

INFORME FINAL - DESARROLLO

Modelamiento matemático para el control de *Ceratitis capitata* (Mosca del Mediterráneo) y *Lobesia botrana* (Polilla de la Vid) en Mendoza. (80020210100625UN)

Director: Carlos Bageta (1)– Co-Director: Marcelo E. Alberto (1), (2)

(1) Facultad de Ciencias Agrarias – UNCuyo

(2) Facultad de Ciencias Exactas y Naturales – UNCuyo

Lobesia Botrana (polilla de la vid) en la provincia de Mendoza

La polilla del racimo de la vid (*Lobesia botrana*) fue detectada por primera vez en Austria en 1800 y desde entonces se ha propagado por Europa durante los siglos XIX y XX. En América, apareció en Chile en 2008, en EE. UU. en 2009 (donde fue erradicada en 2016) y en Mendoza, Argentina, en 2010. Esta plaga es considerada de importancia económica por los daños que produce en los distintos estados fenológicos de la vid, afectando la cantidad y calidad de la cosecha y favoreciendo la pudrición del racimo (*berry rot*). (1).

En Mendoza, su aparición motivó una alerta fitosanitaria oficial declarada por el SENASA (2009), estableciendo un sistema de monitoreo con una base de datos centralizada para gestionar acciones de cuarentena o contingencia. Asimismo, las autoridades promueven acciones preventivas estacionales y actualizaciones normativas para mejorar el control de la plaga, destacando los esfuerzos de coordinación nacional. (1)

Se han desarrollado herramientas disponibles para su monitoreo, modelización y manejo. Se suelen abordar diversas estrategias de control, entre ellas: el uso de insecticidas (incluyendo su resistencia y efectos subletales), el control cultural, la técnica del insecto estéril (SIT), métodos basados en feromonas como la confusión sexual, el control biológico, y programas de control a gran escala (programas de manejo integrado de plagas – IPM – por sus siglas en inglés) (14). Particularmente, en la provincia de Mendoza se ha implementado con éxito la confusión sexual, quedando en segundo plano de desarrollo el uso de SIT. En casos severos de ataque de la plaga, los métodos químicos representan siempre la primera estrategia a considerar hasta obtener umbrales adecuados para el manejo con otras de las técnicas mencionadas.

Algunas estrategias en modelación matemática para *Lobesia botrana*

En 1981, Touzeau (2) desarrolló en Francia el primer modelo fenológico para insectos, basado en el uso de la integral térmica y los grados-día. La aplicación de este tipo de modelos resulta fundamental para predecir con precisión la dinámica estacional de las poblaciones de insectos (3). En particular, en (3) se adapta y aplica el modelo propuesto por Touzeau a la especie *Lobesia botrana* en la provincia de Mendoza, con el objetivo de analizar su comportamiento bajo condiciones locales. Complementariamente, el estudio presentado en (1) destaca la marcada sensibilidad del modelo a las condiciones ambientales específicas de cada región.

INFORME FINAL - DESARROLLO

Modelamiento matemático para el control de *Ceratitis capitata* (Mosca del Mediterráneo) y *Lobesia botrana* (Polilla de la Vid) en Mendoza. (80020210100625UN)

Director: Carlos Bageta (1)– Co-Director: Marcelo E. Alberto (1), (2)

(1) Facultad de Ciencias Agrarias – UNCuyo

(2) Facultad de Ciencias Exactas y Naturales – UNCuyo

Heit (4), por su parte, estudia el voltinismo (número de generaciones que se completan en el transcurso de un año) de la especie: describe con precisión el momento esperado de aparición de adultos de *Lobesia botrana* en función del clima utilizando regresiones logísticas, y sugiere que áreas aún no colonizadas pero con clima similar que podrían estar en riesgo. Castex (5) también estudia el efecto del voltinismo en *Lobesia* introduciendo un modelo fenológico general.

La distribución espacio - temporal de la plaga es estudiada desde la mirada de la Geoestadística en (6) y (9).

Rossini (7) y (8), en 2020 utiliza el modelo DDM (distributed delay model) y la ecuación de Van Foerster para plantear modelos que tienen en cuenta las etapas de la estructura evolutiva de la especie. Además, proporciona una herramienta computacional (ENTOSIM) para estimar las curvas emergentes de los modelos, incorporando temperatura para explicar la fluctuación de las tasas de desarrollo de la especie, en base a la incorporación de fórmulas de Briere y Logan.

Nuestra estrategia de modelación exploró modelos para la dinámica salvaje de la peste, incorporando el voltinismo propio de la especie y posteriormente se abordaron modelos que tienen en cuenta las estrategias de control MD y SIT. Se elaboraron informes autocontenidos de cada uno de ellos con sus referencias particulares. Se buscaron, de esta manera, estrategias de modelación distintas a aquellas enfocadas en DDM dado que están ampliamente documentadas e implementadas.

Los modelos obtenidos relacionados con el uso de SIT, son extensibles a *Ceratitis capitata*, dado el voltinismo de ambas especies.

Ceratitis capitata (mosca del mediterráneo) en la provincia de Mendoza

Ceratitis capitata (Wiedemann), comúnmente conocida como mosca del Mediterráneo es una especie originaria del continente africano, que ha demostrado una alta capacidad invasiva, estableciéndose en zonas tropicales y subtropicales a nivel global. En Argentina, representa una plaga de relevancia económica significativa, con presencia en todas las regiones frutihortícolas del país, donde se manifiesta con densidades variables.

En el contexto de la provincia de Mendoza, la distribución y persistencia de esta plaga se encuentra condicionada por factores climáticos. Como respuesta institucional, el gobierno provincial inició en 1986 una estrategia sistemática de control mediante la creación del Comité de Lucha contra la Mosca del Mediterráneo (COLCOM). Posteriormente, en 1991, se estableció el

INFORME FINAL - DESARROLLO

Modelamiento matemático para el control de *Ceratitis capitata* (Mosca del Mediterráneo) y *Lobesia botrana* (Polilla de la Vid) en Mendoza. (80020210100625UN)

Director: Carlos Bageta (1)– Co-Director: Marcelo E. Alberto (1), (2)

(1) Facultad de Ciencias Agrarias – UNCuyo

(2) Facultad de Ciencias Exactas y Naturales – UNCuyo

Insectario KM 8 con el fin de producir ejemplares estériles de *C. capitata*, en el marco de una estrategia de Técnica del Insecto Estéril (SIT, por sus siglas en inglés). En 1996 se consolidó el rol institucional de ISCAMEN, organismo encargado de ejecutar políticas de control sanitario, incluyendo la vigilancia y erradicación de plagas agrícolas.

Estos esfuerzos dieron lugar, entre 2011 y 2016, al reconocimiento oficial por parte de Estados Unidos y Chile de los oasis centro y sur de Mendoza como áreas libres de mosca de los frutos, mientras que el oasis norte fue clasificado como área de baja prevalencia (15).

La mosca del Mediterráneo puede ser controlada mediante diversos métodos que actúan sobre distintas fases de su ciclo biológico, entre ellos el control químico, el uso de enemigos naturales y la Técnica del Insecto Estéril (SIT, por sus siglas en inglés). Esta última es una estrategia de control biológico ambientalmente segura que consiste en la liberación masiva de machos estériles criados en laboratorio, los cuales compiten con los machos silvestres por las hembras. Al superarse en número los individuos fértiles, la mayoría de los apareamientos resulta infértil, provocando una reducción significativa de la población en pocas generaciones. Con una aplicación sostenida y un manejo adecuado, esta técnica puede llevar a la supresión o erradicación local de la plaga. (15)

El libro (16) es una excelente fuente de referencia acerca de los detalles acerca de SIT en el contexto de IPM y de sus aplicaciones.

Algunas estrategias en modelación matemática para *Ceratitis capitata*

Los modelos matemáticos, tanto continuos como discretos, aplicados a la Técnica del Insecto Estéril (SIT), presentan limitaciones al representar de manera completa la complejidad biológica del sistema. Frecuentemente, estos modelos omiten factores clave como la estacionalidad reproductiva, la heterogeneidad espacial o la estructura etaria de la población. A medida que se incorporan estas condiciones realistas, los modelos tienden a volverse analíticamente intratables, lo que dificulta su aplicación y análisis riguroso.

En 1955, Knipling (16) postula un modelo discreto que se constituye en la base sobre la cual se postulan una gran variedad de modelos que incorporan SIT. Otros trabajos que involucran esta clase de modelos son (17), (18), (19) y más recientemente (20). A medida que creció el campo de estudio, aparecieron gran variedad de trabajos que involucran modelos continuos con

INFORME FINAL - DESARROLLO

Modelamiento matemático para el control de *Ceratitis capitata* (Mosca del Mediterráneo) y *Lobesia botrana* (Polilla de la Vid) en Mendoza. (80020210100625UN)

Director: Carlos Bageta (1)– Co-Director: Marcelo E. Alberto (1), (2)

(1) Facultad de Ciencias Agrarias – UNCuyo

(2) Facultad de Ciencias Exactas y Naturales – UNCuyo

diferentes tipos de liberación de mosquitos estériles: continua, ver por ejemplo (21), (22), (23) por pulsos, (24) y modelos espacio - temporales con realización continua (25), (26). Incluso existen modelos que contemplan la combinación de SIT con otras medidas de control como pesticidas (27) o liberación de parasitoides (28).

H.J. Barclay en (27) constituyen una buena fuente de referencia acerca de la modelación matemática para SIT.

Estructura del informe

La documentación del trabajo se presenta a través de los siguientes componentes:

- **Informe final proyecto –síntesis - en formato PDF:** incluye objetivos, resultados alcanzados, producción académica, limitaciones y trabajo futuro
- **Informe final proyecto – desarrollo - en formato PDF** (presente archivo): contiene la contextualización general del proyecto, incluyendo el origen y la relevancia de las plagas abordadas, así como una revisión de los enfoques de modelación matemática aplicados a cada una de ellas.
- **Archivos individuales en formato PDF:** Cada modelo desarrollado se presenta en un documento independiente, con el objetivo de facilitar su lectura y análisis. En cada uno de estos archivos se incluyen las referencias bibliográficas específicas correspondientes a la formulación propuesta. Asimismo, se incorpora en este formato un trabajo que ha sido enviado para su publicación acerca de *Ceratitis capitata*.
- **Scripts de simulación y calibración:** se pone a disposición el conjunto de códigos empleados en las simulaciones y procesos de ajuste de parámetros, accesibles a través del siguiente repositorio en GitHub:
<https://github.com/CarlosRubenBageta/Repositorio-de-modelos-matematicos-para-Lobesia-botrana>

Se adjunta un archivo comprimido (con extensión zip) con los dos primeros componentes en el espacio reservado para archivos adjuntos proporcionado en SIGEVA CONICET para la presentación del informe final.

INFORME FINAL - DESARROLLO

Modelamiento matemático para el control de *Ceratitis capitata* (Mosca del Mediterráneo) y *Lobesia botrana* (Polilla de la Vid) en Mendoza. (80020210100625UN)

Director: Carlos Bageta (1)– Co-Director: Marcelo E. Alberto (1), (2)

(1) Facultad de Ciencias Agrarias – UNCuyo

(2) Facultad de Ciencias Exactas y Naturales – UNCuyo

Referencias generales

- 1) Aguirre-Zapata, E., Morales, H., Dagatti, C. V., di Sciascio, F., & Amicarelli, A. N. (2022). Semi physical growth model of *Lobesia botrana* under laboratory conditions for Argentina's Cuyo region. *Ecological Modelling*, 464, 109803. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2022.109803>
- 2) Touzeau, J. (1981). Modélisation de l'évolution de l'Eudemis de la Vigne pour la région Midi-Pyrénées (pp. 26–30).
- 3) Dagatti, C. V., & Becerra, V. C. (2015). Modeling of the development rate of insects as a function of temperature. Application to Integrated Pest Management Using the Degree-Day Method [in Spanish]. INTA DIGITAL Institutional Repository – Digital Library.
- 4) Heit, G. E., Sione, W. F., & Aceñolaza, P. G. (2019). Spatio-temporal risk assessment models for *Lobesia botrana* in uncolonized winegrowing areas. Repositorio Institucional CONICET Digital. <https://doi.org/10.24425/jppr.2019.129291>
- 5) Castex, V., Cortázar-Atauri, I. G. D., Calanca, P., Beniston, M., & Moreau, J. (2020). Assembling and testing a generic phenological model to predict *Lobesia botrana* voltinism for impact studies. *Ecological Modelling*, 420, 108946. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.108946>
- 6) Gutierrez, A. P., Ponti, L., Cooper, M. L., Gilioli, G., Baumgärtner, J., & Duso, C. (2012). Prospective analysis of the invasive potential of the European grapevine moth *Lobesia botrana* (Den. & Schiff.) in California. *Agricultural and Forest Entomology*, 14(1), 1–14. <https://doi.org/10.1111/j.1461-9563.2011.00566.x>
- 7) Rossini, L., Severini, M., Contarini, M., & Speranza, S. (2020a). EntoSim: A ROOT-based simulator to forecast insects' life cycle: Description and application in the case of *Lobesia botrana*. *Crop Protection*, 129, 105024. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.105024>
- 8) Rossini, L., Speranza, S., & Contarini, M. (2020b). Distributed delay model and von Foerster's equation: Different points of view to describe insects' life cycles with chronological age and physiological time. *Ecological Informatics*, 59, 101117. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2020.101117>
- 9) García Ruiz, E., Mancebón, V. S., & Pérez Moreno, I. (2017). Análisis geoestadístico de la distribución espacio - temporal de *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae) en Rioja Alta (España). *Zubía, (Nº Extra 29, Vid y vino)*, 41–66. ISSN 0213-4306.

INFORME FINAL - DESARROLLO

Modelamiento matemático para el control de *Ceratitis capitata* (Mosca del Mediterráneo) y *Lobesia botrana* (Polilla de la Vid) en Mendoza. (80020210100625UN)

Director: Carlos Bageta (1)– Co-Director: Marcelo E. Alberto (1), (2)

(1) Facultad de Ciencias Agrarias – UNCuyo

(2) Facultad de Ciencias Exactas y Naturales – UNCuyo

- 10) Knipling, E. F. (1955). Possibilities of insect control or eradication through the use of sexually sterile males. *Journal of Economic Entomology*, 48(4), 459–462. <https://doi.org/10.1093/jee/48.4.459>
- 11) De Alfonso, I., & Colás, C. (n.d.). *CheckMate® Puffer® LB, la tecnología aerosol de emisión activa para el control de Lobesia botrana - Phytoma España. Phytoma España.*
- 12) Benelli, G., Ricciardi, R., Cosci, F., Iodice, A., Ladurner, E., Savino, F., & Lucchi, A. (2023). *Sex pheromone aerosol emitters for Lobesia botrana mating disruption in Italian vineyards. Insects*, 14(3), 270. <https://doi.org/10.3390/insects14030270>
- 13) Honorio Guisado, F., & Rodríguez Bernabé, J. A. (2008). Emisión de la feromona del difusor Isonet-L en una experiencia de confusión sexual contra *Lobesia botrana* Den. y Schiff. (*Lepidoptera: Tortricidae*). *Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas*, 34, 297–303.
- 14) Benelli, G., Lucchi, A., Anfora, G., Bagnoli, B., Botton, M., Campos-Herrera, R., Carlos, C., Daugherty, M. P., Gemenio, C., Harari, A. H., Hoffmann, C., Ioriatti, C., López Plantey, R. J., Reineke, A., Ricciardi, R., Roditakis, E., Simmons, G. S., Tay, W. T., Torres-Vila, L. M., Vontas, J., & Thiéry, D. (2023). European grapevine moth, *Lobesia botrana*. Part II: Prevention and management. *Entomologia Generalis*, 43(2), 281–304. <https://doi.org/10.1127/entomologia/2023/1947>
- 15) Instituto de Sanidad y Calidad Agropecuaria Mendoza (ISCAMEN). (s.f.). *Mosca del Mediterráneo*. http://www.iscamen.com.ar/mosca_mediterraneo.php?idMenuPortal=3
- 16) Dyck, V. A., Hendrichs, J., & Robinson, A. S. (Eds.). (2006). *Sterile insect technique: Principles and practice in area-wide integrated pest management*. Springer.
- (17) Berryman, A. A. (1967). Mathematical description of the sterile male principle. *The Canadian Entomologist*, 99, 858–865.
- (18) Lawson, F. R. (1967). Theory of control of insect populations by sexually sterile males. *Annals of the Entomological Society of America*, 60, 713–722.
- (19) Klassen, W., & Creech, J. F. (1971). Suppression of pest population with sterile male insects. *Miscellaneous Publication No. 1182*. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service (USDA/ARS), Washington, D.C.
- (20) Li, J. (2004). Simple mathematical models for mosquito populations with genetically altered mosquitoes. *Mathematical Biosciences*, 189, 39–59.

INFORME FINAL - DESARROLLO

Modelamiento matemático para el control de *Ceratitis capitata* (Mosca del Mediterráneo) y *Lobesia botrana* (Polilla de la Vid) en Mendoza. (80020210100625UN)

Director: Carlos Bageta (1)– Co-Director: Marcelo E. Alberto (1), (2)

(1) Facultad de Ciencias Agrarias – UNCuyo

(2) Facultad de Ciencias Exactas y Naturales – UNCuyo

- (21) Barclay, H. J., & Mackauer, M. (1980). The sterile insect release method for pest control: A density-dependent model. *Environmental Entomology*, 9(6), 810–817.
- (22) Esteva, L., & Yang, H. M. (2005). Mathematical model to assess the control of *Aedes aegypti* mosquitoes by the sterile insect technique. *Mathematical Biosciences*, 198, 132–147.
- (23) Barclay, H. J. (2006). Pest population stability under sterile releases. *Researches on Population Ecology*, 24, 405–416.
- (24) Dumont, Y., & Tchuente, J. M. (2012). Mathematical studies on the sterile insect technique for the Chikungunya disease and *Aedes albopictus*. *Journal of Mathematical Biology*, 65, 809–854. <https://doi.org/10.1007/s00285-011-0477-6>
- (25) Manoranjan, V. S., & van den Driessche, P. (1986). On a diffusion model for sterile insect release. *Mathematical Biosciences*, 79, 199–208.
- (26) Tyson, R., Thistlewood, H., & Judd, G. J. R. (2007). Modelling dispersal of sterile male codling moths, *Cydia pomonella*, across orchard boundaries. *Ecological Modelling*, 205, 1–12.
- (27) Barclay, H. J. (1980). Models for the sterile insect release method with the concurrent release of pesticides. *Ecological Modelling*, 11(3), 167–177.
- (28) Harrison, G. W., Barclay, H. J., & van den Driessche, P. (1982). Analysis of a sterile insect release model with predation. *Journal of Mathematical Biology*, 16, 33–48.