

# MODELACIÓN DE LA DENSIDAD DE LARVAS DE *SPODOPTERA FRUGIPERDA* J. E. (SMITH) EN MAÍZ (*ZEА MAYS* L.) EN LA PROVINCIA DE MAYABEQUE, CUBA

Modeling *Spodoptera frugiperda* J. E. (Smith) larvae density in corn (*Zea mays* L.) in Mayabeque Province, Cuba

 Josefina V. Gómez Piñar<sup>1</sup>,  Yaisys Blanco Valdés<sup>2</sup>,  Avline Duvelsaint<sup>1</sup>,  
 Neisy Castillo Reyes<sup>1</sup>,  Ileana Miranda Cabrera<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Agronomía. Universidad Agraria de La Habana (UNAH). Carretera de Tapaste y Autopista Nacional. CP 32 700. San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). San José de las Lajas. CP 32700. Mayabeque. Cuba

<sup>3</sup>Grupo de Plagas Agrícolas, Departamento de Sanidad Vegetal. Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA). Apartado 10. San José de las Lajas. CP 32700. Mayabeque. Cuba.

**RESUMEN:** Con el objetivo de estimar la densidad de larvas de *Spodoptera frugiperda* J. E. (Smith), presentes en un área experimental de maíz (*Zea mays* L.), se implementó un modelo matemático que describe la relación población - clima. Para la elaboración del modelo se tomaron los datos de muestreos realizados en el cultivar de maíz 'Francisco', a partir de 28 días después de la germinación hasta la cosecha del cultivo. El maíz se estableció en un área experimental de 0,1 ha en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (N 22°59'40,79", 82°8'21,88"O), en Mayabeque. Cuba. Se revisó el interior de los cogollos en 80 plantas seleccionadas al azar, recorriendo el campo en forma de zigzag. En cada muestreo, se contabilizó el número de plantas con presencia de larvas de *S. frugiperda* y la densidad encontrada. Se describieron las curvas de porcentaje de infestación y densidad promedio de larvas. Se elaboró un modelo de regresión lineal que estimó la densidad de larvas a partir de los días posteriores a la germinación, la temperatura media, la radiación solar, la humedad relativa, la velocidad del viento y las precipitaciones acumuladas. Se estima que, para el 2030, en la provincia de Mayabeque, en los meses de febrero, marzo y abril, la temperatura media se mantendrá entre 22 y 25°C, pero las precipitaciones tendrán un descenso considerable, lo que incidirá en el incremento de las poblaciones de insectos. Una futura validación del modelo propuesto, en otras localidades, para este y otros cultivares, permitirá contar con una herramienta para la predicción de la densidad larval de *S. frugiperda* en escenarios climáticos futuros en el cultivo del maíz.

**Palabras clave:** plaga, cambio climático, fluctuación poblacional, instar larval, cogollero del maíz.

**ABSTRACT:** With the objective of estimating the density of *Spodoptera frugiperda* J. E. (Smith) larvae in an experimental corn (*Zea mays* L.) area, a mathematical model that described the population-climate relationship was implemented. To develop the model, the data were taken from samplings carried out from day 28 after the crop emergence to harvest in an experimental area of 0.1 ha of the commercial corn cultivar "Francisco". The interior of the buds on 80 randomly selected plants was examined by traveling across the field in a zigzag pattern. In each sampling, the plants with *S. frugiperda* larvae were counted and the density found recorded. The curves of infestation percentage and average density of larvae were described. It was developed a linear regression model that estimated larval density based on days after emergence, average temperature, solar radiation, relative humidity, wind speed, and accumulated precipitation. It was estimated that in the town of Mayabeque, Cuba, in 2030, the average temperature will remain between 22 and 25 °C in the months of February, March and April, but rainfall will show a considerable decrease, which will influence the increase in insect populations. A validation of the proposed model in other locations, for this and other cultivars, will provide a tool for predicting the larval density of *S. frugiperda* in future climate scenarios.

**Key words:** pest, climate change, population fluctuation, larval instar, corn bollworm.

\*Autor para correspondencia: [ileanam@censa.edu.cu](mailto:ileanam@censa.edu.cu)

Recibido: 25/03/2025

Aceptado: 24/06/2025

**Declaración de conflicto de intereses:** Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

**Contribución de los autores:** Josefina V. Gómez Piñar: **Metodología, Investigación, Supervisión.** Yaisys Blanco Valdés: **Investigación, Visualización, Adquisición de fondos, Análisis formal.** Avline Duvelsaint: **Curación de datos.** Neisy Castillo Reyes: **Investigación, Análisis formal.** Ileana Miranda Cabrera: **Conceptualización, Análisis formal, Metodología, Escritura.**



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



## INTRODUCCIÓN

El cultivo del maíz (*Zea mays* L.) es el tercer cereal más cultivado en el mundo, después del trigo (*Triticum* spp.) y el arroz (*Oryza sativa* L.). Forma parte de un gran número de productos industriales como aceites, harinas y se emplea en la elaboración de distintas formulaciones alimenticias para consumo humano y animal (1). El contenido de nutrientes es 86 % de carbohidratos, 9 % de proteínas, 3 % de aceites y 2 % de fibras (2), constituyendo un importante producto en la dieta de la población.

La producción de este cultivo se ve afectada por más de 50 especies nocivas, entre las que se destaca el gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* J. E. (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) como la plaga principal, ya que el maíz es su hospedero preferencial (3).

Las larvas de este insecto pueden actuar como defoliadoras, cortadoras, barrenadoras y, también, pueden dañar la flor y la espiga. Si la larva llega a afectar el meristema apical la planta puede morir (4). Por la acción de *S. frugiperda* los rendimientos pueden llegar a reducirse hasta 0,8 t ha<sup>-1</sup> de maíz seco, lo que equivale al 40 % de la producción en las condiciones de Cuba. Las infestaciones más altas se presentan durante la etapa vegetativa, en la cual las larvas se alimentan del tejido foliar (5).

Por la alta capacidad de dispersión del insecto y la influencia de las larvas en la disminución del rendimiento, es importante estudiar el comportamiento de la plaga desde el estado larval para establecer medidas de manejo de manera oportuna (3) ya que, en la mayoría de las investigaciones, se trata al adulto, que resulta de más fácil captura y conteo (1, 5, 6).

Se realizaron diferentes estudios de ecología, evolución y manejo de *S. frugiperda* en los que se abordan aspectos importantes para su control (6). Sin embargo, se recomienda elaborar modelos para predecir las densidades de las poblaciones larvales en escenarios climáticos futuros, a fin de elaborar planes de adaptación que faciliten el manejo de la plaga (7).

Por ello, el presente trabajo tuvo como objetivo elaborar un modelo matemático para estimar la fluctuación poblacional de larvas de *S. frugiperda* en correspondencia con la variabilidad del clima, en la provincia Mayabeque.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló entre enero y abril del 2023, en áreas experimentales del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) de Cuba, ubicadas en los 22°59'40,79" de latitud Norte y 82°8'21,88" de longitud Oeste, a una altitud de 138 m.s.n.m. El área experimental fue de 0,1 ha (1000 m<sup>2</sup>) ubicada sobre un suelo Ferralítico Rojo Lixiviado típico Eutrítico, caracterizado por una fertilidad de media a alta (8). Se sembró el cultivar 'Francisco' procedente del Instituto Nacional de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt" (INIFAT). Este cultivar es empleado como referente nacional (9) por poseer rendimientos de harina integral y purificada superiores a otros cultivares (10). La siembra se realizó

de forma manual, con un arreglo espacial de 0,90 m entre surcos y 0,30 m entre plantas. La fertilización se realizó en el momento de siembra con nitrógeno (50 kg ha<sup>-1</sup>) y potasio (100 kg ha<sup>-1</sup>). Las labores culturales se realizaron según las recomendaciones contenidas en las normas técnicas del cultivo (11).

Para evaluar la fluctuación poblacional de *S. frugiperda* se realizó muestreo sistemático simple a partir de los 28 días después de la germinación hasta la cosecha, para un total de ocho muestreos (que se efectuaron a los 28, 34, 42, 49, 55, 63, 72 y 77 días después de la germinación). En cada muestreo se revisó en detalle el interior de los cogollos en 80 plantas seleccionadas al azar, recorriendo el campo en forma de zigzag.

El número de plantas con presencia de larvas de la plaga y la densidad encontrada se contabilizó y calculó el porcentaje de infestación por muestreo y el número de larvas promedio. Se describió la curva polinomial de comportamiento de la densidad larval, en función de los días después de la emergencia y la relación de la densidad poblacional promedio con las variables meteorológicas: temperatura media, radiación solar, humedad relativa media, velocidad del viento (tomadas como promedio de los valores siete días antes del muestreo) y las precipitaciones acumuladas en igual periodo. Se formuló un modelo lineal que relacionó la densidad larval con los días después de la germinación y la variabilidad del tiempo atmosférico. Para estos análisis, se empleó Microsoft Excel 2016 y el paquete estadístico InfoStat versión 2020 (12).

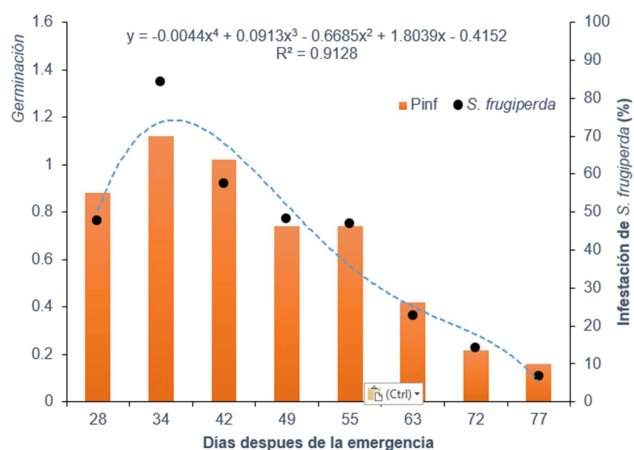
Finalmente, se analizó la variabilidad climática estimada para el 2030 en Mayabeque, según modelos de pronóstico para escenario climático probable RCP 4.5 ofrecidos por el Instituto de Meteorología (13) y se estimó la posible repercusión en la densidad de larvas de *S. frugiperda*.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La mayor densidad de larvas y porcentaje de infestación ocurrió a los 34 días posteriores de la germinación, con una declinación después de los 42 días. No obstante, las larvas estuvieron presentes en todos los muestreos. Este resultado coincide con autores que refieren que todos los instares larvales están presentes durante todo el ciclo del cultivo (14).

Investigaciones sobre el comportamiento de la densidad de diferentes instares de *S. frugiperda*, en correspondencia con la fenología del cultivo, informaron que estas curvas pueden ser descritas por polinomios de grado 3 o superior (15). Para los datos obtenidos, un modelo polinomial de grado 4 permitió describir el comportamiento de la densidad de larvas (Fig. 1).

Las etapas fenológicas del maíz que, principalmente, determinan la disponibilidad de alimento para las larvas de *S. frugiperda* son germinación, crecimiento vegetativo y floración. Durante las etapas iniciales, cuando las plantas están en crecimiento vegetativo, las larvas pueden tener acceso a hojas tiernas y nutritivas, lo que puede favorecer su crecimiento y desarrollo (16). De ahí que, pasado los 42 días después de la germinación, la población de larvas tienda a decrecer, a medida que el cultivo pasa de una fase fenológica a otra.



**Fig. 1.** Fluctuación de la densidad promedio y el porcentaje de infestación de larvas de *S. frugiperda* en un área experimental de maíz cultivar 'Francisco' en Mayabeque, Cuba. Periodo enero-abril del 2023 / Fluctuation of the average density and percentage of infestation of *S. frugiperda* larvae in an experimental area of the corn cultivar 'Francisco' in Mayabeque, Cuba. Period January - April 2023.

Por otra parte, a medida que el maíz avanza en su ciclo fenológico, las plantas pueden desarrollar mecanismos de defensa, como la producción de compuestos químicos que repelen a los herbívoros. Esto puede afectar negativamente el desarrollo de las larvas, reduciendo su tasa de crecimiento y supervivencia (17).

Las condiciones ambientales continúan siendo uno de los factores más importantes pues no solo influyen en el incremento o decremento de las poblaciones sino que, a su vez, pueden regular la fenología del cultivo. El desarrollo del cultivo está influenciado por factores climáticos como temperatura, humedad y precipitación. Estos factores pueden afectar tanto el crecimiento del maíz como la biología de *S. frugiperda*. Por ejemplo, temperaturas entre 24 y 27°C son consideradas óptimas pues favorecen el desarrollo de la plaga, aumentando su tasa de reproducción y crecimiento (18). Además, la fenología del maíz también puede influir en la presencia de enemigos naturales de *S. frugiperda*, como parasitoides y depredadores, que pueden variar en abundancia según la etapa del cultivo. Durante el periodo de floración hay mayor presencia de enemigos naturales, ya que el cultivo tiene propiedades que los atrae para complementar su nutrición y favorecer la reproducción. Esto puede tener un efecto significativo en la población de larvas, ya que una mayor presencia de enemigos naturales puede reducir la infestación (19).

Se señaló la existencia de una relación polinomial entre la densidad larval de *S. frugiperda* y la temperatura media (20). Modelos matemáticos de ecuaciones diferenciales, donde interviene el desarrollo del insecto y de la planta, pueden ofrecer mejor predicción de las densidades (21, 22). En este sentido, es importante señalar que esta investigación está dirigida a estimar las implicaciones que el cambio climático puede tener sobre las poblaciones del cogollero del maíz. Sin embargo, incluir en los modelos otros factores del agroecosistema pueden ayudar a entender mejor los mecanismos del insecto.

El modelo donde intervienen las variables meteorológicas resultó:

$$Y = 26,74 - 0,03DDE + 0,01RSolar - 0,77Tmed - 0,04HrMed - 1,28VV + 0,04PP$$

Donde:

Y- Densidad promedio de larvas de *S. frugiperda*

DDE- Días después de la germinación

RSolar- Radiación solar promedio de siete días antes del muestreo

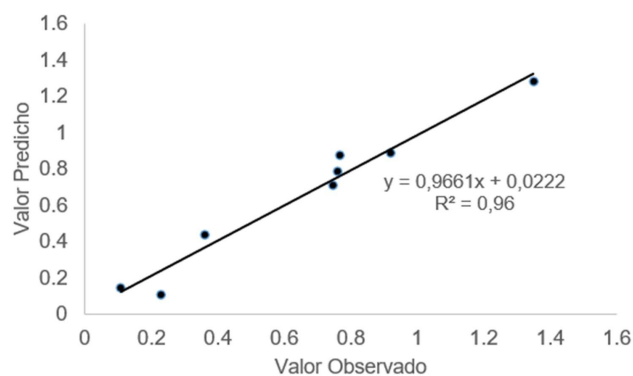
Tmed- Temperatura media promedio de siete días antes del muestreo

HrMed- Humedad relativa media promedio de siete días antes del muestreo

VV- Velocidad del viento promedio de siete días antes del muestreo

PP- Precipitación acumulada de siete días antes del muestreo

El coeficiente de determinación resultó 0,96, con cuadrado medio del error 2,78 indicando la adecuada estimación de los valores observados (Fig. 2).

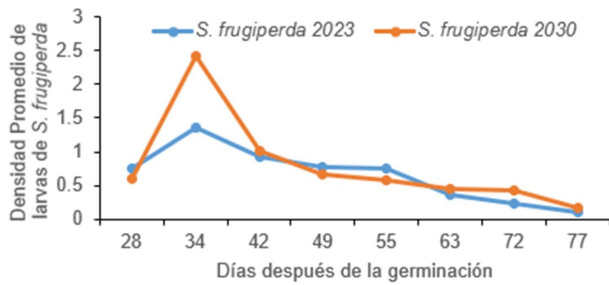


**Fig. 2.** Relación lineal entre valores observados y predichos según modelo Población - días después de la germinación y Clima, desarrollado con datos provenientes de un área experimental de maíz cultivar 'Francisco' en Mayabeque, Cuba. Periodo enero - abril del 2023 / Linear relationship between observed and predicted values according to the model Population- days after emergence and Climate developed with data from an experimental area of the corn cultivar 'Francisco' in Mayabeque, Cuba. Period January -April 2023.

Aun cuando el modelo que se obtuvo debe ser validado con datos de próximas campañas, se estimó que según la variabilidad climática esperada para el 2030 (modelo de pronóstico de clima para escenario PRCP 4.5) (13), el punto máximo de la densidad de larvas de *S. frugiperda* ocurrirá en igual momento y presentará valor superior al que presentó en 2023 (Fig. 3). Este resultado debe seguirse de cerca ya que, si se alcanza el umbral, el cultivo tendrá bajos rendimientos.

Implementar modelos de relación plaga - variabilidad del clima permite establecer momentos claves para la toma de medidas de adaptación (23).

Estos resultados coinciden con estudios meta-analíticos que refieren que, con el aumento de temperatura superior a 20°C, varios indicadores fisiológicos del gusano cogollero son significativamente mejorados.

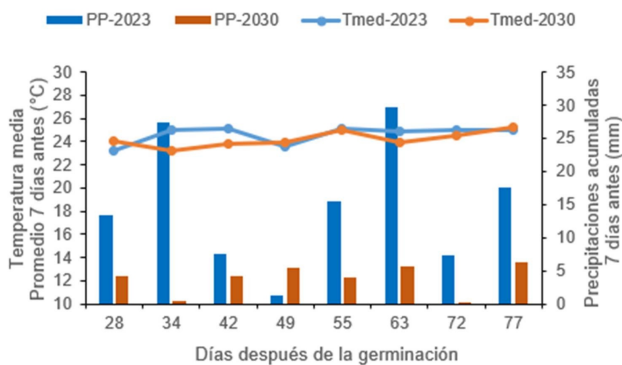


**Fig. 3.** Estimación para el 2030 de la densidad promedio de larvas de *S. frugiperda* en un área experimental de maíz en Mayabeque, Cuba / Estimation for 2030 of the average larval density of *S. frugiperda* in an experimental corn area in Mayabeque, Cuba.

Cuando la temperatura alcanza los 32°C, las actividades fisiológicas de *S. frugiperda* están al máximo. A medida que aumenta la temperatura, la duración de cada etapa de desarrollo del gusano cogollero disminuye significativamente, acompañado de un aumento en la cantidad y el período de oviposición. Además, el tiempo de desarrollo pupal se acorta, lo que conduce a un aumento en la esperanza de vida de la polilla adulta (24).

Conocer el clima en escenarios climáticos futuros puede avizorar sobre la ocurrencia de proliferación de plagas insectiles dependientes de los cambios ambientales (7). El desarrollo de las poblaciones de insectos ectotermos dependerá, mayoritariamente, de la variabilidad de las temperaturas en combinación con factores como la humedad relativa y las precipitaciones. Por ejemplo, las poblaciones de *S. frugiperda* en Corea se verán favorecidas con temperaturas en el rango 28 - 32°C (25).

En investigaciones precedentes se determinó como umbral mínimo y máximo para el desarrollo de *S. frugiperda* temperaturas de 8,7 y 39,8°C, respectivamente (26). Por lo cual, el escenario climático 2030 será favorable al desarrollo del insecto. Las temperaturas se mantendrán en un rango óptimo y las precipitaciones disminuirán considerablemente, condición favorable para el incremento de las poblaciones insectiles (Fig. 4).



**Fig. 4.** Estimación de temperatura media y precipitaciones en el escenario climático 2030 en contraste con lo ocurrido en el 2023 para Mayabeque, Cuba / Estimate of average temperature and rainfall in 2030 climate scenario in comparison with 2023 for Mayabeque, Cuba.

Se demostró que la temperatura ambiente puede afectar el desarrollo larvario de la especie económicamente importante *S. frugiperda* y el modelado es esencial para la toma

de decisiones, lo que coincide con lo señalado en otras investigaciones (27).

En trabajos futuros, utilizando variables ambientales, se pueden estimar las condiciones óptimas de supervivencia para cada estado de insecto del gusano cogollero. Estos hallazgos pueden ayudar a predecir la dinámica poblacional del gusano cogollero y a formular estrategias de gestión apropiadas. Estas investigaciones están alcanzando una mayor relevancia dado que se conoce de la resistencia a insecticidas que ha ido adquiriendo *S. frugiperda* (28).

## REFERENCIAS

1. Silva C L, Cote S P, Barón JA. Importancia del maíz en el turismo gastronómico en cuatro municipios de Cundinamarca, Colombia. *Equidad y Desarrollo*. 2022; 40:169-190. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=95776116007>
2. Urbina-Briceño C, Vargas-Rojas JC, Vega-Villalobos E, Alvarado-Hernández A, Cabalceta-Aguilar G, Garbanzo-León G. Productividad de maíz (diamantes 8843) bajo diferentes densidades de siembra y dosis de potasio. *Agronomía Costarricense*. 2023; 47(1): 123-134.
3. Overton K, Maino JL, Day R, Umina PA, Bett B, Carnovale D, et al. Global crop impacts, yield losses and action thresholds for fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*): A review. *Crop Protection*. 2021; 145. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105641>
4. Jaramillo-Barrios C I, Varón-Devia E H, Monje-Andrade B. Economic injury level and action thresholds for *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in maize crops. *Rev. Fac. Nac. Agron.* 2020; 73(1): 9065-9076.
5. García DMB, Arreguin EL, Patiño ER, Ortiz F C. Efecto de variedades de maíz en el desarrollo del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* Smith). *Revista Tecnológica CEA*. 2021; 6(15): 262 - 270.
6. Tek W, Meagher RL, Czapak C, Groot AT. *Spodoptera frugiperda*: Ecology, Evolution, and Management. *Options of an Invasive Species. Annual Review Entomology*. 2023; 68:299-317.
7. Phillis C, Han Y, Davies N, Kean J. Comparison of models for estimating the year-round range of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera:Noctuidae) and predictions for New Zealand under current and future climates. *Research Square*. 2024; 1:1-40. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4018821/v1>
8. González-Robaina F, Toledo-Pérez LB, Cisneros-Zayas E, Duarte-Díaz C, Chaterlán - Durruthy Y. Estimación del rendimiento de maíz sembrado en suelo Ferráltico Rojo para el escenario climático SSP1-2.6. *Ingeniería Agrícola*. 2024; 14(2):1-10. <https://cu-id.com/2284/v14n2e01>
9. Fernández L, Crossa J, Fundora Z, Gálvez G. Caracterización de razas cubanas de maíz (*Zea mays* L.) mediante marcadores agromorfológicos en la colección nacional del cultivo. *Cultivos Tropicales*. 2009; 30(4):62-70.
10. Ochoa M, Hernández W, Rosas B, Carrasco M. Evaluación de variedades de maíz cubano. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 2009; 19(2):63-68.

11. Ministerio de la Agricultura (MINAG). Guía Técnica para la producción del cultivo del maíz (*Zea mays* L) en Cuba. 2000. Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”. Quivicán, La Habana, Cuba. 20 p. ISBN: 959-7111-11-X.
12. Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, Gonzalez L, Tablada M, Robledo CW. InfoStat. 2020; Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
13. Martínez-Álvarez M, Bezanilla-Morlot A, Centella-Artola A, Vichot-Llano A. Proyección de extremos climáticos futuros en Cuba bajo escenarios de geoingeniería. Revista Cubana de Meteorología. 2022; 28(2):1-13.
14. He Y, Wang K, Du G, Zhang Q, Li B, Zhao L, He P, Chen B. Temporal and spatial distribution patterns of *Spodoptera frugiperda* fields in China. Insects. 2022; 13: 938. <https://doi.org/10.3390/insects13100938>
15. Braky MMS, Abdel-Baky NF. Population density of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) and its response to some ecological phenomena in maize crop. Brazilian Journal of Biology. 2023; 83: e271354 <https://doi.org/10.1590/1519-6984.271354>
16. Omoregie ME, Enobakhare DA, Omoregie AO. Population dynamics of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* JE Smith (Lepidoptera: Noctuidae) on early and late season maize. Animal Research International. 2023; 20(1): 4734-4740.
17. Chen YC, Chen DF, Yang MF, Liu JF. The Effect of temperatures and hosts on the life cycle of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). Insects. 2022; 13: 211-218. <https://doi.org/10.3390/insects13020211>
18. Person K, Cheremond E, Brandvain Y, Van-Tassel D, Murrell. Weight Gain of *Spodoptera frugiperda* larvae (Lepidoptera: Noctuidae) on leaf and floral tissues of *Silphium integrifolium* (Asterales: Asteraceae) differs by plant genotype. Environmental Entomology. 2022; 51(2): 397- 404. <https://doi.org/10.1093/ee/nvab146>
19. Abbas A, Ullah F, Hafeez M, Han X, Dara MZN, Gul H, et al. Biological control of Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda*. Agronomy 2022; 12(11):2704. <https://doi.org/10.3390/agronomy12112704>
20. Salas-Araiza MD, Martínez-Jaime OA, Guzmán-Mendoza R, González-Márquez MA, Ávila-López A. Fluctuación poblacional de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) y *Spodoptera exigua* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae) mediante el uso de feromonas en Irapuato, Gto, Mex. Entomología Agrícola. 2018; 5: 368–374
21. Daudi S, Luboobi L, Kgosimore M, Kuznetsov D. Modelling the control of the impact of Fall Armyworm (*Spodoptera frugiperda*) infestations on maize production. International Journal of Differential Equations. 2021; 8838089:1-16. <https://doi.org/10.1155/2021/8838089>
22. Gatwiri M B, Ronoh M, Ngari C, Gitonga K, Dominic M. Mathematical modelling of host-pest interaction in the presence of insecticides and resistance: A case of Fall Armyworm. Journal of Mathematics. 2024; 2886786:1-23. <https://doi.org/10.1155/2024/2886786>
23. Sumila TCA, Ferraz SET, Durigon A. Climate change impact on *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) life cycle in Mozambique. PLOS Clim. 2024; 3(1): 1-25. <https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000325>
24. Fu C, Liu Z, Xu D, Peng Y, Liu B, Zhuo Z. Effects of Global Climate Warming on the biological characteristics of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). Insects. 2024; 15(689):1-16. <https://doi.org/10.3390/insects15090689>
25. Lee S, Park Y, Hwang C, Park A, Lee S, Kim J. Prediction of growth characteristics and migration period of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) according to temperature. Insects. 2022; 13(897):1-11. <https://doi.org/10.3390/insects13100897>
26. Valdez-Torres J B, Soto-Landeros F, Osuna-Enciso T, Báez-Sañudo A. Modelo de predicción fenológica para maíz blanco (*Zea mays* L.) y gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* J. E. Smith). Agrociencia. 2012; 46:399-410.
27. Gergs A, Baden C.U. A. Dynamic energy budget approach for the prediction of development times and variability in *Spodoptera frugiperda* rearing. Insects. 2021; 12(300):1-9. <https://doi.org/10.3390/insects12040300>
28. Paredes-Sánchez FA, Rivera G, Bocanegra-García V, Martínez-Padrón H Y, Berrones-Morales M, Niño-García N, et al. Advances in control strategies against *Spodoptera frugiperda*. A Review. Molecules. 2021; 26(5587):1-19. <https://doi.org/10.3390/molecules26185587>