En algunos sistemas tróficos los óptimos térmicos son distintos para las distintas especies que lo componen, como por ejemplo en el sistema conformado por el parasitoide *Aphidius colemani* y el áfido *Aphis gossypii*, las temperaturas óptimas son de 30 y 25° C para el parasitoide y el áfido respectivamente (Zamani *et al.*, 2007). *D. rapae* parasita alrededor de 14 especies de áfidos, entre las que se encuentra *Myzus persicae*, un áfido generalista ampliamente distribuido en el Ecuador, por lo que puede esperarse que si las poblaciones del áfido de la col se restringen en áreas de difícil acceso o con condiciones no favorables para el parasitoide, éste puede parasitar a otras especies que tienen como hospederos a plantas no solo de cultivos. Sin embargo, el control biológico natural e inducido de *B. brassicae* puede verse afectado por la posible ausencia de uno de sus principales enemigos naturales.

En el Ecuador podemos encontrar una gran variedad de regímenes climáticos, lo que tiene un gran efecto en la diversidad. Al encontrarse en la línea ecuatorial la variación del día cambia poco durante el año, teniendo 12 horas de luz solar. De un mes a otro la temperatura promedio en todo el Ecuador es relativamente constante. Sin embargo, las fluctuaciones diarias de temperatura son mucho más drásticas, convirtiendo a la variación de temperatura en un periodo de 24 horas mucho más importante que la variación de temperatura media anual. La fluctuación diaria de temperatura en las regiones medias y superiores de los andes es de 20°C o más (Jorgensen y León-Yáñez, 1999). Por lo que estos cambios son de suma importancia para las especies que se distribuyen a lo largo del callejón interandino como los áfidos y las avispas parasitoides. Las fluctuaciones diarias de temperatura serían entonces el factor principal que influye en la biología de las especies del presente estudio al encontrarse en el Ecuador.

7. CONCLUSIONES

-El incremento en la temperatura media influye en la biología *Brevicoryne brassicae* y en la de su parasitoide *Diaeretiella rapae*

-Si la temperatura media incrementa, se predice que:

- El TD de áfidos y parasitoides va a disminuir.

- La F de los áfidos y el %P de las avispas van a aumentar, por lo que se espera las colonias de áfidos sean controladas por los parasitoides

- La proporción de hembras no mostró diferencias significativas entre los tres escenarios. Sin embargo, el número de hembras era mayor en el escenario 3, por lo que se espera que a medida que aumente la temperatura el número de hembras también aumente y de ésta forma se puedan controlar con éxito las colonias de áfidos.

- La L en áfidos y avispas disminuye a medida que incrementa le temperatura.

- Los modelos de CC son herramientas indispensables para el estudio de las consecuencias del CC en los organismos.

8. RECOMENDACIONES

- Realizar ensayos bajo temperaturas constantes durante el desarrollo del áfido de la col y de su parasitoide. Este tipo de estudios se pueden realizar únicamente en cuartos o cámaras climatizadas, donde no solo se puede controlar la temperatura, sino también variables como la humedad, luminosidad, fotoperiodo, etc.
- Realizar modelos fisiológicos tanto en áfidos como en sus parasitoides para poder comparar los resultados con los obtenidos en el modelo MAXENT.
- Tomar medidas del tamaño corporal de los áfidos y de los parasitoides durante distintas etapas de su desarrollo y en distintas condiciones de temperatura.
- Realizar el mismo ensayo utilizando dos especies de áfidos para conocer los efectos de la temperatura en la interacción de las dos especies.
- Realizar ensayos utilizando el cuarto nivel trófico (hiperparasitoides) para conocer las respuestas del nuevo sistema ante el incremento en la temperatura.

9. GLOSARIO

Aclimatación: La adaptación de las respuestas fisiológicas de un organismo a las condiciones ambientales existentes a largo plazo. Es un fenómeno que se da en el campo y en el laboratorio.

Cambio climático: Modificación del clima con respecto al historial climático a una escala global o regional. Tales cambios se producen a muy diversas escalas de tiempo y sobre todos los parámetros meteorológicos: temperatura, presión atmosférica, precipitaciones, nubosidad, etc. En teoría, son debidos tanto a causas naturales como antropogénicas

Colonia: Grupo de individuos, además de las parejas que se aparean, que crían a la descendencia de una manera cooperativa y pueden construir un nido.

Control biológico: la acción de parásitos, predadores, o patógenos para mantener las densidades poblacionales de otros organismos en un nivel más bajo del nivel normal. Puede ocurrir naturalmente en el campo o como resultado de la manipulación o introducción de agentes de control biológico.

Ectotermos: organismo que utiliza energía del ambiente en lugar de calor metabólico para regular su temperatura corporal.

Fundatríz: hembra proveniente de un huevo fecundado que se reproduce partenogenéticamente.

Hiperparasitoide: Un insecto parasitoide que parasita a otro parasitoide. Un parasitoide secundario.

Idiobionte: Parasitoide que inmoviliza o paraliza a sus hospederos después de la oviposición, evitando el desarrollo futuro del hospedero. La larva de estos parasitoides normalmente se desarrolla externamente, como ectoparásitos

Koinobionte: Parasitoide que no perjudica inmediatamente a su hospedero luego de la oviposición, y el desarrollo del hospedero continúa. Son típicamente endoparasitoides.

Nicho: Espacio n dimensional donde cada dimensión represente la respuesta de la especie ante la variación de una determinada variable.

Ninfa: El estadio inmaduro de los insectos con metamorfosis incompleta (desarrollo hemimetabolo) las ninfas usualmente se parecen a las formas adultas excepto por las alas no desarrolladas.

Ovipositor: La estructura, usualmente en forma de tubo, que se usa para depositar huevos.

Parasitoide: Un parásito que mata a su hospedero cerca del tiempo en el que el parásito ha completado su desarrollo.

Partenogénesis: desarrollo de un individuo a partir de un gameto femenino no fecundado

Plaga: Animales, plantas y microorganismos que tienen un efecto negativo sobre la producción agrícola

10. LITERATURA CITADA

- Abril, S., Oliveras, J., Gómez, C. 2008. Effect of temperature on the development and survival of the Argentine ant, *Linepithema humile*. Journal of Insects Science 10: 1-13.
- Angilletta, M.J. 2009. Thermal Adaptation: A Theoretical and Empirical Synthesis. Oxford. University Press.
- Arnell, N.W., Livermore, M.J.L., Kovats, S., Levy, P.E., Nicholls, R., Parry, M.L., S.R. Gaffin. 2004. Climate and Socio- economic scenarios for global- scale climate change impacts assessments: characterising the SRES storylines. Global Environmental Change, 14:3-20.
- Asin, L., Pons, X. 2001. Effect of High Temperature on the Growth and Reproduction of Corn Aphids (Homoptera: Aphididae) and Implications for their Population Dynamics on the Northeastern Iberian Peninsula. Environmental Entomology, 30(6): 1127-1134.
- Awmack, C.S., Harrington, R., Leather, S.R. 1997. Host plant effects on the performance of the aphid *Aulacorthum solani* (Kalt.)(Homoptera: Aphididae) at ambient and elevated CO₂. Global Changing Biology, 3:545-549.
- Barragán, A.R., Menéndez, P., Terán, P., Moreno, E., Mora, P., Zamorano, A. 2011. Cambio climático y plagas agrícolas. Informe final proyecto SENEYCIT.

- Bernal, J. y González, D. 1993. Temperature requirements of four parasites of the Russian wheat aphid *Diuraphis noxia*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 69:173-182.
- Bernal, J. y González, D. 1995. Thermal requirements of *Diaeretiella rapae* (M'Intosh) on Russian wheat aphid (*Diuraphis noxia* Mordwilko, Hom., Aphididae) hosts. *Applied Entomology* ,119:273-277
- Bernal, J. y González, D. 1997. Reproduction of *Diaeretiella rapae* on Russian wheat aphid hosts at different temperatures. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 82: 159-166
- Bezemer, T.M., Jones, T.H., Knight, K.J. 1998. Long term effects of elevated CO₂ and temperature on populations of the peach potato aphid *Myzus persicae* and its parasitoid *Aphidius matricariae*. *Oecologia*, 116:128-135.
- Bezemer, T.M., Knight, K.J., Newington, J.E., Jones, T.H. 1999. How general are aphid responses to elevated atmospheric CO₂? *Annals of Entomological Society of America*, 92: 724-730.
- Bonebrake, T., Deutsch, C. 2012. Climate heterogeneity modulates impact of warming on tropical insects. *Ecology*, 93 (3): 449–455.
- Blank RH, Gill GSC, Kelly JM. 2000. Development and mortality of greedy scale (Homoptera: Diaspididae) at constant temperatures. *Environmental Entomology*, 29:934-942.
- Brakefield, P.M., Mazzota, V. 1995. Matching field and laboratory environments: effects of neglecting daily temperature variation on insect's reaction norms. *Journal of Evolutionary Biology*, 8: 559-573.

- Campbell, A, Frazer, B.D., Gilbert, N., Gutierrez, A.P., Mackauer, M. 1974. Temperature requirements of some aphids and their parasites. *Journal of Applied Ecology*, 11: 431–438.
- Chiu, M.C., Chen, Y.H. y Kuo, M.H. 2011. The effect of experimental warming on a low-laphid, *Myzus varians*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 142: 216–222.
- Cocu, N., Conrad, K., Harrington, R., Rounsevell, M.D.A. 2005. Analysis of spatial patterns at a geographical scale over north-western Europe from point-referenced aphid count data. *Bulletin of Entomological Research*, 95:47-56.
- Cole, R. 1997. The relative importance of glucosinolates and amino acids to the development of two aphid pests *Brevicoryne brassicae* and *Myzus persicae* on wild and cultivated Brassica species. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 85:121–133.
- Coloma, L.A., Duellman, W.E., Almendariz, A., Ron, S.R., Terán- Valdéz, A., Guayasamin, J.M. 2010. Five new (extinct?) species of *Atelopus* (Anura: Bufonidae) from Andean Colombia, Ecuador, and Peru. *Zootaxa*, 2574: 1–54.
- Coope, G.R. 1995. *Insect faunas in ice age environments: why so little extinction?*. Oxford University Press, Oxford.
- CORPEI. 2010. Corporación de Promoción de Exportaciones e Inversiones. Disponible en línea en <http://www.ecuadorexporta.org> (consultado en Enero del 2013)
- Crespo, V. 2012. Global changes and distribution modeling of invasive insect pests in the tropical Andes. Tesis de Doctorado. Paris VI, Paris, Francia.

- Crooks, K.R. 2002. Relative sensitivities of mammalian carnivores to habitat fragmentation. *Conservation Biology*, 16: 488-502
- Davis, J.A., Radcliffe, E. B., Ragsdale, D.W. 2006. Effects of High and Fluctuating Temperatures on *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) *Environmental Entomology*, 35 (6): 1461–1468.
- Deutsch, C.A, Tewksbury JJ, Huey RB, Sheldon KS, Ghalambor CK . 2008. Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 105: 6668–6672.
- Dixon, A.F. 1998. *Aphid Ecology: an optimization approach*. Second edition. Chapman and Hall. Great Britain.
- Ellis, P.J., Pink, D.L., Phelps, K.T., Jukes, P.B., Breeds, S., Pinnegar, A. 1998. Evaluation of a core collection of *Brassica oleraceae* accesions for resistance to *Brevicoryne brassicae*, the cabbage aphid. *Euphytica*, 103:149–160.
- Fahnestock, J.T., Povirk, K.L., Welker, J.M. 2000. Ecological significance of litter redistribution by wind and snow in arctic landscapes. *Ecography*, 23:623-631
- Faroni, L.R.A., García- Mari, F. 1992. Influencia de la temperatura sobre los parámetros biológicos de *Rhyzopertha dominica* (F.). *Boletín de Sanidad vegetal Plagas*, 18:455-467
- Fernández, C., Nentwig, W. 1997. Quality control of the parasitoid *Aphidius colemani* (Hym., Aphidiidae) used for biological control in greenhouses. *Journal of Applied Entomology*, 121: 447-456.

- Flynn, D.F.B., Sudderth, E.A., Bazzaz, F.A. 2006. Effects of aphid herbivory on biomass and leaf level physiology of *Solanum dulcamara* under elevated temperature and CO₂. *Environmental and Experimental Botany*, 56: 10-18.
- Francou, B. 2007. Evidencias del retroceso desde 30 años - Contexto climático del retroceso. Efecto sobre el recurso agua. Un observatorio para estudiar el retroceso de los glaciares en los Andes Centrales. IRD.
- Futuyma, D. 2005. *Evolution*, Sinauer Associates, Massachusetts, U.S.A.
- Guillespie, D.R., Nasreen, A., Moffat, C.E., Clarke, P. y Roitberg, B.D. 2012. Effects of simulated heat waves on an experimental community of pepper plants, green peach aphids and two parasitoid species. *Oikos*, 121: 149–159.
- Godfray, H.C.J., Hassell, M.P., Holt, R.D. 1994. The population dynamics consequences of phenological asynchrony between parasitoids and their hosts. *Journal of Animal Ecology*, 63:1-10.
- Godfray, H.C.J., 1994. *Parasitoids: Behavioral and Evolutionary Ecology*. Princeton University Press. USA.
- Hance, T., van Baaren, J., Vernon, P., Boivin, G. 2007. Impact of Extreme Temperatures on Parasitoids in a Climate Change Perspective. *Annual Review of Entomology*, 52: 107–126.
- Harrington, R., Fleming, R.A., Woiwod, I.P. 2001. Climate change impacts on insects management and conservation in temperate regions: can they be predicted?. *Agricultural and Forest Meteorology*, 3:233-240

- Heie, O.E., Wegierek, P. 1998. A list of fossil aphids (Homoptera, Aphididae). *Ann Upper Silesian Museum Entomology*, 8:159-192.
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G. y Jarvis, A. 2005. Very High Resolution Interpolated Climate Surfaces for Global Land Areas. *International Journal of Climatology*, 25:1965–1978.
- Hijmans, R.J., Graham,C. 2006. The ability of climate envelope Models to predict the effect of climate change on species distributions. *Global Change Biology*, 12:1-10.
- Hoover, J.K., Newman,J.A. 2004. Tritrophic interactions in the context of climate change: a model of grasses, cereal aphids and their parasitoids. *Global Change Biology*, 10: 1197-1208.
- Houghton,J.T., Ding.Y., Griggs,D.J., Noguier,N., van der Linden,P.J., Xiaosu,D., Maskell, A., Johnson,C.A. 2001. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press Cambridge. *Climate change 2001: The scientific basis*.
- Hughes, R.D. 1963. Population dynamics of the cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* (L.). *Journal of Animal Ecology*, 32: 393-425.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático) 2000. Informe especial del IPCC. Escenarios de Emisiones. Resumen para responsables de políticas. Grupo de Trabajo III.

- IPCC. 2001. Summary for policy makers. Report of working group I of the intergovernmental panel on climate change. Intergovernmental Panel of Climate Change. <http://www.ipcc.ch/pub/spm22-01.pdf>
- IPCC-TGCIA. 2006. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press Cambridge 75–105.
- Jørgensen, P.M., León-Yáñez, S. 1999. Catalogue of the vascular plants of Ecuador. Monogr. Syst. Bot. Missouri Bot. Gard. 75:1–1182.
- Kindlmann, P., Dixon, A.F.G., Michaud, J.P., 2010. Aphid Biodiversity under Environmental Change: Patterns and Processes. Springer, London.
- Le Lann, C., Wardziak, T., van Baaren, J., van Alphen, J.M. 2011. Thermal plasticity of metabolic rates linked to life-history traits and foraging behaviour in a parasitic wasp. *Functional Ecology*, 25:641-651.
- Li, B., Mills, N. 2004. The influence of temperature on size as an indicator of host quality for the development of a solitary koinobiont parasitoid. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 110: 249-253.
- Liger, M.B. 2010. Elaboración de mapas predictivos de riesgo de infestación de tres especies de polillas de la papa (Lepidóptera: Gelechiidae). Tesis de Licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.

- Malina, R., Praslicka, J. 2008. Effect of Temperature on the Development Rate, Longevity and Parasitism of *Aphidius ervi* Haliday (Hymenoptera: Aphidiidae). *Plant Protection Science*, 44 (1): 19-24.
- Martínez, C. 2010. Modificación espacial de los ecosistemas remanentes de los Andes de Ecuador por efecto del cambio climático. Tesis de Maestría, Universidad central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Mason, P.G., Hopper, K.R. 1997. Temperature dependence in locomotion of the parasitoid *Aphelinus asychis* (Hymenoptera: Aphelinidae) from geographical regions with different climates. *Environmental Entomology*, 26:1416-1423.
- Moret, P. 2005. Los coleópteros Carabidae del páramo en los Andes del Ecuador. Sistemática, ecología y biogeografía. Museo de Zoología, Centro de Biodiversidad y Ambiente, Escuela de Biología. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Grupo Editoriale Il Capitello, Italia.
- Muller, C. B., Adriaanse, C.T., Belshaw, R. y Godfray, C.J. 1999. The Structure of an Aphid-Parasitoid Community. *Journal of Animal Ecology*, 68: 346–370.
- Munson, M.A., Baumann, P., Clark, M.A. 1991. Evidence for the establishment of aphid eubacterium endosymbiosis in an ancestor of four aphid families. *Journal of Bacteriology*, 117: 6321-6324
- Newman, J.A., Gibson, D.J., Hickman, E., Lorenz, M., Adams, E., Bybee, L., Thompson, R. 1999. Elevated carbon dioxide results in smaller populations of the bird cherry-oat aphid *Rhopalosiphum padi*. *Ecological Entomology*, 24: 486-489.

- Ortego, J. 2006. Actualización de la lista de áfidos (Hemiptera: Aphididae) de Jujuy y Salta. Registro de *Cinara cupressi* (Buckton). Revista de Investigaciones Agropecuarias, 35: 107–120.
- Parmesan, C., 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. Annual Review of Ecology, Evolution and Systematic, 37: 637– 669.
- Puillandre, N., Dupas, S., Dangles, O., Zeddani, J.L., Capdevielle- Dulac, Barbin, K., Torres- Leguisamo, M., Silvaine, J.F. 2008. Genetic bottleneck in invasive species: the potato tuber moth adds to the list. Biological Invasions, 10: 319-333.
- van der Putten, W.H., de Ruiter, P.C., Bezemer, T.M., Harvey, J.A., Wassen, M., Wolter, V. 2004. Trophic interactions in a changing world. Basic and Applied Ecology, 5:487-494.
- Qayyum, A. 2000. Comparison of some fitness parameters of two aphid parasitoids *Diaeretiella rapae* (McIntosh) and *Aphidius colemani* (Viereck) (Braconidae: Hymenoptera). Pakistan J. Agricultural Research, 16(2): 157-162.
- Reed, H.C., Tan, S.H., Haapanen, K., Killmon, K., Reed, D.K., Elliott, N.C. 1994. Olfactory responses of the parasitoid *Diaeretiella rapae*, (Hymenoptera : Aphidiinae) to odor of plants, aphid, and plant – aphid complexes. Journal of Chemical Ecology, 4:407-418.
- Roux, O., Le Lann, C., van Alphen, J.J.M., van Baaren, J. 2010. How does heat shock affect the life history traits of adults and progeny of the aphid parasitoid *Aphidius avenae*. Bulletin of Entomological Research, 100:543–549.

- Satar, S., Kersting, U., Ulusoy, M. R. 2004. Temperature dependent life history traits of *Brevicoryne brassicae* (L.) on white cabbage. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 29: 341- 346.
- Satar, S., Kersting, U., Uygun, N. 2008. Effect of temperature on population parameters of *Aphis Gossypii* Glover and *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) on pepper. Journal of Plant Diseases and Protection, 115:69-74.
- Skirvin, D.J., Perry, J.N., Harrington, R. 1997. The effect of climate change on aphid-coccinellid interaction. Global Change Biology, 3:1-11.
- Terán, P. G. 2011. Influencia de la planta hospedera sobre la morfología y algunos aspectos fisiológicos del áfido ceniciento de la col *Brevicoryne brassicae* (Hemiptera: Aphididae). Tesis de Licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Thomas, M.B., Blandford, S. 2003. Thermal biology on insect parasite interactions Trends in Ecology and Evolution, 18:344-350.
- Van Driesche, R. G., Hoddle, M.S., Center, T.D. 2007. Control de Plagas y Malezas por Enemigos Naturales.
- Wang, J.J., Tsai, J.H. 2000. Effect of temperature on the biology of *Aphis spiraecola* (Homoptera: Aphididae). Annal of the Entomological Society of America, 93(4):847-883.

Zamani, A.A., Talebi, A., Fathipour, Y. 2007. Effect of temperatura on life history on *Aphidius colemani* and *Aphidius matricariae* (Hymenoptera: Braconidae), two parasitoids of *Aphis gossypii* and *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae). *Environmental Entomology*, 36: 263-271.

Zamorano, A.N. 2012. Influencia de la planta hospedera del áfido ceniciento de la col *Brevicoryne brassicae* en el desempeño del parasitoide *Diaeretiella rapae*. Tesis de Licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.

11. FIGURAS

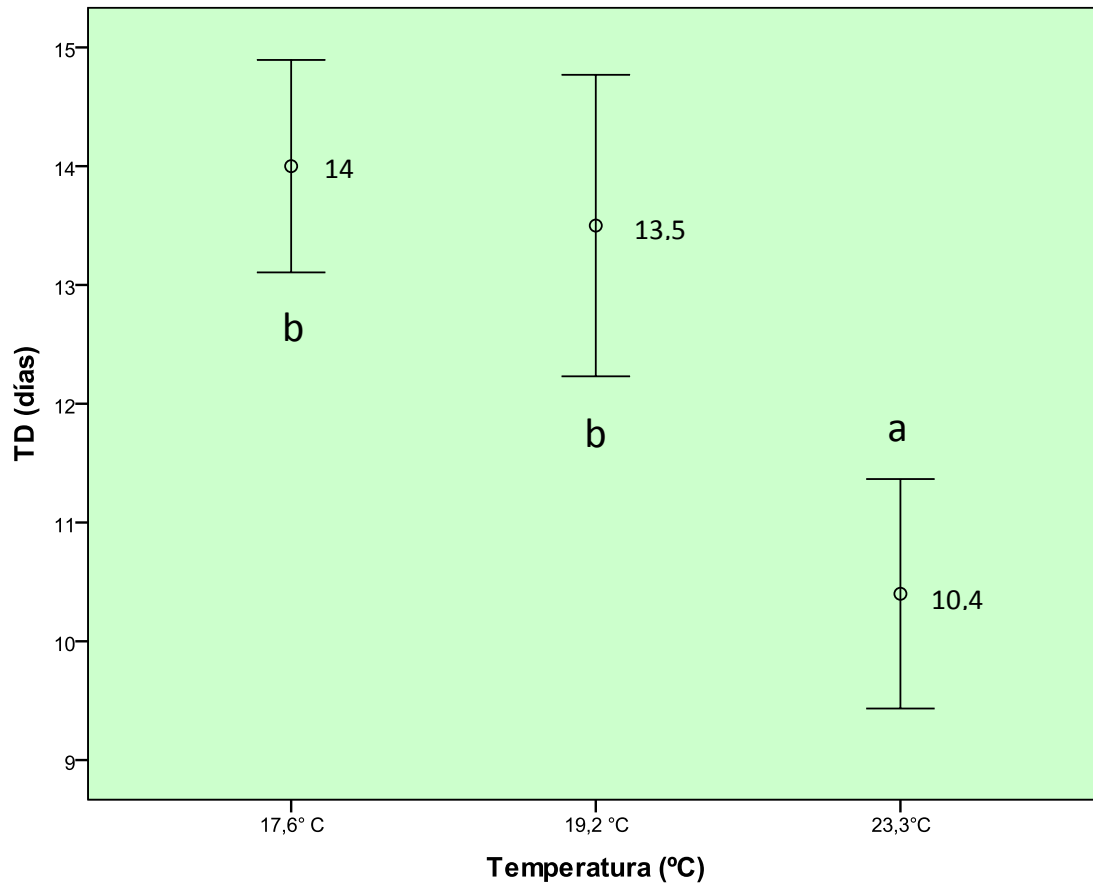


Figura 1. Diferencia de las medias del tiempo de desarrollo (TD) del áfido *B. brassicae* entre los tres escenarios de temperatura, escenario 1 (17,6°C), escenario 2 (19,2°C), escenario 3 (23,3°C) Gráfico de barras de error. La longitud de las barras de error indican los errores típicos en cada tratamiento. Las letras indican los subconjuntos generados por la prueba de significación de Tuckey.

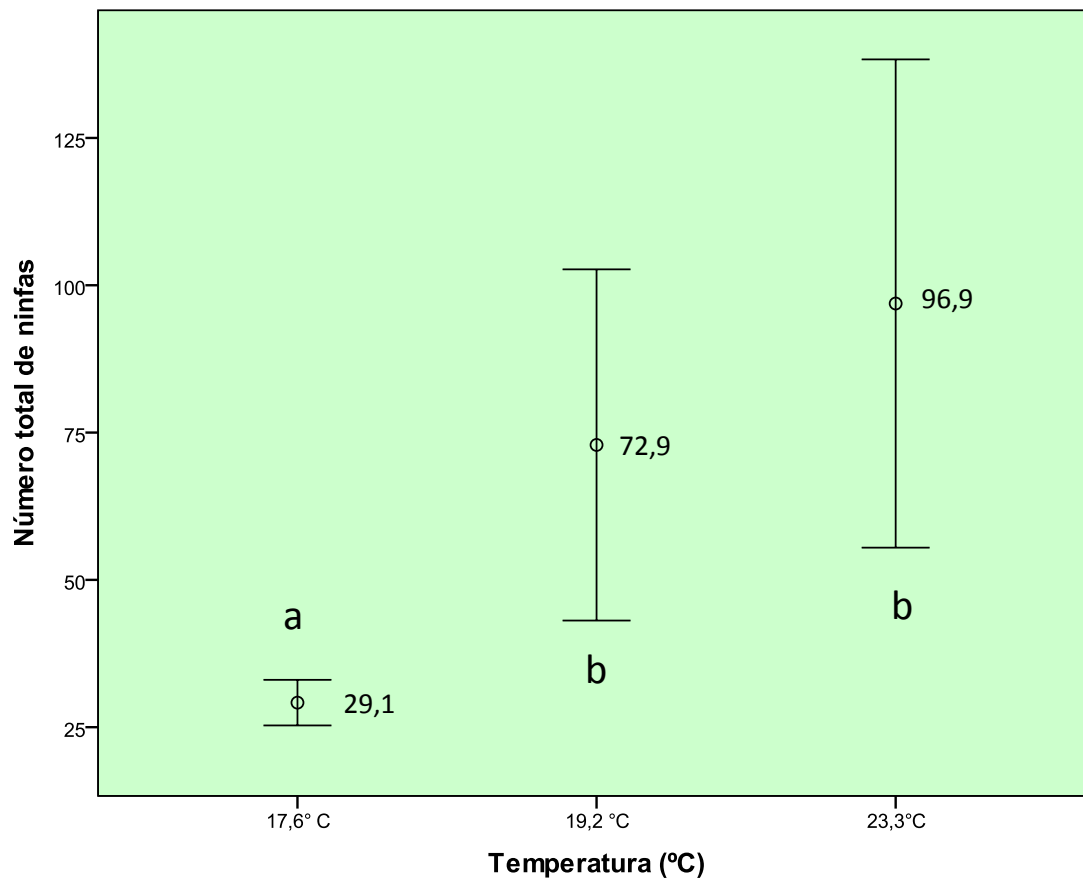


Figura 2. Diferencia de las medias de la fecundidad (F) del áfido *B. brassicae* entre los tres escenarios de temperatura, escenario 1 (17,6°C), escenario 2 (19,2°C), escenario 3 (23,3°C) Gráfico de barras de error. La longitud de las barras de error indican la cantidad de errores típicos en cada tratamiento. Las letras indican los subconjuntos generados por la prueba de significación de Tuckey.

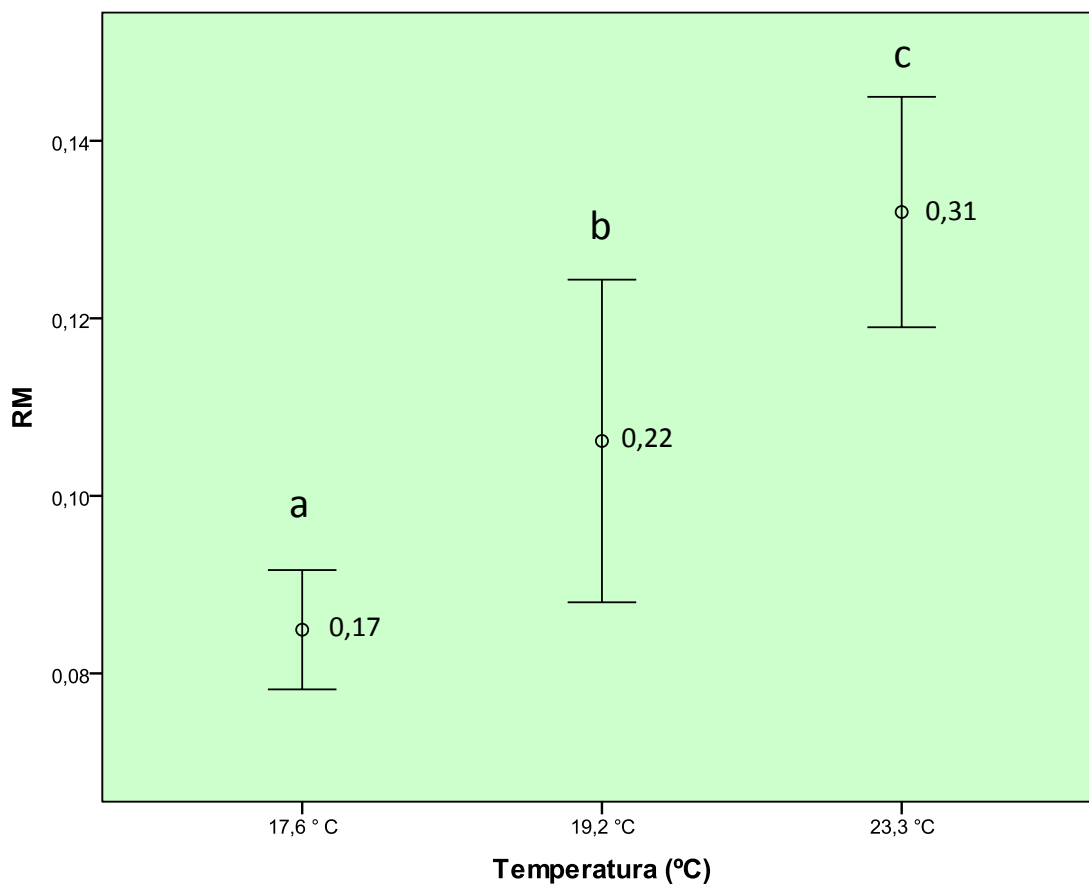


Figura 3. Diferencia de las medias de los valores de la tasa intrínseca de crecimiento poblacional (rm) del áfido *B. brassicae* entre los tres escenarios de temperatura; escenario 1 (17,6°C), escenario 2 (19,2°C), escenario 3 (23,3°C). Gráfico de barras de error. La longitud de las barras de error indican la cantidad de errores típicos en cada tratamiento. Las letras indican los subconjuntos generados por la prueba de significación de Tuckey.

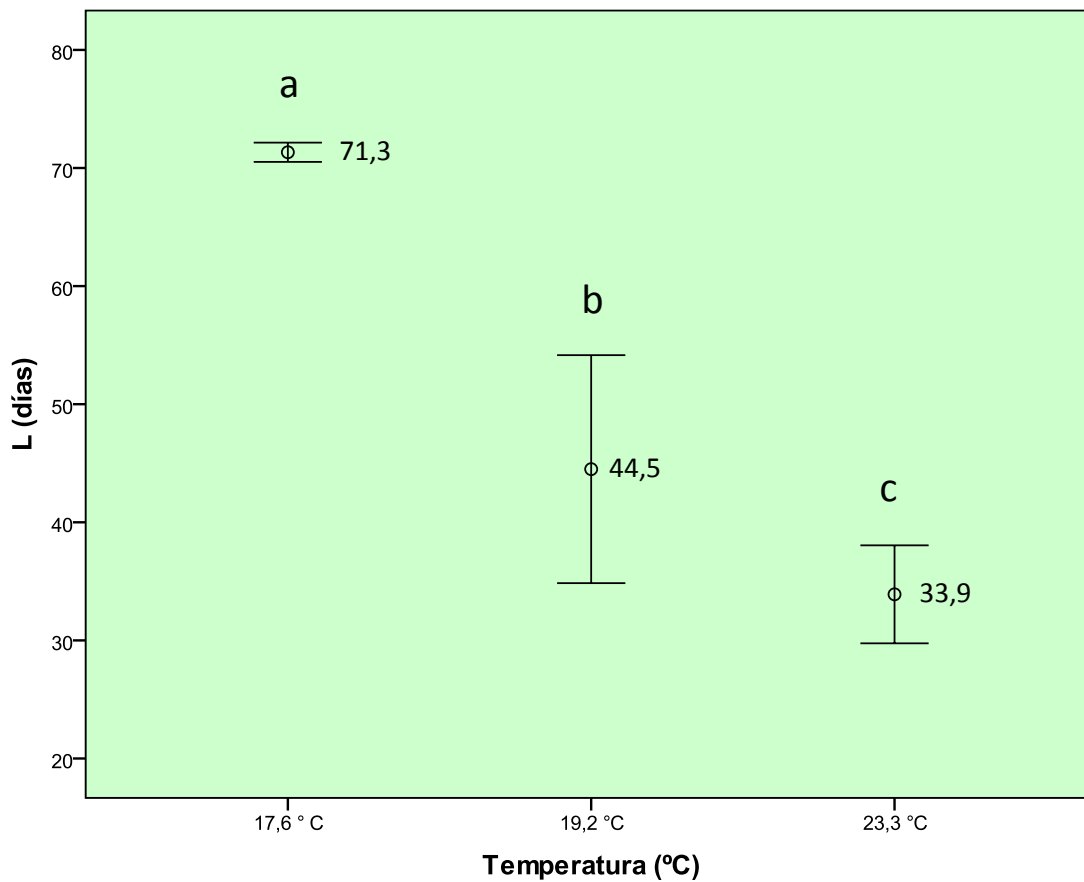


Figura 4. Diferencia de las medias de la longevidad (L) del áfido *B. brassicae* entre los tres escenarios de temperatura; escenario 1 (17,6°C), escenario 2(19,2°C), escenario 3 (23,3°C). Gráfico de barras de error. La longitud de las barras de error indican la cantidad de errores típicos en cada tratamiento. Las letras indican los subconjuntos generados por la prueba de significación de Tuckey.

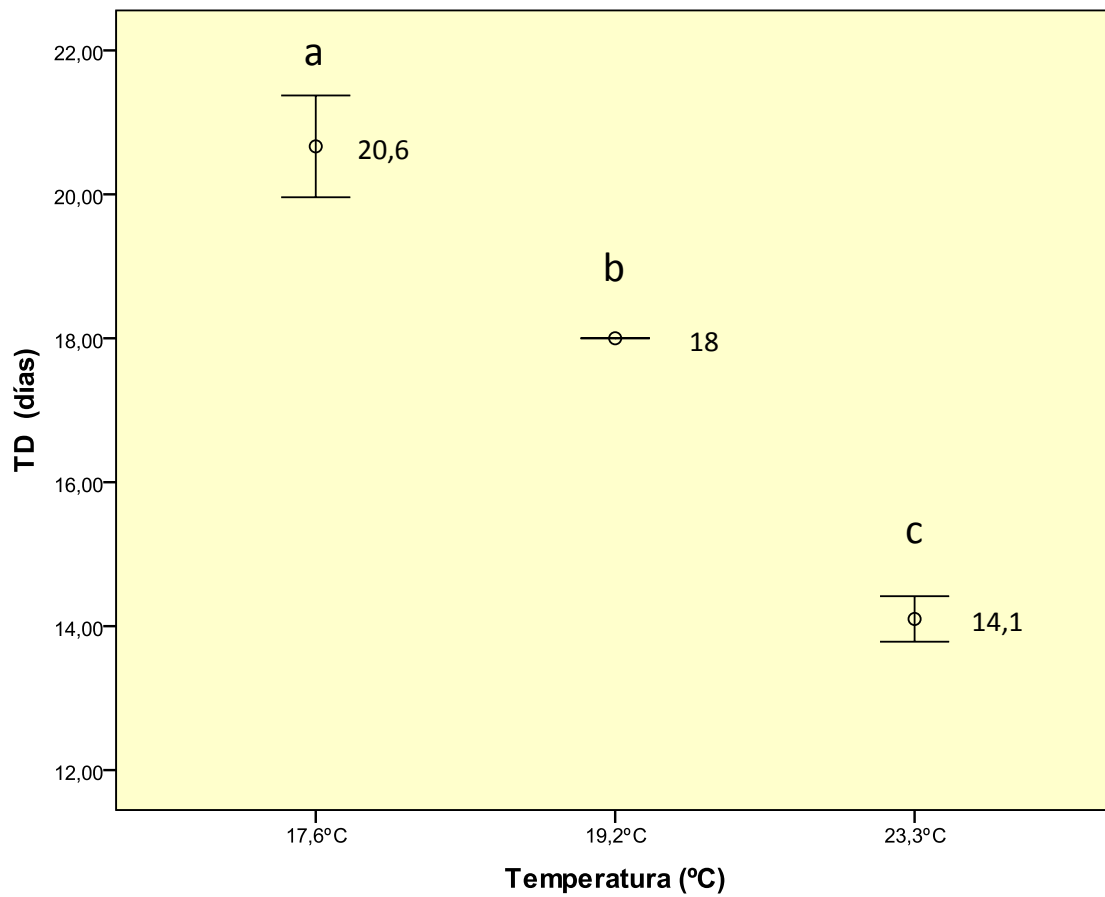


Figura 5. Diferencia de las medias del tiempo de desarrollo (TD) de la avispa parasitoide *D. rapae* entre los tres escenarios de temperatura; escenario 1 (17,6°C), escenario 2(19,2°C), escenario 3 (23,3°C). Gráfico de barras de error. La longitud de las barras de error indican la cantidad de errores típicos en cada tratamiento. Las letras indican los subconjuntos generados por la prueba de significación de Tuckey.

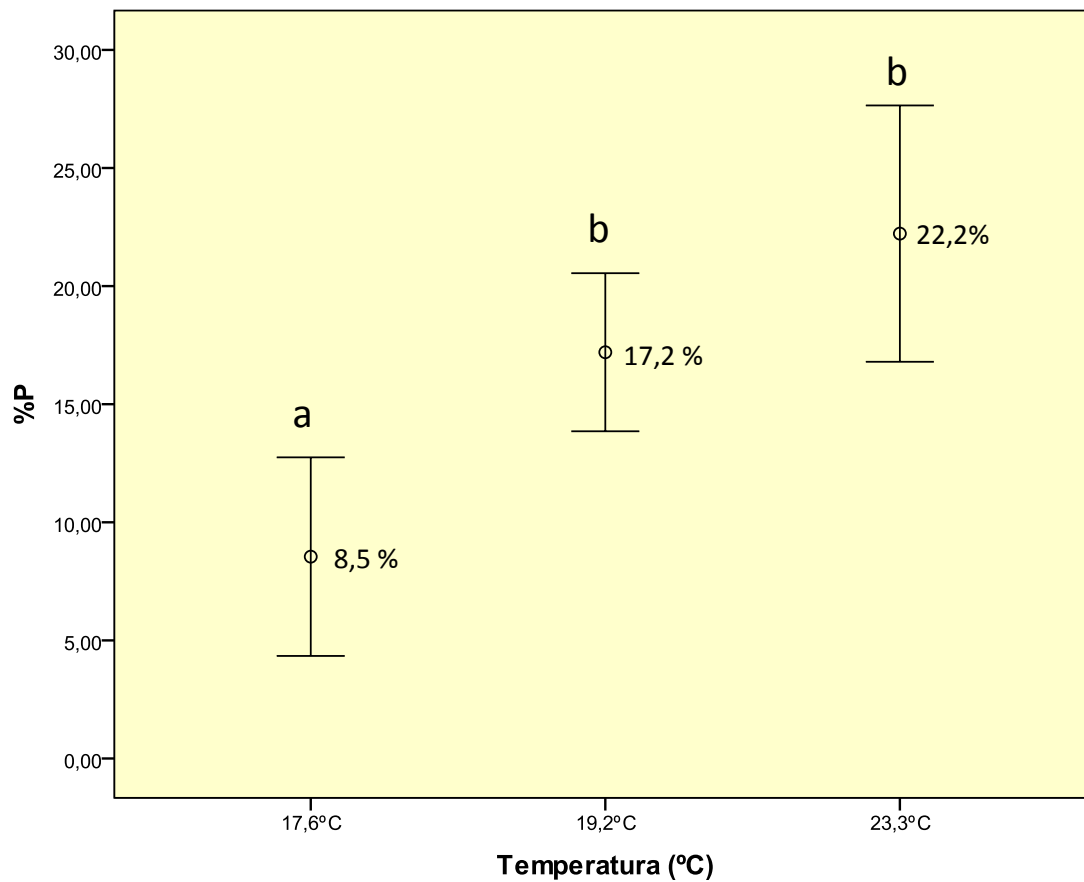


Figura 6. Diferencia de las medias del porcentaje de parasitismo (%P) de la avispa parasitoide *D. rapae* entre los tres escenarios de temperatura, escenario 1 (17,6°C), escenario 2 (19,2°C), escenario 3 (23,3°C). Gráfico de barras de error. La longitud de las barras de error indican la cantidad de errores típicos en cada tratamiento. Las letras indican los subconjuntos generados por la prueba de significación de Tuckey.

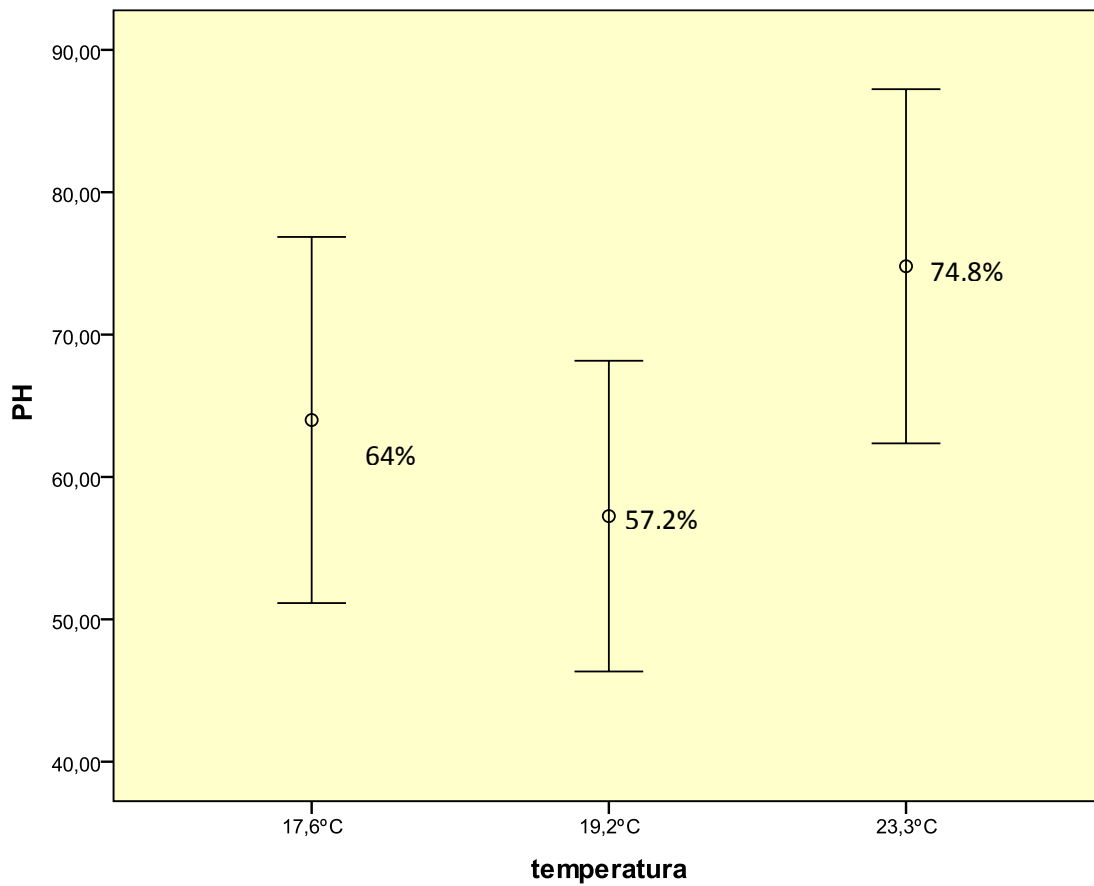


Figura 7. Diferencia de las medias de la proporción de hembras (PH) de la avispa parasitoide *D. rapae* entre los tres escenarios de temperatura; escenario 1 (17,6°C), escenario 2 (19,2°C), escenario 3 (23,3°). Gráfico de barras de error. La longitud de las barras de error indican la cantidad de errores típicos en cada tratamiento.

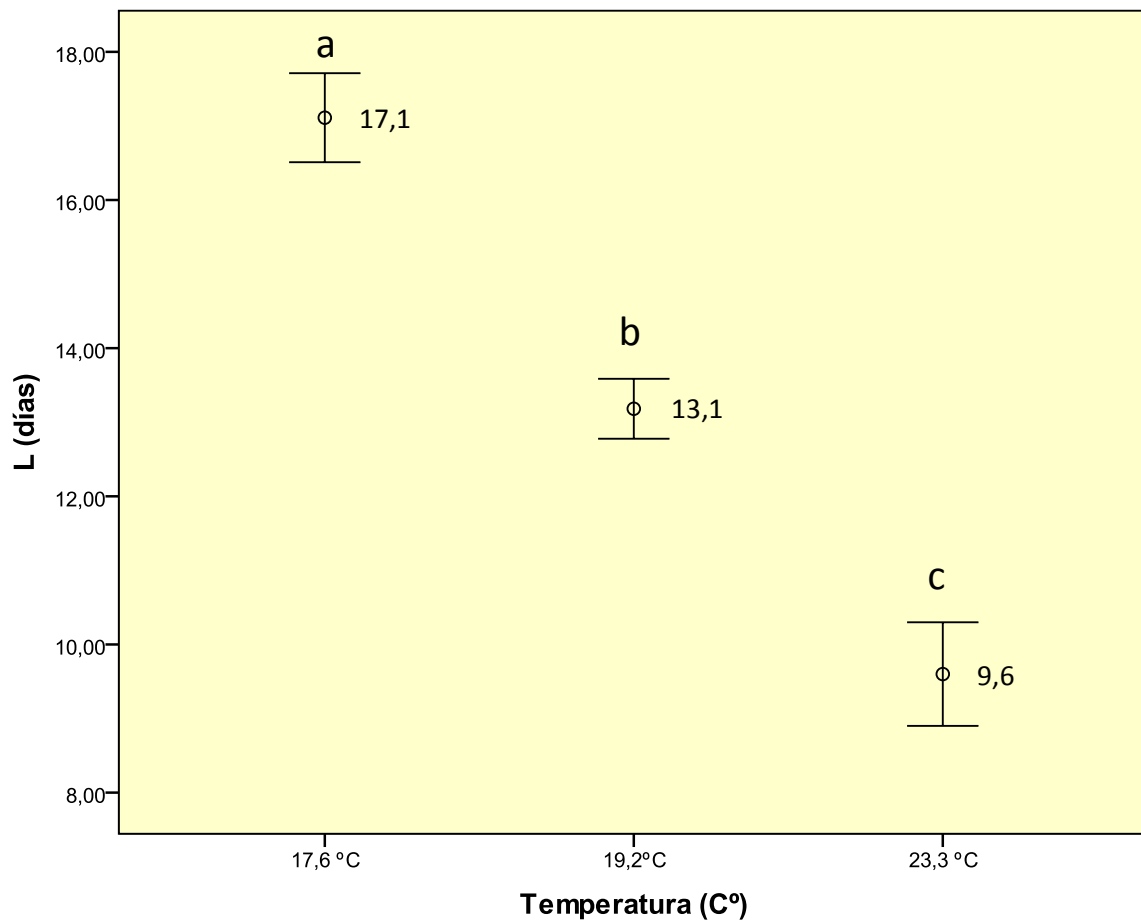


Figura 8. Diferencia de las medias de la longevidad (L) de la avispa parasitoide *D. rapae* entre los tres escenarios de temperatura, escenario 1 (17,6°C), escenario 2 (19,2°C), escenario 3 (23,3°C). Gráfico de barras de error. La longitud de las barras de error indican la cantidad de errores típicos en cada tratamiento. Las letras indican los subconjuntos generados por la prueba de significación de Tuckey.

12. TABLAS

Tabla 1. Medias de las variables del Ensayo *Efecto de la temperatura en el tiempo de desarrollo (TD), fecundidad (F), Tasa intrínseca de crecimiento (rm) y longevidad (L) de Brevicoryne brassicae* bajo los tres escenarios de temperatura.

	Escenario	Temperatura	N	Media
F	1	17,6°C	6	29,1
	2	19,2°C	10	72,9
	3	23,3°C	10	96,9
TD	1	17,6°C	6	14
	2	19,2°C	10	13,5
	3	23,3°C	10	10,4
L	1	17,6°C	6	71,3
	2	19,2°C	10	44,5
	3	23,3°C	10	33,9
rm	1	17,6°C	6	0,17
	2	19,2°C	10	0,22
	3	23,3°C	10	0,31

Tabla 2. Esquema del ANOVA de las variables del Ensayo *Efecto de la temperatura en el tiempo de desarrollo (TD), fecundidad (F), Tasa intrínseca de crecimiento (rm) y longevidad (L) de Brevicoryne brassicae.* (Sig. 95%).

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
F	Inter-grupos	17,21	2	8.608,16	8.419	,002
	Intra-grupos	23,51	23	1.022,46		
	Total	40,73	25			
TD	Inter-grupos	67,44	2	33,72	28.834	,000
	Intra-grupos	26,90	23	1.170		
	Total	94,34	25			
L	Inter-grupos	5,32	2	2.663,71	61.466	,000
	Intra-grupos	996,73	23	43,33		
	Total	6.324,15	25			
rm	Inter-grupos	,007	2	,004	17.216	,000
	Intra-grupos	,004	20	,000		
	Total	,011	22			

Tabla 3. Medias de las variables del Ensayo *Efecto de la temperatura en el tiempo de desarrollo (TD), porcentaje de parasitismo (%P), Proporción de hembras (PH) y longevidad (L) de Diaeretiella rapae*, bajo los tres escenarios de temperatura.

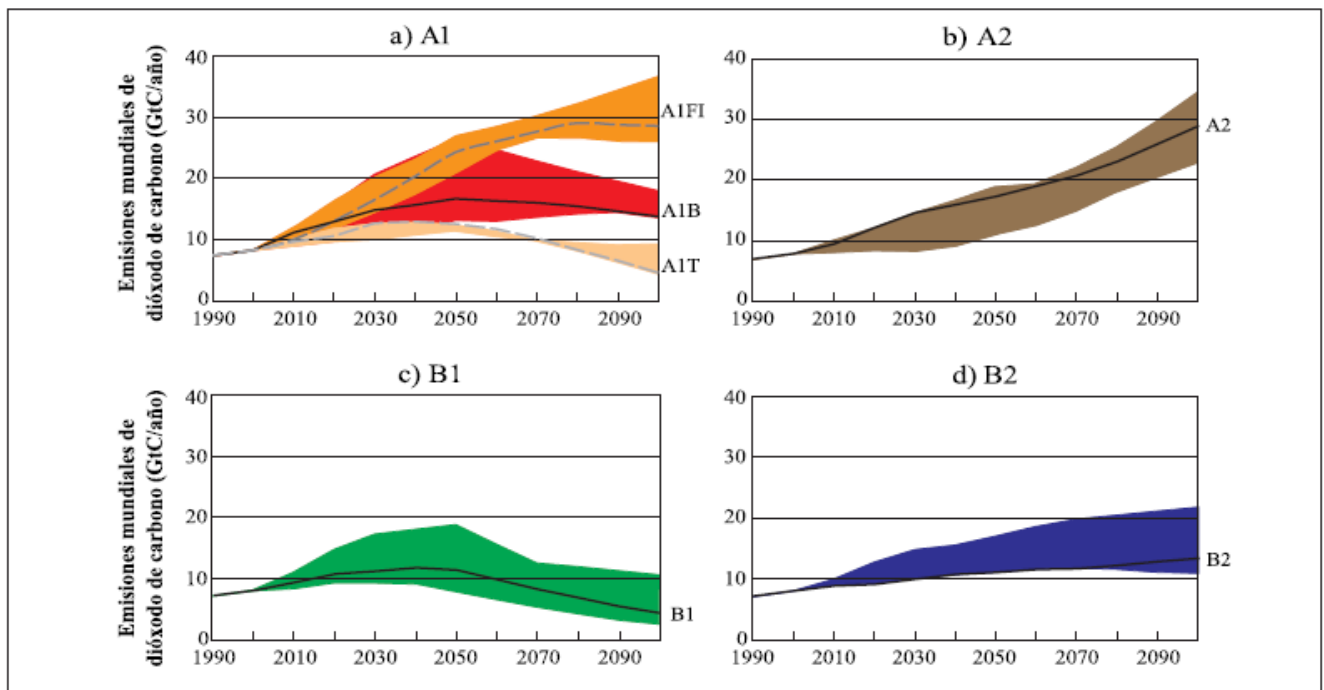
	Escenario	Temperatura	N	Media
TD	1	17,6°C	9	20,6
	2	19,2°C	11	18
	3	23,3°C	10	14,1
%P	1	17,6°C	10	8,5%
	2	19,2°C	6	17,2%
	3	23,3°C	7	22,2%
PH	1	17,6°C	8	64%
	2	19,2°C	6	57,2%
	3	23,3°C	5	74,8%
L	1	17,6°C	9	17,1
	2	19,2°C	11	13,1
	3	23,3°C	10	9,6

Tabla 4 Esquema del ANOVA de las variables: del Ensayo *Efecto de la temperatura en el tiempo de desarrollo (TD), porcentaje de parasitismo (%P), Proporción de hembras (PH) y longevidad (L) de Diaeretiella rapae.* (Sig. 95%).

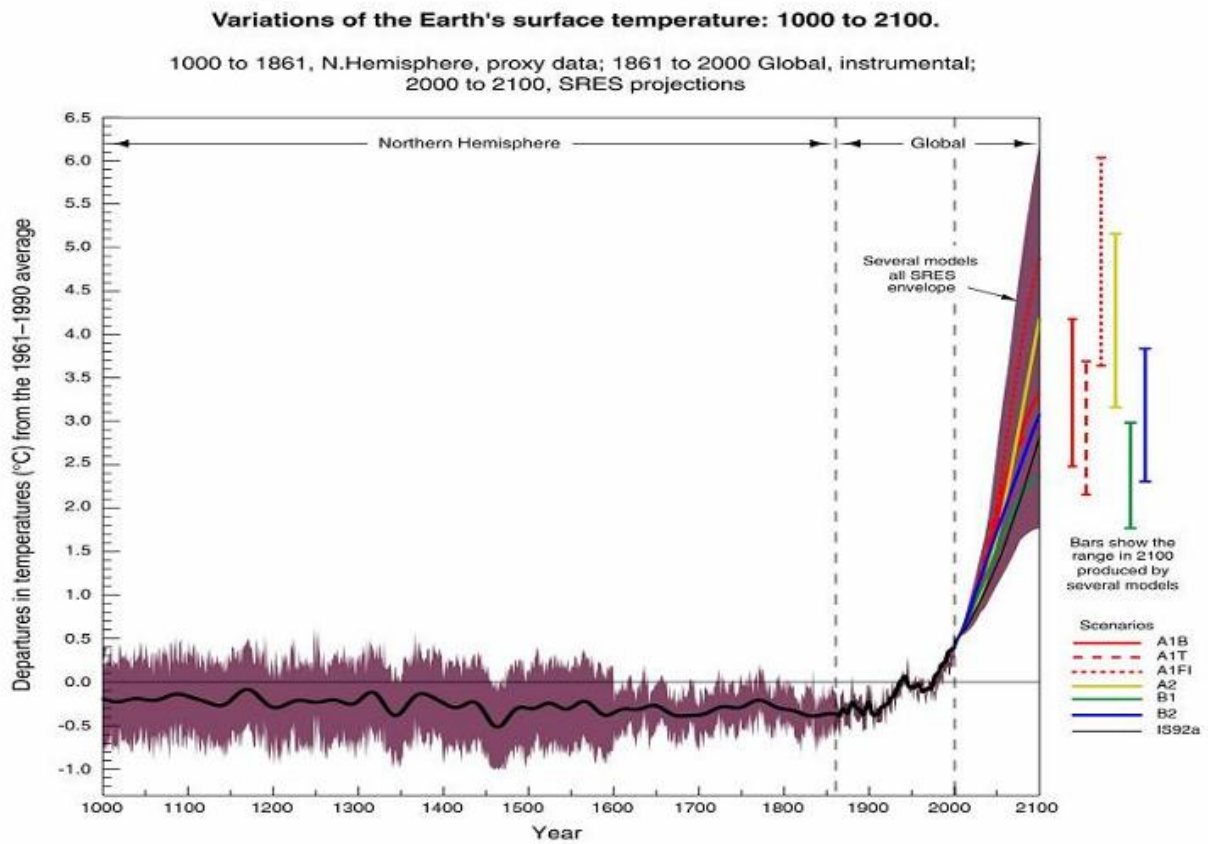
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
TD	Inter- grupos	208,60	2	104.300	574.714	,000
	Intra- grupos	4,90	27	,18		
	Total	213,50	29			
%P	Inter- grupos	260,36	2	130,18	5,48	0,013
	Intra- grupos	474,59	20	23,73		
	Total	734,95	22			
PH	Inter- grupos	947,70	2	473,85	0,51	0,607
	Intra- grupos	14724,30	16	920,26		
	Total	15672	18			
L	Inter- grupos	267,24	2	133.621	404.219	,000
	Intra- grupos	8.925	27	,33		
	Total	276,16	29			

13. ANEXOS

a)



b)



Anexo 1. Predicciones del aumento en las emisiones de CO₂ (a) y temperatura media (b) según los escenarios propuestos por la IPCC (tomado de IPCC-TGCIA, 2006; IPCC. 2001)



1 mm

Anexo 2. *Brevicoryne brassicae* (foto A. Janeta)

a)



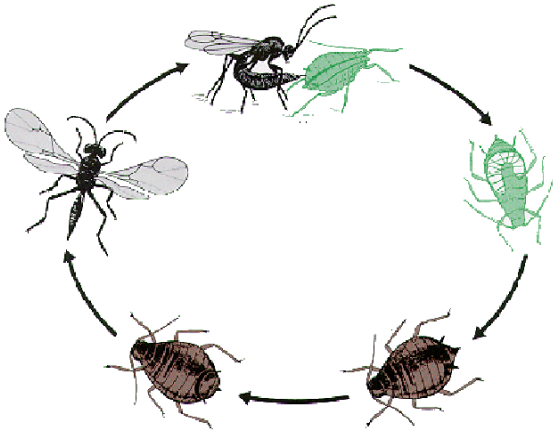
1 mm

b)

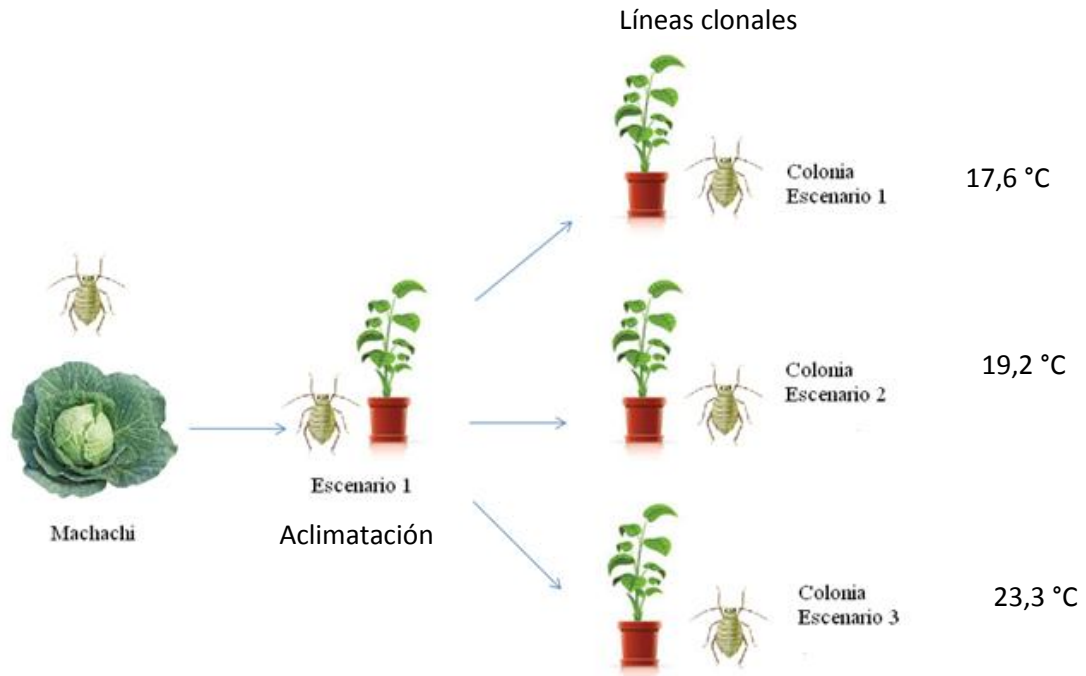


1 mm

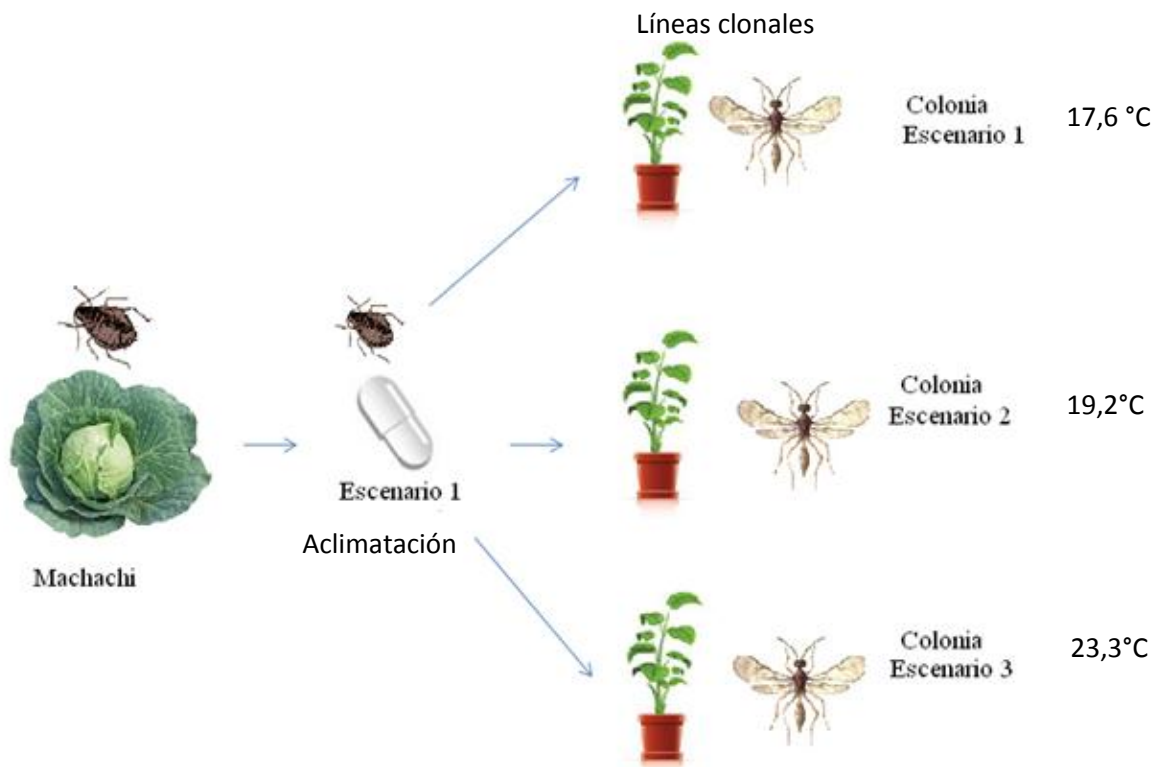
Anexo 3. a) Hembra adulta *Diaeretiella rapae* **b)** Momia de *Diaeretiella rapae* (Foto A.Janeta)



Anexo 4. Ciclo biológico de avispas parasíticas. Se muestra avispas parasíticas adultas depositando huevos en su hospedero para que se alimenten y desarrollen dentro del áfido (modificado de <http://insects.tamu.edu/extension/bulletins/images/b-5044-3.gif>)



Anexo 5. Descripción gráfica de la cría del áfido *Brevicoryne brassicae*, establecimiento de líneas clonales en los tres escenarios de temperatura.



Anexo 6. Descripción gráfica de la cría de la avispa parasitoide *Diaeretiella rapae*:

Establecimiento de líneas clonales en los tres escenarios de temperatura.



Anexo7. Cajas plásticas utilizadas para realizar los ensayos.

10 repeticiones en cada escenario



Anexo 8. Descripción gráfica del Ensayo: *Efecto de la temperatura en el tiempo de desarrollo (TD), fecundidad (F), Tasa intrínseca de crecimiento (rm) y longevidad (L) de Brevicoryne brassicae.*



1 mm

Anexo 9. Ninfa de *B. brassicae*



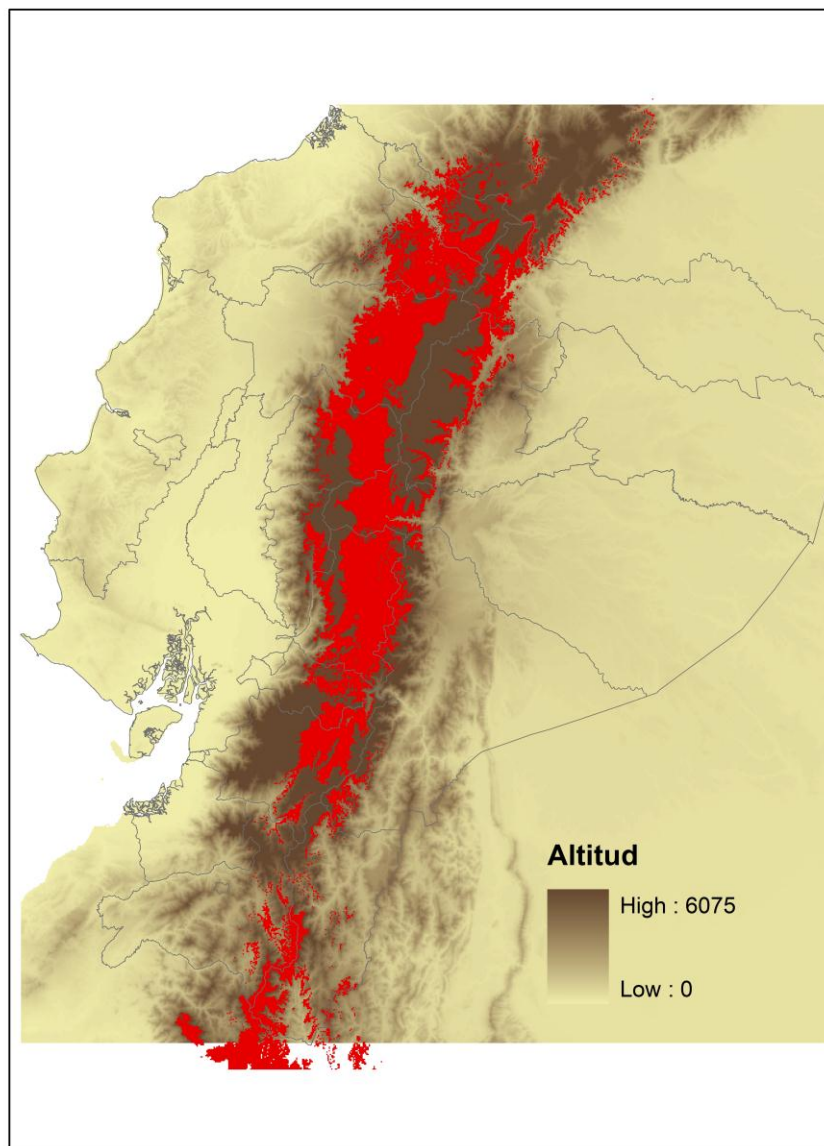
1 cm

Anexo 10. *D. rapae* macho y hembra en cápsulas de gelatina, previo a la cópula.



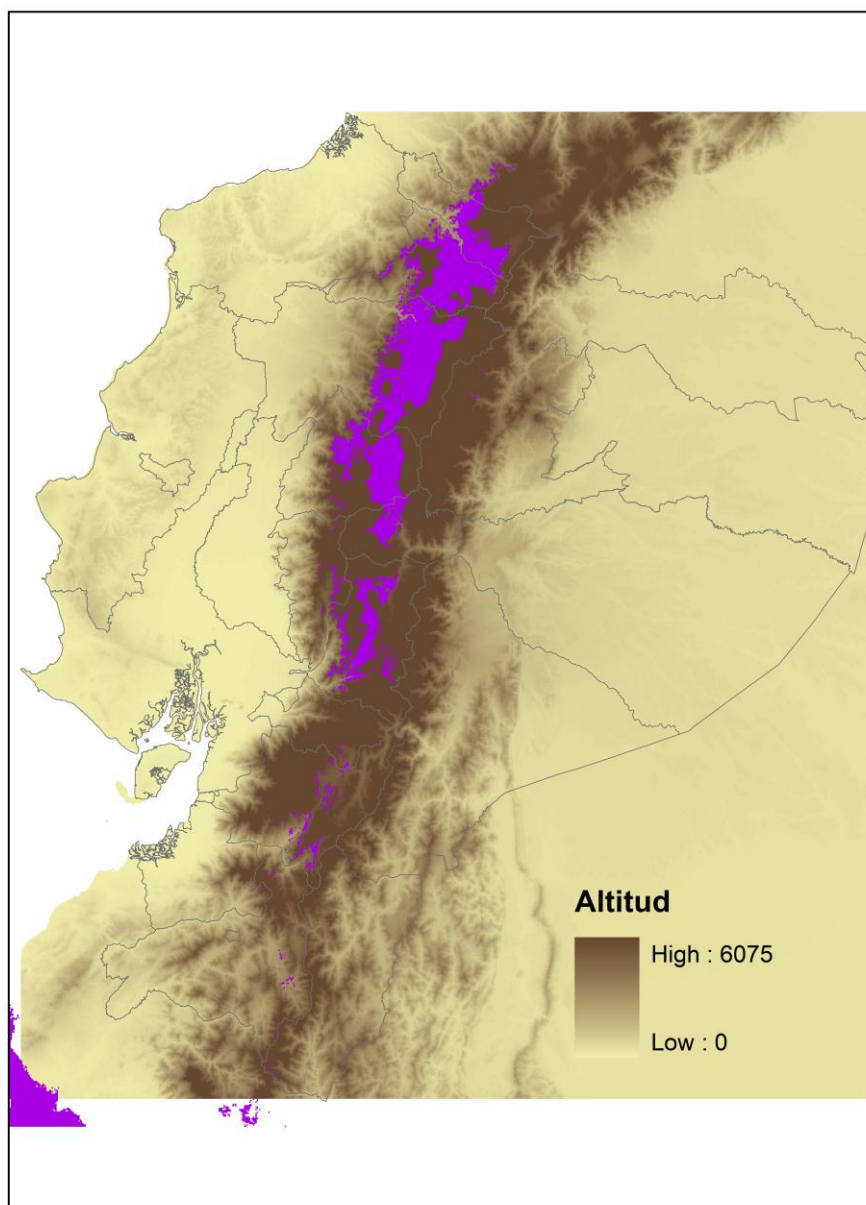
Anexo 11. Descripción gráfica del Ensayo: *Efecto de la temperatura en el tiempo de desarrollo (TD) (TD), porcentaje de parasitismo (%P), Proporción de hembras (PH) y longevidad (L) de Diaeretiella rapae.*

Modelo de distribución potencial de *B. brassicae*



Anexo 12. Mapa de distribución potencial actual del áfido ceniciento de la col, *Brevicoryne brassicae*. El color rojo muestra las zonas potenciales de distribución del áfido en la actualidad (Modificado de Barragán *et al.*, 2011).

Modelo de distribución potencial futura de B. brassicae



Anexo 13. Mapa de distribución potencial futura (2080) bajo el escenario A2, del áfido ceniciento de la col, *Brevicoryne brassicae*. El color morado muestra las zonas potenciales de distribución del áfido en el año 2080 (Modificado de Barragán *et al.*, 2011).

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, Emilia Alejandra Moreno Coellar, C.I. 1718028085, autora del trabajo de graduación titulado: “Efectos del incremento de temperatura en los ciclos biológicos de *Brevicoryne brassicae* (Hemiptera: Aphididae) y su parasitoide *Diaeretiella rapae* (Hymenoptera: Braconidae) como consecuencia del cambio climático” previa a la obtención del grado académico de LICENCIADA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales:

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, de conformidad con el artículo 144 de la ley orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a difundir a través del sitio web de la biblioteca de la PUCE el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de la Universidad.

Quito, 25 de abril del 2013

Srta. Emilia Alejandra Moreno Coellar

CI: 1718028085

