

# **Monitoreo y control de *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) en la ciudad de Córdoba**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA  
Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales  
Carrera de Ciencias Biológicas



**Tesinista:** Carla Rodríguez González

Firma:.....

**Directora:** Raquel M. Gleiser

Firma:.....

**Co-director:** David E. Gorla

Firma:.....

**Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y  
Naturales (CREAN) – Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal  
(CONICET-UNC)**

**2018**

# **Monitoreo y control de *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) en la ciudad de Córdoba**

## **TRIBUNAL EXAMINADOR:**

**Apellido y Nombre:** Almirón, Walter R.

Firma:.....

**Apellido y Nombre:** Estrabou, Cecilia

Firma:.....

**Apellido y Nombre:** Visintin, Andrés M.

Firma:.....

**Calificación**.....

**Fecha**.....

## INDICE

Resumen.....	4
Introducción.....	5
• Problemáticas de salud y <i>Aedes aegypti</i> .....	5
• Prevención de enfermedades transmitidas por <i>Aedes aegypti</i> .....	7
• Biología de <i>Aedes aegypti</i> .....	8
• Vigilancia/monitoreo de <i>Aedes aegypti</i> .....	11
• Estrategias de control de <i>Aedes aegypti</i> .....	12
Objetivos.....	15
Hipótesis de trabajo.....	16
Materiales y métodos.....	16
• Área de trabajo.....	16
• Presencia y actividad de oviposición de <i>Aedes aegypti</i> .....	16
• Control de mosquitos adultos.....	18
• Variables ambientales.....	19
• Análisis de datos.....	20
Resultados.....	21
Discusión.....	28
Conclusión.....	32
Bibliografía.....	33
Anexos.....	38
Agradecimientos.....	46

## RESUMEN

El control de las poblaciones de *Aedes aegypti* es extremadamente difícil debido no sólo a cuestiones operativas relacionadas con la detección de sus criaderos, sino a sus estrategias de historia de vida, ya que la persistencia de las poblaciones del mosquito se basa en ciclos estocásticamente recurrentes de dispersión y extinción. Son esenciales las estrategias de manejo sostenidas en el tiempo, que impliquen la vigilancia o monitoreo de su población para determinar cuándo y qué tipo de medidas de control aplicar. En este marco, estimamos la oviposición de *Aedes aegypti* en un barrio al noroeste de la ciudad de Córdoba, estudiamos la relación entre la actividad reproductiva del mosquito y variables ambientales y evaluamos el impacto del uso de trampas pegajosas para la captura de hembras adultas sobre la abundancia/actividad reproductiva de mosquitos adultos. Se definió un área experimental y otra control de 12 y 4 hectáreas, respectivamente, y se seleccionaron aleatoriamente 2 viviendas por manzana. En cada casa se colocaron grupos de 3 ovitrampas tradicionales (total 96 ovitrampas), expuestas una semana por mes desde enero hasta abril del 2017. En el área tratamiento se instalaron durante un mes (febrero-marzo) 42 trampas grávidas autocidas tipo CDC (CDC-AGO). Usando un enfoque de inferencia múltiple y modelos lineales generalizados se modeló la presencia/ausencia y número de huevos en función de la favorabilidad del microentorno de cada trampa, temperatura de terreno y precipitación, y las distancias de las ovitrampas a las trampas pegajosas más cercanas. La fracción de ovitrampas positivas mostró una tendencia descendente durante el período de estudio, desde 66% en enero a 5% en abril, siendo siempre superior, con más de un 20%, en el área designada como tratamiento respecto al área control. La presencia y abundancia de huevos mostraron fuerte influencia de la temperatura nocturna de las dos semanas previas. El uso de trampas pegajosas no tuvo efectos significativos sobre la cantidad de huevos depositados los meses posteriores a su colocación, por lo que no se evidenció un efecto negativo sobre la población de mosquitos adultos. La falta de efecto de las trampas CDC-AGO sobre la población del mosquito podrían deberse a ineficacia de la estrategia, ya sea por una falta de efecto attractante de la infusión utilizada o bien a la elección de un área de tratamiento reducida, con lo cual las eventuales pérdidas de adultos pudieron haberse compensado por la dispersión de mosquitos desde áreas vecinas.

**Palabras clave:** *Aedes aegypti*, ovitrampas, huevos

# INTRODUCCIÓN

## Problemáticas de salud y *Aedes aegypti*

A nivel mundial se está registrando un aumento en la emergencia o reemergencia de enfermedades virales transmitidas por mosquitos (Marcondes et al. 2017). *Aedes aegypti* es el principal vector de diversos patógenos, entre ellos los virus dengue (DENV), chikungunya (CHIKV) y zika (ZIKV), que en conjunto han dado lugar a la mayor tasa de enfermedad y mortalidad entre los virus emergentes y / o reemergentes, y de otros virus incluyendo fiebre amarilla (FA) (Liang 2015, Faria et al. 2016, WHO 2016, b).

Antes de 1970, solo nueve países del mundo habían sufrido epidemias de dengue. Actualmente, la enfermedad es endémica en más de 100 países de las regiones de África, las Américas, el Mediterráneo Oriental, Asia Sudoriental y el Pacífico Occidental, siendo las regiones de las Américas, Asia Sudoriental y el Pacífico Occidental las más afectadas. En 2008, en estas últimas tres regiones, se registraron en conjunto más de 1,2 millones de casos, y en 2015, más de 3,2 millones, de los cuales 2,35 millones correspondieron a las Américas con más de 10.200 casos diagnosticados como dengue grave y 1181 defunciones (según datos oficiales presentados por los Estados Miembros a la OMS).

Por otro lado, el virus de Chikungunya ha causado brotes masivos y sostenidos en Asia y África desde 2004, donde más de 2 millones de personas han sido infectadas, con tasas de hasta 68% en ciertas áreas. Esta virosis se caracteriza por un brote súbito de fiebre, acompañado por dolor más intenso y localizado que el dengue en las articulaciones y tendones en la fase aguda, mientras que durante la fase crónica se puede incluir fatiga y depresión además de dolores musculares, dolores de cabeza, náusea y sarpullidos. La mayoría de los pacientes se recuperan totalmente, pero en algunos casos, la afectación de las articulaciones puede persistir de manera crónica. Aunque las complicaciones serias no son frecuentes, en el caso de adultos mayores, niños y embarazadas la enfermedad puede agravarse. En el 2013, la OPS/OMS recibió confirmación de los primeros casos de transmisión autóctona de chikungunya en las Américas. Sin embargo, en años anteriores, cientos de personas que habían viajado desde las Américas a Asia y África se infectaron con el virus (WHO 2017, a).

En relación con el virus Zika, entre los años 1970 y 1980 se detectaron infecciones humanas en África y Asia, generalmente acompañadas de enfermedad leve. En los grandes brotes que afectaron a algunas naciones insulares del Pacífico, primero en 2007 y de nuevo en 2013-2014, que luego se propagaron a las Américas, el virus de Zika circulaba al mismo

tiempo que los virus del dengue y chikungunya. En julio de 2015 Brasil notificó una asociación entre la infección por el virus de Zika y el síndrome de Guillain-Barré, y en octubre del mismo año su asociación con la microcefalia (Tetro 2016). La detección de un aumento significativo de los casos de microcefalia en el momento y en lugares en los que circulaba el virus de Zika ha ido acompañada de la constatación de un incremento de las malformaciones cerebrales congénitas en fetos (detectadas por ecografía), mortinatos y recién nacidos, así como de pruebas de daños a la vista y la audición (WHO 2016, c).

La asociación de la circulación del virus con la detección de un mayor número de casos del síndrome de Guillain-Barré es otro motivo de preocupación. El síndrome de Guillain-Barré es una enfermedad autoinmunitaria desencadenada por diversas causas, como infecciones por algunos virus y bacterias, generalmente *Campylobacter jejuni*. Hasta la fecha se ha señalado el vínculo entre la circulación del virus de Zika y una mayor incidencia del síndrome de Guillain-Barré en ocho países y territorios: Brasil, Colombia, El Salvador, Honduras, el departamento francés de Martinica, la Polinesia francesa, Suriname y la República Bolivariana de Venezuela (WHO 2016, c). El hecho de que el virus de Zika sea el único flavivirus que circula en algunos de estos países confiere más peso a esta presunta asociación.

En cuanto a la fiebre amarilla, el virus es endémico en las zonas tropicales de África (en 34 países) y de América Central y Sudamérica (en 13 países). Con un modelo basado en datos de fuentes africanas, se ha estimado que en 2013 hubo entre 84.000 y 170.000 casos graves y entre 29.000 y 60.000 muertes. Entre los síntomas de la enfermedad se encuentran: fiebre, cefaleas, ictericia, dolores musculares, náuseas, vómitos y cansancio. Una pequeña proporción de pacientes infectados presentan síntomas graves, y aproximadamente la mitad de estos casos fallecen en un plazo de 7 a 10 días (WHO 2014).

En los siglos XVII a XIX, la exportación de la fiebre amarilla a Norteamérica y Europa causó grandes brotes que trastornaron la economía y el desarrollo, y en algunos casos diezmaron la población. Desde el lanzamiento de la Iniciativa contra la Fiebre Amarilla, en 2006, se han hecho importantes avances en la lucha contra la enfermedad en África Occidental, y se han vacunado más de 105 millones de personas en campañas de vacunación en masa (según datos oficiales de la OMS 2018). Ocasionalmente, quienes viajan a países donde la enfermedad es endémica pueden importarla a países donde no hay fiebre amarilla. Para evitar estos casos importados, muchos países exigen un certificado de vacunación antes de expedir visados, sobre todo cuando los viajeros proceden de zonas endémicas.

A principios de 2016, se confirmó por primera vez la circulación autóctona del virus chikungunya en las provincias de Salta y Jujuy, y del virus zika, con transmisión vectorial en Tucumán y transmisión sexual en Córdoba, además de numerosos casos importados en diferentes provincias. En diciembre del mismo año, Argentina solicitó formalmente a la OMS que el texto internacional sobre viajes y salud (ITH) del país debía cambiarse para indicar que la vacuna contra la fiebre amarilla fuera recomendada solo para viajeros a las provincias de Corrientes y Misiones (WHO 2017). Sin embargo, desde ese año hasta enero de 2018, siete países y territorios de la región de las Américas han notificado numerosos casos de fiebre amarilla (Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Guyana Francesa, Perú y Surinam). Brasil es el país que más casos ha notificado durante este período, en áreas donde no se había reportado la circulación de los virus en décadas, incluidos los estados de São Paulo y Rio de Janeiro; por lo cual se ha expandido la recomendación de la vacuna a más áreas del país (WHO 2018).

En Córdoba, se registró transmisión sostenida de dengue en dos o más localidades en distintos departamentos con casos autóctonos y, entre enero y mayo de 2016 se confirmaron 682 casos. Además, se notificaron más de 350 probables casos importados de CHIK con antecedentes de viajes a Brasil y Bolivia y se confirmaron 2 casos de ZIKV importados (Boletín Integrado de Vigilancia 2016).

### **Prevención de enfermedades transmitidas por *Aedes aegypti***

En relación con el tratamiento de estas enfermedades, existe una vacuna contra el virus de la Fiebre Amarilla y constituye la medida más importante para prevenir la enfermedad. La vacuna es segura y asequible, y una sola dosis es suficiente para conferir protección de por vida, sin necesidad de dosis de refuerzo (WHO 2016, b).

Cuando se produce un brote importante de Fiebre Amarilla, los países necesitan acceder a los suministros de vacunas con urgencia para campañas de vacunación rápidas para controlar la propagación de la enfermedad. El virus puede propagarse rápidamente en ciudades densamente pobladas, causando miles de muertes y consecuencias humanitarias muy graves. Por esto, aquellos países que no tengan suficientes suministros de vacunas pueden acceder a la reserva mundial de vacunas de emergencia regulada por el Grupo Internacional de Coordinación (ICG). Originalmente, el ICG tenía previsto almacenar 2 millones de dosis por año, pero, con las crecientes demandas, el arsenal de emergencia aumentó a 6 millones de dosis por año en 2003. Sin embargo, en el año 2016 un brote de la enfermedad en Angola agotó las reservas mundiales de dosis dos veces en el mismo

año. Además de esta creciente demanda en los últimos años y de la dificultad de pronosticar con anticipación las cantidades que se necesitarán cada año, la vacuna tarda mucho en producirse (WHO 2016, b).

En el caso del dengue, entre finales de 2015 y principios de 2016 se aprobó en varios países el uso de la primera vacuna contra el virus —Dengvaxia (CYD-TDV), de Sanofi Pasteur— en personas de 9 a 45 años. Sin embargo, su uso se limita a residentes de zonas endémicas o de aquellos entornos geográficos (nacionales o subnacionales) en los que los datos epidemiológicos indiquen que hay una gran carga de enfermedad. Además, existen en fase de desarrollo otras vacunas tetravalentes con virus vivos atenuados que se están estudiando en ensayos clínicos de fase III, y otras vacunas candidatas (basadas en subunidades, DNA o virus purificados inactivados) en fases menos avanzadas de su desarrollo clínico (Halstead 2017).

Para los virus zika y chikungunya no existen vacunas por el momento, y el tratamiento de las enfermedades consiste únicamente en aliviar los síntomas. Por lo cual, ante la falta de antivíricos específicos, y la posibilidad de introducciones de otros virus o emergencias de nuevas patologías (Marcondes et al. 2017), el control del mosquito vector es la mejor herramienta para controlar la propagación de las enfermedades.

### **Biología de *Aedes aegypti***

*Aedes aegypti* es una especie originaria de África Occidental que fue introducida en América con la primera llegada de los europeos, probablemente transportada en contenedores de agua. Esta especie es considerada invasiva y oportunista debido a su gran potencial de propagación y adaptación a nuevos entornos (Lounibos 2002), especialmente los creados por cambios en la forma en la que los seres humanos habitan el planeta. Otros de los rasgos asociados con su éxito de invasión son los huevos resistentes a la desecación, la eclosión escalonada en el tiempo y el comportamiento de las hembras para distribuir los huevos de un ciclo gonadotrófico en varios contenedores, garantizando que al menos una parte de la descendencia sobreviva y se reproduzca (Becker et al. 2012).

Naturalmente esta especie se desarrolla en el agua acumulada en cavidades de plantas como huecos de los árboles (Mangudo et al. 2015), sin embargo, con el paso del tiempo se ha adaptado a zonas urbanas, adquiriendo la capacidad de criarse en microambientes artificiales (Brown et al. 2014). La denominación de “microambientes artificiales” hace referencia a contenedores fabricados por el hombre que son propicios para el desarrollo de estados inmaduros de mosquitos, constituyendo uno de los hábitats larvales

más importantes en ambientes urbanos. Estos microambientes comprenden un grupo de ambientes acuáticos con características ecológicas distintivas: son de tamaño pequeño comparados con ambientes naturales tales como charcos y pantanos, o ambientes artificiales como canales de riego, lagunas de retención, piletas de natación y tanques para almacenamiento de agua; soportan un bajo número de especies con tamaños poblacionales pequeños; la producción primaria es casi inexistente y dependen del aporte externo de materia orgánica de origen vegetal y/o animal como fuente de energía; son ambientes temporarios y usualmente la presencia de predadores es menos frecuente, siendo la competencia el principal proceso que regula la estructura de las comunidades de los mosquitos que los habitan (Washburn 1995). Habida cuenta de esta adaptación, se considera que estos mosquitos pueden reproducirse en cualquier contenedor donde caiga agua de lluvia o se almacene agua, aunque prefieran principalmente los criaderos al aire libre. Se han encontrado larvas en un gran número de contenedores artificiales, como vasos y tapones de botella de plástico usados, platos colocados debajo de macetas, piletas para pájaros, jarrones en cementerios y recipientes con agua para animales domésticos (Brown et al. 2014).

Los huevos de *Aedes aegypti* son cementados individualmente en el borde del contenedor, por encima de la superficie del agua y eclosionan una vez que se sumergen. El desarrollo embrionario normalmente transcurre en 48 hs, y una vez que se completa los huevos pueden resistir largos períodos de sequía. Disminuciones en el nivel de oxígeno disuelto en agua, por factores tanto químicos como biológicos, han sido asociadas como estímulo para la eclosión de los huevos. Las larvas remueven activamente partículas adheridas a la superficie ya sea de sedimentos o vegetación, o de las paredes del contenedor, de las que se alimentan (Merritt et al. 1992).

En general, la dinámica estacional de *Ae. aegypti* (Reinert 2009) exhibe un patrón recurrente, con actividad de oviposición creciente durante finales de la primavera y principios del verano, un pico a finales del verano, y una disminución durante el otoño. En las zonas templadas de su distribución no se observan estados larvales o adultos durante el invierno (Vezzani y Carbajo 2008). Así, la población persiste el periodo anual desfavorable (invierno) en estado de huevo, sujeto a una mortalidad relativamente baja (Fischer et al. 2011). El aumento de la abundancia de la población durante la siguiente temporada de primavera comienza con la eclosión de los huevos hibernados y el desarrollo de larvas, cuando las condiciones ambientales vuelven a ser favorables (Otero et al. 2008). La influencia de la temperatura en la abundancia de *Ae. aegypti* es especialmente

importante en los márgenes de su distribución geográfica, ya que se espera que el calentamiento climático tenga un impacto crítico haciendo que estas regiones sean más adecuadas para el mosquito (Eisen y Moore 2013).

Los mosquitos adultos de ambos sexos se alimentan de sustancias dulces como el néctar, pero las hembras necesitan proteínas de la sangre para que sus huevos se desarrollen. Las hembras de *Ae. aegypti* han desarrollado preferencias particulares por la sangre humana en lugar de la de otros mamíferos (Scott et al. 1997), por lugares con sombra para descansar y por contenedores artificiales para poner sus huevos; además, prefieren contenedores de colores oscuros en lugar de claros. Las hembras pican de forma agresiva durante el día, especialmente al amanecer y al anochecer, acercándose a las víctimas por detrás y picándoles en los tobillos y los codos, lo que probablemente las ayuda a no ser detectadas y aplastadas. Además, extraen cantidades pequeñas de sangre picando varias veces, lo que aumenta el número de personas a las que puede infectar un solo mosquito portador de alguno de los virus que transmite. Después de ingerir sangre, las hembras producen en promedio lotes de 100 a 200 huevos, según la cantidad de sangre ingerida. A diferencia de las hembras de la mayoría de las especies de mosquitos, las de *Aedes aegypti* pueden producir hasta cinco lotes de huevos durante su vida. Además, como estrategia de supervivencia adicional, una sola hembra pone sus lotes de huevos en varios lugares diferentes (Vezzani 2007).

La persistencia de las poblaciones de *Ae. aegypti* se basa en ciclos estocásticamente recurrentes de dispersión y extinción, por lo tanto, para ciudades en climas templados, la erradicación del vector no sería eficiente si se centra exclusivamente en zonas de concentración de refugios potenciales (como cementerios) (Otero et al. 2008). Los esfuerzos de eliminación de criaderos (“descacharrado”), deberían concentrarse en el invierno, cuando solo los estados inmaduros –que no pueden dispersarse- están presentes. Para reducir las poblaciones de mosquitos además es importante contar con servicios públicos adecuados de suministro de agua corriente, recolección de basura doméstica, y alcantarillado que reduzca la oferta de hábitats larvales (Barrera et al. 2014).

Todas estas características hacen que el control de las poblaciones de *Aedes aegypti* sea extremadamente difícil y que las enfermedades que transmiten representen una amenaza mucho más importante.

## **Vigilancia/monitoreo de *Aedes aegypti***

Los protocolos estandarizados de vigilancia de dengue se basan en índices aédicos (como los índices de Breteau, de vivienda y de contenedores) que se consideran estimadores de riesgo de transmisión, y que se centran fundamentalmente en el muestreo de estados larvales (Bowman et al. 2014). En ocasiones se puede complementar con el uso de ovitrampas, que son sensibles para detectar la presencia del vector en especial en áreas donde el nivel de infestación de *Ae. aegypti* es bajo. Sin embargo, estos índices no siempre muestran una buena correlación con la abundancia de los mosquitos adultos debido a que una hembra puede repartir sus huevos en varios criaderos (Focks 2003), por lo cual se recomienda evaluar índices de pupas, que se consideran más precisos debido a que la mayoría llega a emerger como adultos (si se detectaran todos los criaderos, permitiría un conteo más preciso de los adultos). A pesar de ello, son poco usados debido a las dificultades prácticas y al trabajo que supone el recuento de pupas, en particular de las que se encuentran en grandes recipientes (Eiman et al. 2016). En años recientes, el número de métodos alternativos para estimar la abundancia de adultos o mejoras de las técnicas disponibles está comenzando a crecer (Barrera et al. 2013) como reflejo de la necesidad de contar con datos demográficos de los vectores adultos.

Los “índices aédicos”, estimadores del nivel de contenedores infestados por larvas en las viviendas, son una forma de caracterizar la abundancia de *Ae. aegypti*. Se asume que los índices aédicos indicarían umbrales de riesgo de transmisión de dengue. Sin embargo, en la revisión de 18 artículos sobre este tema que realizaron Bowman et al. (2014), que incluyeron datos de vigilancia entomológica por más de tres meses de manera conjunta con reportes de número de casos de dengue, no evidenciaron asociaciones consistentes entre los índices del vector y los casos detectados. Los datos considerados en los análisis de Bowman et al. provinieron de WHOLIS, PubMed, EMBASE, LILACS y Web of Science y fueron colectados con estrategias variadas que incluyeron índices aédicos y ovitrampas. La falta de asociación en parte tendría relación con los diseños de los estudios, con que la abundancia de larvas no necesariamente refleja la abundancia de los adultos - los responsables de la transmisión viral (Bowman et al. 2014) y con que la sensibilidad del método para la detección de criaderos es muy baja (Padilla-Torres et al. 2013).

## **Estrategias de control de *Aedes aegypti***

El riesgo de que ocurra una epidemia en una región, causada por alguna enfermedad cuyo agente patógeno es transmitido por *Aedes aegypti* está dado por tres condiciones fundamentales: que exista circulación del agente patógeno; que existan poblaciones susceptibles de enfermarse y que exista el vector que lo transmita; por lo tanto, la forma de evitar una epidemia es que alguna de estas tres condiciones centrales no se cumpla. Para ello, el control de las densidades poblacionales del mosquito es crucial y representa la forma más sencilla y económica de control epidemiológico, fundamentalmente cuando no existen vacunas específicas para algunos de los patógenos que transmiten (Berón et al. 2016).

La eliminación de recipientes artificiales como los envases descartables, llantas y barriles donde se cría el mosquito *Ae. aegypti* es fundamental para prevenir las enfermedades que transmite. Sin embargo, junto con el control de los criaderos, debe implementarse el saneamiento ambiental, la participación de la comunidad, la comunicación y la educación para la salud, el control químico y el control biológico (Licastro et al. 2010).

### Control biológico

Los predadores pueden ser herramientas importantes en programas integrales de control de mosquitos, eliminando los estados inmaduros sin la necesidad del uso de pesticidas y la consecuente selección de resistencia en la población tratada. La utilización de un predador que habitualmente no se encuentra en el mismo ambiente que la presa, podría funcionar como un agente de control efectivo debido a que la presa no ha desarrollado estrategias de escape a ese predador en particular.

Los estudios sobre predadores de *Ae. aegypti* sugieren que estos ejercen un rol importante en la reducción de huevos y larvas de esta especie. Los potenciales predadores identificados fueron: Dermaptera (Forficuloidea), Hymenoptera (Formicidae) e Isopoda (Bathytropidae). Sin embargo, la efectividad de estos predadores no está garantizada, debido a que intervienen otros factores, como por ejemplo la existencia de presas alternativas más palatables o de fácil captura que la especie blanco, que podrían disminuir la eficiencia en el control de la especie blanco (Berón et al. 2016).

Por otro lado, una de las ramas alternativas del control biológico es el microbiano, el cual utiliza microorganismos para reducir o estabilizar las poblaciones de insectos plaga. Entre estos microorganismos, se encuentran virus y bacterias que producen la infección mediante partículas virales u organismos que permanecen en el ambiente del insecto. Estos patógenos ingresan por diferentes vías (boca, cutícula, heridas, espiráculos, etc.) y se

multiplican en el insecto vivo al que le producen diversos daños y en algunos casos hasta provocan su muerte. El uso clásico de microorganismos como agentes de control de poblaciones de mosquitos está restringido por una serie de limitaciones biológicas, tecnológicas y económicas. Además, si bien se trata de técnicas muy específicas que pueden ser complementadas con otras estrategias de control, son muy sensibles a las condiciones ambientales como la temperatura, humedad, radiación solar, etc. (Berón et al. 2016).

### Control genético

En cuanto al control genético, se pueden utilizar métodos autocidas para el control de *Aedes aegypti*. Esta técnica consiste en esterilizar un gran número de machos y liberarlos para que compitan apareándose con hembras normales en una población natural, de este modo la población natural se reduce o pierde su capacidad de reproducción.

La empresa OXITEC es una compañía de origen británico que desarrolla soluciones para el control de plagas de insectos dañinos. Uno de sus proyectos fue la modificación genética de un mosquito macho de *Aedes aegypti*, llamado OX513A, que al tener un gen autolimitante, provoca que los mosquitos libres tengan un tiempo limitado, causando su muerte y que su descendencia no pueda completar su desarrollo. Si bien estas técnicas son selectivas y los individuos tratados no pueden establecerse en el ambiente, su producción es muy costosa y se requieren grandes cantidades de insectos para generar disminuciones significativas en la población de mosquitos (Bargielowski et al. 2011).

### Control químico

Durante los últimos 40 años, el control de *Aedes aegypti* se ha logrado principalmente por métodos químicos. Éstos consisten básicamente en la aplicación de larvicidas en aquellos recipientes que funcionen como criaderos y no puedan ser eliminados, y el rociado con adulticidas en casos de epidemia o cuando las densidades del vector sean muy elevadas. Los plaguicidas registrados para el control de larvas y adultos de mosquitos poseen bajo riesgo para la salud humana y el medio ambiente si son utilizados de acuerdo con las instrucciones del marbete. Sin embargo, las estrategias actuales de control de mosquitos proponen la aplicación de plaguicidas en áreas urbanas y pese a que se utilizan productos de baja toxicidad en mamíferos y baja persistencia en el ambiente, presentan otros aspectos desfavorables como su poca especificidad (acción sobre especies no blanco) y un riesgo de exposición de la población en general. Por ello, el uso de medidas que disminuyan significativamente este riesgo es de gran importancia. En la búsqueda de

insecticidas más seguros, es decir, con modos de acción más selectivos y de menor riesgo para los organismos no blanco y el medio ambiente, se ha avanzado durante los últimos 20 años en el desarrollo de compuestos naturales y sintéticos capaces de interferir con los procesos de crecimiento, desarrollo y metamorfosis de los insectos blanco. Estos productos han sido llamados reguladores del crecimiento de los insectos (IGR, del inglés insect growth regulators). Los IGR difieren notablemente de los insecticidas convencionales, ya que ejercen su efecto insecticida a través de su acción sobre el desarrollo, la metamorfosis y la reproducción de los insectos, perturbando la actividad normal del sistema endocrino (Hoffmann y Lorenz, 1998).

### Control mecánico y físico

Existen otro tipo de métodos que no emplean compuestos químicos ni enemigos naturales para el manejo de las poblaciones de mosquitos. El control mecánico involucra la destrucción manual de huevos o estados poco móviles, la exclusión por pantallas y barreras, el empleo de trampas pegajosas en invernáculos, uso de implementos de succión, entre otros. El control físico incluye la modificación de la temperatura, aumentando la humedad, empleando trampas de luz, o combinando luz, color y sonido. Existen trampas diseñadas para el control de una población, que utilizan una combinación de sustancias emanadas por los huéspedes (ejemplo trampas BG, <http://www.bg-sentinel.com/>) o hábitats larvales (trampas pegajosas, ejemplo MacKay et al. 2013, trampas AGO Barrera et al. 2014) como atractantes. Las trampas pegajosas para adultos, en ensayos de campo en Puerto Rico han mostrado reducciones de entre un 50 y 70% del número de adultos (dependiendo de la técnica de estimación de abundancia del mosquito) y previnieron los picos poblacionales que comúnmente ocurren luego de aumentos en las lluvias, posiblemente al reducir el número de huevos que se acumulan en los recipientes (Barrera et al. 2014). Este método podría ser eficiente para ciudades que cuentan con servicios públicos adecuados de suministro de agua corriente, recolección de basura doméstica, y alcantarillado (Barrera et al. 2014), pero no así para urbanizaciones con amplia oferta de hábitats acuáticos para el mosquito que compiten con las trampas (en ese caso, serían más valiosas como herramientas de monitoreo). Se espera que con el uso de este tipo de trampas se genere un impacto en la prevención de transmisión de virus por mosquitos no sólo por su efecto directo sobre el tamaño poblacional, sino porque se podría reducir el número de hembras potencialmente infectivas circulando, es decir, los individuos atraídos (y capturados) por las trampas son hembras que ya han obtenido al menos una ingesta sanguínea y por lo tanto están potencialmente infectadas (Barrera et al. 2014). Por otra parte, el uso de ovitrampas

puede estar complementado con alguna sustancia letal o inhibidora del desarrollo y funcionar como método de control (Perich et al. 2003, Harburguer et al. 2016).

El objetivo central de estas diferentes estrategias de control es poder manipular los niveles poblacionales de los mosquitos para un control efectivo de las enfermedades que ellos transmiten, y teniendo en cuenta que cada una tiene sus propias limitaciones, es necesario llevarlo a cabo mediante un manejo integrado. Entendiéndose por manejo integrado, el empleo de diferentes recursos con el menor costo ambiental posible, y según las necesidades específicas de cada situación, adecuando las estrategias según se trate de zonas endémicas o epidémicas. Para que el control de las poblaciones de vectores sea efectivo y se realice de forma responsable se deberá evaluar la necesidad en cada caso, realizando un balance entre la situación epidemiológica del lugar y la factibilidad de utilizar algunos de estos diferentes métodos de control disponibles. Además, teniendo en cuenta la alta capacidad de recuperación de las poblaciones de *Ae. aegypti*, son importantes las estrategias de manejo sostenidas en el tiempo, que impliquen la vigilancia o monitoreo de la población de mosquitos para determinar cuándo aplicar medidas de control y el tipo de insecticida más adecuado.

## **Objetivo general**

Evaluar un método para obtener un control preventivo de *Aedes aegypti* adultos usando trampas pegajosas que capturan hembras grávidas. Fue planteado como un estudio experimental con diseño tratamiento-control que se aplicó a una escala pequeña en un barrio de la ciudad de Córdoba (Argentina).

### Objetivos específicos

1. Estimar la actividad de oviposición de *Ae. aegypti* en un barrio al NO de la ciudad de Córdoba.
2. Estudiar la relación entre la actividad de oviposición de *Ae. aegypti* con variables ambientales
3. Evaluar el impacto del tratamiento sobre la abundancia/oviposición de mosquitos adultos.

## **Hipótesis de trabajo**

El trabajo está propuesto en el marco de dos hipótesis de trabajo. Por un lado, que la ocurrencia de microambientes favorables, la temperatura y la precipitación son factores determinantes de la abundancia y la actividad reproductiva de *Aedes aegypti*. Por el otro, que una intervención con trampas pegajosas para la captura de hembras adultas reducirá la abundancia de la población en el área de estudio, al causar un efecto directo en la mortalidad de adultos y en la fertilidad.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Área de trabajo**

El estudio se realizó en un sector del noroeste de la ciudad que incluye los barrios Autódromo, Cerrito y Nuevo Argüello de la ciudad de Córdoba, provincia homónima (Figura 1a). La ciudad de Córdoba, ubicada a una altitud de 360 a 480 msnm, se caracteriza por un clima templado, meso termal, con precipitaciones medias de 750-800 mm anuales, concentradas principalmente entre octubre-diciembre y marzo (Jarsún et al. 2003), y un gran déficit de agua, a causa de la elevada evapotranspiración potencial (Capitanelli 1979). Si bien ha sido intensamente modificada por el hombre, el área pertenece a la provincia fitogeográfica del Espinal, Dominio Chaqueño (Cabrera 1971), o región fitogeográfica Chaco (Cabrera 1997).

### **Presencia y actividad de oviposición de *Aedes aegypti***

Dentro de dos áreas, una de 12 ha (área tratamiento) y otra de 4 ha (área control) ubicadas a una distancia mínima de 300 m de separación entre sí, en el área noroeste de la ciudad se instaló una red de monitoreo de *Ae. aegypti* (Figura 1b). Dentro de cada área se seleccionaron al azar 2 viviendas por manzana, en cada una de las cuales se colocaron 3 ovitrampas similares a las tradicionales (96 ovitrampas en total, Figura 2), confeccionadas con recipientes plásticos negros de 500 ml, que se llenaron en 2/3 de su volumen con agua declorada y se proveyeron de un sustrato de tela de algodón que las hembras adultas de *Ae. aegypti* utilizaron para depositar huevos. Este diseño ya fue probado en estudios previos por parte del equipo de trabajo (Chanampa et al. 2018).



**Figura 1:** **A.** Ubicación del área de estudio en la provincia (derecha) y ciudad de Córdoba (izquierda). **B.** Detalle del área de estudio. Ubicación de las zonas tratamiento (verde) y control (blanco), con viviendas con ovitrampas (amarillo) y viviendas con trampas pegajosas (rojo).

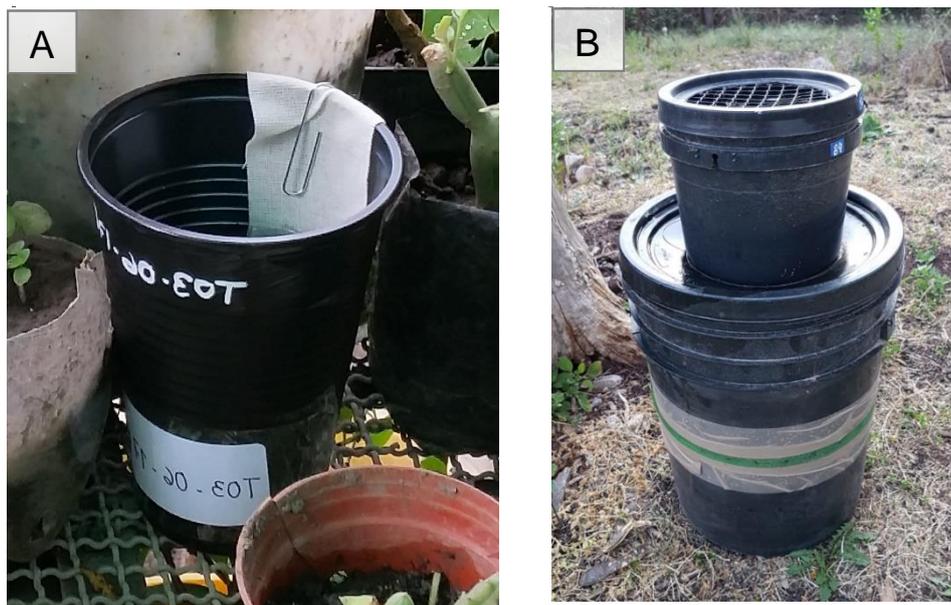
La coordenada geográfica de cada ovitrampa fue leída desde Google Earth. La posición de cada ovitrampa se mantuvo durante todo el estudio. La participación de la comunidad fue fundamental para garantizar la continua operación de las ovitrampas. Por ello se llevaron a cabo instancias de comunicación con la comunidad para explicar los alcances del proyecto de trabajo. Las ovitrampas se colocaron durante la segunda semana del mes desde enero hasta abril del 2017, época más cálida en que se esperó registrar los mayores niveles de precipitaciones y la mayor actividad de oviposición del mosquito en la región. Luego de una semana de la colocación, cada ovitrampa rotulada según su identificación particular, domicilio y fecha, fue transportada al laboratorio para determinar la presencia (en cada sustrato) y cantidad de huevos. Por diferentes razones, algunas ovitrampas (34 de las 96) no produjeron datos, debido a que fueron removidas por el viento, o animales domésticos. Cada caso fue registrado en la planilla de datos.

### **Control de mosquitos adultos**

La técnica para el control de mosquitos adultos estuvo basada en el uso de trampas grávidas autocidas tipo CDC (trampa CDC-AGO; Mackay et al. 2013 y Barrera et al. 2014). El diseño de las CDC-AGO<sup>1</sup> fue similar al usado por Barrera et al. (2014). Básicamente, consiste en dos cilindros unidos de polietileno negro, uno superior (aproximadamente 20 cm de diámetro) que sirve como ingreso a la trampa (ventana superior de 13,5 cm de diámetro) y cámara de captura, cubierto por una superficie pegajosa de polibutileno; y un cilindro inferior de mayor tamaño (20 litros aproximadamente) que contenía la infusión atractiva para las hembras grávidas. Entre ambos cilindros se colocó una tela mosquitera para evitar que los adultos mosquitos lleguen al cilindro inferior y para prevenir el escape de adultos emergentes si eventualmente algún huevo entrara en contacto con el agua y se desarrollaran algunas larvas (Figura 2).

A finales de febrero se instalaron 42 trampas tipo CDC-AGO en una subárea de 2 ha incluida en el centro del área de 3 x 4 manzanas definida como área Tratamiento (Figura 1b). Se colocaron 3 trampas por vivienda (14 viviendas en total) durante un mes y se las revisó a los 15 días de ser colocadas para reemplazar la superficie adhesiva y reponer el agua que se hubiera evaporado. Las coordenadas geográficas de las trampas fueron leídas desde Google Earth.

La colocación de las trampas CDC-AGO dividió el estudio en 3 períodos: antes de la intervención (enero-febrero), durante la intervención (instalación de trampas pegajosas febrero-marzo) y después de la intervención (marzo-abril). El calendario de instalación y disposición de la instalación de las trampas CDC-AGO y ovitrampas permitieron obtener una línea de base de la abundancia del vector en la localidad, entre enero y abril. Con la instalación de las ovitrampas en el área control se pudo comparar la abundancia del vector en área tratada vs no-tratada y controlar potenciales interacciones con condiciones climáticas.



**Figura 2:** **A.** Ovitrapas. **B.** Trampas pegajosas CDC-AGO

## Variables ambientales

El microentorno de cada ovitrampa fue inspeccionado y registrado como favorable o desfavorable como sitio para la ocurrencia de un criadero de *Ae. aegypti*. Se consideró favorable la presencia de recipientes que pudieran contener agua, la presencia de vegetación con follaje abundantes, la acumulación de materiales de construcción o descartables (refugios), entre otros. Además, se registraron variables meteorológicas como la temperatura de terreno (LST, diurna y nocturna) y las precipitaciones. Las temperaturas fueron estimadas a partir de productos de los sensores MODIS (1x1 km y 8 días de resolución espacial y temporal, respectivamente) y, los datos semanales de precipitación se obtuvieron a partir de los datos del Servicio Meteorológico Nacional.

Además, se estimaron las distancias de las ovitrampas a las trampas pegajosas más cercanas, con el software Google Earth.

## Análisis de datos

El estudio estuvo basado en el análisis de dos variables respuesta: la positividad de cada ovitrampa (presencia de huevos en la ovitrampa) y el número de huevos en cada ovitrampa. El impacto del control de mosquitos adultos fue medido a través de la modelación de los datos colectados en las ovitrampas distribuidas en el área de estudio. Las variables respuesta fueron consideradas en dos niveles: el de vivienda (donde hubo más de una ovitrampa) y el de ovitrampa individual. Las variables respuesta fueron modeladas a través de modelos lineales generalizados (GLM) con función de enlace (link) binomial o de Poisson, según se trate de positividad de ovitrampa (variable binaria) o número de huevos (variable de conteo). Las variables predictoras para los modelos fueron período de tiempo antes-durante-después de la intervención (variable categórica), área tratada-no tratada (variable categórica), distancia entre ovitrampas y CDC-AGO (variable continua), y variables ambientales: microentorno favorable-no favorable (variable categórica), temperatura de superficie (diurna, nocturna y media, de una, dos o tres semanas previas) y precipitación (variables continuas). Se incluyó además el análisis de la interacción tiempo x distancia. El efecto de las variables predictoras sobre las variables respuesta se midió usando inferencia multimodelo. Se construyeron modelos para reflejar diferentes hipótesis alternativas que representaran la relación variable respuesta-variable/s predictor/s y se usó el criterio de información de Akaike (AIC) para identificar el/los modelos que mejor describieron los datos.

Para el caso de presencia/ausencia de huevos se construyeron 7 modelos alternativos, en tanto que para el número de huevos en ovitrampas se construyeron 26 modelos alternativos. La lista completa de los modelos se incluye en el Anexo 3. Para el caso del número de huevos se usó inicialmente una distribución Poisson, aunque la presencia de sobredispersión obligó a considerar una distribución cuasi-Poisson y una distribución binomial negativa.

Si bien las ovitrampas se usan rutinariamente como indicadores de la presencia y actividad reproductiva de *Ae. aegypti*, y su especificidad es elevada (es difícil confundir oviposturas de la especie, por ejemplo, producir un falso positivo para el dato de una ovitrampa), su sensibilidad no siempre es alta (no siempre una ovitrampa que no tenga huevos indica que no existen hembras reproductivas en el área, por ejemplo, un falso negativo), especialmente cuando la abundancia del vector es baja. El análisis de esta situación, denominada “detección imperfecta” en la literatura ecológica es relativamente frecuente en estudios de ecología de poblaciones (MacKenzie 2005, Royle et al. 2005),

pero no en el análisis de poblaciones de *Ae. aegypti*. La instalación de 3 ovitrampas en cada vivienda permitió estimar la detectabilidad y corregir la estimación de ocurrencia del vector usando el programa Presence (MacKenzie 2018) y el paquete de R unmarked (Fiske y Chandler 2011). Esencialmente, las estimaciones que consideran la detección imperfecta se basan en modelos jerárquicos que representan independientemente los dos procesos que ocurren conjuntamente, a) el derivado del proceso ecológico bajo estudio: la distribución del número de huevos en una ovitrampa (habitualmente representado con una distribución Poisson) y b) el derivado del proceso de observación de la variable de interés: la distribución de la presencia de huevos condicionada a la distribución del número de huevos (habitualmente representada por una distribución binomial) (Kery y Royle 2016).

## RESULTADOS

### Descripción de la actividad de oviposición de *Aedes aegypti*

La fracción de ovitrampas positivas mostró una tendencia descendente durante el período de estudio, desde 66% en enero a 5% en abril, siendo siempre superior en el área designada como tratamiento. Algo similar, aunque con caída más marcada ocurrió con el número total de huevos colectados en las ovitrampas (Tabla 1).

**Tabla 1:** Número de ovitrampas positivas y huevos recolectados durante los meses de estudio

Fecha	Trampa pegajosa activa	N° total de ovitrampas positivas (ntot= 96)	N° de ovitrampas positivas en la ZT (ntr= 72)	N° de ovitrampas positivas en la ZC (nco= 24)	N° total de huevos	N° de ovitrampas perdidas
Enero	no	63 (65,6%)	51 (70,8%)	12 (50%)	1998	11(11,5%)
Febrero	no	43 (44,8%)	33 (34,4%)	10 (10,4%)	1058	6 (6,2%)
Marzo	si	41 (42,7%)	38 (39,6%)	3 (3,1%)	994	2 (2,1%)
Abril	no	5 (5,2%)	4 (4,2%)	1 (1%)	60	15 (15,6%)

ZT: Zona tratamiento; ZC: zona control; ntr: número de ovitrampas en área tratamiento; nco= número de ovitrampas en área control; ntot: ntr + nco.

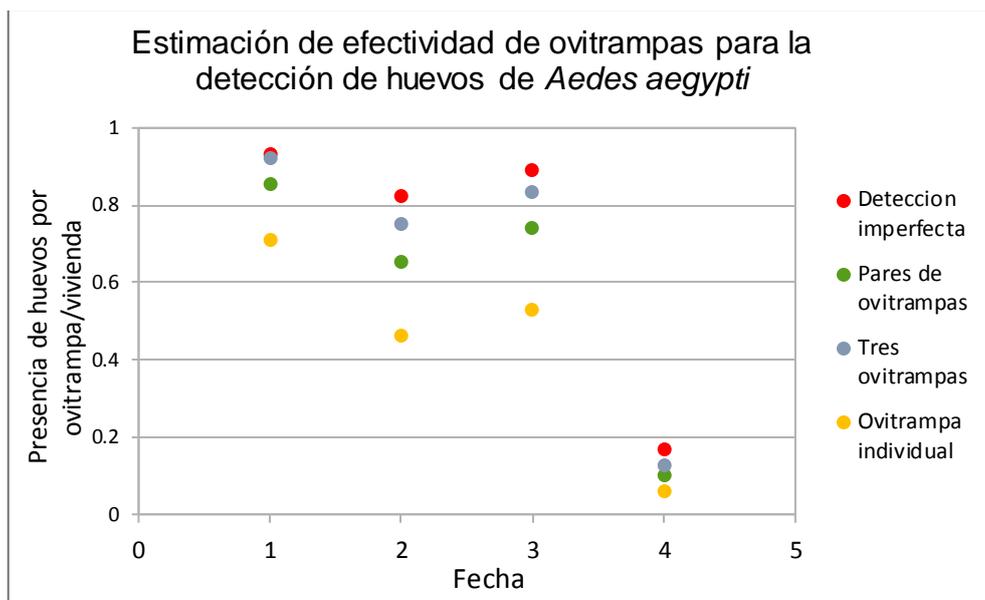
Analizada la ocurrencia de *Ae. aegypti* al nivel de viviendas (considerando que una vivienda es positiva si al menos una ovitrampa tiene huevos de *Ae. aegypti*), se observó que alrededor del 80% de las viviendas tuvo al menos una ovitrampa positiva hasta abril, en que ese valor disminuyó al 12% (Tabla 2).

**Tabla 2:** Cantidad de casas positivas (con al menos 1 ovitrampa positiva)

	N° total de casas positivas	N° de casas positivas en la zona tratamiento	N° de casas positivas en la zona control
Enero	28 (80%)	22 (91,1%)	6 (75%)
Febrero	27 (84,4%)	19 (79,2%)	8 (100%)
Marzo	23 (71,9%)	20 (83,3%)	3 (37,50%)
Abril	4 (12,5%)	3 (12,5%)	1 (12,5%)

### Estimación de la presencia de huevos de *Aedes aegypti*

Si la estimación de la ocurrencia de actividad reproductiva de *Ae. aegypti* se hubiera realizado con una ovitrampa por vivienda, los valores medios mensuales hubieran oscilado entre 46% y 71% (febrero y enero, respectivamente), en tanto que, si se considera la detección imperfecta, los valores oscilan entre 82% y 93%. Los valores estimados por modelos que consideran la detección imperfecta muestran valores de detección que oscilan entre 0.80 y 0.45 (probabilidad de que una ovitrampa detecte una ovipostura del vector, dado que el vector esté presente). La estimación de la ocurrencia de ovipostura calculada con modelos que consideran detección imperfecta es similar a la calculada para la positividad a nivel de vivienda (= que al menos una de las 3 ovitrampas de una vivienda sea positiva) (Figura 3).



**Figura 3:** Estimación de la ocurrencia de huevos de *Ae. aegypti*, según diferentes estimadores

La sensibilidad para detectar la presencia de huevos de *Ae. aegypti* es mayor a medida que se tienen en cuenta más ovitrampas por vivienda. Esto significa que habrá una mayor detección de huevos con tres ovitrampas y una detección aún más precisa si además se tiene en cuenta el modelo de detección imperfecta, que corrige el error debido a los falsos negativos (ovitrampa sin huevos aun cuando existan *Ae. aegypti* en el área).

### Captura de adultos de *Aedes aegypti*

De las 42 trampas pegajosas distribuidas en la zona tratamiento durante febrero-marzo, el 70% presentó adultos de *Ae. aegypti* adheridos a las cintas pegajosas, con un promedio de 3 hembras y 4 machos por trampa. Así mismo, el 71,43% de las viviendas con trampas CDC-AGO mostró la presencia de *Ae. aegypti* en al menos una de las tres trampas instaladas en cada vivienda. Del total de mosquitos adultos encontrados, el 54,3% resultó en machos y el 45,7% en hembras (Tabla 3).

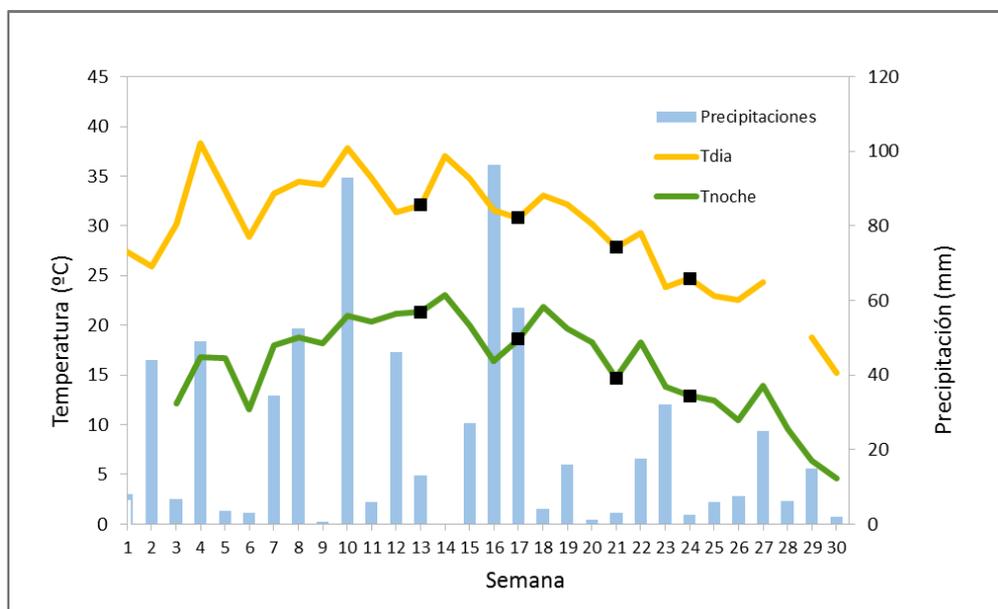
**Tabla 3:** Cantidad de adultos de *Aedes aegypti* recolectados en trampas pegajosas

	Individuos	Media	Desvío estándar
Hembras	48	3.429	3.610
Machos	57	4.071	4.795
<b>TOTAL</b>	105	7.5	6.981

## Variación temporal de variables meteorológicas

Durante los cuatro meses de estudio, las temperaturas diurnas oscilaron entre los 30 y 24°C. En enero y febrero, las temperaturas diurnas siempre estuvieron por encima de los 30 °C. En marzo, comenzaron a descender, y en abril no se superaron los 24 C°. Las temperaturas nocturnas estuvieron entre los 20 y 10 C°, mostrando un marcado descenso a partir de la mitad de marzo, llegando a los 12 °C en abril.

Respecto a la variación de precipitaciones, durante las semanas previas a los muestreos de enero y febrero oscilaron entre los 95 y 40 mm. En marzo, descendieron marcadamente y en abril no se superaron los 30 mm (Figura 4).



**Figura 4:** Variación temporal de temperaturas diurnas (amarillo) y nocturnas (verde) y, precipitaciones (azul) durante 30 semanas (desde octubre del 2016 a mayo del 2017) en el área de estudio. Los cuadrados negros hacen referencia a las 4 semanas de muestreo.

## Modelos de la actividad de oviposición basados en variables ambientales

Se construyeron modelos para las dos variables respuesta de interés en este estudio: presencia de huevos en las ovitrampas, como variable binaria, y número de huevos en la ovitrampa, como variable de conteo. Para ambos casos se usaron modelos lineales generalizados, calculados con el programa R. En los Anexos 1 y 2 se incluyen los correspondientes scripts. Para evaluar el efecto de las variables predictoras sobre las variables respuesta se consideraron un conjunto de hipótesis alternativas representadas

por sendos modelos, descartando modelos que pudieran contener variables independientes colineales. La comparación de modelos se hizo usando los valores de AICc (Akaike Information Criteria). Aquellos modelos que no difirieron en más de 3 unidades de AIC fueron considerados los mejores, y usados para calcular promedios ponderados de los coeficientes, a través de los que se midió el efecto de cada predictor sobre la variable respuesta correspondiente.

**Tabla 4:** *Ranking de selección de modelos (AICc ≤ 3,0)*

Variable	Modelo	$\Delta$ AICc	F	A	M	Tn1	Tn2	Tn3	Tnp2	Dist	Pr	Pp
<b>a. Positividad de ovitrampas</b>	B M1	0,000	•									
	B M3	1,352	•	•								
	B M4	2,008	•		•							
	B M5	2,504		•	•	•	•	•	•			
	B M7	2,504		•	•				•		•	•
<b>b. Número de huevos</b>	BN M18	0,000	•	•	•	•	•	•	•	•		
	BN M 20	0,226		•	•	•	•	•	•			
	BN M8	0,433					•					

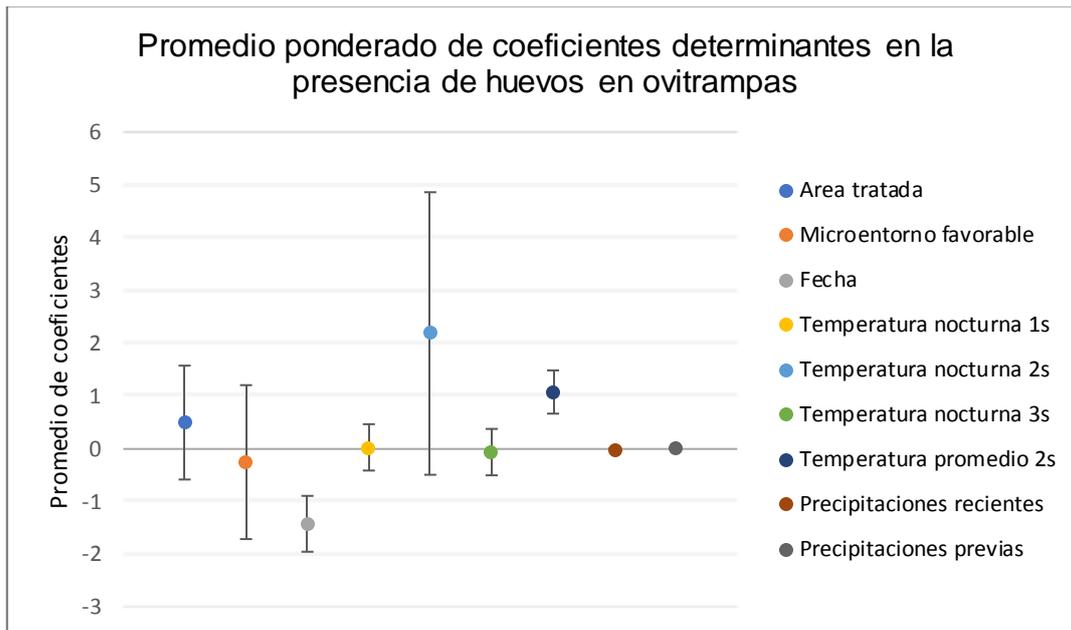
•: Variable explicativa incluida en el modelo; F: Fecha; A: Área; M: Microentorno; Tn1: Temperatura nocturna de una semana previa; Tn2: Temperatura nocturna de dos semanas previas; Tn3: Temperatura nocturna de tres semanas previas; Tnp2: Temperatura nocturna promedio de dos semanas previas; Dist: Distancia a trampas pegajosas; Pr: Precipitaciones recientes (10 días previos); Pp: Precipitaciones previas (más de 10 días previos).

### Ocurrencia de huevos en ovitrampas

Respecto a la variable positividad de ovitrampas, se seleccionó un conjunto de modelos lineales generalizados con distribución binomial tomando como unidad de observación cada vivienda, es decir, se consideró como vivienda positiva a aquella que tuvo al menos una ovitrampa positiva. En el Anexo 3 se incluyen todos los modelos construidos. Del total de modelos, 5 de ellos mostraron una diferencia de AIC < 3 y por ello fueron considerados igualmente buenos para representar la variación de la presencia de huevos en las viviendas (Tabla 4, sección a). Las variables predictoras que tuvieron mayor efecto sobre la presencia de huevos fueron la fecha (enero, febrero, marzo y abril), el área (tratada y control), y el

microentorno propio de cada ovitrampa categorizado como favorable o desfavorable, y en menor medida, la temperatura promedio nocturna de las 2 semanas previas tuvieron efecto sobre el número de casas positivas para la presencia de huevos de *Ae. aegypti*.

A partir del promedio ponderado de cada coeficiente/factor incluido en el conjunto de modelos, se determinó cual fue el efecto que tuvo cada uno en la variable respuesta y se representó en la Fig. 5.



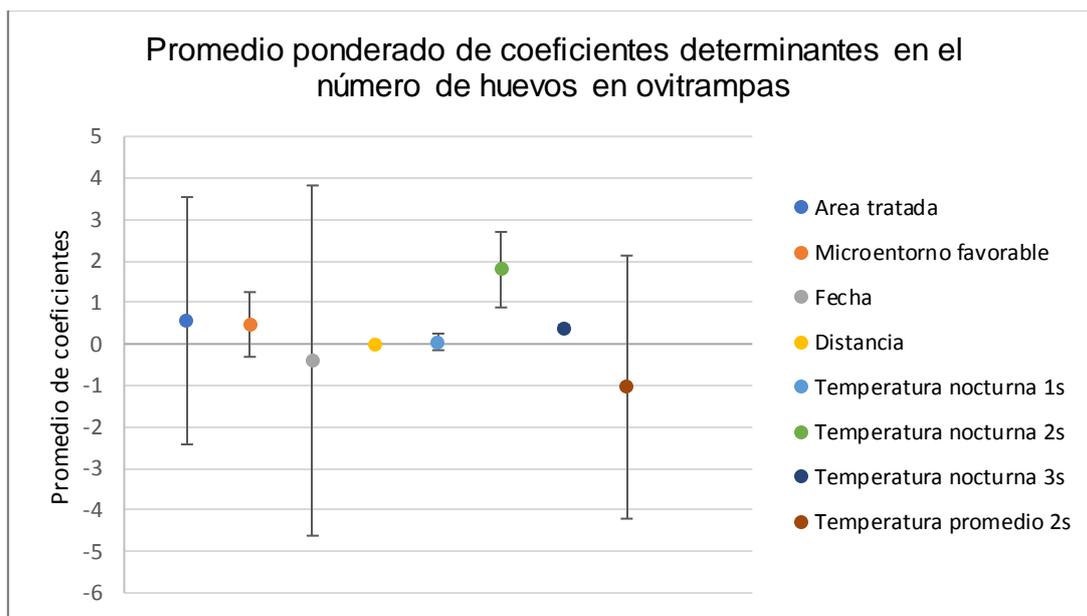
**Figura 5:** Efecto de variables predictivas sobre la presencia de huevos en las ovitrampas. Las barras verticales representan intervalos del 95% para los coeficientes.

Se observa que los únicos factores que tuvieron efecto sobre la positividad de ovitrampas fueron el tiempo (fecha) y las temperaturas nocturnas promedio de dos semanas previas. El tiempo tuvo un efecto negativo en la variable, es decir, que a medida que transcurrieron los meses, la presencia de huevos en las viviendas fue disminuyendo de manera significativa. Por otro lado, mientras más altas fueron las temperaturas nocturnas durante las dos semanas previas a la colocación de ovitrampas, mayor fue la cantidad de casas positivas. El área experimental (tratada/ control) mostró un coeficiente positivo, pero la precisión de su estimación fue baja, derivando en un intervalo de confianza que incluyó el valor cero, de modo que su efecto fue nulo.

### Número de huevos en ovitrampas

La variable número de huevos en cada ovitrampa, se modeló inicialmente con un modelo lineal generalizado con link Poisson. Sin embargo, el resultado mostró elevada sobre-dispersión, por lo que se cambió a una función binomial negativa, tomando como unidad de observación cada ovitrampa. El conjunto de modelos construidos se puede ver en el Anexo 3. El modelo que mejor se ajusta incluyó 5 variables (fecha, área, microentorno, temperaturas nocturnas y distancia a trampas pegajosas), el segundo mejor modelo incluyó las mismas variables excepto la fecha, y el tercer modelo sólo incluyó la temperatura nocturna de dos semanas previas como variable explicativa (Tabla 4, sección b).

Al igual que la variable positividad de ovitrampas, a partir del promedio ponderado de cada coeficiente/factor incluido en el conjunto de modelos, se determinó cual fue el efecto que tuvo en la variable respuesta.



**Figura 6:** Efecto de variables predictivas sobre el número de huevos en las ovitrampas. Las barras verticales representan intervalos del 95% para los coeficientes

Los valores de los coeficientes indican que las temperaturas nocturnas de dos y tres semanas previas a la colocación de ovitrampas tuvieron efecto positivo sobre el número de huevos en cada ovitrampa, es decir, que a medida que las temperaturas nocturnas fueron más altas, se encontró una mayor cantidad de huevos en las ovitrampas (Figura 6).

## DISCUSIÓN

Durante el transcurso de este trabajo, se evaluó un método para el control preventivo de *Ae. aegypti* adultos, usando trampas pegajosas diseñadas para una captura mayormente de hembras grávidas, en un sector del noroeste de la ciudad de Córdoba (Argentina). El uso de las trampas tipo CDC-AGO como método de control de *Ae. aegypti* fue similar y adaptado de los ensayos exitosos realizados por el grupo de Barrera et al. (2014) en Puerto Rico. Sin embargo, el uso de dichas trampas en el área piloto de Córdoba no mostró tener un efecto significativo en la disminución de la población de mosquitos adultos y, por consiguiente, no se obtuvo el efecto esperado sobre la cantidad de huevos depositados los meses posteriores a su colocación. La falta de efecto sobre la población del mosquito de las trampas tipo CDC-AGO utilizadas en este trabajo podrían deberse a diferentes causas, entre ellas por una falta de efecto atrayente de la infusión utilizada, a una relación no necesariamente directa entre abundancia de mosquitos adultos y número de huevos depositados en las ovitrampas o bien al diseño del ensayo propuesto en este trabajo.

En el estudio de Puerto Rico (Barrera et al. 2014) se eligieron dos barrios de similares características ambientales y socioeconómicas y, previo a la utilización de las trampas, se comparó la actividad del mosquito mediante la colocación de ovitrampas. En la presente tesina, la elección del área de estudio estuvo relacionada con los antecedentes de casos de dengue en la zona años anteriores y la facilitación de acceso a las viviendas por parte del personal del Centro de Salud Municipal de uno de los barrios. La zona de control fue elegida al azar a una distancia mínima de 300 metros de la zona de tratamiento. Si bien las características de ambas zonas en principio parecían ser similares, se observaron a lo largo del estudio diferencias en la positividad de ovitrampas y cantidad de huevos recolectados, encontrándose una menor actividad del mosquito en la zona control (Tablas 1 y 2). Más allá de estas diferencias locales, el efecto puede no haber sido el esperado debido a la elección de un área de tratamiento reducida o bien a una escasa cantidad de trampas utilizadas, lo cual puede haberse compensado con la dispersión de mosquitos desde áreas vecinas. Ayala (2018) estimó y analizó la dispersión efectiva de *Ae. aegypti*, es decir, el desplazamiento de los individuos que implica flujo de genes, mediante autocorrelación espacial en la Ciudad de Córdoba, y observó un grado de parentesco significativamente mayor al esperado por azar entre individuos separados por distancias de hasta 200 m. Estos resultados indicarían que el valor límite de distancia para la dispersión activa de este vector estaría alrededor de los 200 m, por lo cual, en el presente trabajo, los mosquitos

podrían haberse desplazado desde zonas periféricas hacia el centro de la zona tratamiento, reduciendo el posible efecto de las trampas pegajosas.

Por otro lado, una de las diferencias posiblemente significativas respecto al trabajo realizado en Puerto Rico por Barrera y colaboradores, es que, en dicho trabajo, previo a la colocación de trampas pegajosas, se realizó una pulverización y eliminación de criaderos en ambos barrios. Este tratamiento pudo haber aportado a la reducción del mosquito los meses posteriores al uso de las trampas.

El monitoreo de los mosquitos adultos es importante ya que este es el estado que puede transmitir los arbovirus. La elección del tipo de trampa de adultos de *Ae. aegypti* a ser utilizada debe basarse en un análisis de costos y de efectividad o precisión. Entre las trampas disponibles para monitoreo de poblaciones del mosquito adulto existen trampas electromecánicas que utilizan un motor eléctrico y aspas para crear succión y atrapar mosquitos adultos atraídos a superficies de color oscuro o que usan sustancias químicas (ej., CO<sub>2</sub>, ácido láctico, amoníaco y ácido caproico) como atrayentes para las hembras (Fay y Prince 1970; Krockel et al. 2006). Entre estas trampas se destaca la trampa BG-centinela, por capturar hembras de *Ae. aegypti* en varios estados fisiológicos, aunque principalmente hembras en búsqueda de una alimentación sanguínea (Ball y Ritchie 2010) y, además, permite coleccionar numerosos machos de la misma especie. Las principales limitaciones de estas trampas, respecto a las trampas pegajosas, son su alto costo, la necesidad de usar baterías o conexiones a la red eléctrica, las fallas frecuentes, y que no pueden dejarse sin protección ya que son frecuentemente vandalizadas o robadas. Las trampas CDC-AGO son trampas pasivas que, además de ser utilizadas como método de control, podrían permitir estimar la densidad relativa de una población de mosquitos. Tendrían como ventaja ser especialmente atractivas para hembras grávidas, que epidemiológicamente serían importantes porque son las que más probablemente estén infectadas por virus (Barrera 2016).

Las ovitrampas permiten realizar un seguimiento indirecto de la población, evaluando la abundancia relativa de hembras grávidas de *Ae. aegypti*. Además de ser un método económico, se pueden colocar fuera de las casas sin tener que entrar a ellas y son fáciles de mantener. Sin embargo, a pesar de sus ventajas como indicadores de la actividad y su alta especificidad para detectar a la especie, la sensibilidad de detección de huevos de las ovitrampas no siempre es alta (el hecho de que no presenten huevos, no siempre indica que no existen hembras reproductivas en el área), especialmente cuando la abundancia del vector es baja. El análisis de la “detección imperfecta” de ovitrampas para *Ae. aegypti* en

este trabajo, podría considerarse novedoso para los mecanismos de estimación de abundancia relativa de la especie. Mediante la instalación de 3 ovitrampas por vivienda se pudo estimar su efectividad para la detección de huevos del mosquito, y se observó que dicha efectividad es directamente proporcional al número de ovitrampas por vivienda y que, además, es mayor si se tiene en cuenta el modelo de detección imperfecta (Figura 3).

A pesar de la falta de efecto como método de control (o al menos de eliminación del mosquito) de las trampas pegajosas en este trabajo, su uso junto con la distribución de ovitrampas, sirvió para monitorear y relevar la presencia de *Ae. aegypti* en la zona (Tabla 1, 2 y 3). Se observó una elevada cantidad de huevos depositados en las ovitrampas durante los meses de enero y marzo (Tabla 1), y una considerable cantidad de mosquitos adultos adheridos a las trampas pegajosas (Tabla 3). Barrera et al. (2014) encontraron entre 3 y 4 adultos por trampa pegajosa por semana, mientras que, en el presente trabajo, el número de adultos capturado fue similar, pero en un periodo de tiempo mayor (4 semanas). Esto podría indicar que puede haber habido una menor actividad del mosquito o bien la infusión utilizada no fue tan eficaz como la utilizada en Puerto Rico. Si bien no se conoce con exactitud cuántos mosquitos son suficientes para que haya circulación de los virus que transmiten, es importante estimar la abundancia relativa del vector a partir de distintos mecanismos, como la utilización de ovitrampas, para saber en qué momento es necesario tomar medidas de control y de concientización de la población.

El uso de ovitrampas, permitió conocer la actividad reproductiva de *Ae. aegypti* en un barrio de la ciudad de Córdoba y relacionarla además con variables micro y macro ambientales (Tabla 4). En relación con las variables micro ambientales, la variable microentorno mostró un coeficiente positivo para el número de huevos encontrados, sin embargo, su intervalo de confianza incluyó el valor cero, de modo que su efecto fue considerado nulo (Figura 6). Respecto a las variables macro ambientales, se observó que tanto para la positividad de ovitrampas como para la cantidad de huevos encontrados, las temperaturas nocturnas de las semanas previas fueron un factor determinante (Figuras 5 y 6), lo cual indicaría que a mayores temperaturas nocturnas hubo una mayor eclosión y circulación de mosquitos días previos a la colocación de ovitrampas. Estos resultados coincidirían con los de otros autores, como Estallo et al. (2015), en donde la temperatura fue determinante en la dinámica de oviposición del vector. En dicho estudio se desarrolló un modelo predictivo mediante la evaluación de la variabilidad climática asociada con la fluctuación estacional de la dinámica de oviposición de *Aedes aegypti* en la ciudad en Orán, en el noroeste de Argentina. Los picos de oviposición se produjeron durante los meses de

verano con periodos de temperaturas máximas y mínimas promedio cercanas a 30°C y 21°C. Al igual que en este trabajo, las temperaturas mínimas de 3 semanas previas fueron las variables más significativas en la dinámica de oviposición de *Ae. aegypti*, incluyendo, además, para el estudio en la ciudad de Oran, a las precipitaciones como factor determinante.

La distribución y abundancia de *Ae. aegypti* depende en gran medida de las condiciones del medio ambiente (Focks et al. 1993). La temperatura, humedad y la precipitación han demostrado influir significativamente en el desarrollo y supervivencia de mosquitos (Hopp y Foley 2001, 2003). Varios autores han formulado la hipótesis de que patrones espaciales y temporales de la dinámica de la población del mosquito están controlados por factores ambientales que pueden ser observados remotamente (Hay et al., 1997). Dichos factores ambientales, pueden ser representados a través de índices satelitales como el índice de vegetación normalizada (NDVI), la temperatura de brillo (BT) o el índice de agua de diferencia normalizada (NDWI). Estallo et al. (2012), evaluaron la efectividad del índice NDWI como predictor ambiental para pronosticar el índice larval de vivienda (HI) y, junto con otros datos satelitales y meteorológicos (como temperaturas máximas y mínimas diarias, humedad y precipitaciones) desarrollaron modelos predictivos a través de un análisis de regresión lineal. Si bien la utilización de índices satelitales excede el presente trabajo, y la construcción de los modelos estuvo basada en el número de huevos y en su presencia en las ovitrampas, la utilización de variables meteorológicas como predictivas fue relevante en los resultados obtenidos. La elaboración de modelos predictivos puede servir como herramienta útil de apoyo para la toma de decisiones por parte de las autoridades y para los programas de planificación de gestión de riesgos.

Existen otros estudios que demuestran que cambios significativos en la temperatura y en las precipitaciones pueden afectar a la población del vector y, en consecuencia, a las enfermedades transmitidas. En Recife, Brasil, se analizó el efecto de pequeñas variaciones de temperatura y humedad sobre la fecundidad, la fertilidad y la supervivencia de *Ae. aegypti* (Costa et al 2010). Para ello se evaluó la supervivencia y fecundidad en hembras individuales expuestas a temperaturas que variaron de 23 a 27 ° C (media de 25 ° C); 28 a 32 ° C (media 30 ° C) y 33 a 37 ° C (media 35 ° C) asociado a 60 ± 8% y 80 ± 6% de humedad relativa. Las hembras respondieron a un aumento de la temperatura reduciendo la producción de huevos, el tiempo de oviposición y modificando los patrones de oviposición, aunque dichos cambios estuvieron influenciados también por las condiciones de humedad. Estos resultados explicarían las fluctuaciones estacionales

observadas en poblaciones del mosquito incluso en ambientes que presentan temperaturas cálidas todo el año.

Barrera et al. (2011) evaluaron los impactos de la lluvia, la temperatura y las actividades humanas en la dinámica temporal de *Ae. aegypti* y su oviposición, mediante un estudio longitudinal del vector en dos barrios del área metropolitana de la ciudad de San Juan, Puerto Rico, donde las precipitaciones se distribuían de manera más uniforme durante todo el año. Sus estudios mostraron que la mayoría de las pupas se produjeron en contenedores administrados por personas, lo que explica la prevalencia de mosquitos adultos en momentos en que la precipitación era escasa. En dicho trabajo se evidenció que la dinámica de *Ae. aegypti* fue impulsada tanto por el clima como por la actividad humana, y que la oviposición se correlacionó significativamente con la incidencia del dengue.

## **CONCLUSION**

La presencia y abundancia de huevos mostraron fuerte asociación con la temperatura nocturna de las semanas previas. El uso de trampas pegajosas no tuvo efectos significativos sobre la cantidad de huevos depositados los meses posteriores a su colocación, por lo que no se evidenció un efecto negativo sobre la población de mosquitos adultos. La falta de efecto de las trampas CDC-AGO sobre la población del mosquito podría deberse a ineficacia de la estrategia, ya sea por una falta de efecto attractante de la infusión utilizada o bien a la elección de un área de tratamiento reducida, con lo cual las eventuales pérdidas de adultos pudieron haberse compensado por la dispersión de mosquitos desde áreas vecinas. A pesar de esto, su uso junto con la distribución de ovitrampas, permitió monitorear y relevar la presencia de *Ae. aegypti* en un barrio del noroeste de la ciudad de Córdoba, permitiendo conocer su actividad reproductiva y relacionarla con variables micro y macro ambientales. Se observó una elevada cantidad de huevos depositados en las ovitrampas durante los meses de enero y marzo, y una considerable cantidad de mosquitos adultos adheridos a las trampas pegajosas.

## BIBLIOGRAFIA

- Ayala AM. 2018. Estructura genética poblacional de *Aedes aegypti* en Córdoba y su relación con variables ambientales y epidemiológicas. Tesis Doctoral Ciencias Biológicas, FCEFYN, UNC.
- Ball TS, Ritchie SR. 2010. Sampling biases of the BG-sentinel trap with respect to physiology, age, and body size of adult *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *J Med Entomol* 47:649-56.
- Bargielowski I, Alphey L, Koella JC. 2011. Cost of mating and insemination capacity of a genetically modified mosquito *Aedes aegypti* OX513 A compared to its wild type counterpart. *PLoS ONE* 6(10): e26086. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0026086>.
- Barrera R, Amador M, MacKay AJ. 2011. Population Dynamics of *Aedes aegypti* and Dengue as Influenced by Weather and Human Behavior in San Juan, Puerto Rico. *PLoS Negl Trop Dis* 5(12): e1378. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0001378>.
- Barrera R, Mackay AJ, Amador M. 2013. An improved trap to capture adult container-inhabiting mosquitoes. *J Am Mosq Control Assoc* 29:358–368.
- Barrera R, Amador M, Acevedo V, Caban B, Felix G, Mackay AJ. 2014. Use of the CDC Autocidal Gravid Ovitrap to control and prevent outbreaks of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *J Med Entomol* 51:145-154.
- Barrera R. 2016. Recomendaciones para la vigilancia de *Aedes aegypti*. *Biomédica* 36:454-62.
- Becker N, Pluskota B, Kaiser A, Schaffner F. 2012. Exotic mosquitoes conquer the world. In: Melhorn H. (Ed.) *Arthropods as vectors of emerging diseases. Parasitology Research Monographs* 3. Springer. Berlin.
- Becnel JJ, White SE. 2007. Mosquito pathogenic viruses-the last 20 years. *J Am Mosq Control Assoc* 23:36-49.
- Berón C, Campos RE, Gleiser RM, Díaz Nieto LM, Salomón OD, Schweigmann N. 2016. Investigaciones sobre mosquitos de Argentina. Universidad Nacional de Mar del Plata, Mar del Plata. pp 381.
- Boletín integrado de vigilancia, 2016. Ministerio de salud, Presidencia de la Nación. N° 322 – SE 32. <http://www.msal.gov.ar/images/stories/boletines/Boletin-Integrado-De-Vigilancia-N322-SE32.pdf>
- Bowman LR, Runge-Ranzinger S, McCall PJ. 2014. Assessing the relationship between vector indices and dengue transmission: A systematic review of the evidence. *PLoS Negl Trop Dis* 8(5): e2848.

- Brown JE, Evans BJ, Zheng W, Obas V, Barrera-Martinez L, 2014. Human impacts have shaped historical and recent evolution in *Aedes aegypti*, the dengue and yellow fever mosquito. *Evolution* 68-2:514–525.
- Cabrera A.L. 1971. Fitogeografía de la República Argentina. *Bol Soc Argentina de Botánica* 14:1-42.
- Cabrera A.L. 1997. Vegetación. Regiones fitogeográficas (provincias). Coordinación de Conservación de la Biodiversidad. Zona geográfica: Argentina <http://www.ambiente.gov.ar>.
- Capitanelli R.G. 1979. En: Geografía física de la provincia de Córdoba (JB Vázquez, RA Miatello y ME Roqué, dirs.). Editorial Boldt, Buenos Aires, Ill. Clima, 45-138 pp.
- Chanampa M, Gil JF, Aparicio JP, Castillo P, Mangudo C, Copa GN, Gleiser RM. 2018. Field comparison of oviposition substrates used in ovitraps for *Aedes aegypti* surveillance. *Journal of applied entomology* 00:1–6. <https://doi.org/10.1111/jen.12554> (online first).
- Costa APA, De Mendonça Santos E, Cavalcanti Correia J, Ribeiro de Albuquerque CM. 2010. Impact of small variations in temperature and humidity on the reproductive activity and survival of *Aedes aegypti* (Diptera, Culicidae). *Rev Bras Entomol* 54:488–493.
- Eiman M, Introini MV, Ripoll C. 2016. Directrices para la prevención y control de *Aedes aegypti*. Dirección de Enfermedades Transmisibles por Vectores - Ministerio de Salud de la Nación.
- Eisen L, Moore CG. 2013. *Aedes (Stegomyia) aegypti* in the continental United States: a vector at the cool margin of its geographic range. *J Med Entomol* 50:467-478.
- Estallo EL, Ludueña-Almeida FF, Visintin AM, Scavuzzo CM, Almirón WR, Lamfri MA, Introini MV, Zaidenberg M. 2012. Effectiveness of normalized difference water index in modelling *Aedes aegypti* house index. *Internat Rem Sensing* 33: 4254-4265.
- Estallo EL, Ludueña-Almeida FF, Introini MV, Zaidenberg M, Almirón WR. 2015. Weather Variability Associated with *Aedes (Stegomyia) aegypti* (Dengue Vector) Oviposition Dynamics in Northwestern Argentina. *PLoS ONE* 10(5): e0127820. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127820>.
- Faria NR, Lourenço J, De Cerqueira EM, De Lima MM, Pybus O, Alcantara LCJ. 2016. Epidemiology of Chikungunya Virus in Bahia, Brazil, 2014-2015. *PLOS Currents Outbreaks*. 1.doi:10.1371/currents.outbreaks.c97507e3e48efb946401755d468c28b2.
- Fay RW, Prince WH. 1970. A modified visual trap for *Aedes aegypti*. *Mosquito News* 30:20-3.

- Fischer S, Alem IS, De Majo MS, Campos RE, Schweigmann, N. 2011. Cold season mortality and hatching behavior of *Aedes aegypti* L. (Diptera: Culicidae) eggs in Buenos Aires City, Argentina. *J Vector Ecol* 36:94-99.
- Fiske I, Chandler R. 2011. unmarked: An R package for fitting hierarchical models of wildlife occurrence and abundance. *J Statistical Software* 43(10):1–23.
- Focks DA, Haile DG, Daniels E, Mount GA, 1993. Dynamic life table model for *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae): analysis of the literature and model development. *J Med Entomol* 30:1003–1017.
- Focks DA. 2003. A review of entomological sampling methods and indicators for dengue vectors, 36 pp., TDR/IDE/Den/03.1.
- Halstead SB. 2017. Which dengue vaccine approach is the most promising, and should we be concerned about enhanced disease after vaccination? There is only one true winner. *Cold Spring Harb Perspect Biol* doi: 10.1101/cshperspect.a030700
- Harburguer L, Licastro S, Masuh H, Zerba E. 2016. Biological and chemical characterization of a new larvicide ovitrap made of plastic with pyriproxyfen incorporated for *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) Control. *J Med Entomol* 53:647-652.
- Hay SI, Packer MJ, Rogers DJ. 1997. The impact of remote sensing on the study and control of invertebrate intermediate hosts and vectors for disease. *Internat J Rem Sensing* 18:2899–2930.
- Hoffmann KH, Lorenz MW. 1998. Recent advances in hormones in insect pest control. *Phytoparasitica* 26:323-330.
- Hopp MJ, Foley JA. 2001. Global-scale relationships between climate and the dengue fever vector, *Aedes aegypti*. *Climatic Change* 48:441–463.
- Hopp MJ, Foley JA. 2003. Worldwide fluctuations in dengue fever cases related to climate variability. *Climate Res* 25:85–94.
- Jarsún B, Gorgas JA, Zamora E et al. 2003. Recursos Naturales De La Provincia De Córdoba: Los Suelos. Córdoba: Agencia Córdoba D.A.C.y T.S.E.M Dirección de Ambiente, INTA, Manfredi.
- Kery M, Royle JA. 2016. Applied hierarchical modeling in ecology. Analysis of distribution, abundance and species richness in R and BUGS. Academic Press 792 pp.
- Krockel U, Rose A, Eiras AE, Geier M. 2006. New tools for surveillance of adult yellow fever mosquitoes: comparison of trap catches with human landing rates in an urban environment. *J Am Mosq Control Assoc.* 22:229-38. [http://dx.doi.org/10.2987/8756-971X\(2006\)22\[229:NTFSOA\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.2987/8756-971X(2006)22[229:NTFSOA]2.0.CO;2)

- Liang G, Gao X, Gould EA. 2015. Factors responsible for the emergence of arboviruses; strategies, challenges and limitations for their control. *Emerg Microbes & Infection* 4:e18;doi:10.1038/emi.2015.18
- Licastro S, Masuh H, Seccacini E, Harburguer L, Lucia A, Zerba E. 2010. Innovación en herramientas de control del mosquito *Aedes aegypti*, transmisor del dengue en Argentina – *Ciencia e Investigación*. 60: 49-57
- Lounibos PL. 2002. Invasions by insect vectors of human disease. *Ann Rev Entomol* 47, 233-266.
- Mackay AJ, Amador M, Barrera R. 2013. An improved autocidal gravid ovitrap for the control and surveillance of *Aedes aegypti*. *Parasites & Vectors* 6:225
- MacKenzie D. 2005. Was it there? Dealing with imperfect detection for species presence/absence data. *Australian and New Zealand J Statistics* 47(1):65-74.
- MacKenzie D. 2018. Presence 12.20. <https://www.mbr-pwrc.usgs.gov/software/presence.html>.
- Mangudo C, Aparicio JP, Gleiser RM. 2015. Use of treeholes as larval habitat by *Aedes aegypti* in urban, suburban and forested environments in San Ramón de la Nueva Orán, Argentina. *Bull Entomol Research* 105:679–684.
- Marcondes CB, Contigiani CB, Gleiser RM. 2017. Emergent and reemergent arboviruses in South America and the Caribbean: Why so many and why now? *J Med Entomol* 54:509–532.
- Merritt RW, Dadd RH, Walker ED. 1992. Feeding behavior, natural food, and nutritional relationships of larval mosquitoes. *Annu Rev Entomol* 37:379-376.
- Otero M, Schweigmann N, Solari HG. 2008. A Stochastic Spatial Dynamical Model for *Aedes Aegypti*. *Bull. Math. Biol.* 70: 1297. <https://doi.org/10.1007/s11538-008-9300-y>
- Padilla-Torres SD, Ferraz G, Luz SLB, Zamora-Perea E, Abad-Franch F. 2013. Modeling dengue vector dynamics under imperfect detection: three years of site-occupancy by *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in urban Amazonia. *PLoS ONE* 8: e58420. doi: 10.1371/journal.pone.0058420 PMID: 23472194
- Perich MJ, Kardec A, Braga IA, Portal IF, Burge R, Zeichner BC, Brogdon WA, Wirts RA. 2003. Field evaluation of a lethal ovitrap against dengue vectors in Brazil. *Med Vet Entomol* 17:205-10.
- Reinert, J.F. 2009. List of abbreviations for currently valid generic-level taxa in family Culicidae (Diptera). *European Mosq Bull* 27:68–76.

- Royle JA, Nichols JD, Kery M. 2005. Modelling occurrence and abundance of species when detection is imperfect. *Oikos* 110(2):353-359.
- Schweigmann N, Solari HG. 2008. A stochastic spatial dynamical model for *Aedes aegypti*. *Bull Math Biol* 70:1297–1325.
- Scott TW, Naksathit A, Day JF, Kittayapong P, Edman JD. 1997. A fitness advantage for *Aedes aegypti* and the viruses it transmits when females feed only on human blood. *American journal of tropical medicine and hygiene*. 57:235–239.
- Tetro J. 2016. Zika and microcephaly: causation, correlation, or coincidence?, *Microbes and Infection* 18:167-168.
- Vezzani D. 2007. Review: Artificial container-breeding mosquitoes and cemeteries: a perfect match. *Trop Med Int Health* 12:299-313.
- Vezzani D, Carbajo AE. 2008. *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus*, and dengue in Argentina: current knowledge and future directions. *Mem Inst Oswaldo Cruz* 103:66-74
- Washburn JO. 1995. Regulatory factors affecting larval mosquito populations in container and pool habitats: implications for biological control. *J Am Mosq Control Assoc* 11: 279-283.
- WHO. 2014. Risk Assessment on Yellow Fever Virus Circulation in Endemic Countries. Geneva, World Health Organization, 38 p. WHO/HSE/PED/CED/2014.2.
- WHO. 2016 (a). Dengue and severe dengue. Factsheet N°117. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs117/en/>  
<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs117/en/>
- WHO. 2016 (b). Yellow fever global vaccine stockpile in emergencies. <http://www.who.int/features/2016/yellow-fever-vaccine-stockpile/en>
- WHO. 2016 (c). Vigilancia de la infección por el virus de Zika, la microcefalia y el síndrome de Guillain-Barré. WHO/ZIKV/SUR/16.2 Rev.1
- WHO 2017 (a). Alertas y Actualizaciones Epidemiológicas: Chikungunya <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/chikungunya>
- WHO. 2017 (b). Scientific and Technical advisory group on yellow fever risk mapping (GRYF).<http://www.who.int/ith/yellowfever-risk-mapping/3rd-GRYFmeetingreport.pdf?ua=1>
- WHO. 2018. Actualización epidemiológica Fiebre Amarilla. [http://www.paho.org/hq/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_view&Itemid=270&gid=43621&lang=es](http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_docman&task=doc_view&Itemid=270&gid=43621&lang=es)

## ANEXOS

### Anexo 1: Scripts de modelos para número de huevos

```
#Datos Carla
setwd("C:/tesina")
datos= read.csv("huexviv.csv", header= T)
library("AICcmodavg")
library("stats")
library("MASS")
attach(datos)
head(datos)
dists=cbind(dist_pega,dist_corta,dist_media,dist_larga)
temps=cbind(Td.1s,Td.2s,Td.3s,Tn.1s,Tn.2s,Tn.3s)
precip=cbind(p_recientes,p_previas)
pairs(dists)
pairs(precip)
pairs(temps)
dbn=rnegbin(350,mu=11.7,theta=.3)
hist(dbn)
manzana=as.factor(manzana)
#mods con temperaturas y precipitaciones - Conjunto 1
m11= glm.nb(num_hue~ fecha)
m21= glm.nb(num_hue~ area)
m31= glm.nb(num_hue~ microentorno)
m31_1= glm.nb(num_hue~ fecha*area)
m41= glm.nb(num_hue~ Td.1s)
m51= glm.nb(num_hue~ Td.2s)
m61= glm.nb(num_hue~ Td.3s)
m71= glm.nb(num_hue~ Tn.1s)
m81= glm.nb(num_hue~ Tn.2s)
m91= glm.nb(num_hue~ Tn.3s)
```

```

m101= glm.nb(num_hue~ Tdavg.2s)
m111= glm.nb(num_hue~ Tnavg.2s)
m121= glm.nb(num_hue~ p_recientes)
m131= glm.nb(num_hue~ p_previas)
m141= glm.nb(num_hue~ fecha+area)
m151= glm.nb(num_hue~ fecha+area+microentorno)
m161= glm.nb(num_hue~ fecha+area+microentorno+dist_pega)
m171= glm.nb(num_hue~ fecha+area+microentorno+dist_corta+dist_media+dist_larga)
m181= glm.nb(num_hue~
fecha+area+microentorno+dist_pega+Td.1s+Td.2s+Td.3s+Tdavg.2s)
m191= glm.nb(num_hue~
fecha+area+microentorno+dist_pega+Tn.1s+Tn.2s+Tn.3s+Tnavg.2s)
m201= glm.nb(num_hue~
fecha+area+microentorno+dist_corta+dist_media+dist_larga+Td.1s+Td.2s+Td.3s+Tda vg.
2s)
m211= glm.nb(num_hue~
fecha+area+microentorno+dist_corta+dist_media+dist_larga+Tn.1s+Tn.2s+Tn.3s+Tnavg.
2s)
m221= glm.nb(num_hue~
fecha+area+microentorno+dist_corta+dist_media+dist_larga+Tdavg.2s+Tnavg.2s)
m231= glm.nb(num_hue~ area+microentorno+Tnavg.2s+Tn.1s+Tn.2s+Tn.3s)
#agregado aqui
m231_1= glm.nb(num_hue~ fecha+area+microentorno+Tnavg.2s+Tn.1s+Tn.2s+Tn.3s)
m241= glm.nb(num_hue~ fecha+area+microentorno+dist_pega+p_recientes)
m251= glm.nb(num_hue~ fecha+area+microentorno+dist_pega+p_previas)
m261= glm.nb(num_hue~ fecha+area+microentorno+dist_pega+p_recientes+p_previas)
m271= glm.nb(num_hue~
fecha+area+microentorno+dist_corta+dist_media+dist_larga+Tdavg.2s+p_recientes+p_pr
evias)
m281= glm.nb(num_hue~
fecha+area+microentorno+dist_corta+dist_media+dist_larga+Tnavg.2s+p_recientes+p_pr
evias)
#glm convert, para poder pedir la tabla aictab
#conjunto 1
m11c<-glm.convert(m11)

```

```
m21c<-glm.convert(m21)
m31c<-glm.convert(m31)
#m31_1c<-glm.convert(m31_1)
m41c<-glm.convert(m41)
m51c<-glm.convert(m51)
m61c<-glm.convert(m61)
m71c<-glm.convert(m71)
m81c<-glm.convert(m81)
m91c<-glm.convert(m91)
m101c<-glm.convert(m101)
m111c<-glm.convert(m111)
m121c<-glm.convert(m121)
m131c<-glm.convert(m131)
m141c<-glm.convert(m141)
m151c<-glm.convert(m151)
m161c<-glm.convert(m161)
m171c<-glm.convert(m171)
m181c<-glm.convert(m181)
m191c<-glm.convert(m191)
m201c<-glm.convert(m201)
m211c<-glm.convert(m211)
m221c<-glm.convert(m221)
m231c<-glm.convert(m231)
m231_1c<-glm.convert(m231_1)
m241c<-glm.convert(m241)
m251c<-glm.convert(m251)
m261c<-glm.convert(m261)
m271c<-glm.convert(m271)
m281c<-glm.convert(m281)
```

```

#Cand.models <-
list(m11c,m21c,m31c,m41c,m51c,m61c,m71c,m81c,m91c,m101c,m111c,m121c,m131c,
#
m141c,m151c,m161c,m171c,m181c,m191c,m201c,m211c,m221c,m231c,m241c,
#
      m251c,m261c,m271c,m281c)
#Modnames <- c("m11","m21","m31",
"m41","m51","m61","m71","m81","m91","m101","m111","m121",
#
"m131","m141","m151","m161","m171","m181","m191","m201","m211","m221","m231",
#
      "m241","m251","m261","m271","m281")

```

```

Cand.models <-
list(m11c,m21c,m31c,m41c,m51c,m61c,m71c,m81c,m91c,m101c,m111c,m121c,m131c,
      m141c,m151c,m161c,m171c,m191c,m201c,m211c,m221c,m231_1c,m241c,
      m251c,m261c,m271c,m281c)

```

```

Modnames <- c("m11","m21","m31",
"m41","m51","m61","m71","m81","m91","m101","m111","m121",
      "m131","m141","m151","m161","m171","m191","m201","m211","m221",
"m231_1",
      "m241","m251","m261","m271","m281")

```

```

#second.ord=TRUE calcula AICc

```

```

print(aictab(cand.set = Cand.models, modnames = Modnames, second.ord = TRUE),
digits = 3)

```

```

#que variables hay y cuales no hay en la

```

```

#lista de modelos

```

```

#Model-averaged estimates with unconditional 95%CIs

```

```

#Intercept=modavg(cand.set = Cand.models, modnames = Modnames, parm =
"(Intercept)")

```

```

modavg(cand.set = Cand.models, modnames = Modnames, parm = "areaT")

```

```

modavg(cand.set = Cand.models, modnames = Modnames, parm = "fecha")

```

```

modavg(cand.set = Cand.models, modnames = Modnames, parm =
"microentornoFavorable")

```

```

modavg(cand.set = Cand.models, modnames = Modnames, parm = "dist_pega")

```

```

#modavg(cand.set = Cand.models, modnames = Modnames, parm = "dist_pegas")
#modavg(cand.set = Cand.models, modnames = Modnames, parm = "Td.1s")
#modavg(cand.set = Cand.models, modnames = Modnames, parm = "Td.2s")
#modavg(cand.set = Cand.models, modnames = Modnames, parm = "Td.3s")
#modavg(cand.set = Cand.models, modnames = Modnames, parm = "dist_corta")
#modavg(cand.set = Cand.models, modnames = Modnames, parm = "dist_media")
#modavg(cand.set = Cand.models, modnames = Modnames, parm = "dist_larga")
modavg(cand.set = Cand.models, modnames = Modnames, parm = "Tn.1s")
modavg(cand.set = Cand.models, modnames = Modnames, parm = "Tn.2s")
modavg(cand.set = Cand.models, modnames = Modnames, parm = "Tn.3s")
modavg(cand.set = Cand.models, modnames = Modnames, parm = "Tnavg.2s")
#modavg(cand.set = Cand.models, modnames = Modnames, parm = "Tdavg.2s")
#modavg(cand.set = Cand.models, modnames = Modnames, parm = "p_recientes")
#modavg(cand.set = Cand.models, modnames = Modnames, parm = "p_previas")
plot(Tnavg.2s,num_hue)
write.csv(grupo, "grupoT2.csv")
write.csv(fecha, "date2.csv")
write.csv(microent, "microentorno2.csv")
write.csv(distpega, "dist_pegas2.csv")
write.csv(Td1s, "Td.1s2.csv")
write.csv(Td2s, "Td.2s2.csv")
write.csv(Td3s, "Td.3s2.csv")
write.csv(dcor, "dcorta2.csv")
write.csv(dmed, "dmedia2.csv")
write.csv(dlar, "dlarga2.csv")
write.csv(Tdavg, "Tdavg.2s2.csv")
write.csv(Tnavg, "Tnavg.2s2.csv")

```

## **Anexo 2: Scripts de modelos para presencia de huevos**

```

huexviv=read.csv("huexviv.csv", header=T)

```

```

attach(huexviv)
names(huexviv)
m0= glm(phue~fecha, family=binomial)
m1= glm(phue~area, family=binomial)
m2= glm(phue~fecha+area, family=binomial)
m3= glm(phue~fecha*area, family=binomial)
m4= glm(phue~fecha+Mentor, family=binomial)
m5= glm(phue~Mentor+area+Td.1s+Td.2s+Td.3s+Tdavg.2s, family=binomial)
m6= glm(phue~Mentor+area+Tn.1s+Tn.2s+Tn.3s+Tnavg.2s, family=binomial)
m7= glm(phue~Mentor+area+p_recientes+p_previas, family=binomial)
m8= glm(phue~Mentor+area+Tn.1s+Tn.2s+Tn.3s+Tnavg.2s+
      p_recientes+p_previas, family=binomial)
m9= glm(phue~Mentor+area+Tnavg.2s+p_recientes+
      p_previas, family=binomial)
Cand.models <- list(m0,m1,m2,m4,m6,m7,m9)
Modnames <- c("m0", "m1","m2","m4","m6","m7","m9")

#second.ord=TRUE calcula AICc
print(aictab(cand.set = Cand.models, modnames = Modnames, second.ord = TRUE),
      digits = 3)

#Model-averaged estimates with unconditional 95%CIs
modavg(cand.set = Cand.models, modnames = Modnames, parm = "(Intercept)")
modavg(cand.set = Cand.models, modnames = Modnames, parm = "areaT")
modavg(cand.set = Cand.models, modnames = Modnames, parm = "fecha")
modavg(cand.set = Cand.models, modnames = Modnames, parm = "MentorS")
modavg(cand.set = Cand.models, modnames = Modnames, parm = "Tn.1s")
modavg(cand.set = Cand.models, modnames = Modnames, parm = "Tn.2s")
modavg(cand.set = Cand.models, modnames = Modnames, parm = "Tn.3s")

```

```

modavg(cand.set = Cand.models, modnames = Modnames, parm = "Tnavg.2s")
modavg(cand.set = Cand.models, modnames = Modnames, parm = "p_recientes")
modavg(cand.set = Cand.models, modnames = Modnames, parm = "p_previas")
#Frecuencia pres huev en areas T y C segÃn
#en planilla preshuexiv.xls
table(phue[area=="T"],Tnavg.2s[area=="T"])
table(phue[area=="C"],Tnavg.2s[area=="C"])
data("bioChemists", package = "pscl")
head(bioChemists)
## without inflation
## ("art ~ ." is "art ~ fem + mar + kid5 + phd + ment")
fm_pois <- glm(art ~ ., data = bioChemists, family = poisson)
fm_qpois <- glm(art ~ ., data = bioChemists, family = quasipoisson)
fm_nb <- glm.nb(art ~ ., data = bioChemists)
summary(fm_pois)
summary(fm_qpois)
summary(fm_nb)
## with simple inflation (no regressors for zero component)
fm_zip <- zeroinfl(art ~ . | 1, data = bioChemists)
fm_zinb <- zeroinfl(art ~ . | 1, data = bioChemists, dist = "negbin")

## inflation with regressors
## ("art ~ . | ." is "art ~ fem + mar + kid5 + phd + ment | fem + mar + kid5 + phd + ment")
fm_zip2 <- zeroinfl(art ~ . | ., data = bioChemists)
fm_zinb2 <- zeroinfl(art ~ . | ., data = bioChemists, dist = "negbin")

```

### Anexo 3: Conjunto de modelos para las variables respuesta

Variable	Modelo	$\Delta$ AICc	F	A	M	F x A	Td1	Td2	Td3	Tn1	Tn2	Tn3	Tdp2	Tnp2	Dist	D-c	D-m	D-l	Pr	Pp	
a. Positividad de ovitrampas	B M1	0,000	•																		
	B M3	1,352	•	•																	
	B M4	2,008	•		•																
	B M5	2,504		•	•					•	•	•			•						
	B M7	2,504		•	•										•					•	•
	B M6	38,904		•	•															•	•
	B M2	41,796		•																	
b. Numero de huevos	BN M18	0,000	•	•	•					•	•	•		•	•						
	BN M20	0,226		•	•					•	•	•		•							
	BN M8	0,433									•										
	BN M4	3,312					•														
	BN M24	3,871	•	•	•					•	•	•		•		•	•	•	•	•	
	BN M19	3,871	•	•	•								•	•		•	•	•			
	BN M10	5,274											•								
	BN M6	11,638							•												
	BN M11	11,834												•							
	BN M23	12,429	•	•	•																
	BN M5	14,752						•													
	BN M21	17,779	•	•	•											•				•	
	BN M20_1	17,779	•	•	•					•	•	•		•							
	BN M9	19,129											•								
	BN M7	19,222								•											
	BN M15	24,241	•	•	•																
	BN M22	25,498	•	•	•											•				•	
	BN M16	26,228	•	•	•											•					
	BN M14	26,387	•	•																	
	BN M3_1	28,118					•														
BN M17	28,924	•	•	•												•	•	•			
BN M1	32,556	•																			
BN M13	56,582																			•	
BN M2	59,995		•																		
BN M12	61,649																		•		
BN M3	62,510			•																	

•: Variable explicativa incluida en el modelo; F: Fecha; A: Área; M: Microentorno; Td1: Temperatura diurna 1 semana previa; Td2: Temperatura diurna 2 semanas previas; Td3: Temperatura diurna 3 semanas previas; Tn1: Temperatura nocturna 1 semana previa; Tn2: Temperatura nocturna 2 semanas previas; Tn3: Temperatura nocturna 3 semanas previas; Tdp2: Temperatura diurna promedio 2 semanas previas; Tnp2: Temperatura nocturna promedio 2 semanas previas; Dist: Distancia a trampas pegajosas; D-c: Distancia corta; D-m: Distancia media; D-l: Distancia larga; Pr: Precipitaciones recientes (10 días previos); Pp: Precipitaciones previas (más de 10 días previos)

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no hubiese sido posible sin el aporte y compromiso de cada una de estas partes:

- ✓ A la Universidad Nacional de Córdoba, en especial al Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales (CREAN – IMBIV) por brindarme el espacio y los recursos necesarios para poder llevar a cabo esta tesina. Este proyecto fue financiado parcialmente por el Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Provincia de Córdoba.
- ✓ A mi directora Dra. Raquel Miranda Gleiser y mi co-director Dr. David Eladio Gorla por ser mis guías y mentores durante todo el proceso, por la paciencia y el cariño que tuvieron siempre conmigo, y ayudarme cada vez que necesite.
- ✓ Al tribunal evaluador, por su tiempo, apoyo y dedicación demostrado en el transcurso del proyecto.
- ✓ A todo el personal del centro de Salud Municipal “El Cerrito” n°61 por el apoyo logístico en el campo, en especial a Susi y Ale, por acompañarme a recorrer los barrios, conocer a los vecinos y repartir las trampas.
- ✓ Al Instituto de Altos Estudios Espaciales Mario Gulich y al laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional de Córdoba por brindarme los datos meteorológicos para este trabajo.
- ✓ A mis papas, por cuidarme, apoyarme y darme las herramientas necesarias para ser quien soy hoy. Gracias pa, por contagiarme esas ganas de explorar y conocer el mundo que me rodea desde siempre. Gracias ma, por transmitirme tu fortaleza y convencerme que puedo lograr cualquier cosa que me proponga.
- ✓ A mis hermanos, por ser mis referentes y pilares desde que tengo memoria. Por ayudarme en los primeros años de la carrera y estar siempre cerca. Y a una bebé de cuatro patas que me cuidó y acompañó durante toda la carrera.
- ✓ A mis amigos y amigas hermanas de toda la vida: Ro, Fia, Sabri y Sofi y todos los que estuvieron de alguna manera, con los que crecí y compartí los años más importantes de mi vida. En especial a Fede, por estar tan cerca en este momento y compartir conmigo el final de esta etapa.
- ✓ A toda mi familia en general, la que está cerca y la de lejos, por acompañarme y apoyarme siempre. En especial a Albi, por ayudarme con el R y estar siempre pendiente y dispuesta a darme una mano con lo que fuera.
- ✓ A mis amigos biólogos, hermanas colegas, Kei, Luli y Mica, cada una de las batatas, y todos los que se cruzaron en mi camino en esta facultad que hicieron que esta carrera fuera hermosa y este feliz de haberla elegido.

