

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN
CRISTÓBAL DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



**Biocontrol de larvas de *Culex quinquefasciatus* por
predadores adultos de *Notonecta* sp. (Hemiptera:
Notonectidae) y náyades de *Erythemis* sp.
(Odonata: Libellulidae).**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
BIÓLOGA
CON MENCIÓN EN LA ESPECIALIDAD DE ECOLOGÍA Y
RECURSOS NATURALES

PRESENTADO POR:

Bach. HINOSTROZA AYALA, KARINA.

AYACUCHO – PERÚ

2013

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

R.D.N° 026-2014-UNSCH-FCB-D

BACH.KARINA HINOSTROZA AYALA

En la ciudad de Ayacucho a los veinte y ocho días del mes de marzo del año dos mil catorce, siendo las cuatro con quince minutos de la tarde, reunidos en el auditorium de la facultad de ciencias Biológicas de la Universidad nacional de San Cristóbal de Huamanga bajo la presidencia de la Dra. Elya Salina Bustamante Sosa y actuando como miembros del jurado calificador: Mg. Pedro Ayala Gómez (miembro) Mc. Yuri Oliver Ayala Sulca (asesor) y Mg. Gilmar Peña Rojas (miembro-secretario docente) en merito a la Resolución Decanal N°026-2014-UNSCH-FCB-D. De fecha 06 de marzo de 2014, la referida comisión se reunió con la finalidad de recepcionar la sustentación de tesis titulado: Biocontrol de larvas de *Culex quiquefaciatus* por predadores adultos de *Notonecta* sp. (Hemiptera: Notonectidae) y Náyades de *Erythemis* sp (Odonata: Libellulidae) presentado por la Bachiller en Ciencias Biológicas: Karina Hinoastroza Ayala, quien pretende optar el título profesional de Biólogo con mención en la especialidad de Ecología y Recursos Naturales. Luego de verificar la documentación correspondiente; la Dra. Elya Bustamante en su calidad de presidente de la sustentación de tesis con Memorando N° 099-2014-UNSCH-FCB de fecha 28 de marzo 2014 invito a la sustentante a iniciar con la sustentación y defensa de su trabajo de investigación en un tiempo estimado de cuarenta y cinco minutos de acuerdo al reglamento. La señora sustentante inicio su exposición expresando su agradecimiento a todos quienes contribuyeron en su formación profesional. Concluida la exposición la Sra. Presidenta del jurado evaluador invito a los miembros del jurado a realizar las preguntas, aclaraciones y observaciones que crean convenientes. Concluida esta etapa, la Sra. Presidenta del jurado evaluador invito a la sustentante y al público asistente a abandonar momentáneamente las instalaciones del auditorium, para que los miembros del jurado calificador puedan deliberar y calificar el trabajo de investigación, arribándose al siguiente resultado.

Miembro jurado	EXPOSICION	RPTA PREGUNTAS	PROMEDIO
1. Dra Elya S. Bustamante Sosa	17	17	17
2. Mg. Gilmar Peña Rojas	18	16	17
3. Mc. Yuri O. Ayala Sulca	18	17	18
4. Mg, Pedro Ayala Gómez	17	17	17
PROMEDIO FINAL.			17

Luego de concluida la etapa de evaluación, la señora sustentante obtuvo la calificación promedio de DIECISIETE (17) de la cual dan fe, los miembros de jurado calificador estampando sus firmas al pie del presente acta, siendo las seis con treinta minutos de la noche se dio concluida la sesión.



Dra Elya S. Bustamante Sosa
PRESIDENTE (E)



Blgo. Pedro Ayala Gómez
MIEMBRO



Mc. Yuri O. Ayala Sulca
ASESOR



Mg. Gilmar Peña Rojas
MIEMBRO- SECRETARIO DOC.

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mis padres y hermanos, ejemplo de perseverancia y constancia en el logro de los objetivos.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga por haberme brindado la oportunidad de formarme profesionalmente y desarrollar capacidades y competencia, para el éxito personal y profesional.

A la Escuela de Formación Profesional de Biología, así mismo a la especialidad de Ecología y Recursos Naturales, a los docentes por su abnegada labor, quienes supieron guiarme y conducirme durante mi formación profesional.

A mi asesor Blgo. MC. Yuri Ayala Sulca, quien me brindó su valioso tiempo, desinteresada orientación y guía en la ejecución y elaboración del presente trabajo de investigación.

Quiero expresar también mis más sinceros agradecimientos a mis amigos Kleyni Flores Cisneros y José Antonio Quispe Añanca por su disponibilidad y paciencia en la recolección de las muestras y el desarrollo de la investigación.

ÍNDICE GENERAL

	Página
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
RESUMEN	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Antecedentes	4
2.2. Marco conceptual	6
2.2.1. Generalidades	6
2.2.2. Características biológicas de <i>Culex quinquefasciatus</i>	8
2.2.3. El control biológico: características e importancia	10
2.2.4. Insectos depredadores de larvas de mosquitos	13
2.3. Bases teóricas	18
2.3.1. La respuesta funcional	19
2.3.2. Respuesta funcional del depredador en relación a la presa	20
III. MATERIALES Y MÉTODOS	26
3.1. Zona de estudio	26
3.2. Población y muestra	27
3.2.1. Población	27
3.2.2. Muestra	27
3.3. Metodología y recolección de datos	27
3.3.1. Colecta y mantenimiento del material biológico	27
3.3.2. Capacidad depredadora de <i>Notonecta</i> sp. y <i>Erythemis</i> sp. en el control de larvas de <i>Culex quinquefasciatus</i>	28
3.4. Tipo de investigación	32
3.5. Análisis de datos	32
IV. RESULTADOS	34
V. DISCUSIÓN	42
VI. CONCLUSIONES	56
VII. RECOMENDACIONES	58

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

59

ANEXOS

64

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Valores medios (\pm SE) ($P \leq 0,05$) de larvas consumidas (Na), capacidad de búsqueda (a), tiempo de manipuleo (Tm) y capacidad de depredación (CR) de <i>Notonecta</i> sp. y <i>Erythemis</i> sp.	39

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ciclo de vida de <i>Culex quinquefasciatus</i> .	9
Figura 2. A) Modo de vida y alimentación de <i>Notonecta</i> sp. (Hemiptera Notonectidae), B) Morfología típica del chinche "nadador de dorso"	15
Figura 3. Ciclo de vida de las libélulas.	17
Figura 4. Tipos más comunes de respuesta funcional desarrolladas por insectos depredadores.	24
Figura 5. Promedio de larvas consumidas por el depredador <i>Notonecta</i> sp. en relación a la densidad de larvas de IV instar administradas de <i>Culex quinquefasciatus</i> .	35
Figura 6. Inversa proporcional del consumo de larvas de <i>Culex quinquefasciatus</i> en relación a la densidad de larvas administradas, por el predador <i>Notonecta</i> sp.	36
Figura 7. Promedio de larvas consumidas por el depredador <i>Erythemis</i> sp. en relación a la densidad de larvas de IV instar administradas de <i>Culex quinquefasciatus</i> .	37
Figura 8. Inversa proporcional del consumo de larvas de <i>Culex quinquefasciatus</i> en relación a la densidad de larvas administradas, por el predador <i>Erythemis</i> sp.	38
Figura 9. Consumo promedio de larvas de IV instar de <i>Culex quinquefasciatus</i> por los depredadores <i>Notonecta</i> sp. y <i>Erythemis</i> sp.	40
Figura 10. Número de larvas consumidas por los depredadores <i>Notonecta</i> sp. y <i>Erythemis</i> sp., en relación a la densidad inicial de larvas de IV instar de <i>Culex quinquefasciatus</i> .	41

ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
Anexo 1. Flujograma experimental del biocontrol de larvas de <i>Culex quinquefasciatus</i> por depredadores adultos de <i>Notonecta</i> sp. y náyades de <i>Erythemis</i> sp.	65
Anexo 2. Análisis de varianza ($P \leq 0,05$) de las tendencias de curvas de respuesta funcional de los depredadores <i>Notonecta</i> sp. y <i>Erythemis</i> sp., en el consumo de larvas de <i>Culex quinquefasciatus</i> .	66
Anexo 3. Desviación típica (\pm SE) ($P \leq 0,05$) y media de la depredación de <i>Notonecta</i> sp. y <i>Erythemis</i> sp., en relación a la densidad inicial de larvas de IV instar de <i>Culex quinquefasciatus</i> .	67
Anexo 4. Análisis de varianza ($P \leq 0,05$) de la depredación de <i>Notonecta</i> sp. y <i>Erythemis</i> sp., en relación a la densidad inicial de larvas de IV instar de <i>Culex quinquefasciatus</i> .	68
Anexo 5. Prueba post hoc de Tuckey de comparación de medias ($P \leq 0,05$) de la depredación de <i>Notonecta</i> sp. y <i>Erythemis</i> sp., en relación a la densidad inicial de larvas de IV instar de <i>Culex quinquefasciatus</i> .	69
Anexo 6. Número de larvas de IV instar de <i>Culex quinquefasciatus</i> consumidas por los depredadores <i>Notonecta</i> sp. y <i>Erythemis</i> sp., en relación a la densidad inicial de larvas.	70
Anexo 7. Ubicación geográfica del lugar de colecta de larvas de <i>Culex quinquefasciatus</i> .	71
Anexo 8. Ubicación geográfica de la poza de almacenamiento de agua temporal para riego (Canaán Bajo), lugar de colecta de los predadores <i>Notonecta</i> sp. y <i>Erythemis</i> sp.	72
Anexo 9. Colecta de larvas de <i>Culex quinquefasciatus</i> en la pileta de almacenamiento de agua temporal. Laboratorios de Biología, Ciudad Universitaria - UNSCH.	73
Anexo 10. Recolección de muestras de depredadores: adultos de <i>Notonecta</i> sp. y náyades de <i>Erythemis</i> sp., en las pozas de almacenamiento de agua temporal para riego. Canaán Bajo, San Juan Bautista-Ayacucho.	74

Anexo 11. Peceras de vidrio para la crianza y mantenimiento de larvas de <i>Culex quinquefasciatus</i> .	75
Anexo 12. Adultos de <i>Notonecta</i> sp.	76
Anexo 13. Náyades de <i>Erythemis</i> sp.	77
Anexo 14. Separación de larvas de <i>Culex quinquefasciatus</i> .	78
Anexo 15. Selección de larvas de IV instar de <i>Culex quinquefasciatus</i> .	79
Anexo 16. Distribución de larvas de IV instar de <i>Culex quinquefasciatus</i> por densidades larvales.	80
Anexo 17. Introducción de los depredadores adultos de <i>Notonecta</i> sp. y náyades de <i>Erythemis</i> sp., a recipientes experimentales.	81
Anexo 18. Posición de reposo de larvas de IV instar de <i>Culex quinquefasciatus</i> en los recipientes.	82
Anexo 19. Depredación de larvas de <i>Culex quinquefasciatus</i> por adultos de <i>Notonecta</i> sp.	83
Anexo 20. Depredación de larvas de <i>Culex quinquefasciatus</i> por náyades de <i>Erythemis</i> sp.	84
Anexo 21. Glosario de términos	85
Anexo 22. Matriz de consistencia	86

RESUMEN

Es poco conocido la capacidad de biocontrol que desarrollan depredadores como *Notonecta* sp. y las náyades de *Erythemis* sp. La presente investigación tiene como objetivo evaluar la capacidad de biocontrol de larvas de IV instar de *Culex quinquefasciatus* en siete densidades crecientes (5, 10, 15, 25, 35, 50 y 75 larvas) por depredadores adultos de *Notonecta* sp. y náyades de *Erythemis* sp. en condiciones de laboratorio. Los depredadores acuáticos y las larvas de los mosquitos fueron colectados en pozas de almacenamiento temporal de agua de criadero. Se evaluó la capacidad depredadora a través de la determinación del tipo de respuesta funcional y los atributos de depredación: capacidad de búsqueda (a'), tiempo de manipuleo (T_m) y capacidad depredadora (CR) para cada uno de los depredadores estudiados, en cuatro repeticiones y un control para cada una de las densidades evaluadas y tipo de depredador evaluado. El diseño factorial fue del tipo A x B. Los resultados fueron sometidos a un análisis de varianza ($P \leq 0,05$) y prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0,05$). *Notonecta* sp. y *Erythemis* sp. desarrollaron una respuesta funcional de tipo II (polinómica) en el biocontrol de larvas de *Culex quinquefasciatus*, de características densodependiente inversa e inestable, mostrando *Notonecta* sp. (depredador) y *Culex quinquefasciatus* (presa) una coevolución convergente mejor adaptada que las náyades de *Erythemis* sp. en relación a la presa. *Notonecta* sp. obtuvo mayor capacidad de búsqueda de larvas de *Culex quinquefasciatus* en comparación a las náyades de *Erythemis* sp. ($0,18 \pm 0,07$ y $0,10 \pm 0,04$ larvas/día respectivamente), con tiempos de manipuleo relativamente menores a los reportados para *Erythemis* sp. ($0,06 \pm 0,03$ y $0,09 \pm 0,04$ h respectivamente), siendo similar la capacidad de depredación desarrollada por *Notonecta* sp. en todas las densidades ofertadas ($0,08 \pm 0,05$ larvas / hora / depredador), con tendencias análogas de consumo en caso de *Erythemis* sp., ($0,06 \pm 0,04$ larvas / hora / depredador). Los atributos evaluados señalan a *Notonecta* sp. como el mejor depredador de larvas de mosquitos en comparación a las náyades de *Erythemis* sp., sin embargo ambos depredadores podrían ser incluidos en el control de larvas de mosquitos culícidos que generan problemas médicos de importancia como la malaria, el dengue y la fiebre amarilla.

Palabras clave: capacidad depredadora, respuesta funcional, *Notonecta*, *Culex quinquefasciatus*, *Erythemis*.

I. INTRODUCCIÓN

Las estrategias empleadas en el control de larvas de mosquitos como *Culex quinquefasciatus* va desde el uso de agentes químicos hasta los controladores biológicos.¹ Dentro del control biológico de insectos de importancia médica, una alternativa es el estudio de los organismos asociados a los criaderos donde se desarrollan los estados inmaduros de los mosquitos, que pueden actuar como enemigos naturales (depredadores), potencialmente útiles como agentes de control, ya que casi todos los depredadores acuáticos se alimentan de larvas y pupas de mosquitos, además de otros artrópodos; peces, patógenos e insectos son considerados en este grupo.²

Los notonéctidos, son insectos hemípteros depredadores que atacan a presas tan grandes como renacuajos y peces pequeños, y puede causar dolorosa picadura al ser humano. Habitan en agua dulce, por ejemplo, lagos, piscinas, pantanos, y se encuentran a veces en los estanques de jardín. Pueden volar bien y así migran con facilidad a nuevos hábitats.³ En Ayacucho han sido observados cohabitando con náyades de *Erythemis* sp. (Odonata: Libellulidae) y larvas de *Tropisternus* sp. (Coleoptera: Hydrophilidae), entre otros artrópodos, ejerciendo actividad depredadora de larvas de mosquitos culícidos y otros organismos. Sin embargo, es poco conocido la capacidad de biocontrol que

desarrollan los depredadores, entre estos los *Notonecta* sp. (Hemiptera: Notonectidae) y las náyades de *Erythemis* sp. (Odonata: Libellulidae) en el control de larvas de los mosquitos culícidos, en consecuencia se pretende dar respuesta con la presente investigación, y se plantean los siguientes objetivos:

Objetivo general

Evaluar la capacidad de biocontrol de larvas de IV instar de *Culex quinquefasciatus* en siete densidades crecientes (5, 10, 15, 25, 35, 50 y 75 larvas) por depredadores adultos de *Notonecta* sp. (Hemiptera: Notonectidae) y náyades de *Erythemis* sp. (Odonata: Libellulidae) en condiciones de laboratorio.

Objetivos específicos

- a) Evaluar la capacidad de biocontrol de larvas de IV instar de *Culex quinquefasciatus* por predadores adultos de *Notonecta* sp. y náyades de *Erythemis* sp. en siete densidades crecientes (5, 10, 15, 25, 35, 50 y 75 larvas), determinando la capacidad de búsqueda y el tiempo de manipuleo del predador en condiciones de laboratorio.
- b) Establecer el tipo de respuesta funcional que desarrollan los adultos de *Notonecta* sp. (Hemiptera: Notonectidae) y las náyades de *Erythemis* sp. (Odonata: Libellulidae), en el control de larvas de IV instar de *Culex quinquefasciatus*.
- c) Determinar la capacidad depredadora de los controladores biológicos *Notonecta* sp. y *Erythemis* sp. en el control de larvas de IV instar de *Culex quinquefasciatus* en siete densidades crecientes (5, 10, 15, 25, 35, 50 y 75 larvas) en condiciones de laboratorio.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

En la actualidad nuestra sociedad está muy sensibilizada con los temas medioambientales y el uso indiscriminado de productos químicos, permitiendo el desarrollo de nuevas estrategias de control de plagas de mosquitos. Estas nuevas estrategias se fundamentan en el conocimiento preciso de las especies de mosquitos presentes en una zona, de su compleja biología y de sus hábitats, tanto de cría como de reposo.¹ En estas nuevas estrategias, el uso de controladores biológicos, organismos con capacidad de parasitar, depredar o ser patógeno al insecto vector, es una alternativa real y viable.² Sin embargo, muchas de estas estrategias generan impactos que pueden ser invaluablees para las comunidades biológicas y humanas. Pues en general, muchas de las especies empleadas hasta el momento para el control biológico de organismo son extrañas al hábitat en donde se han introducido, generando a su llegada desequilibrios entre poblaciones de los sitios intervenidos.²

En diferentes países tropicales se han empleado estrategias de control biológico de mosquito. En Brasil, por ejemplo, se ha empleado *Bacillus thuringiensis* var. israelensis como biocontrolador de mosquitos.³ También se registran estudios de control de mosquito con especies animales como peces,^{4, 5} ranas,⁶ planarias,⁷

decápodos,⁸ libélulas,⁹ larvas de otros mosquitos¹⁰ e incluso algunas especies del género *Notonecta* que han sido empleadas en conjunto con bacterias¹¹.

Las larvas de *Aedes aegypti* (un tipo de mosquito culícido), al igual que otros mosquitos, suelen ser predadas por copépodos ciclopoideos de distintos géneros, entre ellos *Macrocylops* y *Mesocyclops*. *Macrocylops albidus* que poseen una distribución global; tienen gran tamaño y suele matar una gran cantidad de larvas aunque no las coma. *Mesocyclops longisetus*, que es una de las especies más grandes del género (el género posee unas nueve especies o subespecies sudamericanas), se menciona no sólo como un voraz predador sino que se caracteriza por una gran capacidad de supervivencia aún en ausencia de larvas de mosquito en los recipientes. Ambas especies han sido utilizadas en ensayos de laboratorio y de campo^{12,13} y son usados como agentes de control biológico de *Aedes aegypti* en diversos programas ejecutados con participación comunitaria¹⁴.

Quiroz *et al.*⁹, al evaluar insectos acuáticos como los odonatos *Pantala hymenae* y *Archilestes grandis*; varias especies de chinches acuáticos como los “nadadores de dorso” o notonéctidos *Buenoa scimitra*, *Buenoa antigone* y *Notonecta irrorata*; otros chinches conocidos como *Ambrysus parviceps* “escorpión del agua” *Ranatra fusca* y la chinche gigante del agua *Abedus* sp.; así como los escarabajos ditiscidos: *Laccophilus* sp. y *Laccophilus fasciatus*, *Thermonectes marmoratus*; además de los hidrofílicos *Tropisternus lateralis* e *Hydrophilus* sp. Demostraron que el insecto acuático más prometedor y considerado como el mejor prospecto en los programas de control biológico de *Aedes aegypti* e insectos afines, son las chinches nadadoras de dorso: *Buenoa scimitra*, *Buenoa antigone* y *Notonecta irrorata* ya que fueron los depredadores con la más alta capacidad de búsqueda; razón por la cual se les dio seguimiento

y fue posible obtener la cría masiva de estos hemípteros, de quienes se practicaron liberaciones de huevecillos, ninfas y adultos en depósitos artificiales lográndose obtener una disminución de la densidad larvaria de mosquitos. Según los mismos investigadores los agentes de control biológico como los notonectidos representaron una de las mejores herramientas de control que pueden aplicarse de forma conjunta con estrategias tales como la presentación comercial de *Bacillus thuringiensis var. israelensis* conocida como Bactimos® y otras alternativas no convencionales, complementando el efecto de control entre ambas, tales diseños repercuten en beneficios económicos ya que no se hacen aplicaciones repetitivas por el establecimiento de los depredadores, ecológicos por el bajo impacto que tienen en los ecosistemas y social por la disminución de casos al disminuir la densidad de adultos.^{9,15}

Son pocas las investigaciones desarrolladas en este campo a nivel nacional, o en todo caso, poco difundidas por revistas especializadas. En Ayacucho, Ayala¹⁶ al evaluar la capacidad de depredación del chinche *Notonecta* sp. en el control de larvas de *Culex quinquefasciatus* demostró que estos organismos desarrollan alta capacidad depredadora, bajos tiempos de manipuleo y alta capacidad de búsqueda, con características densodependiente inversa, en presencia y ausencia de refugios. Posteriormente Cisneros¹⁷, determinó que estos chinches acuáticos tienen mayor preferencia por el consumo de larvas de *Culex quinquefasciatus* en comparación a larvas de *Chironomus* sp.

Ayacucho es una zona que por sus características geográficas, clima y pésimas condiciones de drenaje de aguas, permite la formación de criaderos temporales, cuyas aguas sirven como lugar de reproducción de muchas especies de artrópodos, incluidas las especies motivo de estudio. No obstante, son pocos los trabajos de la capacidad de biocontrol que desarrollan predadores como

Notonecta sp. (Hemiptera: Notonectidae) y las náyades de *Erythemis* sp. (Odonata: Libellulidae) en el control de larvas del mosquito *Culex quinquefasciatus*, que en consecuencia se pretende dar respuesta con la presente investigación.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Generalidades

Los mosquitos, han sido estudiados a lo largo del tiempo por diversas razones, entre las que se incluyen el ser agentes transmisores de determinadas enfermedades, la molestia que causan, aun sin llegar a ser demasiado nocivos y, por supuesto, el interés como grupo zoológico para su estudio taxonómico y faunístico. El término mosquito se refiere de modo genérico a cualquier díptero (incluso otros insectos) de pequeñas dimensiones, pero en el contexto que nos ocupa, el mosquito que será objeto de estudio es *Culex quinquefasciatus* Say 1823 (Diptera: Culicidae) para los que, aparte del genérico término "mosquito", se utilizan otras denominaciones como: "cínife", "violero", "zancudo", etc.¹

Dentro del control biológico de insectos de importancia médica, una alternativa es el estudio de los organismos asociados a los criaderos de los mosquitos donde se desarrollan los estados inmaduros de los mosquitos, que pueden actuar como enemigos naturales (predadores), potencialmente útiles como agentes de control, ya que casi todos los depredadores acuáticos se alimentan de larvas y pupas de mosquitos, además de otros pequeños artrópodos; peces, patógenos e insectos son considerados en este grupo.¹⁸ La depredación puede definirse como la conducta consistente en capturar a más de un organismo y alimentarse de ellos, siendo estos últimos consumidos totalmente o en parte. Los insectos depredadores son aquellos que capturan y se alimentan de presas

vivas, que normalmente son otros insectos, aunque también pueden hacerlo de una gran variedad de pequeños animales, en general invertebrados. Suelen tener un tamaño mayor que el de su presa y consumen en general un gran número de presas a lo largo de su vida.¹⁸

Una relación de depredador y presa de origen reciente suele producir graves efectos negativos sobre la población de la presa; en otros términos, grandes números de la especie de presa son muertos por el predador. En la relación de depredador y presa que ha existido por mucho tiempo, la coevolución (esencialmente ajustes evolutivos simultáneos en cada una de la especies), reduce a un grado mínimo los efectos negativos sobre la presa, en otros términos si los ajustes en la interacción recíproca no se efectuarán por selección natural en el transcurso del tiempo, probablemente una o las dos poblaciones se extinguirían.⁹

Los notonéctidos (Notonectidae. "nadadores de espalda") son una familia de insectos acuáticos del orden Hemiptera, comúnmente conocidos como garapitos o barqueritos, con la característica de nadar al revés, es decir con el dorso hacia abajo. El género más común es *Notonecta*, insectos con forma hidrodinámica con un cuerpo robusto, de hasta 16 mm de largo, de color verde, marrón o amarillento. Pueden volar bien y así migran con facilidad a nuevos hábitats.¹⁵ En Ayacucho han sido observados cohabitando con náyades de *Erythemis* sp. (Odonata: Libellulidae) y larvas de *Tropisternus* sp. (Coleoptera: Hydrophilidae), entre otros artrópodos, ejerciendo actividad depredadora de larvas de mosquitos culícidos y otros organismos.¹⁶

El hábito depredador se encuentra en muchos grupos de insectos, entre ellos los hemípteros, coleópteros y odonatos. La gran capacidad de depredación de las náyades de odonatos las convierte en parte fundamental para el equilibrio de los

ecosistemas acuáticos, en los que en muchos casos representan los mayores depredadores. Esto, aunado a la gran cantidad de hábitats en los que se encuentran, ha motivado a algunos investigadores a utilizarlas en el control de plagas perjudiciales para el hombre, como los zancudos o mosquitos transmisores de enfermedades.²⁰ Por ejemplo Sebastian,²¹ utilizó náyades de la familia Libellulidae en programas de control de *Aedes aegypti* con excelentes resultados.

2.2.2. Características biológicas de *Culex quinquefasciatus*

Culex quinquefasciatus, es un insecto mosquito que habita en regiones tropicales y subtropicales y abarca su distribución hasta las isothermas de 20°C;²² abundan principalmente en América y África tropical, Medio y Lejano Oriente, sur de Asia, Nueva Guinea, Australia y el sur de Estados Unidos, aunque existen zonas de intergradación (Norteamérica, norte del Japón, suroriente de Australia, Medio Oriente, área central de Argentina, entre los 30° y los 33° de latitud sur, y África) donde se han reportado híbridos de *Culex quinquefasciatus* y *Culex pipiens*.²³

Un hábitat favorable para la oviposición de los mosquitos culícidos son las lagunas de oxidación de aguas negras que son particularmente atractivas para las hembras de estos mosquitos. Los huevecillos son depositados en grupos flotantes compactos en la superficie del agua o individualmente sobre el agua, cuyas larvas pueden tolerar aguas con alta contaminación orgánica, están provistas de un sifón largo en el octavo segmento abdominal, generalmente con un pecten bien desarrollado y uno o varios penachos de sedas. Las pupas son grandes, presentan pequeñas trompetas respiratorias y son muy activas al nadar. Los adultos, con palpos maxilares pequeños en relación al tamaño de la proboscis en las hembras y son largos en los machos. El escutelo es trilobulado

con sedas en cada lóbulo, el abdomen cubierto por escamas anchas, casi siempre de posición horizontal. Las hembras inseminadas pasan el invierno como en diapausa, preparándose para la hibernación, disminuyendo su alimentación de sangre y la hipertrofia del tejido adiposo en respuesta a las temperaturas frías y días más cortos. *Culex quinquefasciatus* Say, 1823, es un insecto que acompaña al proceso de urbanización, pueden ser encontrados en agua de drenajes y letrinas de pozos abiertos. Las lagunas de oxidación de aguas negras son particularmente atractivas para la oviposición cuando el recuento de bacterias coliformes aumenta lo suficiente.^{23, 24}

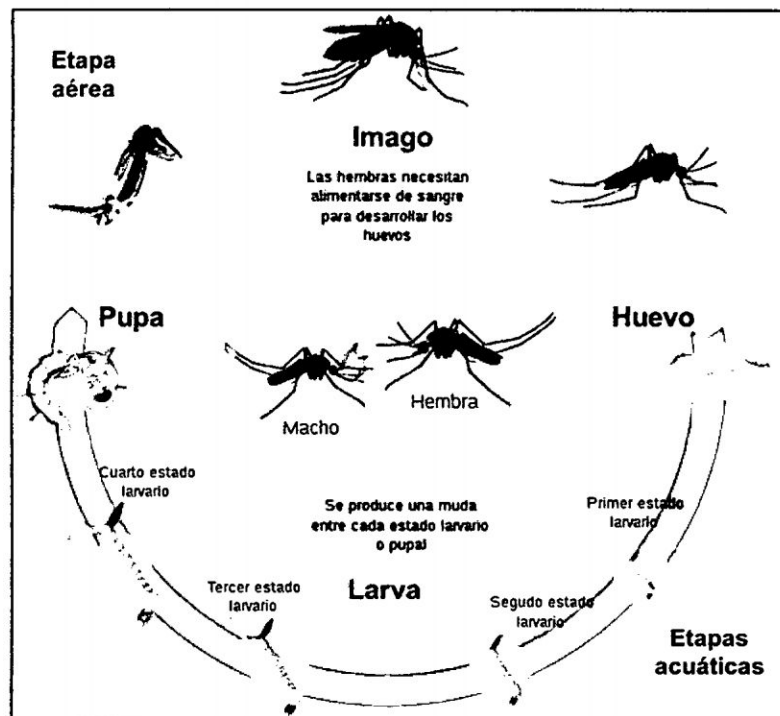


Figura 1. Ciclo de vida de *Culex quinquefasciatus*.¹⁶

Los mosquitos culícidos son importantes porque actúan como vectores de una amplia variedad de patógenos y parásitos, incluyendo virus, bacterias, hongos, protozoarios y nemátodos, que causan diversas enfermedades como el dengue, malaria, fiebre amarilla, filariosis y varios tipos de encefalitis como Virus del Nilo Occidental (WNV), Encefalitis Equina del Este (EEE), Encefalitis Equina del

Oeste (EEW), Encefalitis del Valle Murray (MVE) a diversos vertebrados incluyendo al hombre.²⁵

2.2.3. El control biológico: características e importancia

El uso por el hombre de "enemigos naturales" (predadores y patógenos de las plagas) es lo que llamamos control biológico. Sus primeros relatos datan de 1200 a.C, cuando los chinos hacían puentes de bambú entre un árbol y otra, uniéndolas para facilitar el tránsito de hormigas depredadoras de langostas. Esta forma de control era sin duda un resultado de la observación del control natural, que pasó a ser apoyado o alentado por el hombre. Con el avance del control biológico moderno ha evolucionado y ha sido ampliamente considerado como una verdadera ciencia de la agricultura y en menor medida en la lucha contra los vectores de enfermedades, donde son necesarios niveles altos de reducción poblacional. Pronto se comprobó que el control biológico por sí sola no podría controlar en todos los casos a los insectos, y por lo tanto debería de ser integrada a otras formas de control. La terminología Manejo Integrado de Vectores, fue así aprobada, y propuesta por Service²⁶ para los mosquitos, involucrando un enfoque más holístico: la integración de las diversas formas de control, y entre ellas los agentes de control biológico. Inmediatamente, el uso de enemigos naturales tomó fuerza que motivó que al año siguiente la Organización Mundial de la Salud recomendara su uso. Todos los insectos poseen enemigos naturales, tales como parasitoides (insectos que parasitan a otros insectos), depredadores y patógenos (hongos, virus, bacterias, protozoos, nemátodos). Las poblaciones naturales de insectos herbívoros y de interés médico se encuentran muchas veces reguladas por ellos, mientras que en los sistemas agrícolas, con un alto grado de simplificación, la presencia y acción de estos enemigos naturales suele ser mucho más reducida. Todas las técnicas de utilización de

agentes de control biológico requieren conocimientos acerca del ciclo de vida, el comportamiento y las características de su interacción con la plaga, la planta o el organismo hospedante.²⁷

El control biológico puede interpretarse de tres formas: a) como un campo de estudio en diferentes áreas, tales como Ecología de Poblaciones, Biosistemática, Comportamiento, Fisiología, y Genética; b) como un fenómeno natural, casi todas las especies cuentan con enemigos naturales que regulan sus poblaciones; y c) como una estrategia de control de plagas a través de la utilización de parasitoides, depredadores y patógenos.²⁸

La definición más aceptada en la actualidad en lo que respecta al control biológico, es la que han utilizado tradicionalmente los entomólogos: es un método de control de plagas (insectos, ácaros, malezas, enfermedades de las plantas, etc.), mediante el uso de organismos. Entre los organismos usados como agentes de control se incluyen virus, bacterias y sus toxinas, hongos y otros microorganismos patógenos, nemátodos, caracoles, insectos, ácaros, y vertebrados de varias clases.²⁹ Mientras que los organismos utilizados como agentes de control generalmente tienen como efecto la muerte directa del organismo que atacan, a veces pueden operar de otras formas, como el caso de los hongos antagonistas que inhiben el desarrollo de otros microorganismos mediante sustancias que excretan (antibióticos) o nemátodos que esterilizan a las hembras de los organismos afectados.²⁸

Tipos de enemigos naturales

A partir del uso de insectos entomófagos para el control de insectos plaga, el control biológico se ha extendido al uso de una amplia gama de organismos para el control de insectos, ácaros, caracoles, algunos vertebrados, algas, hongos y

plantas tan diversas como hierbas, arbustos y árboles. Entre los principales enemigos naturales se tienen los siguientes:²⁸

a) Depredadores. Son individuos que consumen varios organismos durante su vida, y activamente buscan su alimento. Al organismo que consume un depredador se le denomina presa y por lo general es más pequeña que éste. Algunos consumen un rango amplio de especies presa (polífagos), otros un rango más estrecho (oligófagos) y otros más son altamente específicos (monófagos). Desde el punto de vista del control biológico, los depredadores oligófagos y monófagos son mejores como agentes de control. La mayoría de los depredadores consumen el mismo tipo de presa como inmaduros o como adultos. Las mantis, arañas y muchas especies de catarinitas (Coccinellidae) son ejemplos de depredadores.

b) Parasitoides. Generalmente se les incluye en la categoría de parásitos, pero un parasitoide es una clase especial de depredador que generalmente es del mismo tamaño que el organismo que ataca, también se caracterizan porque se desarrollan dentro o sobre un organismo, el cual casi siempre muere al ser atacado. El estado larvario del parasitoide es parasítico, mientras que los adultos son de vida libre y activos para buscar a los organismos que parasitan (huéspedes). Cada parasitoide consume un sólo huésped. A diferencia de los parásitos verdaderos, los parasitoides matan a su huésped. Hay parasitoides enteramente monófagos. Las micro avispas parasíticas son buenos ejemplos de parasitoides.

c) Patógenos. Son microorganismos parasíticos que frecuentemente matan a su huésped. Los cadáveres de los huéspedes liberan millones de microbios individuales, que son dispersados por el viento y la lluvia. Debido a su tamaño

diminuto y a su rápida reproducción en el huésped, los patógenos son más fáciles de producir masivamente que los parasitoides y pueden ser liberados contra las plagas con los equipos desarrollados para la aplicación de plaguicidas químicos. Varios tipos de microorganismos han sido usados en control biológico, como las bacterias, virus, hongos y protozoarios; los nematodos que atacan artrópodos se consideran dentro de este grupo. La utilización de patógenos para el manejo de las poblaciones de las plagas se llama "control microbial" y es considerado como una subdivisión del control biológico.

2.2.4. Insectos depredadores de larvas de mosquitos

No hay duda de que los principales enemigos naturales de los insectos estén entre los propios insectos. Así, son muchas las posibilidades de los programas de manejo que podrían involucrar a los insectos entomófagos como elementos claves. Si no fuera ese el caso, la protección de la fauna benéfica tendría que ser contemplada con el mayor cuidado.² Desde el punto de vista ecológico pueden existir más enemigos naturales de mosquitos que de otros insectos, que ocurre una vez que se dan las larvas, pupas acuáticas y los adultos que se desarrollan en el ambiente aéreo. Desde el punto de vista de su utilización, es conveniente hacer algunas precisiones sobre el rol que cumplen los predadores. Una de las maneras sería analizando el modo de acción de éstos, y en cuanto a algunas de sus ventajas del uso de predadores serían: ²

- Su alimentación generalmente incluye otras especies de invertebrados, pudiéndose mantener o así mismo multiplicarse en ausencia de la especie blanco (o mosquito).
- Son menos sensibles a los parámetros de calidad del agua.
- Acostumbran matar más presas de lo que realmente irán a consumir, causando así mayor impacto en el control de las poblaciones.

- En general procuran siempre matar sus presas.

Entre sus desventajas se indican:

- En general, un predador posee un ciclo de vida más largo que los mosquitos, sus presas, necesitando por tanto una buena sincronización o superposición de generaciones para que la población del insecto blanco no escape a la depredación.
- Acostumbran tener preferencias en la alimentación debido a la abundancia relativa de dos especies presa por ejemplo, pueden ignorar aquella de menor densidad (y vector) en desmerito de otra, con mayor población y sin importancia epidemiológica.^{2,30}

a) *Notonecta* sp. (Hemiptera: Notonectidae)

Las principales familias de Hemíptera con potencial para controlar los mosquitos o zancudos son Belostomatidae, Nepidae, Notonectidae y Naucoridae, pero estudios de laboratorio en Cuba y en Brasil permitieron suponer que los belostomátidos deberían ser mejor evaluados para el control de mosquitos. En Estados Unidos y Canadá al contrario, los estudios sugirieron que los notonéctidos son predadores más voraces y por tanto candidatos más fuertes en los programas de control biológico.²

Los notonéctidos (Notonectidae, "nadadores de espalda o de dorso") son una familia de insectos acuáticos del orden Hemíptera, comúnmente conocidos como garapitos o barqueritos, por la característica de nadar con el dorso dirigido hacia la parte inferior. Son similares en apariencia a Corixidae, pero pueden ser diferenciados por caracteres como su coloración dorsal, patas delanteras, y el comportamiento depredador. Su dorso convexo es de color claro sin estrías cruzadas. Sus tarsos delanteros no son en forma de cuchara y sus patas traseras tienen flecos para la natación. Hay dos subfamilias, Notonectinae y

Anisopinae, cada uno con cuatro géneros.¹⁵ En la familia Notonectidae, el interés está principalmente valorado al género *Notonecta* como agente de control biológico. Su interés se remonta a inicios de siglo, destacando las especies *Notonecta unifasciata*, *Notonecta hoffmani* y *Notonecta kirbyi*, siendo *Notonecta undulata* considerada el más voraz predador entre todos los hemípteros evaluados.²



Figura 2. A) Modo de vida y alimentación de *Notonecta* sp. (Hemiptera: Notonectidae).³¹ B) Morfología típica del chinche “nadador de dorso”.³²

El género *Notonecta*, es un insecto con forma hidrodinámica con un cuerpo robusto, de hasta 16 mm de largo, de color verde, marrón o amarillento. Estos insectos acuáticos nadan sobre sus espaldas, remando vigorosamente con sus largas y peludas patas traseras. Son depredadores y atacan a presas tan grandes como renacuajos y peces pequeños, y puede causar una dolorosa picadura a un ser humano. Habitan en agua dulce, por ejemplo, lagos, piscinas, pantanos, y se encuentran a veces en los estanques de jardín. Pueden volar bien y así migran con facilidad a nuevos hábitats.¹⁵

Aunque hayan sido hechos pocos estudios de campo para evaluarse la eficiencia de control, se sabe que larvas de mosquitos son realmente el alimento

preferido de los notonéctidos. Cuando son introducidos en pequeños lagos ellos reducen el número de mosquitos emergentes, y acaban promoviendo una reducción de la ovipostura. Su uso en campañas de control de mosquitos está limitado a la disponibilidad de comida. La falta de comida puede inducir a que opten por una función de canibalismo, una vez que los individuos adultos atacan sin distinción las ninfas de su propia especie o de otras especies de notonéctidos. Esto puede repercutir en una disminución de la población de notonéctidos debajo de un número necesario para obtener un control eficiente de las larvas de mosquitos.²

b) Náyades de odonatos en el control de larvas de mosquitos

El orden Odonata es un grupo destacado de la clase Insecta por su amplia distribución en los ecosistemas acuáticos, su capacidad depredadora, abundancia, diversidad y exigencias ecológicas. Es por esto, que se le considera un orden importante en la dinámica natural de las poblaciones y por lo tanto, parte esencial en muchos ecosistemas acuáticos y significativo al momento de realizar estudios de rehabilitación de los ambientes acuáticos.³³

Los Odonata son insectos depredadores tanto en estados inmaduros (náyades) como en adultos. Cuando son náyades, se alimentan de diferentes especies de organismos acuáticos como rotíferos, crustáceos, pequeños moluscos acuáticos, larvas de otras libélulas, larvas de mosquitos e insectos, renacuajos, y larvas y alevines de peces, entre otros.³⁴

Su gran capacidad de depredación las convierte en parte fundamental para el equilibrio de los ecosistemas acuáticos, en los que en muchos casos representan los mayores depredadores. Esto, aunado a la gran cantidad de hábitats en los que se encuentran, ha motivado a algunos investigadores a utilizarlas en el control de plagas perjudiciales para el hombre, como los

zancudos o mosquitos transmisores de enfermedades. Sebastian *et al.*³⁵ utilizando náyades de *Czocontenemis servelia* (Odonata: Libellulidae) en programas de control de *Aedes aegypti*, logró suprimir hasta un 92% de la población de larvas de este importante mosquito vector. Por otro lado Sathe y Bhusnar,³⁶ utilizando náyades de *Pantala flaviscens* y *Tramea abdominalis* lograron excelentes resultados en el biocontrol de larvas del mosquito *Culex quinquefasciatus*, además de lograr reportar con éxito que las náyades de odonatos como Gomphus, Burmagomphus, Cyclogomphus Microgomphus, Anax, Macromia, Orthetrum, Potomarcha, Pantala, Chlorogomphus, Epophthalmia, Indionyx, Amphithemis, Hylaeothemis, Heliogomphus Davidiodies, Bradinopyga, Crocothemis y Lameligomphus como importantes agentes de biocontrol de larvas de mosquitos de importancia médica.

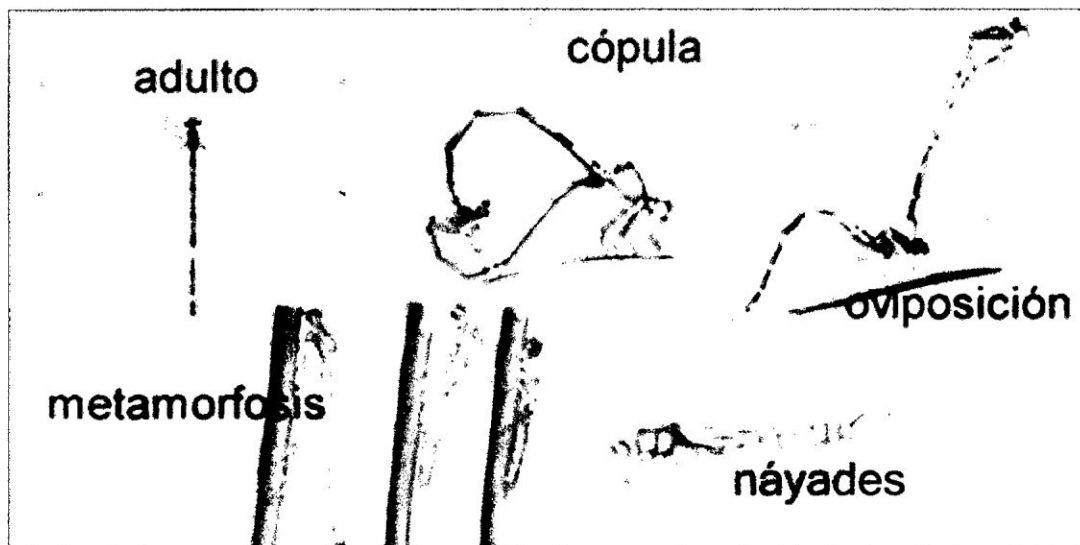


Figura 3. Ciclo de vida de las libélulas³⁸

Las nayades de Odonata generalmente se mueven poco, prefiriendo esperar a que las presas naden cerca de ellos para atraparlas. Muchas especies sólo se desplazan durante la noche y permanecen escondidas durante el día, en especial cuando habitan sitios donde hay peces depredadores. Cuando se

mueven, generalmente lo hacen caminando sobre el sustrato. Algunas especies habitan entre el sedimento y se mueven poco. Sin embargo, en caso de ser atacadas las náyades pueden moverse rápidamente.³⁷

Dentro del comportamiento de alimentación, las larvas pueden optar por dos estrategias para la captura de sus presas. El modo de espera, donde la larva está apostada entre la vegetación (*Anax* o *Sympetrum*) o semienterrada entre los sedimentos (*Gomphidae*, *Orthetrum*, *Libellula* y *Cordulegaster*) camuflándose con su coloración críptica, a la espera de alguna presa que se mueva a su alrededor y atraparla con sus mandíbulas retráctiles. Este mecanismo es el más utilizado y se realiza sobre todo durante la noche. El otro mecanismo utilizado es el forrajeo, donde la larva camina buscando alimento hasta cruzarse con alguna presa. Para la captura de las presas utilizan la máscara, disparándola rápidamente hacia delante y atrapan a la presa con las pinzas prensiles para llevarla a la boca, donde las poderosas mandíbulas realizarán el resto.³⁷

2.3. Bases teóricas

2.3.1. La respuesta funcional

Fue un término usado originalmente por Solomon en 1949, que describe la relación entre el número de presas consumidas por un depredador en función de la densidad de la presa, en un espacio e intervalo de tiempo fijo. La respuesta funcional es central para cualquier descripción sobre parasitismo o depredación, precisamente porque el número de presas consumidas determina el desarrollo, supervivencia y reproducción de los depredadores o parasitoides. Sirve también para evaluar la potencialidad del agente de control biológico de plagas.³⁹ Por ejemplo, permite conocer la densidad asintótica (de saturación) de presas, más allá de la cual se incrementa la probabilidad de escape. También permite

entender las relaciones coevolutivas depredador-presa e inferir acerca de los mecanismos etológicos básicos implícitos en dichas interacciones.⁴⁰

2.3.2. Respuesta funcional del depredador en relación a la presa

a) Comportamiento depredador y estrategia de captura

El proceso de captura de una presa por los depredadores ocurre siguiendo tres etapas consecutivas:¹⁹

- Localización de la presa.
- Reconocimiento y manipulación de la presa
- Selección y especificidad por la presa.

Las tácticas de captura de presas en Hemípteros, Coleópteros y Odonatos pueden dividirse en dos categorías:

1) Búsqueda, el depredador no permanece quieto sino que realiza desplazamientos más o menos largos con diferentes propósitos:

- Búsqueda simple de la presa, como en los Cicindélidos, Carábidos, Estafilínidos (Coleópteros), *Notonecta* sp., *Boenoa* sp. (Hemípteros).
- Búsqueda de un tipo de hábitat específico de la presa como en el caso de los Coccinélidos.
- Seguimiento de feromonas, típica de los Cléridos.

2) Acecho, en este caso el depredador espera oculto en pequeñas galerías del suelo o camuflado el paso de su presa; en ese momento lanza sus patas y mandíbulas sobre ella sujetándose al suelo con las espinas de las patas y tórax un ejemplo es el caso de las larvas y adultos de cicindélidos (coleópteros y odonatos).

b) La respuesta funcional del depredador en relación a la presa

De entre los muchos modelos matemáticos que permiten evaluar la depredación que desarrolla un determinado controlador biológico, está el modelo propuesto por Nicholson-Bailey, que incorpora los conceptos de respuesta funcional (T_h = tiempo de manipuleo, aportado por Holling en 1966), e interferencia mutua (m , aportado por Hassell y Varley en 1969), los cuales producen una ganancia sustancial en la estabilidad en las interacciones depredador/presa o parasitoide/huésped. ⁴¹ Al analizar la estabilidad de los modelos relacionados con el control biológico, ⁴¹ identificaron tres factores importantes en la interacción parasitoide/hospedero, todos relacionados con respuestas de parasitoides: a) La respuesta funcional a cambios en la densidad del hospedero; b) la respuesta a su propia densidad (interferencia mutua); y c) la respuesta a la distribución del hospedero. En base a lo anterior, ellos sugieren que en la búsqueda de enemigos naturales para su utilización en programas de control biológico, aquellos que cuenten con los siguientes atributos son los que tendrían una mayor posibilidad de lograr una relación estable con su hospedero a bajas densidades: a) Alta eficiencia en su capacidad intrínseca de búsqueda, lo cual es necesario para lograr el equilibrio a densidades bajas; b) poco tiempo de manipuleo (T_h) en relación con el tiempo total de búsqueda (T), lo que minimizará la inestabilidad resultante de la respuesta funcional; c) un grado de interferencia mutua en el rango de $0 < m < 1$, lo que contribuye a la estabilidad de la interacción, y d) alto grado de agregación de los depredadores o parasitoides con respecto a la distribución del hospedero. ⁴¹ Sin embargo, aunque estos atributos tienen un respaldo teórico robusto, ha sido aún difícil predecir el grado de éxito que tendrán los programas de control biológico en base a los atributos que poseen los enemigos naturales. ^{42,41}

La potencialidad de un organismo como biocontrolador puede evaluarse a través de la respuesta funcional propuesta por Holling en 1959, que expresa la relación entre la tasa individual de consumo del predador y la densidad de alimento disponible localmente.⁴¹ Esta respuesta asume que el predador ocupa su tiempo en dos actividades básicas: búsqueda de la presa (a) y manipulación de la misma (b) que incluye: perseguirla, matarla, comerla y digerirla. Holling en 1959 describió tres tipos de respuestas posibles que respondían a ecuaciones de curvas lineales en aumento (tipo I), una curva cóncava que desacelera (tipo II), o una relación sigmoidea (tipo III), las mismas que varían en relación a la dependencia de la densidad de presa y si bien su determinación se realiza en un ambiente controlado, dan una idea del comportamiento predatorio pero a la vez permiten establecer comparaciones entre diversos predadores.⁴¹

- La respuesta de tipo I, en la cual el número de presas consumidas (N_c) por unidad de tiempo de búsqueda del predador (T_b) crece linealmente con el número de presas disponibles (N_d); la pendiente de esta relación (a') representa la eficiencia de búsqueda del predador (o también llamada tasa de ataque) y es la proporción de presas comidas por unidad de tiempo. Entonces, $N_c = N_d * T_b * a'$ (igual a la Ecuación básica de Holling: $y = a(T - by)$ x; Donde: y = cantidad de presas atacadas; x = cantidad de la presa suministrada; T = tiempo total (en días) de exposición del predador y la presa; a = tiempo de búsqueda y b = tiempo de manipuleo). La tasa de consumo de presas por el predador es N_c / T_b .
- La respuesta de tipo II, en la cual la forma funcional es de tipo cóncavo. Es la más frecuentemente encontrada en la naturaleza. Existe un aumento inicial en la tasa de consumo del predador con el aumento de la densidad de presas

pero se produce una desaceleración continua hasta alcanzar un plateau. Esta desaceleración se debe a que el predador tiene una cantidad limitada de su tiempo (T) para invertir en la búsqueda de presas, y que cada presa le demanda un determinado tiempo de manipulación (Tm) para perseguirla, someterla, consumirla y prepararse para una nueva búsqueda. A medida que aumenta la abundancia de presas, es cada vez más fácil ubicarlas pero la manipulación demanda el mismo tiempo. Cuando la abundancia de presas es infinita, el consumidor pasa su tiempo manipulándolas. Esta es la tasa de consumo máxima o plateau de la relación. Entonces, $N_c = N_d * T * a' / (1 + a' * T_m * N_d)$.

- La respuesta de tipo III o sigmoidea, en la cual existe un aumento inicial en la tasa de consumo con el aumento de la densidad de presas hasta un punto de inflexión en la cual comienza la desaceleración hasta alcanzar un plateau similar al que se da en la respuesta de tipo II. Esta respuesta de tipo III habitualmente se origina en que incrementos en la densidad del alimento lleva a un aumento en la eficiencia de búsqueda del predador o a una disminución de su tiempo de manipulación. Las curvas de tipo I representan tasas de consumo de los predadores que aumentan linealmente con la densidad de presa, hasta que se alcanza un máximo donde la tasa de consumo permanece constante,⁴¹ los predadores no acuáticos presentan este tipo de curva. La respuesta funcional de tipo II es curvilínea (cóncava), en este caso la tasa de consumo aumenta con la densidad de la presa, pero disminuyendo la velocidad de aumento hasta alcanzar una plataforma en la cual la tasa de consumo permanece constante, independientemente de la densidad de presa⁴¹.

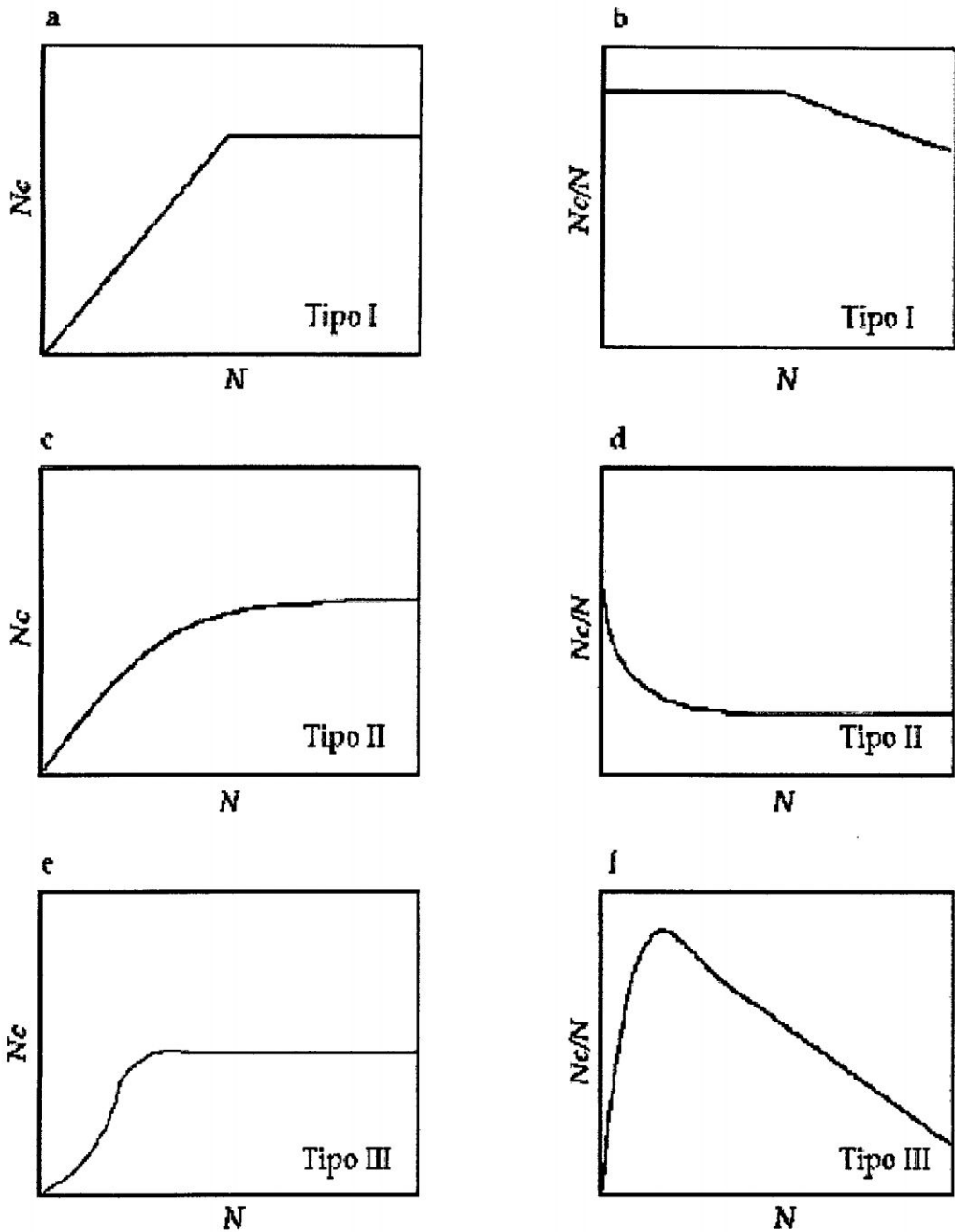
Peckarsky reportado por Pervez,⁴¹ manifiesta que la respuesta funcional de tipo III (sigmoïdal), también responde al tipo de comportamiento que muestran los insectos acuáticos, para este caso Chesson,⁴⁰ documenta que existe un incremento inicial en la tasa de consumo con el aumento de la densidad de presas hasta un punto de inflexión, en la cual comienza una desaceleración hasta alcanzar un plateau similar al que se da en la respuesta tipo II.

Chesson reportado por Begon *et al.*,⁴⁰ propone que la información empírica muestra que los sistemas predador-presa son estables, pero los modelos teóricos demuestran que las respuestas funcionales de tipo I y II no son estables (llevan a la extinción de la presa o a escapar del control de los predadores).

Sin embargo, muchos autores han intentado explicar estas diferencias proponiendo modelos en los cuales la estabilidad se incrementa con la heterogeneidad espacial, la presencia de refugios o de presas alternativas. Cada una de estas condiciones puede promover estabilidad en la tasa de depredación denso-dependiente, en la cual los predadores consumen presas cuando las densidades de las mismas son altas que cuando son bajas. Por lo tanto, según la propuesta de Peckarsky reportado por Pervez,⁴¹ el predominio de respuestas funcionales inestables de tipo II reportadas para predadores acuáticos puede ser producto de las condiciones artificiales bajo las cuales fueron medidas.

Chesson reportado por Begon *et al.*,⁴⁰ explica que este tipo de respuesta funcional ha sido observado frecuentemente en insectos acuáticos, como por ejemplo *Notonecta* alimentándose de larvas de mosquito.

La mayoría de los experimentos de respuesta funcional de insectos acuáticos predadores han sido realizados bajo condiciones de laboratorio en la cual la especie de predador es provista de sólo una especie de presa que es distribuida homogéneamente en el hábitat experimental.



Legenda:

En a, c, e: relación entre el número de presas consumidas por depredador (N_c) y el número de presas ofrecidas al depredador (N)

En b, d, f: proporción de presas consumidas (N_c/N) y el número de presas ofrecidas al depredador.

Fuente: Fernández y Corley³⁹.

Figura 4. Tipos más comunes de respuesta funcional desarrollada por insectos depredadores.

Estas condiciones artificiales produjeron curvas de tipo II que son inestables. Sin embargo, información recolectada en la cual las condiciones de laboratorio proveyeron hábitats heterogéneos, refugios para las presas, o presas alternativas, ajustaron a curvas estables de tipo III (Peckarsky reportado por Pervez,⁴¹).

Aunque la mayoría de los insectos predadores son polípagos, la investigación de la conducta de depredación, con la excepción de la permutación y estudios de forraje óptimos, tiende a concentrarse en las situaciones simples de predador-presa (Chesson reportado por Begon *et al.*,⁴⁰)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Zona de estudio

La presente investigación se llevó a cabo en el distrito de Ayacucho, ubicado políticamente en la provincia de Huamanga - Ayacucho. Teniendo como centros de investigación el Laboratorio de Zoología de la Facultad de Ciencias Biológicas (FCB), ubicado en la Ciudad Universitaria (Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (UNSCH).

- Larvas de *Culex quinquefasciatus*: pileta de almacenamiento de agua temporal ubicado a un costado de los laboratorios de Docencia e Investigación de la Facultad de Ciencias Biológicas, Ciudad Universitaria (FCB-UNSCH) (Coordenadas: 13°8'45.04" S; 74°13'16.24" O; 2791 msnm) (Anexo 7).
- Predadores *Notonecta* sp. y *Erythemis* sp.: poza de almacenamiento temporal de agua para riego ubicado en Canaán Bajo, distrito de San Juan Bautista-Ayacucho (Coordenadas 13°10'27.33" S; 74°12'10.58" O; 2761 msnm) (Anexo 8).

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

Larvas de *Culex quinquefasciatus* recolectadas de la pileta de almacenamiento de agua temporal.

3.2.2. Muestra

- 40 insectos adultos del predador *Notonecta* sp. "chinche nadador de dorso".
- 40 náyades de *Erythemis* sp.
- 3 000 larvas de IV instar de *Culex quinquefasciatus*

3.3. Metodología y recolección de datos

3.3.1. Colecta y mantenimiento del material biológico

Para la colecta de los predadores y las larvas fue utilizada una red entomológica y un *dipper* de 350 mL. El material biológico colectado, fue trasladado en baldes de plástico de dos litros de capacidad con tapa hermética al laboratorio donde fueron separados por morfotipos y criados temporalmente en peceras de vidrio (tamaño: 50 x 40 x 40 cm) de cinco litros de capacidad, conteniendo tres litros de agua limpia, hasta el momento de las pruebas de biocontrol. Algunos especímenes fueron separados y conservados en viales conteniendo alcohol al 75%, a fin de realizar la identificación taxonómica de los ejemplares.

Los adultos de *Notonecta* sp. (en los que no se tomó en cuenta la longevidad ni el sexo) y las náyades de *Erythemis* sp., fueron alimentadas con larvas del mosquito *Culex quinquefasciatus* hasta 48 horas antes de las pruebas, de estas crianzas fueron seleccionados 28 predadores adultos del chinche notonectido y 28 náyades del insecto odonato, tomando en cuenta el mismo porte y tamaño, los cuales fueron individualizados en recipientes plásticos conteniendo un litro de agua limpia, y mantenidas en ayuno por 48 horas antes de iniciar las pruebas experimentales. En forma similar las larvas del mosquito *Culex quinquefasciatus*

fueron criadas en una pecera de vidrio de cinco litros de capacidad (tamaño: 50 x 40 x 40 cm), conteniendo cuatro litros de agua (dos litros de agua procedente de la pileta de almacenamiento de agua temporal y dos litros de agua declorada), siendo alimentadas con alimento para peces tropicales tipo hojuelas hasta alcanzar el IV instar de desarrollo (promedio: 1,2 a 1,5 cm de tamaño), a temperatura ambiente y un fotoperiodo de 14:10 (día-noche).

3.3.2. Capacidad depredadora de *Notonecta* sp. y *Erythemis* sp. en el control de larvas de *Culex quinquefasciatus*

a) Determinación del tipo de respuesta funcional

Para este fin se acondicionaron 35 recipientes de plástico transparentes de un litro de capacidad por predador, conteniendo un litro de agua limpia y declorada. A cada envase se administró densidades crecientes de larvas de IV instar de *Culex quinquefasciatus*: 5, 10, 15, 25, 35, 50, 75 larvas/predador. Una hora después de haberse colocado las larvas en los recipientes, se introdujo un adulto o una náyade por recipiente de experimentación (según sea el caso del predador a ser evaluado) de los especímenes seleccionados y aislados. La temperatura del ambiente de experimentación fue mantenida entre 25 a 27°C (para lo cual se utilizó una hornilla eléctrica), 60 a 70 % de humedad relativa y un fotoperiodo de 14:10 (día-noche), por 24 horas. La lectura del número de larvas consumidas por predador se llevó a cabo al día siguiente. Los ensayos fueron realizados con cuatro repeticiones y un control. Con los datos obtenidos se confeccionaron gráficos relacionando el promedio de larvas consumidas (Y) vs la densidad de larvas de IV instar de *Culex quinquefasciatus* administradas (X) determinándose el tipo de respuesta funcional según los modelos de curvas propuestas por Holling en 1959 y 1966: modelo lineal, cóncavo o sigmoidea,^{41, 39, 40} para cada depredador. A fin de determinar que curva de tendencia es la que mejor

representó al tipo de respuesta funcional, se realizó el análisis de varianza ($P \leq 0,05$), evaluándose adicionalmente el coeficiente de determinación (R^2), que representó el nivel de relación existente entre las variables evaluadas. Aquellos modelos donde los valores del coeficiente de determinación se hallaron por debajo de 0,50 fueron descartados,⁴³ aceptándose como el mejor modelo aquellos valores que fueron próximos a la unidad.

Para definir y confirmar el tipo de respuesta funcional, se realizó el ajuste de los datos a una de las opciones de línea de tendencia (lineal, logarítmica y polinómica) entre la proporción de presas consumidas (N_p/N_o) vs. el número de presas ofrecidas (N_o) recomendado por Juliano y reportado por Fernández y Corley³⁹ (Fig.4), procedimiento básico que consistió en evaluar sucesivos modelos de curvas aceptándose como el mejor modelo aquel valor donde el coeficiente de determinación (R^2) fue próximo a la unidad, línea de tendencia que nos ayudó a determinar el tipo de respuesta funcional que desarrolló el depredador a la proporción de presas atacadas (variable dependiente) para una (o más) variables continuas (densidad de presas ofrecidas). Finalmente se graficó una curva de regresión lineal con su respectiva ecuación, datos necesarios para el cálculo de los parámetros de la respuesta funcional como Capacidad de Búsqueda y Tiempo de Manipuleo.

$$y = b x + a$$

Dónde:

y = número de presas atacadas o consumidas

x = número de presas ofrecidas

b = pendiente de la recta o eficiencia de búsqueda del predador

a = término independiente u ordenada al origen (densidad de larvas administradas que son consumidas en el origen)

En vista que las curvas de tendencia evaluadas en el tipo de respuesta funcional, respondieron al modelo tipo II de Holling,³⁹ se calculó el número de presas consumidas (N_c) para cada densidad creciente de larvas administradas, a través de la "ecuación del disco" de Holling (1966).^{44, 39}

$$N_c = \frac{(aNT)}{(1+aNTm)}$$

Dónde:

N_c = número de presas consumidas

a= tasa de ataque constante (tasa de búsqueda instantánea)

N= densidad inicial de la presa

T= tiempo total disponible y

T_m = tiempo de manipulación.

Tomando en cuenta los datos generados en la fórmula de regresión lineal de la curva de la inversa proporcional.

b) Evaluación de la capacidad de búsqueda (a') y tiempo de manipuleo (T_m) en condiciones de laboratorio

La capacidad de búsqueda (a') fue calculada mediante la aplicación de la fórmula propuesta por Rocha y Randaelli.⁴⁴

$$a' = \frac{(N_c)}{(N \times T_s)}$$

Dónde:

a' = capacidad de búsqueda

Nc= número de presas consumidas

N= número de presas ofrecidas y

Ts= tiempo de búsqueda.

Para el caso, el Ts fue calculado de la aplicación de las siguientes fórmulas: $T_s = T - T_{h_{total}}$; dónde el $T_{h_{total}}$ fue estimado: $T_{h_{total}} = T_m \times N_a$. El tiempo de manipuleo fue hallado mediante la aplicación de la "ecuación del disco" de la respuesta funcional de Holling tipo II³⁹ [$T_m = |b| / a'$; dónde: T_m = tiempo de manipuleo; $|b|$ = valor absoluto del coeficiente de regresión; a' = capacidad de búsqueda]. La capacidad de búsqueda (a') y el tiempo de manipuleo (T_m) fueron calculados para cada depredador evaluado y densidad de presa administrada, determinándose la media y la desviación típica. Además fue realizado la prueba post hoc de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0,05$) para cada densidad de larvas administradas y depredador evaluado.

c) Capacidad de depredación

La capacidad de depredación o clearance rate (CR = número de presas consumidas/h/depredador), de los controladores biológicos *Notonecta* sp y *Erythemis* sp. en el control de larvas de *Culex quinquefasciatus*, fue determinado luego de transcurrido las 24 h de inicio del experimento. Los valores de CR , fueron estimados mediante la aplicación de la fórmula original propuesta por Gilbert y Burns,⁴⁵ modificada por Chandra *et al.*⁴⁶

$$CR = \frac{V(\ln P)}{(T \times N)}$$

Dónde:

V = volumen de agua (en litros)

ln = logaritmo neperiano o natural

P = número de presas muertas o consumidas

T = tiempo de duración del ensayo (24 horas)

N = número de depredadores

La capacidad de depredación fue estimado para cada depredador evaluado y densidad de presa administrada, determinándose la media y la desviación típica. Adicionalmente se realizó la prueba post hoc de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0,05$), determinándose la densidad en la que los depredadores evaluados desarrollaron la mejor capacidad de depredación (CR).

3.4. Tipo de investigación

La investigación llevada a cabo fue del tipo básica experimental, donde se adecuó el experimento a un diseño factorial del tipo A x B; donde A=especies depredadoras (adultos de *Notonecta* sp y náyades de *Erythemis* sp.), y B= densidades crecientes de larvas de IV instar de *Culex quinquefasciatus*. El experimento se llevó a cabo con cuatro repeticiones y su respectivo blanco experimental (control), para cada una de las densidades evaluadas y tipo de depredador estudiado.

3.5. Análisis de datos

Con los datos obtenidos en las pruebas de biocontrol de larvas de *Culex quinquefasciatus* por los depredadores acuáticos *Notonecta* sp (adulto) y *Erythemis* sp. (náyade), se elaboraron tablas y figuras estadísticas del tipo descriptivo de tendencia central y de dispersión. Con la finalidad de establecer si existen diferencias significativas en el porcentaje de consumo de larvas de IV instar de *Culex quinquefasciatus* por parte de los depredadores evaluados, los resultados fueron sometidos a un análisis de varianza ($P \leq 0,05$). En vista de haberse encontrado alta significancia para los datos analizados, se realizó la

prueba post hoc de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0,05$) entre el número de presas consumidas por depredador y por densidad larval evaluada, a fin de determinar que insecto es el que desarrolló mejor actividad de biocontrol de larvas de *Culex quinquefasciatus* y la densidad a la que se llevó la mayor depredación, utilizando para ello el procedimiento del paquete estadístico SPSS 15.

IV. RESULTADOS

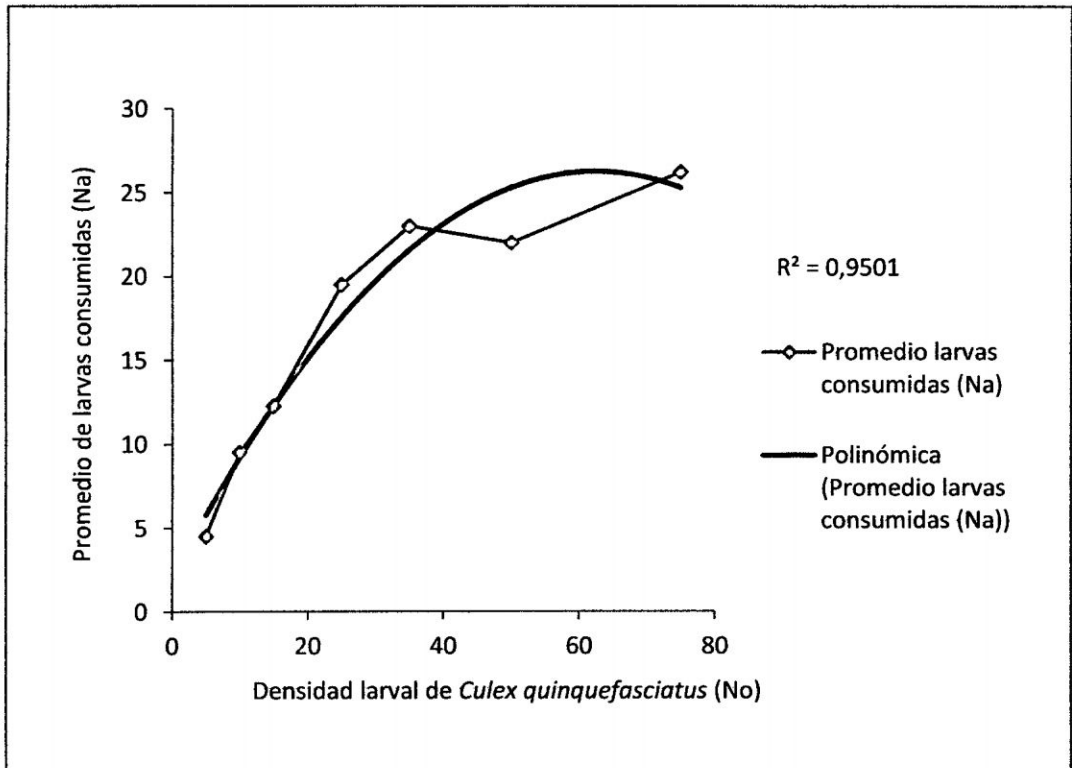


Figura 5. Promedio de larvas consumidas por el depredador *Notonecta* sp. en relación a la densidad de larvas de IV instar administradas de *Culex quinquefasciatus*.

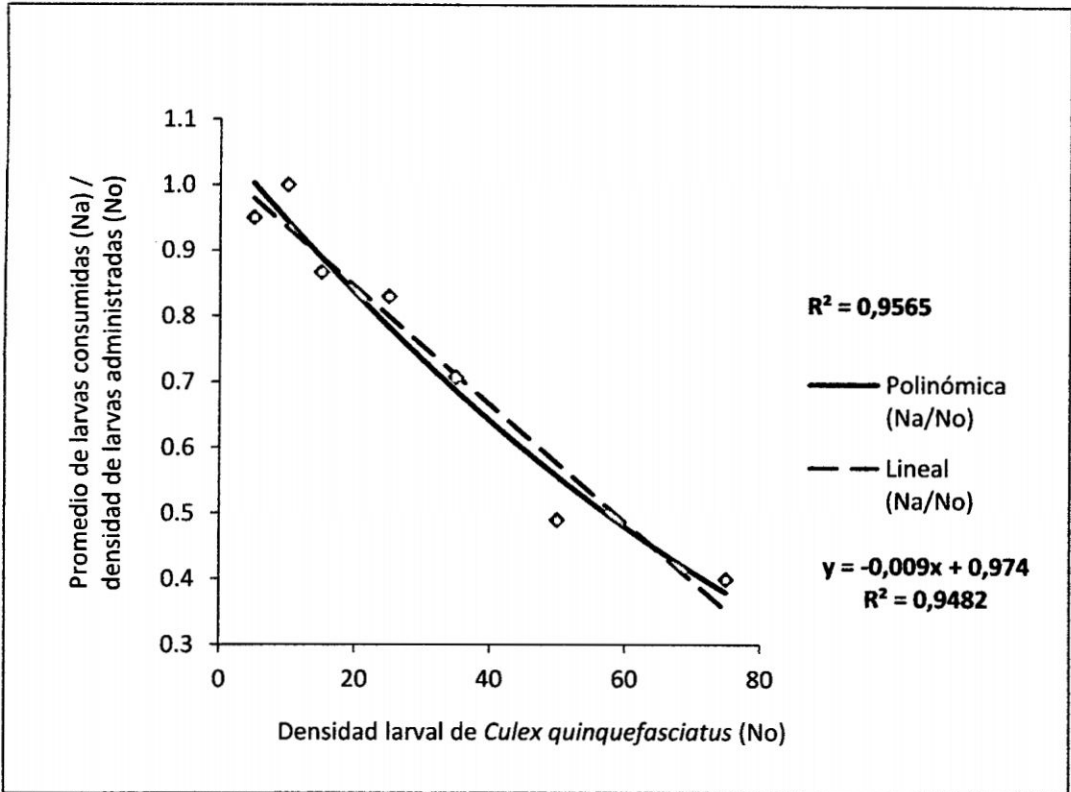


Figura 6. Inversa proporcional del consumo de larvas de *Culex quinquefasciatus* en relación a la densidad de larvas administradas, por el predador *Notonecta* sp.

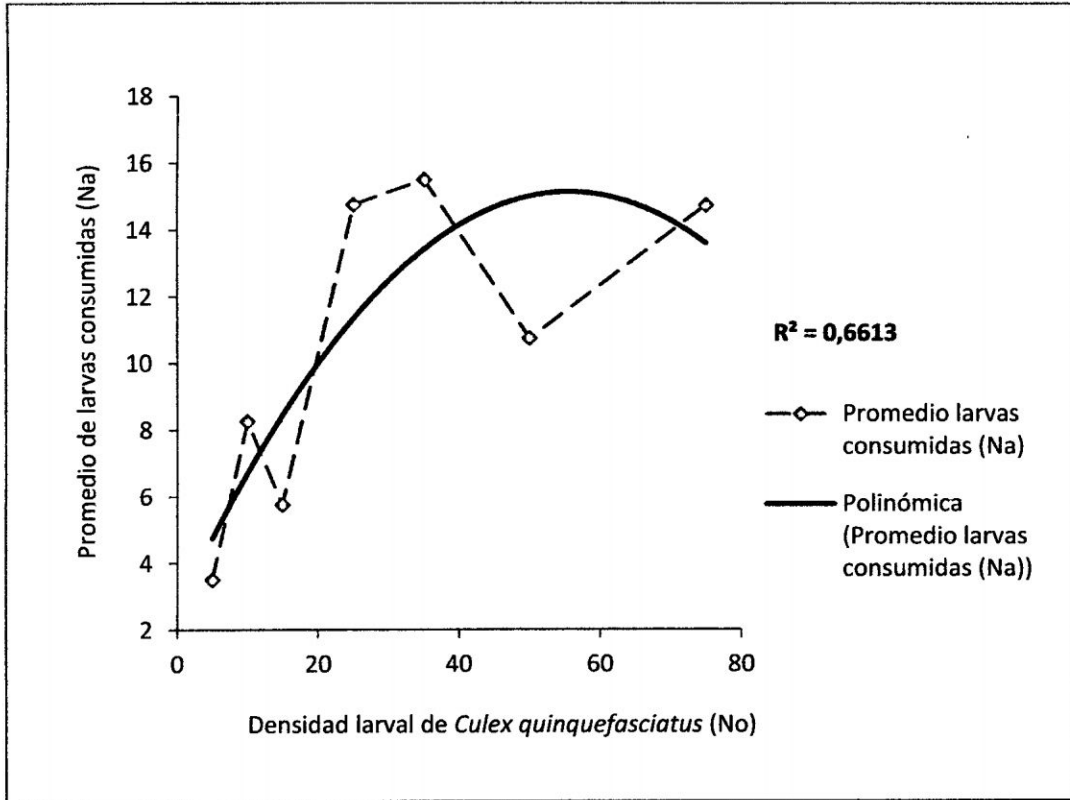


Figura 7. Promedio de larvas consumidas por el depredador *Erythemis* sp. en relación a la densidad de larvas de IV instar administradas de *Culex quinquefasciatus*.

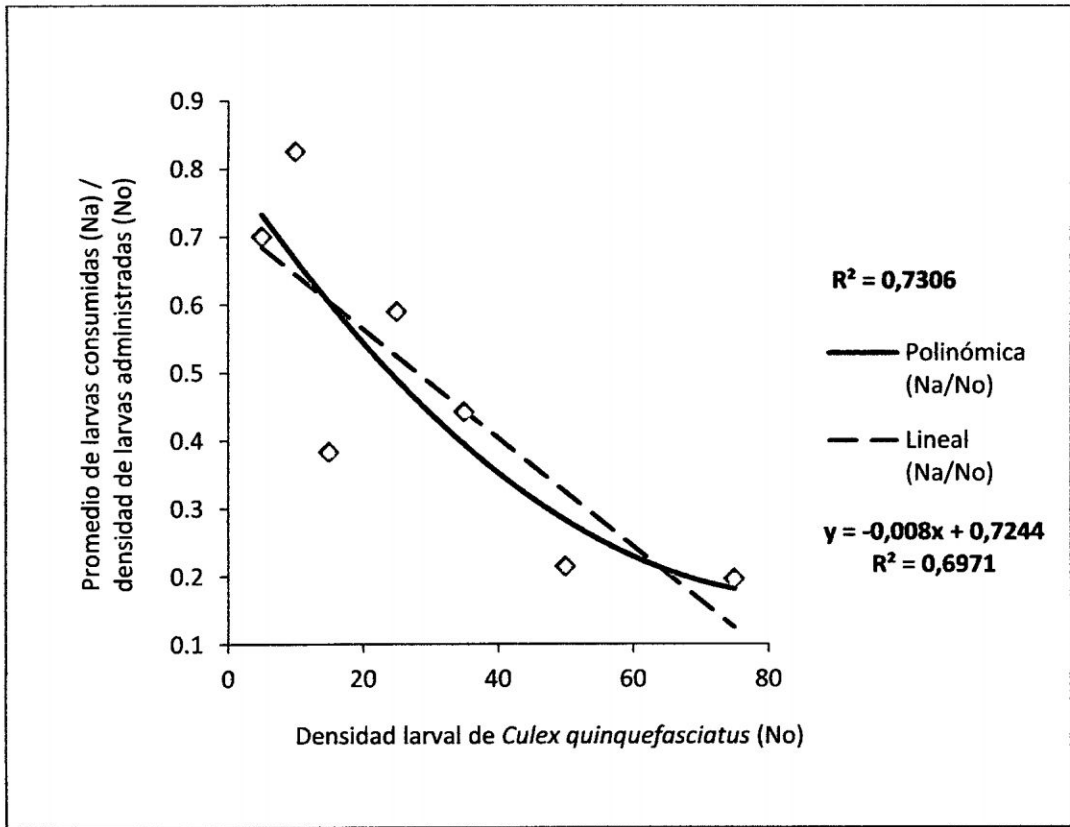


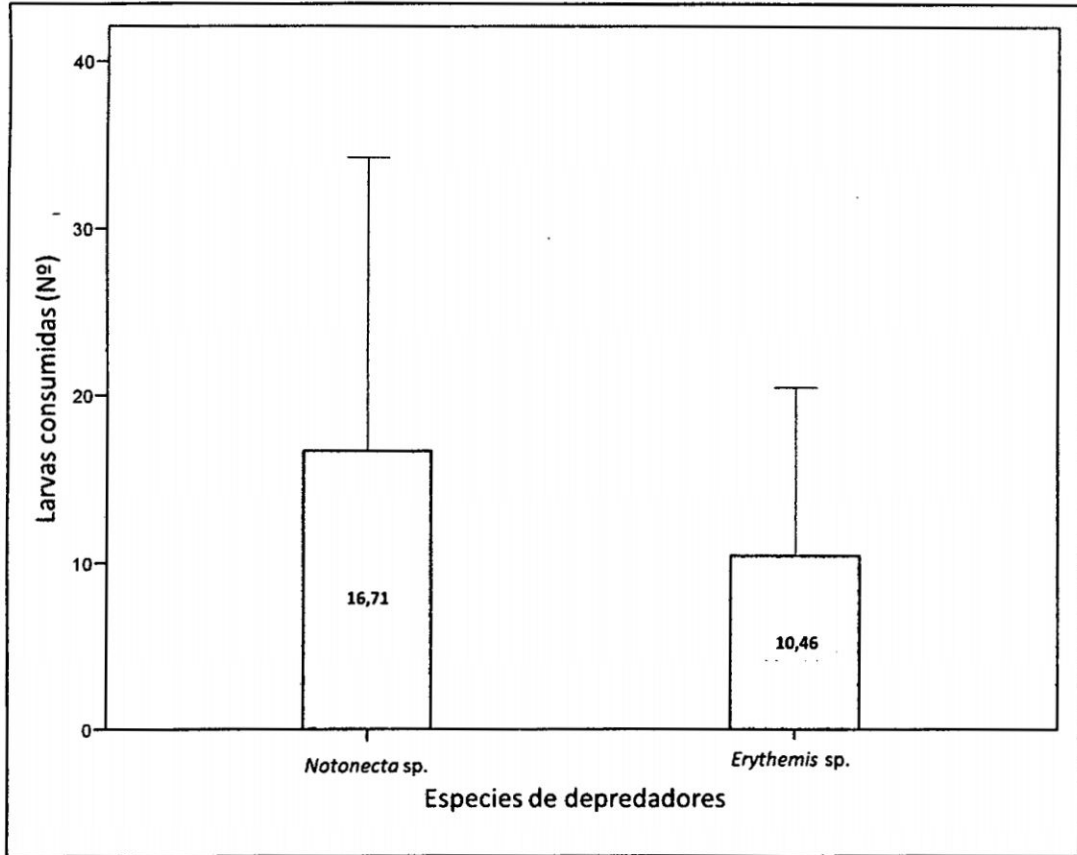
Figura 8. Inversa proporcional del consumo de larvas de *Culex quinquefasciatus* en relación a la densidad de larvas administradas, por el predador *Erythemis* sp.

Tabla 1. Valores medios (\pm SE) ($P \leq 0.05$) de larvas consumidas (N_a), capacidad de búsqueda (a'), tiempo de manipuleo (T_m) y capacidad de depredación (CR) de *Notonecta* sp. y *Erythemis* sp.

Depredador	Densidad larval inicial (No)	Larvas consumidas (N_a)	Capacidad de búsqueda (a')	Tiempo de manipuleo T_m (h)	Capacidad de depredación (CR)*
<i>Notonecta</i> sp.	5	4,50 \pm 0,57 ^d ¹	0,08 \pm 0,01c	0,12 \pm 0,02a	0,05 \pm 0,03a
	10	9,50 \pm 1,00cd	0,13 \pm 0,01bc	0,07 \pm 0,01b	0,07 \pm 0,05a
	15	12,25 \pm 2,21bcd	0,14 \pm 0,03abc	0,06 \pm 0,01bc	0,08 \pm 0,05a
	25	19,50 \pm 2,51abc	0,21 \pm 0,03ab	0,04 \pm 0,01cd	0,09 \pm 0,06a
	35	23,00 \pm 9,41ab	0,23 \pm 0,10ab	0,04 \pm 0,02cd	0,09 \pm 0,06a
	50	22,00 \pm 7,34ab	0,22 \pm 0,07ab	0,04 \pm 0,01cd	0,09 \pm 0,06a
	75	26,25 \pm 4,42a	0,25 \pm 0,04a	0,04 \pm 0,01d	0,10 \pm 0,08a
<i>Erythemis</i> sp.	5	3,50 \pm 1,00c	0,06 \pm 0,02b	0,15 \pm 0,06a	0,04 \pm 0,03a
	10	8,25 \pm 0,96bc	0,10 \pm 0,01ab	0,08 \pm 0,01bc	0,06 \pm 0,04a
	15	5,75 \pm 1,50bc	0,06 \pm 0,02b	0,13 \pm 0,03ab	0,06 \pm 0,02a
	25	14,75 \pm 3,59a	0,14 \pm 0,03a	0,06 \pm 0,01c	0,08 \pm 0,03a
	35	15,50 \pm 3,31a	0,14 \pm 0,03a	0,06 \pm 0,01c	0,08 \pm 0,03a
	50	10,75 \pm 2,50ab	0,09 \pm 0,02ab	0,09 \pm 0,02bc	0,07 \pm 0,02a
	75	14,75 \pm 3,10a	0,13 \pm 0,03a	0,07 \pm 0,01c	0,08 \pm 0,03a

* Los resultados se expresan como número de presas consumidas / hora / depredador.

¹ Medias signadas con letras diferentes en las columnas difieren entre sí por la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).



Especies	Media	N
<i>Notonecta</i> sp.	16.714 ± 8,764	28
<i>Erythemis</i> sp.	10.464 ± 5,029	28

Figura 9. Consumo promedio de larvas de IV instar de *Culex quinquefasciatus* por los depredadores *Notonecta* sp. y *Erythemis* sp.

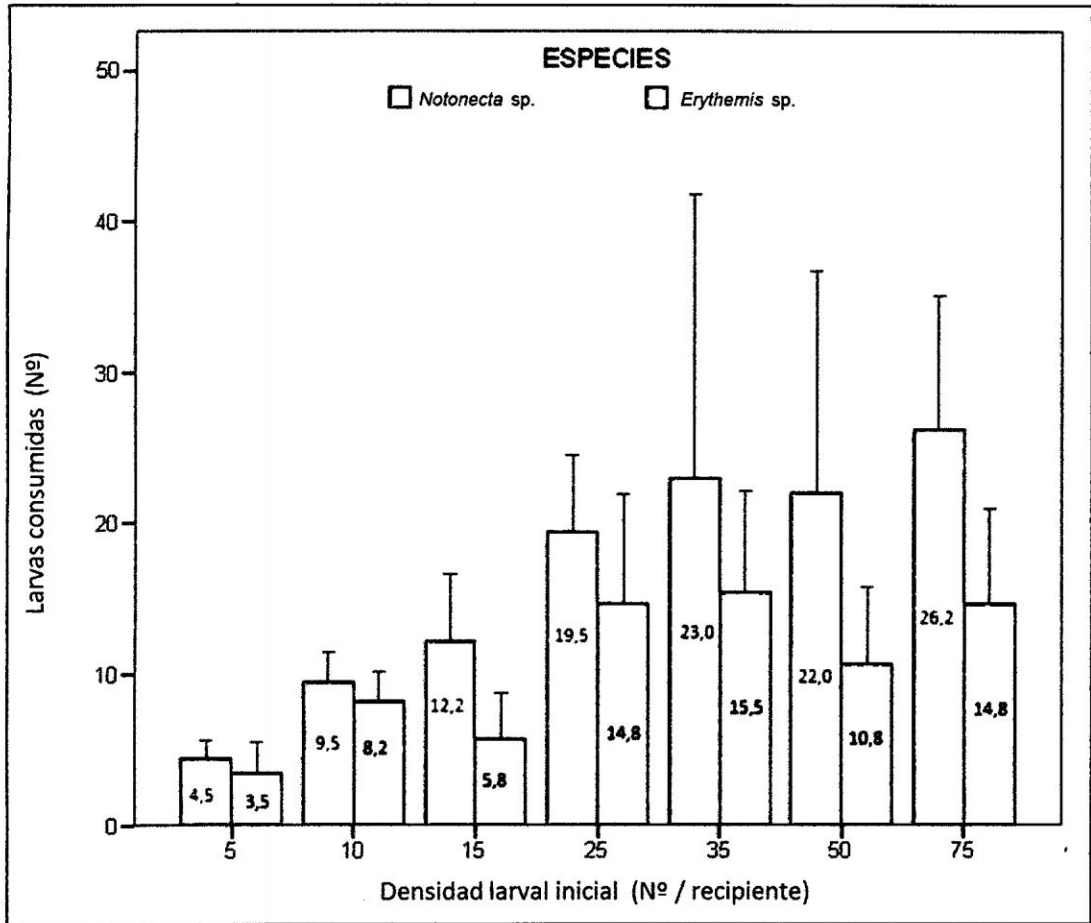


Figura 10. Número de larvas consumidas por los depredadores *Notonecta* sp. y *Erythemis* sp., en relación a la densidad inicial de larvas de IV instar de *Culex quinquefasciatus*.

V. DISCUSIÓN

5.1. Análisis de la respuesta funcional desarrollada por los depredadores

El análisis de las Figuras 5 y 7 nos muestran la tendencia de depredación que desarrollan los adultos de *Notonecta* sp. y las náyades de *Erythemis* sp. en el control de larvas de IV instar de *Culex quinquefasciatus*. Como se puede apreciar, el número de larvas consumidas se incrementó con el aumento de la densidad de las presas hasta alcanzar un nivel de saturación o estabilización del consumo de larvas, generando en ambos casos (especies de depredadores) una tendencia polinómica de curva, estimada como una respuesta funcional de tipo II, según los modelos propuestos por Holling reportado por Fernández y Corley,³⁹. El coeficiente de correlación (R^2) en la curva polinómica asignada para *Notonecta* sp., fue de 0,9501, y para *Erythemis* sp. de $R^2 = 0,6613$, valores que representan la relación existente entre las variables evaluadas (donde el número de presas consumidas correspondió a la variable dependiente y la densidad de presas administradas, a la independiente) y que según la propuesta de Morales *et al.*⁴³ los mejores modelos de línea de tendencia son aquellos donde el coeficiente de correlación se aproxime a la unidad. Al llevar a cabo el análisis de varianza ($P \leq 0,05$) (Anexo 2), a la tendencia de la curva de respuesta funcional

estimada (curva polinómica), nos reporta para las Figuras 5 y 7, como altamente significativas, encontrándose sólido respaldo al tipo II de respuesta funcional asignada para ambos depredadores. Así mismo nos reporta en el análisis de varianza ($P \leq 0,05$), resultados altamente significativos para las curvas lineal, cuadrática, polinómica (cóncava) y logística, que fácilmente podrían colisionar con la respuesta funcional de tipo II establecida para los depredadores *Notonecta* sp. y *Erythemis* sp. En este punto, Juliano reportado por Fernández y Corley,³⁹ recomendó llevar a cabo un procedimiento básico de análisis gráfico de curvas de tendencia, que consistió en evaluar sucesivos modelos de curvas entre la proporción de presas consumidas (N_p/N_o) vs. el número de presas ofrecidas (N_o), aceptándose como el mejor modelo aquel valor donde el coeficiente de determinación (R^2) fue próximo a la unidad. En tal sentido, las Figuras 6 y 8, confirman que los depredadores *Notonecta* sp. y *Erythemis* sp. desarrollaron una respuesta funcional de tipo II en el consumo de larvas de IV instar de *Culex quinquefasciatus* ($R^2 = 0,9565$ para *Notonecta* sp. y $R^2 = 0,7306$ para *Erythemis* sp.).

Según Pervez,⁴¹ la respuesta funcional de tipo II de Holling halladas en la presente investigación para los depredadores *Notonecta* sp. y *Erythemis* sp. en el control de larvas de IV instar de *Culex quinquefasciatus*, es de tipo cóncava, la más frecuentemente encontrada en la naturaleza, donde existe un aumento inicial en la tasa de consumo del predador con el aumento de la densidad de presas pero se produce una desaceleración continua hasta alcanzar un *plateau*. Esta desaceleración se debe a que el predador tiene una cantidad limitada de su tiempo (T) para invertir en la búsqueda de presas, y que cada presa le demanda un determinado tiempo de manipulación (T_m) para perseguir, someter, consumir y prepararse para una nueva búsqueda. A medida que aumenta la abundancia

de presas, es cada vez más fácil ubicarlas pero la manipulación demanda el mismo tiempo. Según Chesson reportado por Begon *et al.*,⁴⁰ explica que este tipo de respuesta funcional ha sido observado frecuentemente en insectos acuáticos, como por ejemplo *Notonecta* alimentándose de larvas de mosquitos. El mismo autor refiere que las respuestas funcionales de tipo II no son estables, pues llevan a la extinción de la presa o a dejarlas libres de control de los depredadores, sobre todo cuando la abundancia de presas es infinita, donde el consumidor pasa su tiempo manipulándolas más no consumiéndolas. Por lo tanto, según Peckarsky (reportado por Begon *et al.*⁴⁰), el predominio de respuestas funcionales inestables de tipo II reportadas para depredadores acuáticos puede ser producto de las condiciones artificiales bajo las cuales fueron medidas, en la cual la especie depredadora es provista de una sola especie de presa que es distribuida homogéneamente en el hábitat experimental.

Ayala¹⁶ al evaluar la respuesta funcional del chinche *Notonecta* sp. en el control de larvas de *Culex quinquefasciatus*, asignó al depredador una respuesta funcional de tipo II ($R^2 = 0,755$), similar al hallado en la presente investigación, resultados que fueron corroborados posteriormente por Cisneros¹⁷, quien estableció que el depredador *Notonecta* sp. desarrolló una respuesta funcional de tipo II (cóncava) al consumir larvas de *Cx. quinquefasciatus* y *Chironomus* sp. ($R^2 = 0,990$ y $0,997$ respectivamente). Ambos investigadores coincidieron en el hecho que la mayor cantidad de larvas consumidas por el depredador *Notonecta* sp. se logró a bajas densidades, llegando a un nivel de saturación que se expresó cuando las densidades ofertadas fueron mayores, comportamiento típico de depredadores acuáticos con características densodependiente inversa.

Fox y Murdoch,⁴⁷ al investigar la actividad depredadora de *Notonecta hoffmanii* Hungerford en larvas de *Culex quinquefasciatus* del cuarto estadio, obtuvieron respuesta funcional de tipo II, demostrando que el tamaño de la ninfa del chinche no afectó el número de presas consumidas y que el número de larvas atacadas aumentó rápidamente con las densidades bajas y lentamente con las altas.

Como hemos visto, pese a que existen muchos factores que afectan los resultados de estimación de la respuesta funcional para depredadores acuáticos, es innegable que la respuesta funcional puede ser útil para comparar diferentes especies de presas y encontrar evidencias de coevolución diferencial entre presa y depredador. Desde este punto de vista, el factor de correlación (R^2) podría ayudarnos a inferir las tendencias coevolutivas que ocurren entre depredador y presa, entendiéndose al R^2 como el valor que representa la relación existente entre las variables evaluadas, así por ejemplo *Notonecta* sp. muestra un $R^2 = 0,9501$ al consumir larvas de *Culex quinquefasciatus*, en tanto que en el depredador *Erythemis* sp. reportó un $R^2 = 0,6613$; esta diferencia posiblemente esté relacionado al hecho de que el depredador *Notonecta* sp. y la presa *Culex quinquefasciatus* hayan desarrollado una coevolución convergente y en este proceso ambos organismos (predador-presa), aprendieron a desarrollar estrategias de sobrevivencia y ajustes fisiológicos mejor que las que desarrollaron las náyades de *Erythemis* sp. en relación a las larvas de *Culex quinquefasciatus*, en un proceso dinámico de constante lucha por alcanzar la optimización, en consecuencia *Notonecta* sp., a la luz de los resultados, se comporta como mejor depredador de larvas de *Culex quinquefasciatus* en comparación a *Erythemis* sp.

La respuesta funcional es un parámetro importante que sirve para evaluar la potencialidad de un agente de control biológico de plagas, siendo central para

cualquier descripción sobre parasitismo o depredación, precisamente porque el número de presas consumidas determina el desarrollo, supervivencia y reproducción de los depredadores.³⁹ La respuesta funcional asume que el predador ocupa su tiempo en dos actividades básicas: búsqueda de la presa y manipulación de la misma que incluye: perseguirla, matarla, comerla y digerirla.⁴¹ También permite entender las relaciones coevolutivas depredador-presa e inferir acerca de los mecanismos etológicos básicos implícitos en dichas interacciones.⁴⁰

5.2. Parámetros de evaluación de la capacidad de biocontrol de los depredadores

Con los datos generados en las ecuaciones de respuesta funcional, fue posible determinar dos características importantes de la capacidad de biocontrol de los depredadores evaluados: capacidad de búsqueda (a') y tiempo de manipuleo (Tm):

a) Capacidad de búsqueda (a')

En la Tabla 1 se reportan los resultados del análisis de la capacidad de búsqueda (a') para cada densidad administrada y depredador evaluado. La capacidad de búsqueda proporcionó información del universo donde se realizó la prueba (área o volumen del experimento) demostrándonos la actividad del depredador y la capacidad de encontrar a su presa. En este contexto, el depredador *Notonecta* sp., reportó resultados de capacidad de búsqueda coincidentemente similares a partir de la densidad 25 a la densidad 50, en la que fueron atacados en promedio $0,21 \pm 0,03(ab)$ a $0,23 \pm 0,10(ab)$ larvas de *Culex quinquefasciatus*, resultados que si bien difieren numéricamente, en la prueba de comparación de medias de Tuckey ($P \leq 0,05$) no muestran diferencias

significativas. La mayor capacidad de búsqueda de presas se expresó en la densidad 75 de larvas administradas [$0,26 \pm 0,04(a)$], aunque estadísticamente coinciden y son similares a los valores promedios reportados en las densidades anteriores. De los resultados, se documenta que numéricamente, el promedio de larvas de *Culex quinquefasciatus* atacadas por el depredador *Notonecta* sp., mantuvo una tendencia creciente a las primeras densidades, llegando a estabilizarse a las densidades mayores, dando como resultado un incremento desacelerado de búsqueda a medida que aumentan las presas administradas, hasta llegar a una asíntota en la cual el predador expresa su máxima tasa de ataque. A esa densidad, el tiempo disponible por *Notonecta* sp., es utilizado para manipular su presa (*Culex quinquefasciatus*), y el tiempo de búsqueda de la presa resulta despreciable,³⁹ dando como resultado un consumo densodependiente inverso a altas densidades poblacionales y una menor posibilidad de ser atacadas las presas cuando están en bajas cantidades,^{40, 39} característica que es apreciable donde la proporción de presas consumidas decrece monotónicamente.

En caso de las náyades de *Erythemis* sp., éstas mostraron coincidentemente la misma tendencia de búsqueda [medias entre $0,06 \pm 0,02(ab)$ y $0,14 \pm 0,03(a)$] en todas las densidades de larvas administradas, que si bien numéricamente difieren, estadísticamente en la prueba de comparación de medias de Tuckey ($P \leq 0,05$), muestran una misma propensión para cada densidad evaluada. Los valores medios similares reportados, probablemente se deba a que el depredador (náyades de *Erythemis* sp.), es poco activo en la búsqueda de presas, prefiriendo mantenerse en el fondo de los envases experimentales con poco movimiento, esperando al acecho a que las presas naden cerca de ellos para atraparlas,^{37,19} a diferencia de *Notonecta* sp., que es un activo buscador y

voraz depredador de sus presas, de movimientos ágiles y por tanto un candidato importante en los programas de control biológico^{2,19}.

Quiroz y Badii,⁴⁸ al evaluar la capacidad depredadora de las larvas del coleóptero *Tropisternus* sp. sobre larvas *Culex pipiens* L., obtuvieron como resultado promedio una capacidad de búsqueda (a') igual a 0,012451 de larvas del mosquito, menor en todos los casos a los resultados hallados en la presente investigación para los dos depredadores evaluados, que nos anima a proponer a estos controladores biológicos como candidatos firmes a ser incluidos en los programas de control y manejo de estados larvarios de insectos de importancia médica

Ayala,¹⁶ al evaluar la capacidad de búsqueda de *Notonecta* sp. en el consumo de larvas de *Culex quinquefasciatus* en condiciones de ausencia y presencia de refugios, demostró en ambos casos, que a medida que se incrementó el número de ofertas larvales en el medio, proporcionalmente se vio incrementado la capacidad de búsqueda, hasta alcanzar en promedio valores constantes a las mayores densidades de larvas ofertadas. Comportamiento similar fue reportado por Cisneros,¹⁷ al evaluar comparativamente la depredación desarrollada por *Notonecta* sp. en el consumo de larvas de *Culex quinquefasciatus* y *Chironomus* sp., documentando mejor capacidad de búsqueda del depredador, de larvas de mosquitos culicidos en comparación a las larvas de *Chironomus* sp.

Quiroz *et al.*⁹ demostraron en México (Nuevo León) que el insecto acuático más prometedor y considerado como el mejor prospecto en programas de control biológico de *Aedes aegypti* e insectos afines, son los "chinchas nadadoras de dorso": *Buenoa scimitra*, *B. antigone* y *Notonecta irrorata* ya que fueron los depredadores con más altas capacidades de búsqueda y capacidad de depredación.

Andrade y Urbano dos Santos,² manifiesta que los notonéctidos del género *Buenoa* mostraron cuatro formas diferentes de ataque a larvas del mosquito *Culex* sp., ofertadas diariamente durante un experimento. Estos notonéctidos atacaron a todos los estadios de larvas y apenas en una sola vez el predador capturó a la larva, matándola y enseguida liberándola sin consumirla.

b) Tiempo de manipuleo (T_m)

El tiempo de manipuleo (T_m) nos proporcionó información del tiempo que el entomófago tardó en identificar, localizar, atrapar y consumir una presa, así como la pausa digestiva antes de iniciar un nuevo ataque. Los resultados reportados en la Tabla 01, nos ilustran las medias halladas para esta característica de depredación evaluada. Claramente podemos observar en caso del depredador *Notonecta* sp., que el mayor tiempo de manipuleo ocurrió a la densidad de cinco larvas administradas [$T_m = 0,12 \pm 0,02(a)$], disminuyendo en las densidades de 10 y 15 [$T_m = 0,07 \pm 0,01(b)$ y $0,06 \pm 0,01(bc)$, respectivamente] y reportando coincidentemente para las densidades de 25 a 75 larvas administradas, medias que oscilaron entre $0,04 \pm 0,02(cd)$ y $0,04 \pm 0,01(d)$, valores estadísticamente demostrados a través de la prueba de comparación de medias de Tuckey ($P \leq 0,05$) y que corresponde a los tiempos (horas) que invierte el predador en la búsqueda de presas, donde logra perseguirla, someterla, consumirla y prepararse para una nueva búsqueda. Producto de los resultados observados se desprende que el depredador *Notonecta* sp., reportó mayor tiempo de manipuleo a las menores densidades larvales administradas siendo mínimo este tiempo cuando se incrementa la densidad en el medio. Al respecto Pervez⁴¹ manifiesta que, a medida que se incrementa la abundancia de presas en un medio, resulta cada vez más fácil para el depredador ubicarlas, sin embargo, la manipulación le demanda el mismo

tiempo. Cuando la abundancia de presas es infinita, el consumidor (depredador) pasa su tiempo manipulándolas más no así depredando a sus presas, comportamiento que brinda soporte robusto a los resultados hallados.

En caso de las náyades de *Erythemis* sp., el tiempo de manipuleo (T_m) en el biocontrol de larvas de IV instar de *Culex quinquefasciatus* mostró la misma tendencia puesta de manifiesto por el depredador *Notonecta* sp. (Tabla 01). Se evidenció que, a la densidad de cinco y diez larvas administradas el tiempo de manipuleo fue mayor [$0,15 \pm 0,06(a)$, $0,13 \pm 0,03(ab)$] reportando valores mínimos de T_m entre las densidades de 25 a 75 larvas administradas, cuyas medias oscilaron entre $0,06 \pm 0,01(c)$ a $0,09 \pm 0,02(bc)$, resultados que tienen respaldo estadístico a través de la prueba de Tuckey ($P \leq 0,05$). Los datos reportados pusieron en manifiesto que las náyades de *Erythemis* sp., ocupan un mayor tiempo en la manipulación de las presas en comparación al depredador *Notonecta* sp. En este sentido Pervez⁴¹ manifiesta que, depredadores con poco tiempo de manipuleo (T_m) en relación con el tiempo total de búsqueda (T), minimizan la inestabilidad resultante de la respuesta funcional, por consecuencia, este es uno de los atributos que debería tener un depredador con mayor posibilidad de lograr una relación estable con su hospedero a bajas densidades, facilitando la búsqueda de enemigos naturales con miras para su inclusión en programas de control biológico, reafirmando una vez más la propuesta de que el depredador *Notonecta* sp., es el mejor candidato en programas sostenibles de control de larvas de mosquitos de importancia médica, por mostrar mayor capacidad de búsqueda en relación al incremento de la densidad de larvas en el medio y menor tiempo de manipuleo en relación directa a dichas densidades. Fernández y Corley³⁹ al respecto manifiestan que, dado que el tiempo de búsqueda se reduce (debido al tiempo de manipulación), este

tipo de respuesta resulta en un aumento desacelerado a medida que aumentan las presas consumidas, hasta llegar a una asíntota en la cual se expresa la máxima tasa de ataque. A esta densidad, el tiempo disponible por el depredador es usado para manipular la presa y el tiempo de búsqueda resulta entonces despreciable. En consecuencia, tiempos de manipulación largos conducen a bajas capacidades de búsqueda y viceversa (Hassell reportado por Fernández y Corley.³⁹). Este tipo de relación resulta en una depredación densodependiente inversa, lo que implica que las presas, a altas densidades poblacionales, tendrán una menor probabilidad de ser atacadas que cuando están a densidades bajas. Quiroz y Badii⁴⁸, al evaluar la capacidad depredadora de las larvas del coleóptero *Tropisternus* sp. sobre larvas de *Culex pipiens* L. reportaron en promedio un tiempo de manipuleo (T_m) igual a 0,139185 luego de 24 horas de evaluación, resultado que al ser cotejado con los obtenidos para *Notonecta* sp. y *Erythemis* sp. (Tabla 01), se aproxima a los hallados en la densidad de cinco larvas administradas [$T_m = 0,12 \pm 0,02(a)$; $0,15 \pm 0,06(a)$, respectivamente], por lo demás, los depredadores *Notonecta* sp. y *Erythemis* sp., alcanzaron menores tiempos de manipuleo por hora en la depredación de larvas de *Culex quinquefasciatus*, resultados que demuestran que los depredadores estudiados podrían fácilmente ser utilizados en el control biológico de larvas de mosquitos. Sin embargo De Bach⁴² y Pervez⁴¹ plantea que, aunque estos atributos tienen un respaldo teórico robusto, es aún difícil predecir el grado de éxito que podrían tener en los programas de control biológico.

5.3. Capacidad de depredación

La capacidad de depredación (CR), es un atributo adicional que fue incorporado al estudio de depredadores de larvas de insectos de interés médico; fue planteado originalmente por Gilbert y Burns⁴⁵ y modificado posteriormente por

Chandra *et al.*⁴⁶, se basa en la cuantificación del consumo de larvas por hora por depredador en 24 horas de evaluación, tomando en cuenta el volumen de agua donde fue realizada la prueba.

Del análisis de los resultados que son reportados en la Tabla 1, podemos evidenciar que la capacidad depredadora (*CR*) desarrollada por *Notonecta* sp., obtuvo los menores valores a las densidades de 5 a 15 larvas administradas [0,05 ± 0,03(a) y 0,08 ± 0,05(a) larvas consumidas / hora / depredador, respectivamente] documentando un valor máximo de *CR* entre las densidades de 25 a 75 larvas [0,09 ± 0,06(a) y 0,10 ± 0,08(a) larvas consumidas / hora / depredador], resultados que si bien difieren en los valores hallados, en la comparación de medias por la prueba de Tuckey ($P \leq 0,05$) demostraron ser similares. De lo que podemos asumir que *Notonecta* sp., sin importar la cantidad de presas que encontró disponible en el medio, consumió una misma cantidad de larvas de *Culex quinquefasciatus* [0,05 ± 0,03(a) y 0,10 ± 0,08(a) por hora / depredador] en razón del espacio disponible (un litro de agua contenida en el recipiente experimental).

Del mismo modo, al evaluar la capacidad depredadora (*CR*) desarrollada por las náyades de *Erythemis* sp., observamos tendencias análogas de consumo de presas que las reportadas por *Notonecta* sp.; es decir, las náyades de *Erythemis* sp. depredan en promedio 0,04 ± 0,03(a) a 0,08 ± 0,03(a) larvas de *Culex quinquefasciatus* / hora, entre las densidades de 5 a 75 larvas ofertadas, valores que en el análisis de la prueba post hoc de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0,05$), resultan ser similares. Por lo que ambos depredadores (*Notonecta* sp. y *Erythemis* sp.), consumen una misma cantidad de presas por hora a las densidades evaluadas, sin importar la abundancia de las larvas en el medio.

Chandra *et al.*⁴⁶, al evaluar la capacidad de depredación del coleóptero dytiscido *Acilius sulcatus* en el biocontrol de larvas de *Culex quinquefasciatus* demostró que un depredador consumió entre 18 y 16 larvas de mosquitos en presencia de luz y obscuridad, respectivamente, con una tasa de alimentación diaria de 34 larvas en promedio; en tanto que consumieron 166 larvas de mosquito en la fase de luz y 172 larvas durante la fase oscura con una tasa media de alimentación de 33,8 larvas / depredador en un período de 24 h. Valores que resultan ser muy superiores a los que reportamos en la presente investigación para los depredadores *Notonecta* sp. y *Erythemis* sp. Esta diferencia probablemente se deba a las condiciones en las que se evaluó el atributo en estudio (capacidad de depredación). Chandra *et al.*⁴⁶, evaluaron a *Acilius sulcatus* en el biocontrol de larvas de *Culex quinquefasciatus*, considerando en principio las siguientes variables: número de depredadores (1 a 2 larvas de *Acilius sulcatus*), número de presas (200 a 400 larvas de *Culex quinquefasciatus*), espacio disponible (volumen de agua: 1 a 2 litros) y fases de evaluación (en presencia de luz y obscuridad), variables que fueron operadas en diferentes combinaciones. Parámetros diferentes que incluye al tipo de depredador estudiado, que seguramente influyeron en los resultados que son reportados. Al respecto debemos enfatizar que, pese a que existen muchos factores que afectan los resultados de capacidad depredadora, provocando que difícilmente los valores hallados en la presente investigación coincidan con los reportados por otros investigadores, es innegable que el depredador *Notonecta* sp. al igual que las náyades de *Erythemis* sp., a la luz de los otros atributos evaluados, resulten ser controladores biológicos importantes para ser incluidos en programas de manejo y control de larvas de mosquitos vectores de la malaria, dengue y fiebre amarilla.

Finalmente, las Figuras 9 y 10 corroboran y clarifican los resultados del biocontrol desarrollado por los depredadores *Notonecta* sp. y *Erythemis* sp. en el consumo de larvas de *Culex quinquefasciatus* para cada densidad de ofertas larvales evaluadas, de los cuales podemos desprender que *Notonecta* sp. es el mejor depredador de larvas de mosquitos culícidos llegando a consumir una media de $16,71 \pm 8,71$ larvas en 24 horas de evaluación (Fig. 9), resultados que son sustancialmente superiores en comparación a los que reportan las náyades de *Erythemis* sp., donde la media de consumo fue tan solo de $10,46 \pm 5,03$ larvas de culícidos (Fig. 9), resultados que dan soporte sólido a los demás atributos evaluados y que ponen en manifiesto que los adultos de *Notonecta* sp. son los que muestran las mejores características depredadoras en comparación a las náyades de *Erythemis* sp., y por consecuencia importante candidato a ser incluido en los programas de control de vectores de importancia médica. La Figura 10 refuerza esta afirmación donde podemos apreciar que los *Notonecta* sp., muestran valores medios de depredación relativamente superiores en cada densidad de larvas evaluadas, esta característica podría estar relacionado seguramente a la mayor movilidad y activa búsqueda de presas que desarrollan los adultos de *Notonecta* sp. en comparación a las desplegadas por las náyades de *Erythemis* sp., quienes son poco móviles y por lo general se mantienen en el fondo de los recipientes, esperando al acecho a que las presas naden cerca de ellas para atraparlas^{37,19}.

Al llevar a cabo el análisis de varianza ($P \leq 0,05$) (Anexo 4), se pudo determinar que existen diferencias altamente significativas en la depredación llevada a cabo por los controladores biológicos *Notonecta* sp. y *Erythemis* sp., así como en el número de larvas de *Culex quinquefasciatus* consumidas en cada una de las densidades evaluadas. Sin embargo, al evaluar la interacción depredador presa,

no fueron halladas tales diferencias, es decir que los depredadores evaluados son independientemente diferentes en cuanto a la depredación que desarrollan, mostrando medias de consumo disímiles para cada densidad evaluada, resultados que podemos verificar al observar las medias de consumo que se reportan en la Figura 10. La prueba post hoc de comparación de medias de Tuckey ($P \leq 0,05$) (Anexo 5), nos muestra que las mayores medias de consumo fueron halladas entre las densidades de 25 a 75 larvas de *Cx. quinquefasciatus* ofertadas, independientemente del depredador evaluado, en tanto que las menores densidades son reportadas para las ofertas larvales de 5 a 15.

Los adultos de *Notonecta* sp. por todos los atributos evaluados resultaron ser los mejores depredadores de larvas de mosquitos en comparación a las náyades de *Erythemis* sp., sin embargo ambos pueden ser útiles en el control biológico de mosquitos médicamente importantes. Desde el punto de vista del control biológico eficaz y sostenible en las condiciones de campo, los depredadores acuáticos deben tener una amplia gama de capacidad de adaptación a los hábitats además de la depredación de las larvas del mosquito objetivo, por consecuencia se requieren realizar nuevos trabajos para determinar la metodología apropiada de crianza masiva y liberación aumentativa en campo, evaluando la actividad depredadora de *Notonecta* sp. y *Erythemis* sp., para hacer posible este procedimiento de control biológico de larvas de mosquito y tenga un amplio uso sobre todo en lugares donde la presencia de los culicidos genera problemas médicos de importancia. Al respecto Andrade y Urbano dos Santos,² reportan que aunque hayan sido hechos pocos estudios para evaluar la eficiencia de control, se sabe que larvas de mosquitos son realmente el alimento preferido de los notonéctidos, concordante con los resultados hallados en nuestra investigación.

VI. CONCLUSIONES

1. Los adultos de *Notonecta* sp. y las náyades de *Erythemis* sp. desarrollaron una respuesta funcional de tipo II (polinómica) en el biocontrol de larvas de *Culex quinquefasciatus*, de características densodependiente inversa e inestable, tendencia de curva altamente significativa y que llevan a la extinción de la presa o a dejarlas libres del control de los depredadores; donde el depredador *Notonecta* sp. y la presa *Culex quinquefasciatus* desarrollaron una coevolución convergente mejor adaptada que las náyades de *Erythemis* sp, en relación a las presas.
2. *Notonecta* sp. obtuvo mayor capacidad de búsqueda de larvas de *Culex quinquefasciatus* en comparación a las náyades de *Erythemis* sp., con tiempos de manipuleo relativamente menores a los reportados para *Erythemis* sp. atributos relacionados al movimiento activo y voraz depredación de presas del chinche notonectido a diferencia de *Erythemis* sp. que tiene poco movimiento y ataca por acecho a las larvas.
3. *Notonecta* sp. reportó similar capacidad de depredación de larvas de *Culex quinquefasciatus* en todas las densidades evaluadas. En las náyades de *Erythemis* sp., se observó tendencia análoga de consumo en razón del espacio disponible (un litro de agua contenida en el recipiente experimental),

atributos evaluados que señalan a *Notonecta* sp. como el mejor depredador de larvas de mosquitos en comparación a las náyades de *Erythemis* sp., sin embargo ambos depredadores podrían ser incluidos en el control de culícidos que generan problemas médicos de importancia.

VII. RECOMENDACIONES

1. Desarrollar trabajos de investigación que permita establecer la metodología apropiada de crianza masiva de depredadores potenciales como *Notonecta* sp. para el control de larvas de mosquitos culícidos que generan problemas médicos de importancia.
2. Llevar a cabo liberaciones aumentativas de depredadores potenciales en criaderos naturales y artificiales de larvas de mosquitos de importancia médica, evaluando la capacidad depredadora de los controladores biológicos, la respuesta funcional que desarrollan así como los atributos de depredación como capacidad de búsqueda y tiempo de manipuleo en condiciones de campo.
3. Evaluar y hacer un listado de depredadores potenciales de la región Ayacucho para su probable inclusión en programas de control biológico de larvas de mosquitos de importancia médica, previa evaluación de los atributos de depredación y capacidad de búsqueda, así como la respuesta funcional.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Fundación Universidad-Empresa de la región de Murcia. Sistemas de control biológico de las poblaciones de mosquitos en zonas húmedas. Universidad de Murcia. Editorial Novograf, S.A. España. ISBN 84-688-2565-4.[Internet] 2005. [consulta 15 de febrero de 2013]. Disponible en: <http://www.carm.es/cma/dgmn/mnatural/Humedal/publica/mosquito.pdf>
2. Andrade F, Urbano dos Santos L. O uso de predadores no controle biológico de Mosquitos, com destaque aos *Aedes*. Departamento de Zoología. Instituto de Biología. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP [internet]. Brasil. 2004. [consulta 17 de noviembre de 2012]. Disponible en: http://www2.ib.unicamp.br/profs/eco_aplicada/arquivos/artigos_tecnicos/
3. Lima J, De Melo N, Valle D. Residual effect of two *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* products assayed against *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in laboratory and outdoors at Rio de Janeiro, Brazil. Rev Inst Med Trop. 2005; 47 (3):125-130.
4. Lee D. Predation efficacy of the fish muddy loach *Misgurnus mizolepis*, against *Aedes* and *Culex* mosquitoes in laboratory and small rice plots. J Am Mosq Control Assoc. 2003; 16(3): 258-261.
5. Hurst T, Brown M, Kay B. Laboratory evaluation of the predation efficacy of native Australian fish on *Culex annulirostris* (Diptera: culicidae). J Am Mosq Control Assoc.; 2004; 20 (3): 286-291.
6. Willems K, Webb C, Russell R. Tadpoles of four common Australian frogs are not effective predators of the common pest and vector mosquito *Culex annulirostris*. J Am Mosq Control Assoc. 2005; 21(4): 492-494.
7. Perich M, Clair P, Boobar L. Integrated use of planaria (*Dugesia dorotocephala*) and *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* against *Aedes taeniorhynchus*: A laboratory bioassay. J Am Mosq Control Assoc. 2004; 6(4): 667-671.
8. Mkoji G, Boyce T, Mungai B, Copeland R, Hofkin B, Loker E. Predation of aquatic stages of *Anopheles gambiae* by the Louisiana red swamp crawfish (*Procambarus clarkii*). J Am Mosq Control Assoc. 2003; 15(1): 69-71.
9. Quiroz H, Rodríguez V, Solís C, Maldonado M. Predatory capacity and prey selectivity of nymphs of the dragonfly *Pantala hymenaea*. J Am Mosq Control Assoc. 2005; 21(3): 328-330.

10. Mercer D, Wettach G, Smith J. Effects of larval density and predation by *Toxorhynchites amboinensis* on *Aedes polynesiensis* (Diptera: Culicidae) developing in coconuts. J Am Mosq Control Assoc. 2005; 21(4): 425-431.
11. Neri J, Quiroz I, Rodríguez M, Tejada L, Badii M. Use of Bactimos briquets (B.t.i formulation) combined with the backswimmer *Notonecta irrorata* (Hemiptera: Notonectidae) for control of mosquito larvae. J Am Mosq Control Assoc. 2007; 13 (1):97-99.
12. Kay B, Cabral C, Sleigh A, Brown M, Ribeiro Z, Vasconcelos A. Laboratory evaluation of Brazilian *Mesocyclops* (Copepoda: Cyclopoidae) for mosquito control. J Med Entomo.; 2002; 29(4):599-602.
13. Santos L, Andrade C, Carvalho G. Biological control of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) larvae in trap tyres by *Mesocyclops longisetus* (Copepoda: Cyclopidae) in two field trials. Mem. Inst. Oswaldo Cruz. 2006; 91(2):161-162.
14. Lacey L, Orr BK. The role of biological control of mosquitoes in integrated vector control. Am J Trop Med Hyg. 2003; 50(6):97-115.
15. Chinery M. Guía de los insectos de Gran Bretaña y Europa occidental. Collins. ISBN 0-00-219137-7. 2006.
16. Ayala Y. Capacidad predadora y respuesta funcional de *Notonecta* sp. (Insecta: Hemiptera) frente a larvas del mosquito *Culex quinquefasciatus* Say 1823 (Diptera: Culicidae) en presencia y ausencia de refugios. Informe final de investigación. Instituto de Investigación de Ciencias Biológicas-UNSCH. Ayacucho-Perú. 2009; 50 pp.
17. Cisneros K. Capacidad predadora de *Notonecta* sp. (Hemiptera: Notonectidae) con relación al consumo de larvas de *Culex quinquefasciatus* y *Chironomus* sp. (Insecta: Díptera). [Tesis de pregrado]. Facultad de Ciencias Biológicas-UNSCH. Ayacucho-Perú. 2011.55 pp.
18. Garcia R, Des Rochers B. Studies of the development of an integrated mosquito control strategy for the Fall River Mills Area. Special Funds for the Mosquito Research in California. 1985; (53): 57-62.
19. Guerra P. Reconocimiento y manejo de neuróptera. [Internet]. 2012. [consulta 30 diciembre de 2012]. Disponible en: <http://www.controlbiologico.info>.
20. Ramírez A. Lista de especies costarricenses del orden Odonata (Insecta) de las que se conoce la náyade. Rev. Biol. Trop. 1997; 44(3) / 45(1): 225-232.

21. Sebastian A, Sein M, Thu M, Corbet P. Suppression of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) using augmentative release of dragonfly larvae (Odonata: Libellulidae) with community participation in Yangon, Myanmar. *Bull. Ent. Res.* 1990; 80: 223-232.
22. Savage H, Miller B. House mosquitoes of the U.S.A., *Culex pipiens* complex. *Win Beats* 1995; 6: 8-9.
23. Eldridge BF, Edman JD. *Medical entomology*. Kluwer Academic Publishers. Norwell U.S.A. 2000; 659 Pp.
24. Marquardt WC, Demaree RS, Grieve RB. *Parasitology vector biology*. Second Edition. Academia Press. San Diego, California USA; 2000. 680 pp.
25. Clements AN. *The Biology of Mosquitoes: Development, nutrition, and reproduction*. Front Cover. Chapman y Hall Eds. Nature. 1992; 509 pp.
26. Service MW. *Mosquito ecology: field sampling methods*. 2da. Ed. Elsevier science publishers Ltd. Barking, Essex, UK. 1993; 988 pp.
27. Zapater MC (ed.). *El control biológico en América Latina*. Actas de la III Mesa redonda de control biológico en el Neotrópico. SRNT/IOBC. Buenos Aires, Argentina. 1996; 142 pp.
28. Barrera J F. *Introducción, Filosofía y Alcance del Control Biológico*. En: *Teoría y aplicación del control biológico*. Rodríguez del Bosque y Arredondo-Bernal (eds.). Sociedad Mexicana de Control Biológico. México. 2007.
29. Eilenberg J, Hajek A, Lomer C. Suggestions for unifying the terminology in biological control. *BioControl*. 2001; 46: 387-400.
30. Woodring J, Davidson E. *Biological Control of Mosquitoes* *In: The Biology of Disease Vectors*. Coord. Beaty BB, Marquardt WC. Univ. Press of Colorado. 1996. Pp. 632.
31. <http://subirimagen.infojardin.com/subidas-fotos/images/bwy1308518107d.jpg>.
32. <http://www.um.es/ecoaqua/gallery/b21Notonecta%20maculata.jpg>
33. Von Ellenrieder N, Garrison RW. Odonata. En: *Marcoinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología*. Domínguez E, Fernández HR (eds.). Fundación Miguel Lillo. Tucuman-Argentina. 2009. 631 pp.
34. Bybee S. *Libelulas y caballitos del diablo*. University of Florida. USA. [Diciembre de 2005; acceso 28 de mayo de 2013]. Disponible en: http://entnemdept.ufl.edu/creatures/misc/odonata/odonata_Spanish.htm.
35. Sebastian A, Sein MM, Thu MM, Corbet PS. Suppression of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) using augmentative release of dragonfly larvae

- (Odonata: Libellulidae) with community participation in Yangon, Myanmar. *Bull. Ent. Res.* 1990; 80: 223-232.
36. Sathe TV, Bhusnar AR. Biodiversity of Mosquitovorous dragonflies (Order: Odonata) from Kolhapur district including Western Ghats. *Biological Forum. An International Journal.* 2010; 2(2): 38-41.
 37. Sánchez Á, Pérez-Gordillo J, Jiménez-Díaz E, Tovar-Breña C. Los odonatos de Extremadura. Clase Insecta / orden Odonata. Consejería de Industria, Energía y Medio Ambiente. España. 2009. 344 pp.
 38. http://danielayala.comze.com/images/p048_1_01.jpg
 39. Fernández V, Corley J. La respuesta funcional: una revisión y guía experimental. Ayuda didáctica. Asociación Argentina de Ecología. *Ecología Austral.* 2004. (14):83-93.
 40. Begon M, Harper J, Townsend C. *Ecología: individuos, poblaciones y comunidades.* Ed. Omega. Barcelona-España. 2000; 450 pp.
 41. Pervez A. Functional responses of coccinellid predators: An illustration of a logistic approach. [Internet]. *J Insec Science.* 2005; (5):1-6. [Consulta 18 marzo de 2010]. Disponible en: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/picrender.fcgi?artid=1283886&blobtype=pdf>
 42. De Bach P. *Biological control by natural enemies.* Cambridge Univ. Press. 1977. 323 pp.
 43. Morales J, Gallardo J, Vásquez C, Ríos Y. Respuesta funcional de *Telenomus remus* (Hymenoptera: Scelionidae) a los huevos de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). [Internet]. *Bioagro.* 2001; 13(2): 49-55. [Consulta 18 marzo de 2010]. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/857/85713201.pdf>.
 44. Rocha L, Redaelli L. Functional response of *Cosmoclopius nigroannulatus* (Hem.: Reduviidae) to different densities of *Spartocera dentiventris* (Hem.: Coreidae) nymphae. [Internet]. *Braz. J. Biol.* 2004; 64(2):309-316. [Consulta 03 marzo de 2010]. Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/bjb/v64n2/v64n2a17.pdf>.
 45. Gilbert JJ, Burns CW. Some observations on the diet of the back swimmer, *Anisops wakefieldi* Hemiptera: Notonectidae). *Hydrobiology.* 1999; 412:111-118.

46. Chandra G, Mandal S, Ghosh A, Das D, Banerjee S, Chakraborty S. Biocontrol of larval mosquitoes by *Acilius sulcatus* (Coleoptera: Dytiscidae). *BMC Infectious Diseases*. 2008; 8:138.
47. Fox LR, Murdoch WW. Effects of feeding history on short-term and long-term functional response in *Notonecta hoffmanni* *Journal of Animal Ecology*. 1978; 47: 945-949.
48. Quiroz H, Badii M. Capacidad depredadora de *Tropisternus* sp. sobre larvas de *Culex pipiens* L. *Southwestern Entomologist*. 1990; 15(2):151-157.

ANEXOS

Anexo 1

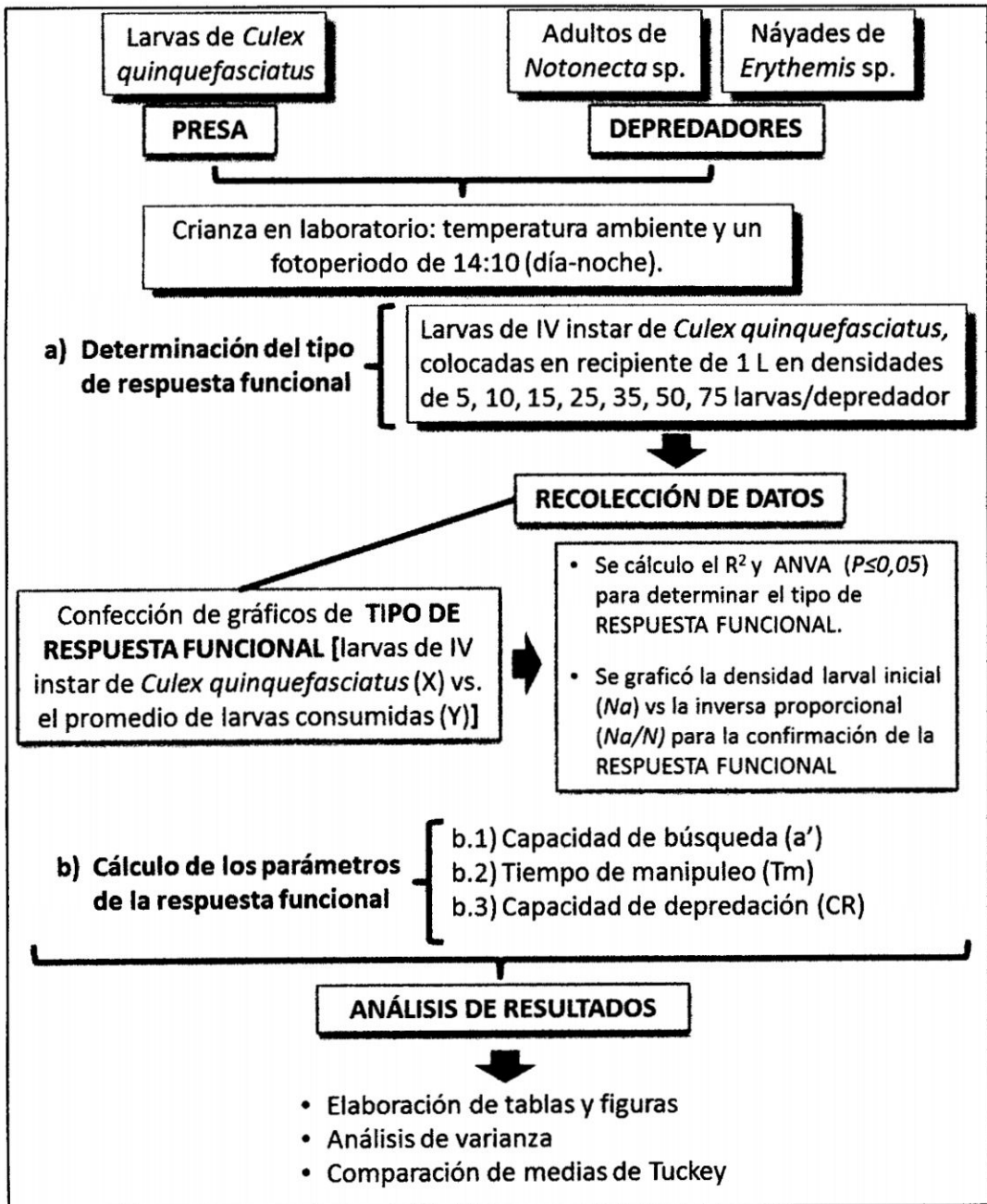


Figura 11. Flujograma experimental del biocontrol de larvas de *Culex quinquefasciatus* por depredadores adultos de *Notonecta* sp. y náyades de *Erythemis* sp.

Anexo 2

Tabla 2. Análisis de varianza ($P \leq 0.05$) de las tendencias de curva de respuesta funcional de *Notonecta* sp. y *Erythemis* sp., en el consumo de larvas de *Culex quinquefasciatus*.

ANOVA para la Lineal

Especies		Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	Sig.
<i>Notonecta</i> sp.	Regresión	1228,139	1	1228,139	37.763	0,000
	Residual	845,575	26	32,522		
	Total	2073,714	27			
<i>Erythemis</i> sp.	Regresión	259,580	1	259,580	15.941	0,000
	Residual	423,384	26	16,84		
	Total	682,964	27			

ANOVA para la Cuadrática

Especies		Suma de cuadrados	G L	Media cuadrática	F	Sig.
<i>Notonecta</i> sp.	Regresión	1471,905	2	735,952	30,572	0,000
	Residual	601,809	25	24,072		
	Total	2073,714	27			
<i>Erythemis</i> sp.	Regresión	364,496	2	182,248	14,307	0,000
	Residual	318,468	25	12,739		
	Total	682,964	27			

ANOVA para la Polinómica (Cúbica)

Especies		Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	Sig.
<i>Notonecta</i> sp.	Regresión	1531,946	3	510,649	22,621	0,000
	Residual	541,768	24	22,574		
	Total	2073,714	27			
<i>Erythemis</i> sp.	Regresión	439,355	3	146,452	14,428	0,000
	Residual	243,609	24	10,150		
	Total	682,964	27			

ANOVA para la Logística

Especies		Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	Sig.
<i>Notonecta</i> sp.	Regresión	6,071	1	6,071	36,723	0,000
	Residual	4,298	26	0,165		
	Total	10,370	27			
<i>Erythemis</i> sp.	Regresión	3,662	1	3,662	17,950	0,000
	Residual	5,305	26	0,204		
	Total	8,967	27			

La variable independiente es DENSIDAD LARVA INICIAL (Nº/recipiente).

Anexo 3

Tabla 3. Desviación típica (\pm SE) ($P \leq 0.05$) y media de la depredación de *Notonecta* sp. y *Erythemis* sp., en relación a la densidad inicial de larvas de IV instar de *Culex quinquefasciatus*.

Especies	Densidad Larva Inicial (No)	Media (\pm SE)	N
<i>Notonecta</i> sp.	5	4,50 \pm 0,577	4
	10	9,50 \pm 1,000	4
	15	12,25 \pm 2,217	4
	25	19,50 \pm 2,517	4
	35	23,00 \pm 9,416	4
	50	22,00 \pm 7,348	4
	75	26,25 \pm 4,425	4
	Total	16,71 \pm 8,764	28
<i>Erythemis</i> sp.	5	3,50 \pm 1,000	4
	10	8,25 \pm 0,957	4
	15	5,75 \pm 1,500	4
	25	14,75 \pm 3,594	4
	35	15,50 \pm 3,317	4
	50	10,75 \pm 2,500	4
	75	14,75 \pm 3,096	4
	Total	10,46 \pm 5,029	28
Total	5	4,00 \pm 0,926	8
	10	8,88 \pm 1,126	8
	15	9,00 \pm 3,891	8
	25	17,13 \pm 3,834	8
	35	19,25 \pm 7,667	8
	50	16,38 \pm 7,873	8
	75	20,50 \pm 7,091	8
	Total	13,59 \pm 7,750	56

Anexo 4

Tabla 4. Análisis de varianza ($P \leq 0.05$) de la depredación de *Notonecta* sp. y *Erythemis* sp., en relación a la densidad inicial de larvas de IV instar de *Culex quinquefasciatus*.

Fuente	Suma de cuadrados tipo III	GL	Media cuadrática	F	Sig.
ESPECIES PREDADORAS	546,875	1	546,875	35,000	0,0000
DENSIDAD LARVAL INICIAL (No)	1882,429	6	313,738	20,079	0,0000
INTERSECCIÓN DEPREDADOR-PRESA (No)	218,000	6	36,333	2,325	0,0501
Error	656,250	42	15,625		
Total	13645,000	56			
Total corregida	3303,554	55			

(a) $R^2 = 0,801$ (R^2 corregida = 0,740)

Anexo 5

Tabla 5. Prueba post hoc de Tuckey de comparación de medias ($P \leq 0.05$) de la depredación de *Notonecta* sp. y *Erythemis* sp., en relación a la densidad inicial de larvas de IV instar de *Culex quinquefasciatus*.

Densidad larva inicial (No)	N	Subconjunto	
		b	a
5	8	4,00	
10	8	8,88	
15	8	9,00	
50	8		16,38
25	8		17,13
35	8		19,25
75	8		20,50
Significación		0,175	0,379

Se muestran las medias para los grupos en subconjuntos homogéneos.

Basado en la suma de cuadrados tipo III

El término error es la Media cuadrática (Error) = 15,625.

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 8,000

b Alfa = 0,05.

Anexo 6

Tabla 6. Número de larvas de IV instar de *Culex quinquefasciatus* consumidas por los depredadores *Notonecta* sp. y *Erythemis* sp, en relación a la densidad inicial de larvas.

Densidad larval inicial (No)	Larvas de <i>Culex quinquefasciatus</i> consumidas (Na)				Promedio larvas consumidas (Na)
	I	II	III	IV	
<i>Notonecta</i> sp.					
5	4	5	4	5	4,50
10	10	10	10	8	9,50
15	15	11	13	10	12,25
25	17	19	23	19	19,50
35	16	15	26	35	23,00
50	18	18	33	19	22,00
75	31	22	29	23	26,25
<i>Erythemis</i> sp.					
5	4	4	4	2	3,50
10	8	9	9	7	8,25
15	5	5	5	8	5,75
25	20	12	14	13	14,75
35	16	19	16	11	15,50
50	8	11	14	10	10,75
75	19	12	15	13	14,75

Anexo 7



Figura 12. Ubicación geográfica del lugar de colecta de larvas de *Culex quinquefasciatus*.

Anexo 8



Figura 13. Ubicación geográfica de la poza de almacenamiento de agua temporal para riego (Canaán Bajo), lugar de colecta de los predadores *Notonecta* sp. y *Erythemis* sp.

Anexo 9

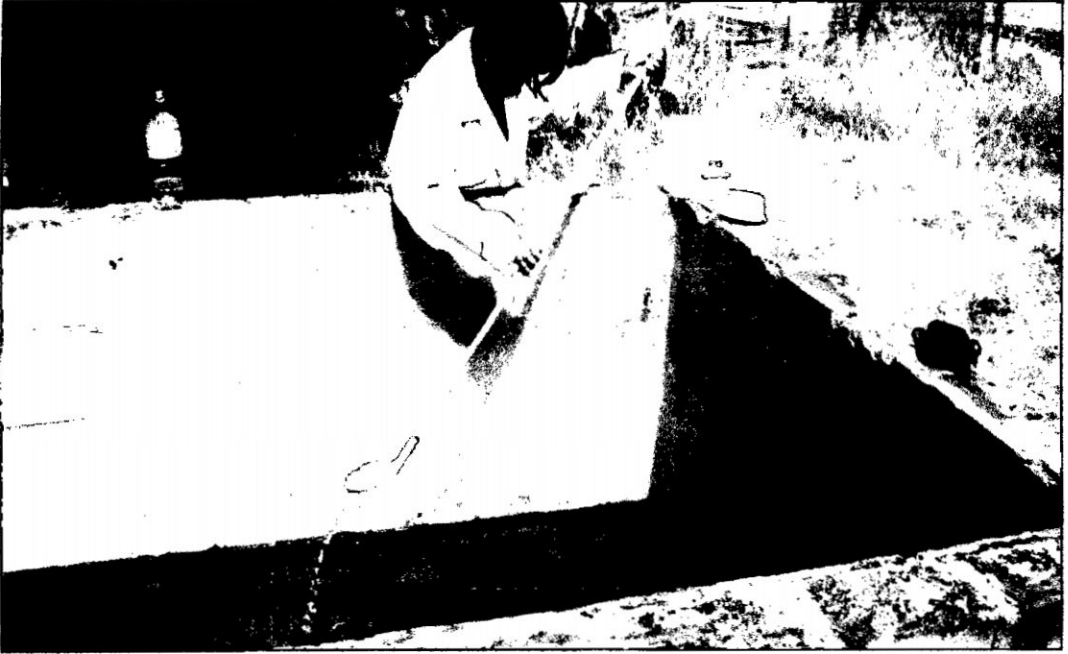


Figura 14. Colecta de larvas de *Culex quinquefasciatus* en la pileta de almacenamiento de agua temporal. Laboratorios de Biología, Ciudad Universitaria - UNSCH.

Anexo 10



Figura 15. Recolección de muestras de depredadores: adultos de *Notonecta* sp. y náyades de *Erythemis* sp., en las pozas de almacenamiento de agua temporal para riego. Canaán Bajo, San Juan Bautista-Ayacucho.

Anexo 11

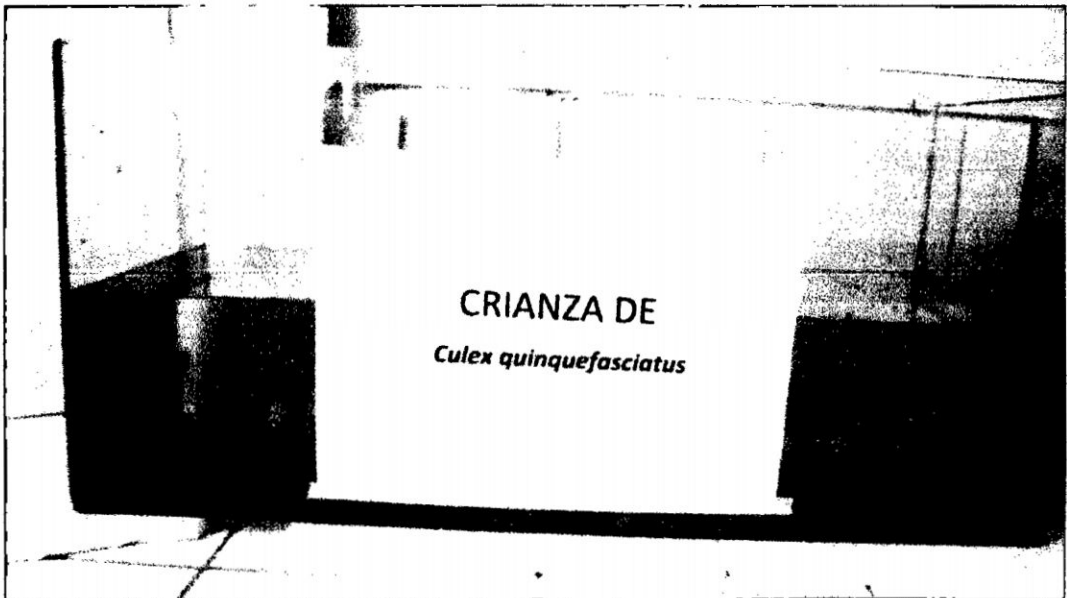


Figura 16. Peceras de vidrio para la crianza y mantenimiento de larvas de *Culex quinquefasciatus*.

Anexo 12

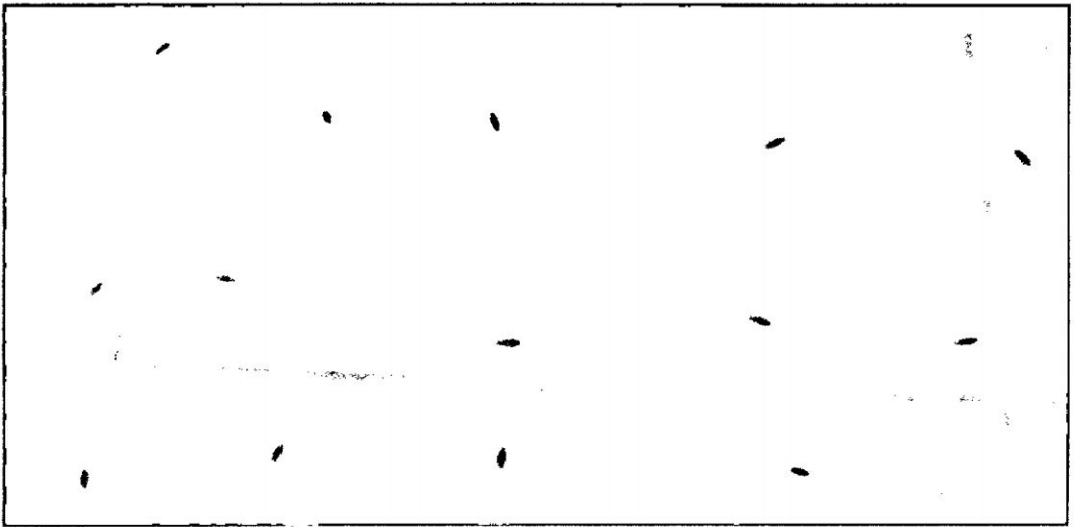


Figura 17. Adultos de *Notonecta* sp.

Anexo 13

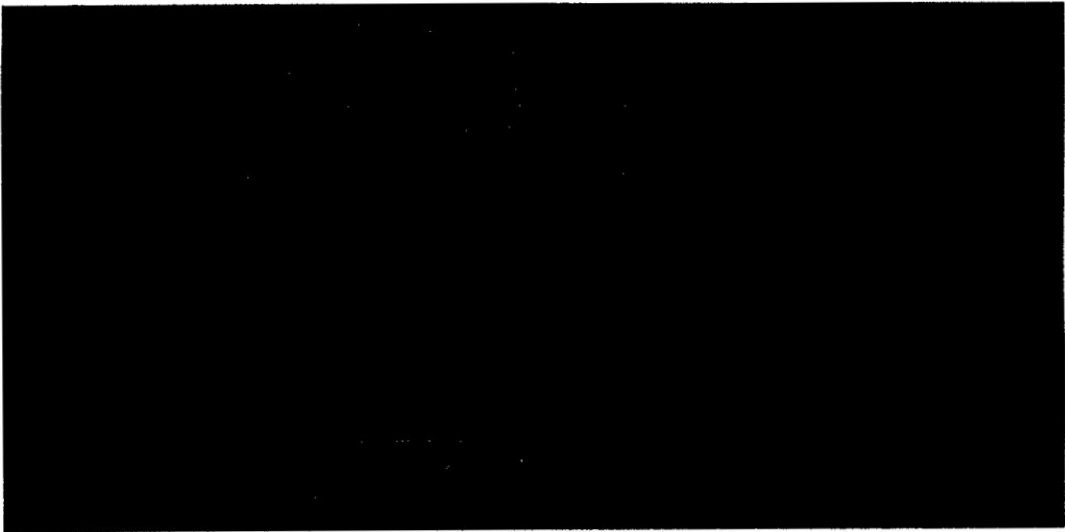


Figura 18. Náyades de *Erythemis* sp.

Anexo 14



Figura 19. Separación de larvas de *Culex quinquefasciatus*.

Anexo 15



Figura 20. Selección de larvas de IV instar de *Culex quinquefasciatus*.

Anexo 16

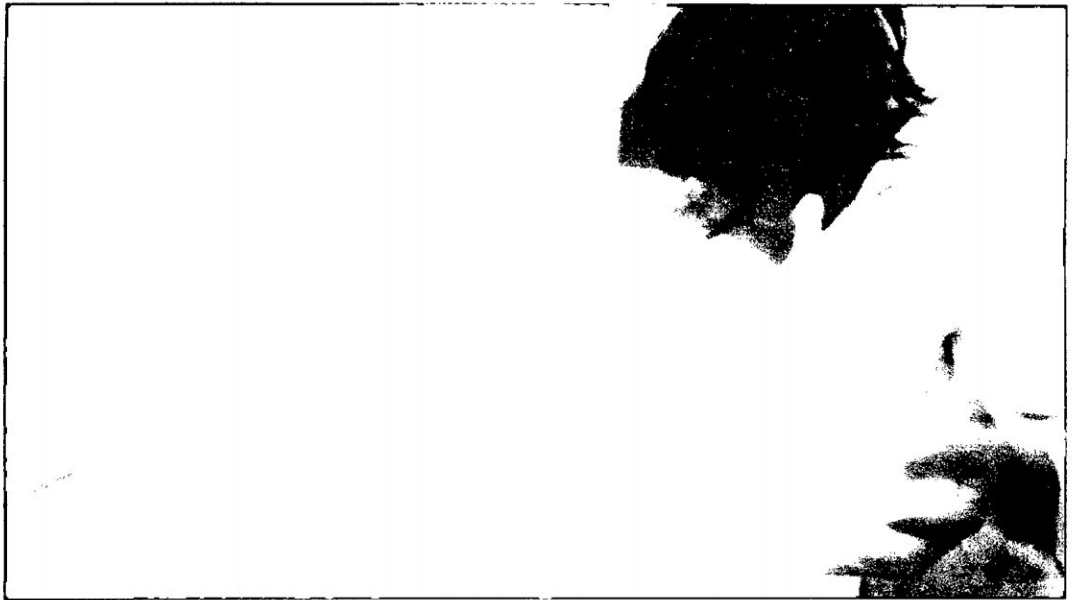


Figura 21. Distribución de larvas de IV instar de *Culex quinquefasciatus* por densidades larvales.

Anexo 17



Figura 22. Introducción de los depredadores: adultos de *Notonecta* sp. y náyades de *Erythemis* sp., a recipientes experimentales.

Anexo 18

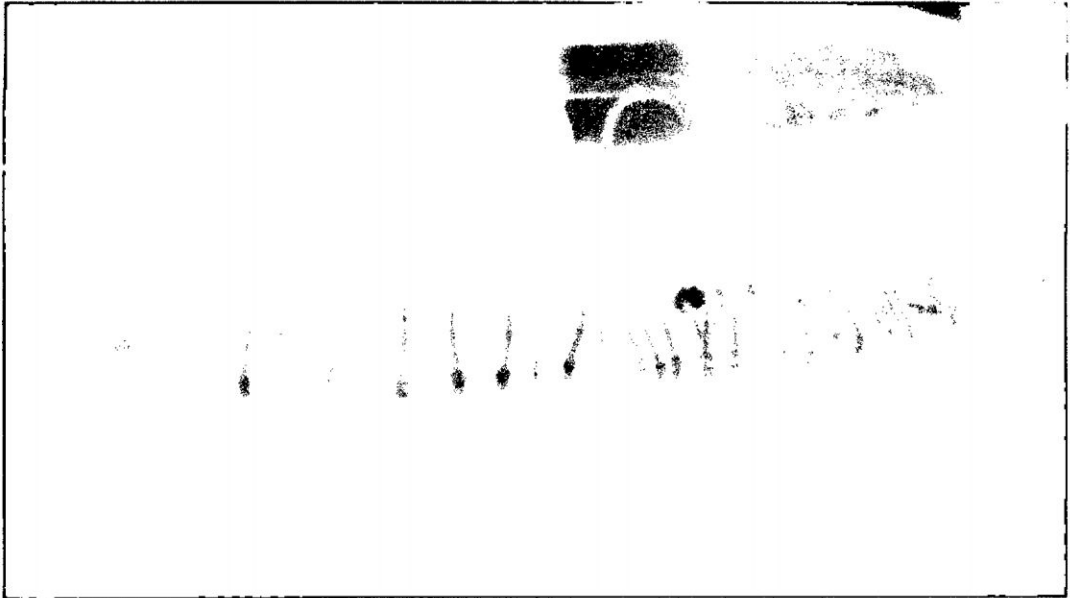


Figura 23. Posición de reposo de larvas de IV instar de *Culex quinquefasciatus* en los recipientes.

Anexo 19

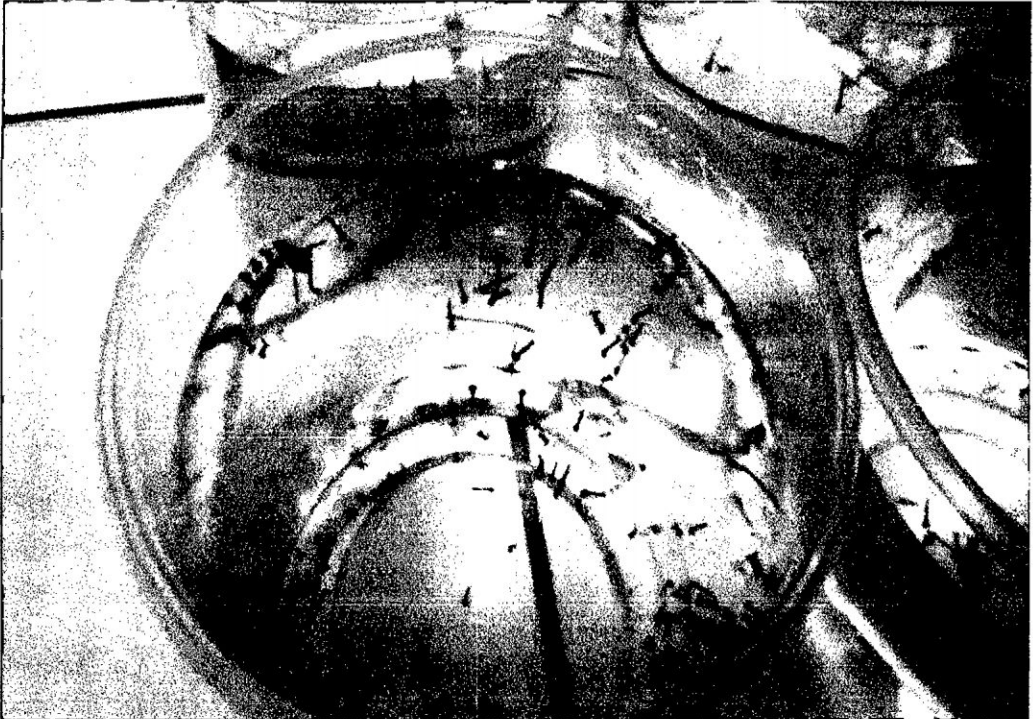


Figura 24. Depredación de larvas de *Culex quinquefasciatus* por adultos de *Notonecta* sp.

Anexo 20



Figura 25. Depredación de larvas de *Culex quinquefasciatus* por náyades de *Erythemis* sp.

Anexo 21

Glosario de términos

Hemiptera.- Del griego ημι *hemi*, "mitad" y πτερον *pteron*, "ala". Orden de insectos neópteros, comprende más de 84 500 especies conocidas, distribuidas por todo el mundo. Su nombre alude a que sus alas anteriores (o hemiélitros) están divididas en una mitad basal dura y una mitad distal membranosa. Actualmente forman parte de este orden los ex Homoptera, cuyas alas son enteramente membranosas.

Larva.- Son las fases juveniles de los animales con desarrollo indirecto (con metamorfosis) y que tienen una anatomía, fisiología y ecología diferente del adulto. En la lengua común las larvas reciben frecuentemente nombres distintos a los adultos; ese es el lugar que ocupan palabras como *oruga* (mariposas), *cresa* (moscas), o *renacuajo* (ranas y sapos).

Metamorfosis.- del griego μετα-(meta), que indica *alteración*, y μορφή (morphè), *forma*-es un proceso por el cual un objeto o entidad cambia de forma; equivale, a grandes rasgos, a la raíz latina que ha dado *transformación* en las lenguas romances. Transformación-Metamorfosis: Cambio irreversible.

Náyade.- En la mitología griega, las náyades son las Ondinas (en griego antiguo Ναιάδες *Naiádes*, Ναιίδες *Naídes* o Νάιτιδες *Náitides*, de ναίω 'fluir') eran las ninfas de los cuerpos de agua dulce (fuentes, pozos, manantiales, arroyos y riachuelos), y encarnaban la divinidad del curso de agua que habitaban, de la misma forma que los oceánidas eran las personificaciones divinas de los ríos y algunos espíritus muy antiguos que habitaban las aguas estancadas de pantanos, estanques y lagunas, como en la Lerna premicénica de la Argólida.

Odonata.- del griego οδοντός *odontos*, "diente". Son un orden de insectos con unas 6 000 especies actuales, que incluye formas tan conocidas como las libélulas y los caballitos del diablo. Los adultos muestran un aspecto muy característico, con una cabeza más ancha que el resto del cuerpo, un abdomen largo y delgado y cuatro alas membranosas transparentes. Viven asociados a ambientes acuáticos, que son necesarios para el desarrollo de sus ninfas; no tienen fase de pupa y por tanto su metamorfosis es simple (hemimetábola).

Tabla 1. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA	MARCO TEÓRICO
<p>¿Cuál será la capacidad de biocontrol de larvas de cuarto instar de <i>Culex quinquefasciatus</i> en siete densidades crecientes (5, 10, 15, 25, 35, 50 y 75 larvas) por depredadores adultos de <i>Notonecta</i> sp. (Hemiptera: Notonectidae) y náyades de <i>Erythemis</i> sp. (Odonata: Libellulidae) en condiciones de laboratorio.</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>a) Evaluar la capacidad de biocontrol de larvas de IV instar de <i>Culex quinquefasciatus</i> por depredadores adultos de <i>Notonecta</i> sp. y náyades de <i>Erythemis</i> sp. en siete densidades crecientes (5, 10, 15, 25, 35, 50 y 75 larvas), determinando la capacidad de búsqueda y el tiempo de manipuleo del depredador en condiciones de laboratorio.</p> <p>b) Establecer el tipo de respuesta funcional que desarrollan los adultos de <i>Notonecta</i> sp. (Hemiptera: Notonectidae) y las náyades de <i>Erythemis</i> sp. (Odonata: Libellulidae), en el control de larvas de IV instar de <i>Cx. quinquefasciatus</i>.</p> <p>c) Determinar la capacidad depredadora de los controladores biológicos <i>Notonecta</i> sp. y <i>Erythemis</i> sp. en el control de larvas de IV instar de <i>Cx. quinquefasciatus</i> en siete densidades crecientes (5, 10, 15, 25, 35, 50 y 75 larvas) en condiciones de laboratorio?</p>	<p>a) Los adultos de <i>Notonecta</i> sp. (Hemiptera: Notonectidae) y náyades de <i>Erythemis</i> sp. (Odonata: Libellulidae) muestran alta capacidad de búsqueda, bajos tiempos de manipuleo y alta capacidad depredadora en el control de larvas de IV instar de <i>Cx. quinquefasciatus</i>.</p> <p>b) Los adultos de <i>Notonecta</i> sp. (Hemiptera: Notonectidae) y las náyades de <i>Erythemis</i> sp. (Odonata: Libellulidae), desarrollan una respuesta funcional tipo II (modelo cóncavo) en el control de larvas de mosquitos culicidos, según los modelos propuestos por Holling en 1959 (Pervez, 2005).</p>	<p>Variable independiente Larvas de cuarto instar de <i>Culex quinquefasciatus</i>.</p> <p>Indicador.</p> <ul style="list-style-type: none"> Densidad de larvas administradas en siete niveles 5, 10, 15, 25, 35, 50 y 75 larvas por insecto depredador. <p>Variable dependiente. Capacidad de biocontrol de depredadores adultos de <i>Notonecta</i> sp. y náyades de <i>Erythemis</i> sp.</p> <p>Indicadores.</p> <ul style="list-style-type: none"> Capacidad depredadora (N° de presas depredadas /h/d). Capacidad de búsqueda (% de búsqueda) Tiempo de manipuleo (N° de larvas /h/d). Tipo de respuesta funcional (modelo lineal, cóncavo y sigmoideo) 	<p>Tipo de investigación: Aplicativa</p> <p>Nivel de Investigación: Básica experimental</p> <p>Método Aplicativa y analítico.</p> <p>Diseño: El diseño experimental se adecuara a un factorial de AxB; donde A=Especies depredadoras, B=Densidad larval.</p> <p>Muestreo. Aleatorio.</p> <p>Técnicas: Observación Determinación. Experimentación</p> <p>Instrumentos. Estereoscopio. Microscopio. Cámara digital. Computadora. Laptop, GPS.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Antecedentes Marco conceptual. Generalidades. Características y biología de <i>Culex quinquefasciatus</i>. El control biológico: características e importancia. Insectos depredadores de larvas de mosquitos. Bases teóricas La respuesta funcional Respuesta funcional del depredador en relación a la presa. 	

Biocontrol de larvas de *Culex quinquefasciatus* por predadores adultos de *Notonecta* sp. (Hemiptera: Notonectidae) y náyades de *Erythemis* sp. (Odonata: Libellulidae).

HINOSTROZA AYALA, Karina¹, AYALA SULCA, Yuri Olivier¹

¹ Área Académica de Ecología y Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Biológicas.

RESUMEN

poco conocida la capacidad de biocontrol que desarrollan depredadores como *Notonecta* sp. (Hemiptera: Notonectidae) y náyades de *Erythemis* sp. (Odonata: Libellulidae) en el control de larvas de *Culex quinquefasciatus*, información que pretendemos cubrir con la presente investigación. El objetivo fue evaluar la capacidad de biocontrol de larvas de IV instar de *Culex quinquefasciatus* en siete densidades (5, 10, 15, 25, 35, 50 y 75 larvas) por predador (adultos de *Notonecta* sp. y náyades de *Erythemis* sp.) en condiciones de laboratorio. La investigación se ajustó a un diseño factorial A x B; A=especies depredadoras, y B= densidades crecientes de larvas de IV instar de *Cx. quinquefasciatus*, con cuatro repeticiones y un control. Los depredadores acuáticos y las larvas de los mosquitos fueron colectados en pozas de almacenamiento temporal que actuaron como criaderos de éstos organismos. La capacidad depredadora fue evaluada a través de la determinación del tipo de respuesta funcional y los atributos de depredación: capacidad de búsqueda (a'), tiempo de manipuleo (T_m) y capacidad depredadora (CR) para cada uno de los controladores biológicos estudiados. Los resultados se sometieron a un análisis de varianza ($P \leq 0,05$) y prueba de post hoc de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0,05$). *Notonecta* sp. y *Erythemis* sp. desarrollaron respuesta funcional de tipo II (polinómica) en el biocontrol de larvas de *Culex quinquefasciatus*, de características densodendiente inversa e inestableque, evidenciándose un desarrollo coevolutivo convergente mejor adaptado en *Notonecta* sp. a diferencia de *Erythemis* sp.. *Notonecta* sp. obtuvo mayor capacidad de búsqueda de larvas de *Cx. quinquefasciatus* en comparación a náyades de *Erythemis* sp. ($0,18 \pm 0,07$ y $0,10 \pm 0,04$ larvas/día respectivamente), con tiempos de manipuleo relativamente menores a los reportados por *Erythemis* sp. ($0,06 \pm 0,03$ y $0,09 \pm 0,04$ h respectivamente), siendo similar la capacidad de depredación en todas las densidades ofertadas ($0,08 \pm 0,05$ larvas / hora / depredador) en ambos depredadores, con tendencias análogas de consumo en caso de *Erythemis* sp., ($0,06 \pm 0,04$ larvas / hora / depredador), atributos evaluados que señalan a *Notonecta* sp. como el mejor depredador de larvas de mosquitos en comparación a náyades de *Erythemis* sp., sin embargo ambos depredadores podrían ser incluidos en el control de larvas de culícidos y generan problemas médicos de importancia.

Palabras clave: capacidad depredadora, respuesta funcional, *Notonecta*, *Culex quinquefasciatus*, *Erythemis*.

SUMMARY

is little known capacity of biocontrol which develop predators as *Notonecta* sp. (Hemiptera: Notonectidae) and naiads of *Erythemis* sp. (Odonata: Libellulidae) in the control of larvae of *Culex quinquefasciatus*, information that we intend to cover with this research gap. The objective was to assess the ability of IV instar *Culex quinquefasciatus* larvae biocontrol in seven densities (larvae 5, 10, 15, 25, 35, 50 and 75) by predator (adults *Notonecta* sp. and naiads of *Erythemis* sp.) in laboratory conditions. The research was adapted to a design factor A x B; A = predator species, and B increased densities of larvae of IV instar *Cx. quinquefasciatus*, with four replications and control. Aquatic predators and the larvae of mosquitoes were collected in pools of temporary storage that organizations acted as breeding grounds for these. The predatory ability was evaluated through the determination of the functional response type and the attributes of predation: search capability (a'), time handling (T_m) and predatory capacity (CR) for each of the studied biological controllers. The results were submitted to analysis of variance ($P \leq 0.05$) and test for post hoc comparison of means of Tukey ($P \leq 0.05$). *Notonecta* sp. and *Erythemis* sp. developed functional response of type II (polynomial) in the control of larvae of *Culex quinquefasciatus*, reverse densodendiente and inestableque features, demonstrating a convergent coevolutivo development better adapted in *Notonecta* sp. unlike *Erythemis* sp.. *Notonecta* sp. He obtained greater ability to search of larvae of *Cx. quinquefasciatus* in comparison to the naiads of *Erythemis* sp. (0.18 ± 0.07 and 0.10 ± 0.04 larvae/day respectively), with times of handling relatively minor to *Erythemis* reports them sp. (0.06 ± 0.03 and 0.09 ± 0.04 h respectively), predation in all densities offered capacity being similar (0.08 ± 0.05 larvae / hour / predator) in both predators, with similar trends in consumption in case of *Erythemis* sp. (0.06 ± 0.04 larvae / hour /

predador), evaluated attributes that point to *Notonecta* sp. the best predator of mosquito larvae in comparison to the nymphs of *Erythemis* sp., however both predators could be included in the control of larvae of mosquitos that generate important medical problems.

Key words: predatory functional response, *Notonecta*, *Culex quinquefasciatus*, *Erythemis*.

INTRODUCCIÓN

Las estrategias empleadas en el control de larvas de mosquitos como *Culex quinquefasciatus* va desde el uso de agentes químicos hasta los controladores biológicos.¹ Dentro del control biológico de insectos de importancia médica, una alternativa es el estudio de los organismos asociados a los criaderos donde se desarrollan los estados inmaduros de los mosquitos, que pueden actuar como enemigos naturales (depredadores), potencialmente útiles como agentes de control, ya que casi todos los depredadores acuáticos se alimentan de larvas y pupas de mosquitos, además de otros artrópodos; peces, patógenos e insectos son considerados en este grupo.² En diferentes países locales se han empleado estrategias de control biológico de mosquito. En Brasil, por ejemplo, se ha empleado *Bacillus thuringiensis* var. israelensis como controlador de mosquitos.³ También se registran métodos de control de mosquito con especies animales no peces^{4,5}, ranas⁶, planarias⁷, decápodos⁸, sélulas⁹, larvas de otros mosquitos¹⁰ e incluso algunas especies del género *Notonecta* que han sido empleadas conjuntamente con bacterias.¹¹

La potencialidad de un organismo como biocontrolador puede evaluarse a través de la respuesta funcional propuesta por Holling en 1959, que expresa la relación entre la tasa individual de consumo del predador y la disponibilidad de alimento disponible localmente.¹² Esta respuesta asume que el predador ocupa su tiempo en actividades básicas: búsqueda de la presa (a) y manipulación de la misma (b) que incluye: perseguirla, atraparla, comerla y digerirla. Holling en 1959 describió tres tipos de respuestas posibles que respondían a relaciones de curvas lineales en aumento (tipo I), una curva cóncava que desacelera (tipo II), o una relación noideica (tipo III), las mismas que varían en relación a la dependencia de la densidad de presa y si bien su determinación se realiza en un ambiente controlado, esta es una idea del comportamiento predatorio pero a la que se le permiten establecer comparaciones entre diversos depredadores.¹² En la búsqueda de enemigos naturales para su utilización en programas de control biológico, aquellos que cuenten con los siguientes atributos son aquellos que tendrían una mayor posibilidad de lograr una relación estable con su hospedero a bajas densidades: a) Alta eficiencia en su capacidad intrínseca de búsqueda, lo cual es necesario para lograr el equilibrio a densidades bajas; b) poco tiempo de manipuleo (Th) en relación con el tiempo total de búsqueda (T), lo que minimizará la inestabilidad resultante de la respuesta funcional; c) un grado de interferencia mutua en el ordeno de $0 < m < 1$, lo que contribuye a la estabilidad de la interacción, y d) alto grado de agregación de los depredadores o parasitoides con respecto a la distribución

del hospedero.¹² Desde esta óptica, el control biológico puede interpretarse de tres formas: a) como un campo de estudio en diferentes áreas, tales como Ecología de Poblaciones, Biosistemática, Comportamiento, Fisiología, y Genética; b) como un fenómeno natural, casi todas las especies cuentan con enemigos naturales que regulan sus poblaciones; y c) como una estrategia de control de plagas a través de la utilización de parasitoides, depredadores y patógenos.¹³

La respuesta funcional es central para cualquier descripción sobre parasitismo o depredación, precisamente porque el número de presas consumidas determina el desarrollo, supervivencia y reproducción de los depredadores o parasitoides. Sirve también para evaluar la potencialidad del agente de control biológico de plagas.¹⁴ Por ejemplo, permite conocer la densidad asintótica (de saturación) de presas, más allá de la cual se incrementa la probabilidad de escape. También permite entender las relaciones coevolutivas depredador-presa e inferir acerca de los mecanismos etológicos básicos implícitos en dichas interacciones.¹⁵

En este sentido, son pocas las investigaciones desarrolladas en el Perú, o en todo caso, poco difundidas por revistas especializadas. En la región Ayacucho, Ayala¹⁶ al evaluar la capacidad de depredación del chinche *Notonecta* sp. en el control de larvas de *Culex quinquefasciatus* demostró que estos organismos desarrollan alta capacidad depredadora, bajos tiempos de manipuleo y alta capacidad de búsqueda, con características densodependiente inversa, en presencia y ausencia de refugios. Posteriormente Cisneros¹⁷, determinó que estos chinches acuáticos tienen mayor preferencia por el consumo de larvas de *Culex quinquefasciatus* en comparación a larvas de *Chironomus* sp.

Ayacucho es una zona que por sus características geográficas, clima y pésimas condiciones de drenaje de aguas, permite la formación de criaderos temporales, cuyas aguas sirven como lugar de reproducción de muchas especies de artrópodos, incluidas *Culex quinquefasciatus* y sus depredadores como los chinches "nadadores de dorso" *Notonecta* sp. y las náyades de *Erythemis* sp.¹⁶, por lo que nos propusimos evaluar la capacidad de biocontrol de larvas de IV instar de *Culex quinquefasciatus* en siete densidades crecientes (5, 10, 15, 25, 35, 50 y 75 larvas) por depredadores adultos de *Notonecta* sp. (Hemiptera: Notonectidae) y náyades de *Erythemis* sp. (Odonata: Libellulidae) en condiciones de laboratorio, además de establecer el tipo de respuesta funcional, capacidad de búsqueda, tiempo de

anipuleo y capacidad depredadora de los controladores biológicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Población y muestra

La población estuvo constituida por todas las larvas de *ulex quinquefasciatus* presentes en la ciudad de Yacucho; en tanto que la muestra estuvo representada por 40 insectos adultos del predador *Notonecta* sp. "hinche nadador de dorso", 40 náyades de *Erythemis* sp. y 3000 larvas de IV instar de *Culex quinquefasciatus*.

Diseño metodológico

La investigación llevada a cabo fue del tipo básica experimental, donde el diseño fue adecuado a un factorial del tipo A x B; donde A=especies depredadoras (adultos de *Notonecta* sp y náyades de *erythemis* sp.), y B= densidades crecientes de larvas de IV instar de *Culex quinquefasciatus*. El experimento se llevó a cabo con cuatro repeticiones y su respectivo control, para cada una de las densidades evaluadas y el tipo de depredador estudiado.

Procedimiento experimental

1. Recolección y mantenimiento del material biológico

Los depredadores acuáticos adultos de *Notonecta* sp. y náyades de *Erythemis* sp. fueron colectados en la zona de almacenamiento temporal de agua para riego ubicado en Canaán Bajo, distrito de San Juan Bautista, Yacucho (Coordenadas: 13° 10' 27,33" S; 74° 12' 58" O; 2761 msnm), en tanto que las larvas del mosquito *Culex quinquefasciatus* fueron muestreadas en la pileta de almacenamiento de agua temporal de la Facultad Universitaria de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (Coordenadas: 13° 8' 04" S; 74° 13' 16,24" O; 2791 msnm).

Para la colecta de los depredadores y las larvas fue utilizada una red entomológica y un *dipper* de 350 mL. El material biológico colectado fue trasladado hasta el laboratorio utilizando baldes de plástico de dos litros de capacidad con tapa hermética; una vez en el laboratorio los insectos depredadores fueron separados por morfotipos y criados temporalmente en peceras de riego conteniendo agua dechlorada, hasta el momento de las pruebas de biocontrol. Algunos especímenes fueron separados y conservados en viales conteniendo alcohol glicerinado al 75%, a fin de realizar la identificación taxonómica de los ejemplares.

Los adultos de *Notonecta* sp. (en los que no se tomó en cuenta la longevidad ni el sexo) y las náyades de *erythemis* sp., fueron mantenidas en el laboratorio por separado y en peceras de vidrio de cinco litros de capacidad (tamaño: 50 x 40 x 40 cm), conteniendo tres litros de agua limpia, alimentadas con larvas del mosquito *Culex quinquefasciatus* hasta 48 h antes de las pruebas, de estas crianzas fueron seleccionados 28

predadores adultos del chinche notonectido y 28 náyades del insecto odonato, tomando en cuenta el mismo porte y tamaño, los cuales fueron individualizados en recipientes plásticos conteniendo un litro de agua limpia, y mantenidas en ayuno por 48 horas antes de iniciar las pruebas experimentales. Las larvas del mosquito *Cx. quinquefasciatus* fueron criadas en una pecera de vidrio de cinco litros de capacidad (tamaño: 50 x 40 x 40 cm), conteniendo cuatro litros de agua (dos litros de agua procedente de la pileta de almacenamiento de agua temporal y dos litros de agua dechlorada), siendo alimentadas con alimento para peces tropicales tipo hojuelas hasta alcanzar el IV instar de desarrollo (promedio: 1,2 a 1,5 cm de tamaño), necesarias para las pruebas experimentales. Todas las crianzas fueron mantenidas a temperatura ambiente y un fotoperiodo de 14:10 (día-noche).

3.2. Respuesta funcional de los depredadores

Con este fin se acondicionaron 35 recipientes de plástico transparentes de un litro de capacidad por depredador, conteniendo un litro de agua limpia y dechlorada. A cada envase se administró densidades crecientes de larvas de IV instar de *Cx. quinquefasciatus*: 5, 10, 15, 25, 35, 50, 75 larvas/predador. Una hora después de haberse colocado las larvas en los recipientes, se introdujo un adulto o una náyade por recipiente de experimentación (según sea el caso del predador a ser evaluado) de los especímenes seleccionados de la crianza mantenida en laboratorio. La temperatura del ambiente de experimentación fue mantenida entre 25 a 27°C (para lo cual se utilizó una hornilla eléctrica), 60 a 70% de humedad relativa y un fotoperiodo de 14:10 (día-noche), por 24 horas. La lectura del número de larvas consumidas por depredador se llevó a cabo al día siguiente. Los ensayos fueron realizados con cuatro repeticiones y un control. Con los datos obtenidos se confeccionaron gráficos relacionando el promedio de larvas consumidas (Y) vs. la densidad de larvas de IV instar de *Cx. quinquefasciatus* administradas (X) determinándose el tipo de respuesta funcional según los modelos de curvas propuestas por Holling en 1959 y 1966: modelo lineal, cóncavo o sigmoidea^{12, 14, 15}, para cada depredador. A fin de determinar que curva de tendencia es la que mejor representó al tipo de respuesta funcional, se realizó el análisis de varianza ($P \leq 0,05$), evaluándose el coeficiente de determinación (R^2) [el coeficiente de determinación (R^2) representó el nivel de relación existente entre las variables evaluadas]. Aquellos modelos donde los valores del coeficiente de determinación se hallaron por debajo de 0,50 fueron descartados¹⁸, aceptándose como el mejor modelo aquellos valores que fueron próximos a la unidad.

Para definir y confirmar el tipo de respuesta funcional hallada en el ítem anterior, se realizó el ajuste de los datos a una de las opciones de línea de tendencia (lineal, logarítmica y polinómica) entre la proporción de presas consumidas (N_d/N_o) vs. el número de presas ofrecidas (N_o) recomendado por Juliano en 1993 reportado por Fernández Arhex y Corley¹⁴,

procedimiento básico que consistió en evaluar sucesivos modelos de curvas aceptándose como el mejor modelo aquel valor donde el coeficiente de determinación (R^2) fue próximo a la unidad, línea de tendencia que nos ayudó a determinar el tipo de respuesta funcional que desarrolló el depredador a la proporción de presas atacadas (variable dependiente) para una (o más) variables continuas (densidad de presas ofrecidas). Finalmente se graficó una curva de regresión lineal con su respectiva ecuación, datos censarios para el cálculo de los parámetros de la respuesta funcional como Capacidad de Búsqueda y tiempo de Manipuleo.

$$y = b x + a$$

Dónde:

- = número de presas atacadas o consumida.
- = número de presas ofrecidas.
- = pendiente de la recta o eficiencia de búsqueda del depredador.
- = término independiente u ordenada al origen (densidad de larvas administradas que son consumidas el origen).

En vista que las curvas de tendencia evaluadas en el tipo de respuesta funcional, respondieron al modelo de tipo II de Holling en 1959 (reportado por Fernández Arhex y Corley¹⁴), se calculó el número de presas consumidas (N_c) para cada densidad creciente de larvas administradas, a través de la "ecuación del disco" de Holling (1966) [$N_c = (aNT) / (1 + aNTm)$]; dónde: N_c = número de presas consumidas, a = tasa de ataque instantánea (tasa de búsqueda instantánea), N = densidad larval de la presa, T = tiempo total disponible y Tm = tiempo de manipulación^{19, 14}, tomando en cuenta los datos generados en la fórmula de regresión lineal de la curva de la inversa proporcional.

Capacidad de Búsqueda (a') y Tiempo de Manipuleo (Tm)

La capacidad de búsqueda (a') fue calculada mediante la aplicación de la fórmula propuesta por Rocha y Daelli¹⁹: [$a' = N_c / (N \times T_s)$]; dónde: a' = capacidad de búsqueda, N_c = número de presas consumidas, N = número de presas ofrecidas y T_s = tiempo de búsqueda; en el caso el T_s fue calculado de la aplicación de las siguientes fórmulas: $T_s = T - Th_{total}$; dónde el Th_{total} fue calculado: $Th_{total} = Tm \times Na$. El tiempo de manipuleo (Tm) hallado mediante la aplicación de la "ecuación del disco" de la respuesta funcional de Holling tipo II (1959) (reportado por Fernández Arhex y Corley¹⁴) [$Tm = |b| / a'$]; dónde: Tm = tiempo de manipuleo; $|b|$ = valor absoluto del coeficiente de regresión; a' = capacidad de búsqueda]. La capacidad de búsqueda (a') y tiempo de manipuleo (Tm) fueron calculados para cada depredador evaluado y densidad de presa

administrada, determinándose la media y la desviación típica. Además fue realizado la prueba post hoc de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0,05$) para cada densidad de larvas administradas y depredador evaluado.

3.4. Capacidad de depredación (CR)

La capacidad de depredación o clearance rate (CR= número de presas consumidas/h/depredador), de los controladores biológicos *Notonecta* sp y *Erythemis* sp. en el control de larvas de *Culex quinquefasciatus*, fue determinado luego de transcurrido las 24 h de inicio del experimento. Los valores de CR, fueron estimados mediante la aplicación de la fórmula original propuesta por Gilbert y Burns²⁰, modificada por Chandra *et al.*²¹:

$$CR = V \cdot (\ln P) / T \cdot N$$

Dónde:

- V = volumen de agua (en litros)
- \ln = logaritmo neperiano o natural
- P = número de presas muertas o consumidas
- T = tiempo de duración del ensayo (24 horas)
- N = número de depredadores

La capacidad de depredación fue estimado para cada depredador evaluado y densidad de presa administrada, determinándose la media y la desviación típica. Adicionalmente se realizó la prueba post hoc de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0,05$), determinándose la densidad en la que los depredadores evaluados desarrollaron la mejor capacidad de depredación (CR).

3.5. Análisis de datos

Con los datos obtenidos en las pruebas de biocontrol de larvas de *Culex quinquefasciatus* por los depredadores acuáticos *Notonecta* sp (adulto) y *Erythemis* sp. (náyade), se elaboraron cuadros y gráficos estadísticos del tipo descriptivo de tendencia central y de dispersión. Con la finalidad de establecer si existen diferencias significativas en el porcentaje de consumo de larvas de IV instar de *Cx. quinquefasciatus* por parte de los depredadores evaluados, los resultados fueron sometidos a un análisis de varianza ($P \leq 0,05$). En vista de haberse encontrado alta significancia para los datos analizados, se realizó la prueba post hoc de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0,05$) entre el número de presas consumidas por depredador y por densidad larval evaluada, a fin de determinar que insecto es el que desarrolló mejor actividad de biocontrol de larvas de *Cx. quinquefasciatus* y la densidad a la que se llevó la mayor depredación, utilizando para ello el procedimiento del paquete estadístico SPSS 15.

RESULTADOS

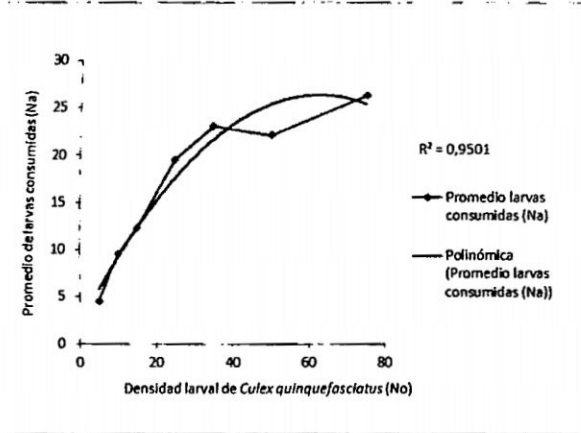


Figura 1. Promedio de larvas consumidas por el depredador *Notonecta* sp en relación a la densidad de larvas de IV instar de *Culex quinquefasciatus* administradas

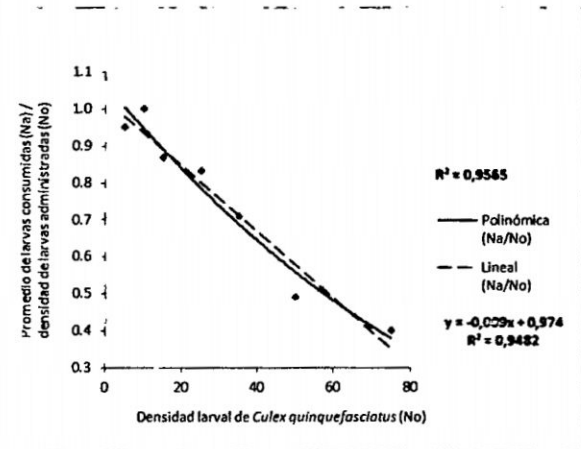


Figura 2. Inversa proporcional del consumo de larvas de *Culex quinquefasciatus* en relación a la densidad de larvas administradas, por el depredador *Notonecta* sp.

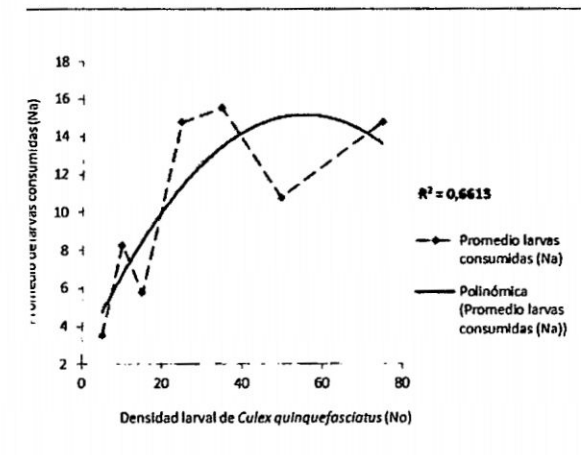


Figura 3. Promedio de larvas consumidas por el depredador *Erythemis* sp en relación a la densidad de larvas de IV instar de *Culex quinquefasciatus* administradas

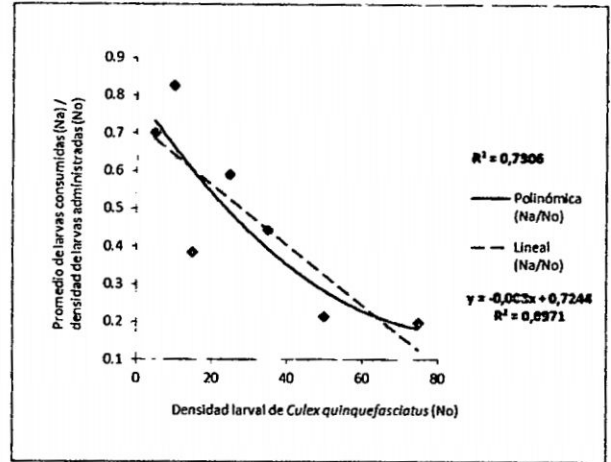


Figura 4. Inversa proporcional del consumo de larvas de *Erythemis* sp. en relación a la densidad de larvas administradas, por el depredador *Notonecta* sp.

Tabla 01. Valores medios (\pm SE) ($P \leq 0.05$) de larvas consumidas (N_a), tasa de ataque (a'), tiempo de manipuleo (T_m) y capacidad de depredación (CR) de *Notonecta* sp. y *Erythemis* sp. en el consumo de larvas de *Culex quinquefasciatus*.

Depredador	Densidad larval inicial (N_0)	Larvas consumidas (N_a)	Capacidad de búsqueda (a')	Tiempo de manipuleo T_m (h)	Capacidad de depredación (CR) ^a
<i>Notonecta</i> sp.	5	4,50 \pm 0,57d ¹	0,08 \pm 0,01c	0,12 \pm 0,02a	0,05 \pm 0,03a
	10	9,50 \pm 1,00cd	0,13 \pm 0,01bc	0,07 \pm 0,01b	0,07 \pm 0,05a
	15	12,25 \pm 2,21bcd	0,14 \pm 0,03abc	0,06 \pm 0,01bc	0,08 \pm 0,05a
	25	19,50 \pm 2,51abc	0,21 \pm 0,03ab	0,04 \pm 0,01cd	0,09 \pm 0,06a
	35	23,00 \pm 9,41ab	0,23 \pm 0,10ab	0,04 \pm 0,02cd	0,08 \pm 0,06a
	50	22,00 \pm 7,34ab	0,22 \pm 0,07ab	0,04 \pm 0,01cd	0,09 \pm 0,06a
	75	26,25 \pm 4,42a	0,25 \pm 0,04a	0,04 \pm 0,01d	0,10 \pm 0,08a
<i>Erythemis</i> sp.	5	3,50 \pm 1,00c	0,06 \pm 0,02b	0,15 \pm 0,06a	0,04 \pm 0,03a
	10	8,25 \pm 0,96bc	0,10 \pm 0,01ab	0,08 \pm 0,01bc	0,06 \pm 0,04a
	15	5,75 \pm 1,50bc	0,06 \pm 0,02b	0,13 \pm 0,03ab	0,06 \pm 0,02a
	25	14,75 \pm 3,59e	0,14 \pm 0,03a	0,06 \pm 0,01c	0,08 \pm 0,03a
	35	15,50 \pm 3,31e	0,14 \pm 0,03a	0,06 \pm 0,01c	0,08 \pm 0,03a
	50	10,75 \pm 2,50ab	0,09 \pm 0,02ab	0,09 \pm 0,02bc	0,07 \pm 0,02a
	75	14,75 \pm 3,10e	0,13 \pm 0,03a	0,07 \pm 0,01c	0,08 \pm 0,03a

^a Los resultados se expresan como número de presas consumidas / hora / depredador.

¹ Medias signadas con letras diferentes en las columnas difieren entre sí por la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

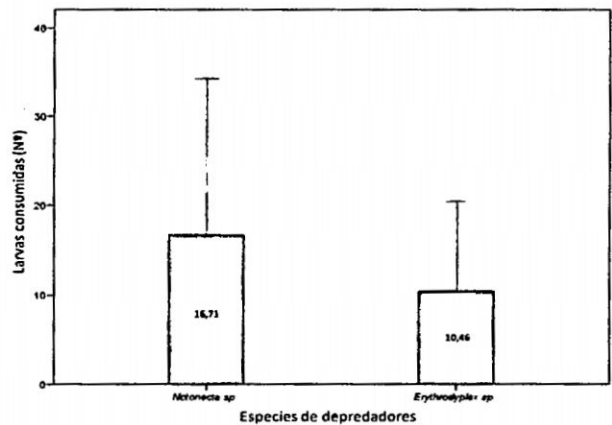


Figura 5. Media y desviación típica (\pm SE) ($P \leq 0.05$) del consumo larvas de IV instar de *Culex quinquefasciatus* por los depredadores *Notonecta* sp. y *Erythemis* sp.

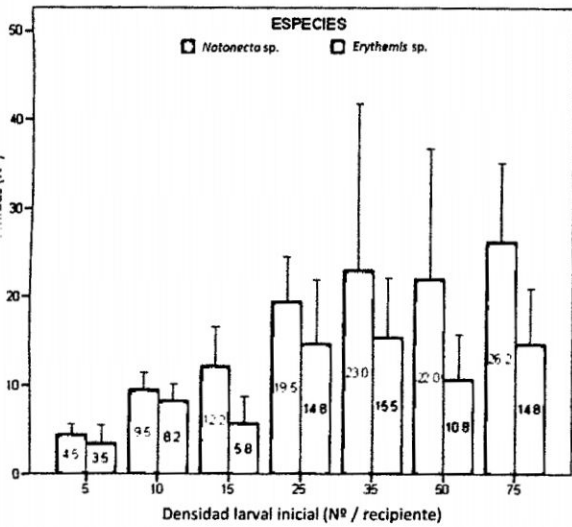


Figura 6. Media de depredación y desviación típica (\pm SE) ($P < 0.05$) de *Notonecta* sp. y *Erythemis* sp., en relación a la densidad inicial de larvas de IV instar de *Culex quinquefasciatus* administradas.

DISCUSIÓN

Los análisis de las Figuras 1 y 3, nos muestran la tendencia de depredación que desarrollan los adultos de *Notonecta* sp. y las náyades de *Erythemis* sp. en el control de larvas de IV instar de *Culex quinquefasciatus*. Como se puede apreciar, el número de larvas consumidas se incrementó con el aumento de la densidad de las presas hasta alcanzar un nivel de saturación o estabilización del consumo de larvas, formando en ambos casos (especies de depredadores) una tendencia polinómica de curva, estimada como una respuesta funcional de tipo II, según los modelos propuestos por Holling (1959)¹⁴. El coeficiente de correlación (R^2) en la curva polinómica asignada para *Notonecta* sp., fue de 0,9501, y para *Erythemis* sp. de 0,6613, valores que representan la relación existente entre las variables evaluadas (donde el número de larvas consumidas correspondió a la variable dependiente y la densidad de presas administradas, a la independiente) y que según la propuesta de Morales *et al.*, los mejores modelos de línea de tendencia son aquellos en el que el coeficiente de correlación se aproxima a la unidad. Al llevar a cabo el análisis de tendencia ($P \leq 0,05$), a la tendencia de la curva de respuesta funcional estimada (curva polinómica), nos referimos para ambas figuras (Figuras 1 y 3), como tendencias significativas, encontrándose sólido respaldo al tipo II de respuesta funcional asignada para ambos depredadores. Juliano (1993) reportado por Fernández *et al.* y Corley¹⁴, recomendó llevar a cabo un procedimiento básico de análisis gráfico de curvas de tendencia, que consistió en evaluar sucesivos modelos de curvas entre la proporción de presas consumidas (N_c) vs. el número de presas ofrecidas (N_o), adoptándose como el mejor modelo aquel valor donde el coeficiente de determinación (R^2) fue próximo a la unidad. En tal sentido, las Figuras 2 y 4, confirman que los depredadores *Notonecta* sp. y *Erythemis* sp. desarrollaron una respuesta funcional de tipo II en el

consumo de larvas de IV instar de *Culex quinquefasciatus* ($R^2 = 0,9565$ para *Notonecta* sp. y $R^2 = 0,7306$ para *Erythemis* sp.). Según Pervez¹², la respuesta funcional de tipo II de Holling halladas en la presente investigación para los depredadores *Notonecta* sp. y *Erythemis* sp. en el control de larvas de IV instar de *Culex quinquefasciatus*, en la cual la forma funcional es de tipo cóncava, es la más frecuentemente encontrada en la naturaleza, donde existe un aumento inicial en la tasa de consumo del predador con el aumento de la densidad de presas pero se produce una desaceleración continua hasta alcanzar un plateau. Esta desaceleración se debe a que el predador tiene una cantidad limitada de su tiempo (T) para invertir en la búsqueda de presas, y que cada presa le demanda un determinado tiempo de manipulación (T_m) para perseguirla, someterla, consumirla y prepararse para una nueva búsqueda. A medida que aumenta la abundancia de presas, es cada vez más fácil ubicarlas pero la manipulación demanda el mismo tiempo. Según Chesson reportado por Begon *et al.*¹⁵, explica que este tipo de respuesta funcional ha sido observado frecuentemente en insectos acuáticos, como por ejemplo *Notonecta* alimentándose de larvas de mosquitos. El mismo autor refiere que las respuestas funcionales de tipo II no son estables, pues llevan a la extinción de la presa o a dejarlas libres de control de los depredadores, sobre todo cuando la abundancia de presas es infinita, donde el consumidor pasa su tiempo manipulándolas más no consumiéndolas. Por lo tanto, Peckarsky reportado en Begon *et al.*¹⁵, manifiesta que el predominio de respuestas funcionales inestables de tipo II reportadas para depredadores acuáticos puede ser producto de las condiciones artificiales bajo las cuales fueron medidas, en la cual la especie depredadora es provista de una sola especie de presa que es distribuida homogéneamente en el hábitat experimental. El análisis del factor de correlación (R^2) que se reporta para ambos depredadores podría ayudarnos a inferir las tendencias coevolutivas que ocurren entre depredador y presa, entendiéndose al R^2 como el valor que representa la relación existente entre las variables evaluadas, así por ejemplo *Notonecta* sp. muestra un $R^2 = 0,9501$ al consumir larvas de *Culex quinquefasciatus*, en tanto que en el depredador *Erythemis* sp. reportó un $R^2 = 0,6613$; esta diferencia posiblemente esté relacionado al hecho de que el depredador *Notonecta* sp. y la presa *Cx. quinquefasciatus* hayan desarrollado una coevolución convergente y en este proceso ambos organismos (predador-presa), aprendieron a desarrollar estrategias de sobrevivencia y ajustes fisiológicos mejor que las que desarrollaron las náyades de *Erythemis* sp. en relación a las larvas de *Cx. quinquefasciatus*, en un proceso dinámico de constante lucha por alcanzar la optimización, en consecuencia *Notonecta* sp., a la luz de los resultados, se comporta como mejor depredador de larvas de *Cx. quinquefasciatus* en comparación a *Erythemis* sp.

En la Tabla 1, se reportan los resultados del análisis de la capacidad de búsqueda (a') para cada densidad administrada y depredador evaluado. La capacidad de

isqueda proporcionó información del universo donde realizó la prueba (área o volumen del experimento) mostrándonos la actividad del depredador y la pacidad de encontrar a su presa. En este contexto, el predador *Notonecta* sp., reportó resultados de pacidad de búsqueda coincidentemente similares a rtir de la densidad 25 a la densidad 50, en la que eron atacados en promedio $0,21 \pm 0,03(ab)$ a $0,23 \pm 10(ab)$ larvas de *Culex quinquefasciatus*, resultados e si bien difieren numéricamente, en la prueba de nparación de medias de Tuckey ($P \leq 0,05$) no estraran diferencias significativas. La mayor acidad de búsqueda de presas se expresó en la isidad 75 de larvas administradas [$0,26 \pm 0,04(a)$], que estadísticamente coinciden y son similares a los ores promedios reportados en las densidades eriores. De los resultados, se documenta queéricamente, el promedio de larvas de *Cx. inquefasciatus* atacadas por el depredador *Notonecta* , mantuvo una tendencia creciente a las primeras isidades, llegando a estabilizarse a las densidades yores, dando como resultado un incremento acelerado de búsqueda a medida que aumentan las sas administradas, hasta llegar a una asíntota en la l el predador expresa su máxima tasa de ataque. A densidad, el tiempo disponible por *Notonecta* sp., utilizado para manipular su presa (*Cx. nquefasciatus*), y el tiempo de búsqueda de la presa alta despreciable¹⁴, dando como resultado un sumo densodependiente inverso a altas densidades lacionales y una menor posibilidad de ser atacadas presas cuando están en bajas cantidades^{15,14}, característica que es apreciable en la presente stigación, en la que la proporción de presas sumidas decrece monótonicamente.

caso de las náyades de *Erythemis* sp., éstas traron coincidentemente la misma tendencia de queda [medias entre $0,06 \pm 0,02(ab)$ y $0,14 \pm 1(a)$] en todas las densidades de larvas ministradas, que si bien numéricamente difieren, dísticamente en la prueba de comparación de lias de Tuckey ($P \leq 0,05$), muestran una misma pección para cada densidad evaluada. Los valores ios similares reportados, probablemente se deba a el depredador (náyades de *Erythemis* sp.), es poco vo en la búsqueda de presas, prefiriendo mantenerse l fondo de los envases experimentales con poco imiento, esperando al acecho a que las presas n cerca de ellos para atraparlas^{22, 23}, a diferencia de *necta* sp., que es un activo buscador y voraz edador de sus presas, de movimientos ágiles y por un candidato importante en los programas de rol biológico.^{2,23}

tiempo de manipuleo (*Tm*) nos proporcionó mación del tiempo que el entomófago tardó en tificar, localizar, atrapar y consumir una presa, así o la pausa digestiva antes de iniciar un nuevo e. Los resultados reportados en la Tabla 1, nos ran las medias halladas para esta característica. amente podemos observar en caso del depredador

Notonecta sp., que el mayor tiempo de manipuleo ocurrió a la densidad de cinco larvas administradas [$Tm = 0,12 \pm 0,02(a)$], disminuyendo en las densidades de 10 y 15 [$Tm = 0,07 \pm 0,01(b)$ y $0,06 \pm 0,01(bc)$, respectivamente] y reportando coincidentemente paras las densidades de 25 a 75 larvas administradas, medias que oscilaron entre $0,04 \pm 0,02(cd)$ y $0,04 \pm 0,01(d)$, valores estadísticamente demostrados a través de la prueba de comparación de medias de Tuckey ($P \leq 0,05$) y que corresponde a los tiempo (horas) que invierte el predador en la búsqueda de presas, donde logra perseguirla, someterla, consumirla y prepararse para una nueva búsqueda. Producto de los resultados observados se desprende que el depredador *Notonecta* sp., reportó mayor tiempo de manipuleo a las menores densidades larvales administradas siendo mínimo este tiempo cuando se incrementa la densidad en el medio. Al respecto Pervez¹² manifiesta que, a medida que se incrementa la abundancia de presas en un medio, resulta cada vez más fácil para el depredador ubicarlas, sin embargo, la manipulación le demanda el mismo tiempo. Cuando la abundancia de presas es infinita, el consumidor (depredador) pasa su tiempo manipulándolas más no así depredando a sus presas, comportamiento observado en la presente investigación y que brinda soporte robusto a los resultados hallados.

En caso de las náyades de *Erythemis* sp., el tiempo de manipuleo (*Tm*) en el biocontrol de larvas de IV instar de *Culex quinquefasciatus* mostró la misma tendencia puesta de manifiesto por el depredador *Notonecta* sp. (Tabla 1). Se evidenció que, a la densidad de cinco y diez larvas administradas el tiempo de manipuleo fue mayor [$0,15 \pm 0,06(a)$, $0,13 \pm 0,03(ab)$] reportando valores mínimos de *Tm* entre las densidades de 25 a 75 larvas administradas, cuyas medias oscilaron entre $0,06 \pm 0,01(c)$ a $0,09 \pm 0,02(bc)$, resultados que tienen respaldo estadístico a través de la prueba de Tuckey ($P \leq 0,05$). Los datos reportados pusieron en manifiesto que las náyades de *Erythemis* sp., ocupan un mayor tiempo en la manipulación de las presas en comparación al depredador *Notonecta* sp. En este sentido Pervez¹² manifiesta que, depredadores con poco tiempo de manipuleo (*Tm*) en relación con el tiempo total de búsqueda (*T*), minimizan la inestabilidad resultante de la respuesta funcional, por consecuencia, este es uno de los atributos que debería tener un depredador con mayor posibilidad de lograr una relación estable con su hospedero a bajas densidades, facilitando la búsqueda de enemigos naturales con miras para su inclusión en programas de control biológico, reafirmando una vez más la propuesta de que el depredador *Notonecta* sp., es el mejor candidato en programas sostenibles de control de larvas de mosquitos de importancia médica, por mostrar mayor capacidad de búsqueda en relación al incremento de la densidad de larvas en el medio y menor tiempo de manipuleo en relación directa a dichas densidades.

La capacidad de depredación (*CR*), es un atributo adicional que fue incorporado al estudio de

predadores de larvas de insectos de interés médico; se planteado originalmente por Gilbert y Burns²⁰ y modificado posteriormente por Chandra *et al.*²¹, se basa en la cuantificación del consumo de larvas por hora por depredador en 24 horas de evaluación, tomando en cuenta el volumen de agua donde fue realizada la prueba.

En el análisis de los resultados que son reportados en la Tabla 1, podemos evidenciar que la capacidad depredadora (CR) desarrollada por *Notonecta* sp., tuvo los menores valores a las densidades de 5 a 15 larvas administradas [$0,05 \pm 0,03(a)$ y $0,08 \pm 0,05(a)$ larvas consumidas / hora / depredador, respectivamente] documentando un valor máximo de 0,09 entre las densidades de 25 a 75 larvas [$0,09 \pm 0,06(a)$ y $0,10 \pm 0,08(a)$ larvas consumidas / hora / depredador], resultados que si bien difieren en los valores hallados, en la comparación de medias por la prueba de Tuckey ($P \leq 0,05$) demostraron ser similares.

Por lo que podemos asumir que *Notonecta* sp., sin importar la cantidad de presas que encontró disponible en el medio, consumió una misma cantidad de larvas de *Culex quinquefasciatus* [$0,05 \pm 0,03(a)$ y $0,10 \pm 0,08(a)$ por hora / depredador] en razón del espacio disponible (un litro de agua contenida en el recipiente experimental).

De igual modo, al evaluar la capacidad depredadora (CR) desarrollada por las náyades de *Erythemis* sp., observamos tendencias análogas de consumo de presas a las reportadas por *Notonecta* sp.; es decir, las náyades de *Erythemis* sp. depredan en promedio $0,04 \pm 0,03(a)$ a $0,08 \pm 0,03(a)$ larvas de *Culex quinquefasciatus* / hora, entre las densidades de 5 a 75 larvas ofertadas, valores que en el análisis de la prueba post hoc de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0,05$), resultan ser similares. Por lo que ambos depredadores (*Notonecta* sp. y *Erythemis* sp.), consumen una misma cantidad de presas por hora a las densidades evaluadas, sin importar la abundancia de las presas en el medio.

Chandra *et al.*²¹, al evaluar la capacidad de depredación del coleóptero dytiscido *Acilius sulcatus* en el control de larvas de *Culex quinquefasciatus* demostró que un depredador consumió entre 18 y 16 larvas de mosquitos en presencia de luz y oscuridad, respectivamente, con una tasa de alimentación diaria de larvas en promedio; en tanto que cinco larvas de *A. sulcatus* consumieron 166 larvas de mosquito en la presencia de luz y 172 larvas durante la fase oscura con una tasa media de alimentación de 33,8 larvas / depredador en un período de 24 h. Valores que resultan ser muy superiores a los que reportamos en la presente investigación para los depredadores *Notonecta* sp. y *Erythemis* sp. Esta diferencia probablemente se deba a las condiciones en las que se evaluó el atributo en estudio (capacidad de depredación). Chandra *et al.*²¹, utilizaron a *Acilius sulcatus* en el biocontrol de larvas de *Cx. quinquefasciatus*, considerando en principio las siguientes variables: número de depredadores (1 a 2

larvas de *Acilius sulcatus*), número de presas (200 a 400 larvas de *Cx. quinquefasciatus*), espacio disponible (volumen de agua: 1 a 2 litros) y fases de evaluación (en presencia de luz y oscuridad), variables que fueron operadas en diferentes combinaciones. Parámetros diferentes que incluye al tipo de depredador estudiado, que seguramente influyeron en los resultados que son reportados. Al respecto debemos enfatizar que, pese a que existen muchos factores que afectan los resultados de capacidad depredadora, provocando que difícilmente los valores hallados en la presente investigación coincidan con los reportados por otros investigadores, es innegable que el depredador *Notonecta* sp. al igual que las náyades de *Erythemis* sp., a la luz de los otros atributos evaluados, resulten ser controladores biológicos importantes para ser incluidos en programas de manejo y control de insectos vectores.

Finalmente, las Figuras 5 y 6 corroboran y clarifican los resultados del biocontrol desarrollado por los depredadores *Notonecta* sp. y *Erythemis* sp. en el consumo de larvas de *Culex quinquefasciatus* para cada densidad de ofertas larvales evaluadas, de los cuales podemos desprender que *Notonecta* sp. es el mejor depredador de larvas de mosquitos culícidos llegando a consumir una media de $16,71 \pm 8,71$ larvas en 24 horas de evaluación (Fig. 5), resultados que son sustancialmente superiores en comparación a los que reportan las náyades de *Erythemis* sp., donde la media de consumo fue tan solo de $10,46 \pm 5,03$ larvas de culícidos (Fig. 5), resultados que dan soporte sólido a los demás atributos evaluados y que ponen en manifiesto que los adultos de *Notonecta* sp. son los que muestran las mejores características depredadoras en comparación a las náyades de *Erythemis* sp. La Figura 6 refuerza esta afirmación donde podemos apreciar que los *Notonecta* sp., muestran valores medios de depredación relativamente superiores en cada densidad de larvas evaluadas, esta característica podría estar relacionado seguramente a la mayor movilidad y activa búsqueda de presas que desarrollan los adultos de *Notonecta* sp. en comparación a las desplegadas por las náyades de *Erythemis* sp., quienes son poco móviles y por lo general se mantienen en el fondo de los recipientes, esperando al acecho a que las presas nadan cerca de ellas para atraparlas.^{22,23}

Al llevar a cabo el análisis de varianza ($P \leq 0,05$), se pudo determinar que existen diferencias altamente significativas en la depredación llevada a cabo por los controladores biológicos *Notonecta* sp. y *Erythemis* sp., así como en el número de larvas de *Cx. quinquefasciatus* consumidas en cada una de las densidades evaluadas. Sin embargo, al evaluar la interacción depredador presa, no fueron halladas tales diferencias, es decir que los depredadores evaluados son independientemente diferentes en cuanto a la depredación que desarrollan, mostrando medias de consumo disímiles para cada densidad evaluada, resultados que podemos verificar al observar las medias de consumo que se reportan en la Figura 6. La

prueba post hoc de comparación de medias de Tuckey ($P \leq 0,05$), nos muestra que las mayores medias de consumo fueron halladas entre las densidades de 25 a 75 larvas de *Cx. quinquefasciatus* ofertadas, independientemente del depredador evaluado, en tanto que las menores densidades son reportadas para las ofertas larvales de 5 a 15.

Los adultos de *Notonecta* sp. por todos los atributos evaluados en la presente investigación resulta ser el mejor predador de larvas de mosquitos en comparación a las náyades de *Erythemis* sp., sin embargo ambos pueden ser útiles en el control biológico de mosquitos médicamente importantes. Desde el punto de vista del control biológico eficaz y sostenible en las condiciones de campo, los depredadores acuáticos deben tener una amplia gama de capacidad de adaptación a los hábitats además de la depredación de las larvas del mosquito objetivo, por consecuencia se requieren realizar nuevos trabajos para determinar la metodología apropiada de crianza masiva y liberación aumentativa en campo, evaluando la actividad depredadora de *Notonecta* sp. y *Erythemis* sp., para hacer posible este procedimiento de control biológico de larvas de mosquito y tenga un amplio uso sobre todo en lugares donde la presencia de los culicidos genera problemas médicos de importancia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Fundación Universidad-Empresa de la región de Murcia. Sistemas de control biológico de las poblaciones de mosquitos en zonas húmedas. Universidad de Murcia. Editorial Novograf, S.A. España. ISBN 84-688-2565-4. [Internet] 2005. [consulta 15 de febrero de 2013]. Disponible en: <http://www.carm.es/cma/dgmn/mnatural/Humedal/publica/mosquito.pdf>
- Andrade F, Urbano dos Santos L. O uso de predadores no controle biológico de Mosquitos, com destaque aos *Aedes*. Departamento de Zoología. Instituto de Biología. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP [internet]. Brasil. 2004. [consulta 17 de noviembre de 2012]. Disponible en: http://www2.ib.unicamp.br/profs/eco_aplicada/arquivos/artigos_tecnicos/
- Lima J, De Melo N, Valle D. Residual effect of two *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* products assayed against *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in laboratory and outdoors at Rio de Janeiro, Brazil. *Rev Inst Med Trop*. 2005; 47 (3):125-130.
- Lee D. Predation efficacy of the fish muddy loach *Misgurnus mizolepis*, against *Aedes* and *Culex* mosquitoes in laboratory and small rice plots. *J Am Mosq Control Assoc*. 2000; 16(3): 258-261.
- Hurst T, Brown M, Kay B. Laboratory evaluation of the predation efficacy of native Australian fish on *Culex annulirostris* (Diptera: culicidae). *J Am Mosq Control Assoc.*; 2004; 20 (3): 286-291.
6. Willems K, Webb C, Russell R. Tadpoles of four common Australian frogs are not effective predators of the common pest and vector mosquito *Culex annulirostris*. *J Am Mosq Control Assoc*. 2005; 21(4): 492-494.
7. Perich M, Clair P, Boobar L. Integrated use of planaria (*Dugesia dorotocephala*) and *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* against *Aedes taeniorhynchus*: A laboratory bioassay. *J Am Mosq Control Assoc*. 1990; 6(4): 667-671.
8. Mkoji G, Boyce T, Mungai B, Copeland R, Hofkin B, Loker E. Predation of aquatic stages of *Anopheles gambiae* by the Louisiana red swamp crawfish (*Procambarus clarkii*). *J Am Mosq Control Assoc*. 1999; 15(1): 69-71.
9. Quiroz H, Rodríguez V, Solís C, Maldonado M. Predatory capacity and prey selectivity of nymphs of the dragonfly *Pantala hymenaea*. *J Am Mosq Control Assoc*. 2005; 21(3): 328-330.
10. Mercer D, Wettach G, Smith J. Effects of larval density and predation by *Toxorhynchites amboinensis* on *Aedes polynesiensis* (Diptera: Culicidae) developing in coconuts. *J Am Mosq Control Assoc*. 2005; 21(4): 425-431.
11. Neri J, Quiroz I, Rodríguez M, Tejada L, Badii M. Use of Bactimos briquets (B.t.i formulation) combined with the backswimmer *Notonecta irrorata* (Hemiptera: Notonectidae) for control of mosquito larvae. *J Am Mosq Control Assoc*. 1997; 13 (1):87-89.
12. Pervez A. Functional responses of coccinellid predators: An illustration of a logistic approach. [Internet]. *J Insec Science*. 2005; (5):1-6. [Consulta 18 marzo de 2010]. Disponible en: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/picrender.fcgi?artid=1283886&blobtype=pdf>
13. Barrera J F. Introducción, Filosofía y Alcance del Control Biológico. En: Teoría y aplicación del control biológico. Rodríguez del Bosque y Arredondo-Bernal (eds.). Sociedad Mexicana de Control Biológico. México. 2007.
14. Fernández Arthex V, Corley J. La respuesta funcional: una revisión y guía experimental. Ayuda didáctica. Asociación Argentina de Ecología. Ecología Austral. 2004. (14):83-93.
15. Begon M, Harper J, Townsend C. Ecología: individuos, poblaciones y comunidades. Ed. Omega. Barcelona-España. 2000; 450 Pp.
16. Ayala Y. Capacidad depredadora y respuesta funcional de *Notonecta* sp. (Insecta: Hemiptera) frente a larvas del mosquito *Culex quinquefasciatus* Say 1823 (Diptera: Culicidae) en presencia y ausencia de refugios. Informe final de investigación. Instituto de Investigación de Ciencias Biológicas-UNSCH. Ayacucho-Perú. 2009; 50 pp.
17. Cisneros K. Capacidad depredadora de *Notonecta* sp. (Hemiptera: Notonectidae) con relación al consumo de larvas de *Culex quinquefasciatus* y *Chironomus* sp. (Insecta: Díptera). [Tesis de licenciatura]. Facultad de Ciencias Biológicas-UNSCH. Ayacucho-Perú. 2011.55 Pp.