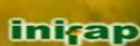


Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

**10° CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN EN
CIENCIAS BÁSICAS Y AGRONÓMICAS**

División de Ciencias Económico Administrativas -
Universidad Autónoma Chapingo

21 y 22 de octubre de 2021



**Décimo Congreso
Internacional de
Investigación en Ciencias
Básicas y Agronómicas**

21 y 22 de octubre de 2021

**MESA 1 MATEMÁTICAS Y
FÍSICA**

MESA 1. MATEMÁTICAS Y FÍSICA

ÍNDICE

1	Modelo Dinámico Depredador-Presa para Franklinothrips y Scirtothrips en aguacate: Simulación y Análisis de Sensibilidad. Irineo Lorenzo López Cruz, Elisa Durán Peralta, Raquel Salazar Moreno, Efren Fitz Rodríguez.	4
2	Simulación numérica de la turbulencia para analizar transferencia de temperatura en un muro verde Jorge Flores Velazquez, Abraham Rojano, Cruz Ernesto Aguilar-Rodríguez.	21
3	Comparación de dos Modelos de Redes Neuronales para la Predicción de PM 2.5 Raquel Salazar-Moreno.	34
4	Aplicación de redes neuronales artificiales en la medición de las dimensiones del bulbo húmedo en riego por goteo superficial Irourí Cristóbal-Muñoz, Jorge Víctor Prado-Hernández, Raquel Salazar-Moreno y Antonio Martínez-Ruiz.	50
5	Efectos de la Información, Estabilidad y Dinámica Compleja en Modelos Económicos Daniel Sepúlveda Jiménez; Jesús Loera Martínez; Daniel Eduardo Sepúlveda Robles.	63
6	Variabilidad, Perfil de Distribución del Rendimiento y sus Componentes en Frijol Comba (Phaseolus lunatus L.) Bajo Invernadero. José Alberto Salvador Escalante Estrada, Yolanda Isabel Escalante Estrada.	82
7	Comparación de Tres Métodos de Determinación de Tensiones en Recipientes de Paredes Delgadas. María Victoria Gómez Águila., Luis Tonatiuh Castellanos Serrano;	

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

	Josué Vicente Cervantes Bazán; Luis Arturo Soriano Avendaño.	91
8	Diseño de un implemento para retirar acolchados de polietileno en cultivos de fresa. María Victoria Gómez-Águila, Luis Arturo Soriano Avendaño; Josué Vicente Cervantes Bazán; Luis Tonatiuh Castellanos Serrano.	107
9	Bases de datos hidrológicos en México Abrahan Rojano Aguilar, Jorge Flores Velazquez.	121
10	Evaluación de ecuación de régimen permanente para el diseño de drenes subterráneos parcelarios Ángel Hernández Facundo y Jorge Víctor Prado Hernández	129
11	Metodología de Ingeniería de Software de un sistema de Mini-PFAL (Plant Factory with Artificial Lighting) con interconectividad IoT Luis Tonatiuh Castellanos Serrano, María Victoria Gómez Águila, Luis Arturo Soriano Avendaño, Fernando Salinas Paniagua, Josué Vicente Cervantes Bazán, José Alfredo Castellanos Suárez.	142
12	Economía Moral y Cuarta Transformación: Falacias De Alta Rentabilidad Política. Jesús Loera Martínez, Daniel Sepúlveda Jiménez y Fátima Andrea Pedro Juárez.	160
13	El Cultivo De Pitahaya (Hylocereus spp.), Una Alternativa Rentable Para El Campo Poblano. Jesús Loera Martínez, Fátima Andrea Pedro Juárez y Daniel Sepúlveda Jiménez.	178
14	Impacto Ambiental en las Comunidades de Estudiantes de Propedéutico, UACH. México. Martha Castillo Beltrán.	195

Modelo Dinámico Depredador-Presa para *Franklinothrips* y *Scirtothrips* en aguacate: Simulación y Análisis de Sensibilidad

Irineo Lorenzo López Cruz¹, Elisa Durán Peralta², Raquel Salazar Moreno³, Efrén Fitz Rodríguez⁴

¹ PhD., Laboratorio de Ingeniería en Biosistemas, Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, UACH, Chapingo, México. E-mail: ilopez@correo.chapingo.mx

² E-mail: duranely5@gmail.com

³ PhD., Laboratorio de Ingeniería en Biosistemas, Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, UACH, Chapingo, México. E-mail: rsalazarm@chapingo.mx

⁴ PhD., Laboratorio de Ingeniería en Biosistemas, Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, UACH, Chapingo, México. E-mail: efitzr@chapingo.mx

Mesa: 1 Matemáticas y Física

Resumen

Los frutos de aguacate (*Persea americana* Mill.) tienen una gran demanda y México es el primer productor, consumidor y exportador, mundialmente. El cultivo de aguacate presenta varias plagas como los trips, siendo las especies fitófagas *Scirtothrips perseae*, *S. aguacatae*, *Frankliniella* spp., *Heliothrips haemorrhoidalis* y *Pseudophilothrips perseae* las más relevantes económicamente. El objetivo de la presente investigación fue desarrollar un modelo matemático dinámico depredador-presa para las poblaciones de *Franklinothrips-Scirtothrips*. Trece ecuaciones diferenciales ordinarias (EDOs) de primer orden no-lineales, predicen el comportamiento de la población presa en sus estados de desarrollo huevecillos, dos estados larvarios, prepupa, pupa, adultos no apareados y adultos apareados; distinguiendo entre machos y hembras en todos los estados menos para huevecillos. Seis EDOs representan el comportamiento de la población del depredador en sus estados de desarrollo huevecillos, dos estados larvarios, pupa, adultos no apareados y adultos apareados sin distinguir entre machos y hembras. El modelo fue programado en los ambientes de simulación FORTRAN Simulation Translator (FST) y MATLAB. Las variables de entrada son las temperaturas máximas y mínimas diarias. El modelo fue resuelto mediante un método de integración numérica tipo Runge-Kutta de cuarto orden con tamaño de paso de integración variable. Se analizó el efecto de los parámetros del modelo con un análisis de sensibilidad basado en simulación. Las simulaciones mostraron que el crecimiento de la población de *Scirtothrips*, es controlada por la población de *Franklinothrips*. Por tanto, después de calibrar y evaluar este modelo puede ser la base para desarrollar estrategias de control biológico de poblaciones de trips en aguacate.

Palabras clave: Ecuaciones diferenciales, Modelo poblacional, Control biológico, FST.

Abstract

Fruits of avocado trees (*Persea americana* Mill.) have a large demand and Mexico is the first producer, consumer, and exporter across the world. However, there are several insect pests such as *Frankliniella* spp., *Heliothrips* spp., *Scirtothrips* spp. and *Pseudophilothrips* spp that may affect fruits quality. The aim of current research was the development and analysis of a dynamic mathematical model predator-prey for *Franklinothrips-Scirtothrips*

populations. Thirteen first order no-lineal ordinary differential equations (ODEs) predict the behavior of prey population for its development stages eggs, first and second instar larvae, prepupae, pupae, unmated adults, and mated adults. The model makes a distinction between males and females for all development stages but eggs. Six ODEs forecast the dynamics of predator population divided in the development stages eggs, first and second instar larvae, pupa, unmated adults, and mated adults, without distinction between males and females. The mathematical model was programmed in the simulation environments FORTRAN Simulation Translator (FST) and MATLAB. The input variables are maximum and minimum daily air temperature. The computational model was solved numerically by a fourth-order Runge-Kutta type integration method with a variable-size integration size. The effect of model parameters was analyzed by a sensitivity analysis based on simulations. Simulation results showed that the *Scirtothrips* population growth is indeed controlled by the *Frankliniothrips* population. Therefore, after calibration and evaluation of this model it could be the basis for devising biological control strategies of thrips populations in avocado trees.

Keywords: Ordinary differential equations, Population model, Biological Control, FST

Introducción

México es el primer productor mundial de aguacate (*Persea americana* Mill.), con mas de 2 millones de toneladas anuales y primer exportador (SIAP, 2019). Los trips (*Scirtothrips perseae* y *S. aguacatae*) son una plaga relevante en el cultivo del aguacate, ya que provoca disminución de la calidad comercial de los frutos pues adultos y larvas se alimentan de los frutos tiernos. Los trips se alimentan de hojas suculentas donde también depositan sus huevecillos. Se mueven a los frutos jóvenes cuando las hojas se endurecen. Y provocan el mayor daño en los frutos cuando estos tienen un tamaño de 5 a 15 mm. Tienen seis o más generaciones por año (University of California, 2008). Predecir la dinámica de una población de trips es importante para poder implementar una estrategia de control eficiente (Sosa-Calix, 2021; López-Cruz, et al., 2021). Los modelos dinámicos que usan ecuaciones diferenciales se aplican tanto para conocer la dinámica de las poblaciones de insectos (Maino, et al., 2015; Kuang, 2017), como para generar estrategias de control integrado de plagas (Anguelov, et al., 2017). Dado que los trips, que atacan el cultivo de aguacate tienen varios depredadores naturales como *Frankliniothrips vespiformis* y *Leptothrips mcconelli*, es posible desarrollar estrategias de control biológico, si se genera un modelo adecuado del sistema depredador-presa. El objetivo de la presente investigación fue generar un modelo dinámico depredador-presa para las poblaciones de *Frankliniothrips-Scirtothrips* para el cultivo de aguacate y estudiar su comportamiento mediante un análisis de sensibilidad basado en simulaciones.

Materiales y Métodos

Estructura del modelo

Aplicando la ecuación (1) para un modelo poblacional en estado no estacionario (de Ross, 2019) se generaron las Ecuaciones Diferenciales Ordinarias (EDOs) no lineales para las poblaciones de trips *Scirtothrips* y su depredador *Franklinothrips*.

$$\frac{dN(t)}{dt} = B(N) - D(N) + I(N) - E(N) \quad (1)$$

Donde $N(t)$ es la cantidad de individuos en la población, $B(N)$ es la tasa de nacimientos, $I(N)$ es la tasa de inmigración y $E(N)$ representa la tasa de emigración. La ecuación (1) se aplicó para diferentes estados de desarrollo de ambas poblaciones de insectos. La estructura de la población de la presa incluye los estados de desarrollo huevecillos (x_1), sin distinguir entre hembras y machos, estado larvario 1 machos (x_2), estado larvario 1 hembras (x_8), estado larvario 2 machos (x_3), estado larvario 2 hembras (x_9), prepupa de machos (x_4), prepupa de hembras (x_{10}), pupas machos (x_5), pupas hembras (x_{11}), adultos no apareados machos (x_6), adultos no apareados hembras (x_{12}), adultos apareados machos (x_7) y adultos apareados hembras (x_{14}). La estructura de la población del depredador considera los estados de desarrollo huevecillos (x_{14}), estado larvario 1 (x_{15}), estado larvario 2 (x_{16}), pupa (x_{17}), adultos no apareados (x_{18}) y adultos apareados (x_{19}), sin considerar la cantidad de hembras y machos.

Aunque es posible generar interacciones más complejas y altamente no lineales entre el depredador y la presa, como las reportadas por Thornley y France (2007), para mantener el modelo relativamente simple aunque no lineal, se usó un modelo clásico tipo Lotka-Volterra (Boyce y DiPrima, 2005; Wallach et al., 2019):

$$\frac{dx}{dt} = \alpha x - \beta xy \quad (2)$$

$$\frac{dy}{dt} = \delta xy - \gamma y \quad (3)$$

para generar las ecuaciones del modelo completo depredador-presa, dado por las EDOs (4)-(22):

$$\frac{dx_1}{dt} = f_{TasaOPpresa}(T)x_{13} - TD_{huevecillos}x_1 - TMR_{huevecillos}x_1 \quad (4)$$

$$\frac{dx_2}{dt} = (1 - PropSex)TD_{huevecillos}x_1 - TD_{ML1}x_2 - TMR_{ML1}x_2 - k_1x_2x_{18} - k_2x_2x_{19} \quad (5)$$

$$\frac{dx_3}{dt} = TD_{ML1}x_2 - TD_{ML2}x_3 - TMR_{ML2}x_3 - k_3x_3x_{18} - k_4x_3x_{19} \quad (6)$$

$$\frac{dx_4}{dt} = TD_{ML2}x_3 - TD_{MPP}x_4 - TMR_{MPP}x_4 \quad (7)$$

$$\frac{dx_5}{dt} = TD_{MPP}x_4 - TD_{MPUPA}x_5 - TMR_{MPUPA}x_5 \quad (8)$$

$$\frac{dx_6}{dt} = TD_{MPUPA}x_5 - TD_{MANA}x_6 - TMR_{MANA}x_6 - k_5x_6x_{18} - k_6x_6x_{19} \quad (9)$$

$$\frac{dx_7}{dt} = TD_{MANA}x_6 - TD_{MAA}x_7 - TMR_{MAA}x_7 - k_7x_7x_{18} - k_8x_7x_{19} \quad (10)$$

$$\frac{dx_8}{dt} = PropSex(TD_{huevecillos})x_1 - TD_{HL1}x_8 - TMR_{HL1}x_8 - k_1x_8x_{18} - k_2x_8x_{19} \quad (11)$$

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

$$\frac{dx_9}{dt} = TD_{HL1}x_8 - TD_{HL2}x_9 - TMR_{HL2}x_9 - k_3x_9x_{18} - k_4x_9x_{19}$$

(12)

$$\frac{dx_{10}}{dt} = TD_{HL2}x_9 - TD_{HPP}x_{10} - TMR_{HPP}x_{10}$$

(13)

$$\frac{dx_{11}}{dt} = TD_{HPP}x_{10} - TD_{HPUPA}x_{11} - TMR_{HPUPA}x_{11}$$

(14)

$$\frac{dx_{12}}{dt} = TD_{HPUPA}x_{11} - TD_{HANA}x_{12} - TMR_{HANA}x_{12} - k_5x_{12}x_{18} - k_6x_{12}x_{19}$$

(15)

$$\frac{dx_{13}}{dt} = TD_{HANA}x_{12} - TD_{HAA}x_{13} - TMR_{HAA}x_{13} - k_7x_{13}x_{18} - k_8x_{13}x_{19}$$

(16)

$$\frac{dx_{14}}{dt} = f_{TasaOPdepredador}(T)x_{19} - TD_{huevecillosDep}x_{14} - TMR_{huevecillosDep}x_{14}$$

(17)

$$\frac{dx_{15}}{dt} = TD_{huevecillosDep}x_{14} - TD_{DL1}x_{15} - TMR_{DL1}x_{15}$$

(18)

$$\frac{dx_{16}}{dt} = TD_{DL1}x_{15} - TD_{DL2}x_{16} - TMR_{DL2}x_{16}$$

(19)

$$\frac{dx_{17}}{dt} = TD_{DL2}x_{16} - TD_{DPUPA}x_{17} - TMR_{DPUPA}x_{17}$$

(20)

$$\frac{dx_{18}}{dt} = TD_{DPUPA}x_{17} - TD_{DANA}x_{18} - TMR_{DANA}x_{18} + c_1x_2x_{18} + c_3x_3x_{18} + c_5x_6x_{18} + c_7x_7x_{18} + c_1x_8x_{18} + c_3x_9x_{18} + c_5x_{12}x_{18} + c_7x_{13}x_{18}$$

(21)

$$\frac{dx_{19}}{dt} = TD_{DANA}x_{18} - TD_{DAA}x_{19} - TMR_{DAA}x_{19} + c_2x_2x_{19} + c_4x_3x_{19} + c_6x_6x_{19} + c_8x_7x_{19} + c_2x_8x_{19} + c_4x_9x_{19} + c_6x_{12}x_{19} + c_8x_{13}x_{19}$$

(22)

Donde las tasas de desarrollo (TD) para cada estado de desarrollo de la población presa fueron obtenidas de las tablas de vida de *Scirtothrips perseae* (Thysanoptera: Thripidae) reportadas por Hoddle (2002). Las tasas de desarrollo, para cada estado de desarrollo de la población depredador, fueron obtenidas de las tablas de vida de *Frankliniothrips* n. sp. (Thysanoptera: Aelothripidae) reportadas por Hoddle et al (2000). Las tasas de desarrollo se calcularon como el inverso del tiempo de residencia (días) de cada estado de desarrollo. Las tasas de mortalidad relativa (TMR) y las tasas de oviposición (TOP) para ambas poblaciones también fueron obtenidas de las tablas de vida mencionadas. $f_{TasaOPpresa}(T)$ y $f_{TasaOPdepredador}(T)$ son funciones que dependen de la temperatura y que proporcionan las tasas de oviposición de la población de las presas y población de depredadores, respectivamente. $PropSex$ es la proporción de hembras y machos en la población dependiente de la temperatura. $k_1, \dots, k_8$ son parámetros en las EDOs de la población de presas y $c_1, \dots, c_8$ son parámetros en las EDOs de la población de depredadores. Las variables de entrada del modelo son las temperaturas máximas (T_{max}) y mínimas diarias (T_{min}). A partir de estas, se calcula la dinámica diaria de la temperatura (T, °C) que es

usada por el modelo para calcular las tasas de desarrollo, y tasas de oviposición y tasas de mortalidad. La temperatura es calculada mediante la ecuación:

$$T = \frac{1}{2}(T_{max} + T_{min}) + \frac{1}{2}(T_{max} - T_{min})(-\cos(2\pi t))$$

(23)

Simulación

El modelo matemático (ecuaciones 4-22) fue programado en los ambientes de simulación FORTRAN Simulation Translator (FST) y MATLAB. Esto con la finalidad de verificar que el modelo computacional fuera correcto. Las condiciones iniciales fueron cierta cantidad de huevecillos en ambas poblaciones (por ejemplo 1120 presas y 517 depredadores) y cero individuos para los otros estados de desarrollo. Las variables de entrada del modelo se muestran en la figura 1. Las temperaturas máximas y mínimas diarias fueron colectadas en una huerta de aguacate en el estado de Michoacán durante el año 2020. El modelo fue resuelto mediante un método de integración numérico tipo Runge-Kutta de cuarto orden con tamaño de paso de integración variable. Los valores de los parámetros del modelo fueron: $k_1 = 0.01$, $k_2 = 0.01$, $k_3 = 0.02$, $k_4 = 0.03$, $k_5 = 0.01$, $k_6 = 0.01$, $k_7 = 0.02$, $k_8 = 0.03$, $c_1 = 0.001$, $c_2 = 0.001$, $c_3 = 0.002$, $c_4 = 0.003$, $c_5 = 0.001$, $c_6 = 0.001$, $c_7 = 0.002$, $c_8 = 0.003$. Estos valores fueron determinados buscando que el control de la población de presas por la población de los depredadores fuera posible, es decir, que la cantidad de individuos de la plaga (*Scirtothrips*) se redujera a cero. Para conocer el efecto de cambiar los valores de los parámetros del modelo sobre las variables de estado, se llevó a cabo un análisis de sensibilidad basado en simulaciones. Esto es particularmente fácil de llevarse a cabo en FST ya que este ambiente proporciona un comando especial para llevar a cabo esta tarea.

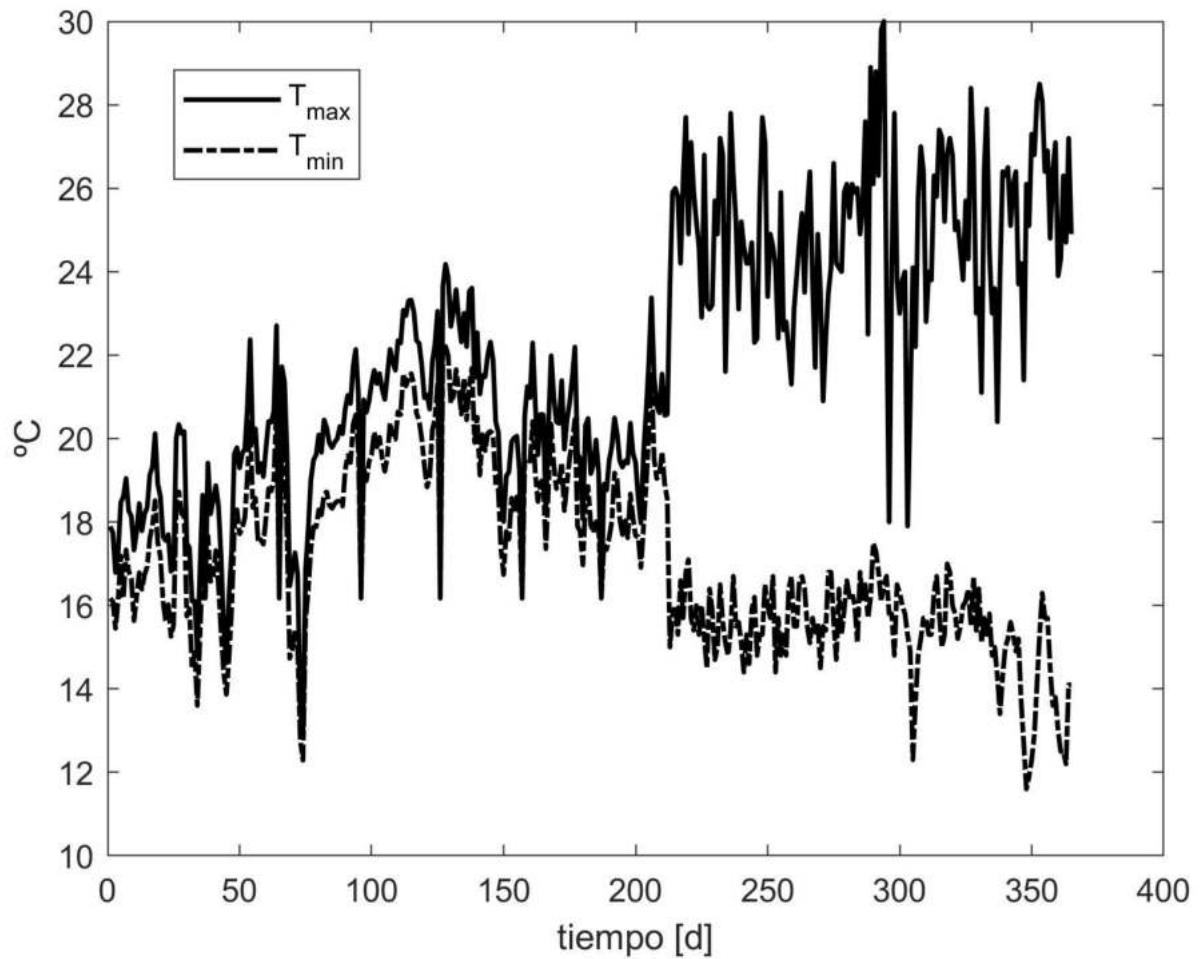


Figura 1. Temperaturas máximas y mínimas diarias, recolectadas en una huerta de aguacate localizada en Michoacán, México

Análisis de sensibilidad

Un análisis de sensibilidad exploratorio se puede llevar a cabo mediante simulación. El ambiente FST cuenta con el comando SENSITIVITY, el cual permite analizar el comportamiento de las variables de estado cuando se cambian valores de un parámetro o alguna condición inicial del modelo. Esto se lleva a cabo especificando el nombre del parámetro, su límite inferior (L_{inf}), su límite superior (L_{sup}) y el número de simulaciones deseadas (N). Entonces el intervalo $L_{sup} - L_{inf}$ es dividido entre el número de simulaciones deseadas para calcular los valores del parámetro que serán evaluados. Se generan así N simulaciones que muestran si las predicciones del modelo cambian o no dependiendo de los diferentes valores usados para el parámetro considerado. Esto se puede repetir para todos los parámetros del modelo. Para simplificar el análisis se consideró el mismo intervalo para todos los parámetros con los límites $L_{inf} = 0.001$, $L_{sup} = 0.1$ y $N = 20$. También tomando en cuenta que $k_5 = k_1$, $k_6 = k_2$, $k_7 = k_3$, $k_8 = k_4$ y que $c_5 = c_1$, $c_6 = c_2$,

$c_7 = c_3$, $c_8 = c_4$, entonces solo se analizaron ocho en vez de diez y seis, parámetros. Esto requirió 160 simulaciones del modelo.

Resultados

Simulaciones

El modelo depredador-presa predice que las poblaciones de huevecillos (Figura 2a, estado larvario 1 (Figura 2b), estado larvario 2 (Figura 2c) y pupas (Figura 3a) de *Scirtothrips* son reducidas a cero después de 80 días. En el caso de los estados larvarios y pupa, las poblaciones de hembras muestran mayor crecimiento que las de los machos. Pero el crecimiento de ambas poblaciones es controlado por la población de depredadores.

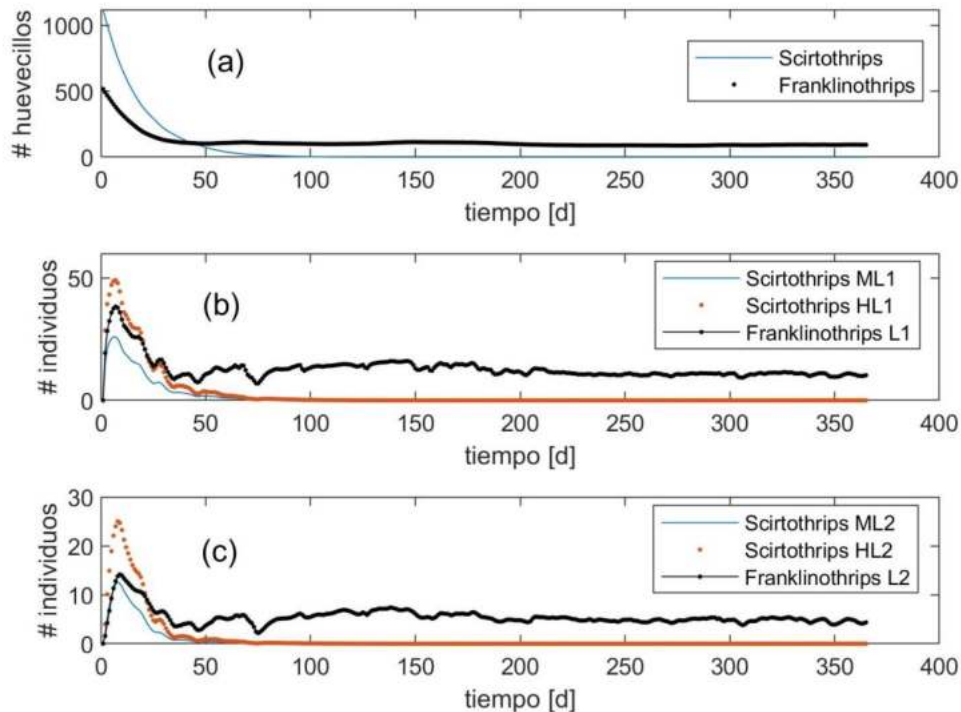


Figura 2. Predicciones del modelo depredador-presa (*Frankliniopsis-Scirtothrips*), de los estados de desarrollo: huevecillos, primer (L_1) y segundo (L_2) estados larvarios. ML1: machos en estado larvario 1, ML2: machos en estado larvario 2, HL1: hembras en estado larvario 1, HL2: hembras en estado larvario 2.

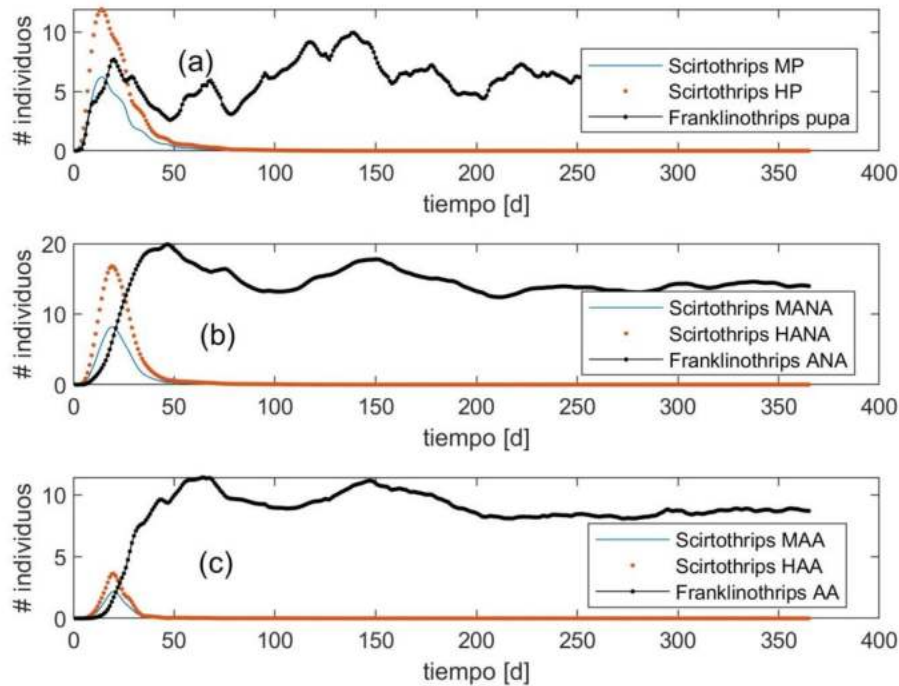


Figura 3. Predicciones del modelo depredador-presa (*Frankliniothrips-Scirtothrips*), de los estados de desarrollo: Pupa, adultos no apareados (ANA) y adultos apareados (AA). MP: machos en estado de pupa, HP: hembras en estado de pupa, MANA: machos adultos no apareados, HANA: hembras adultas no apareadas, MAA: machos adultos apareados, HAA: hembras adultas no apareadas.

La población de adultos no apareados (Figura 3b) de *Scirtothrips* es reducida a cero, después de 50 días y la población de adultos apareados (Figura 3c) es reducida también a cero antes de 50 días. También para las poblaciones de adultos el modelo predice un mayor crecimiento en el caso de las hembras.

Análisis de sensibilidad

El modelo es sensible a cambios pequeños en sus parámetros k_1 , k_2 , k_3 y k_4 ya que estos afectan considerablemente las variables de estado que representan los estados de desarrollo de la población de depredadores (Figuras 4-7). Estos parámetros no afectan las predicciones de las variables de estado asociadas con la población de presas (Figura 12).

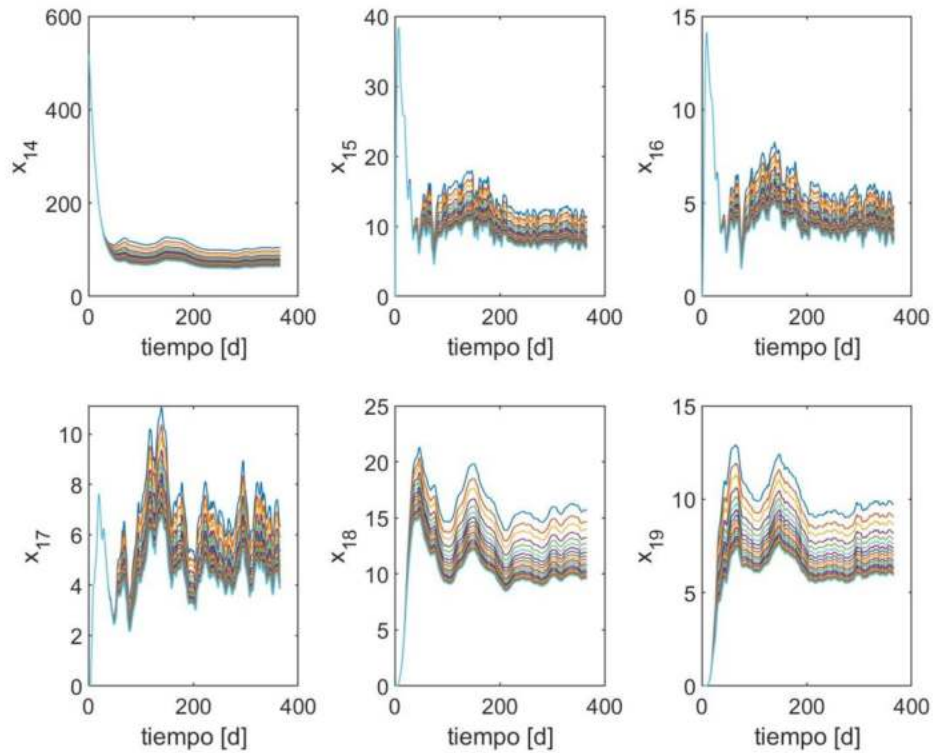


Figura 4. Sensibilidad del modelo depredador-presa al parámetro k_1

El modelo es altamente sensible a cambios pequeños en sus parámetros c_1 , c_2 , c_3 y c_4 ya que estos afectan fuertemente las predicciones de las variables de estado que representan los estados de desarrollo de la población de depredadores (Figuras 8-11). Las variables de estado que representan el comportamiento de la población de presas no se ven afectadas por estos parámetros (Figura 13).

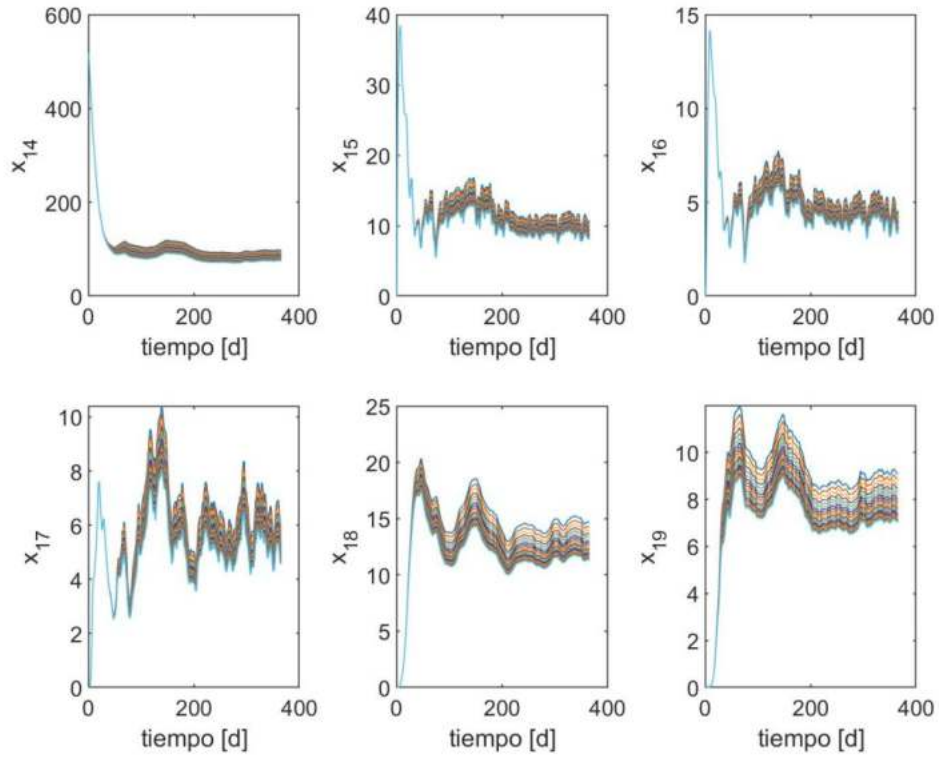


Figura 5. Sensibilidad del modelo depredador-presa al parámetro k_2

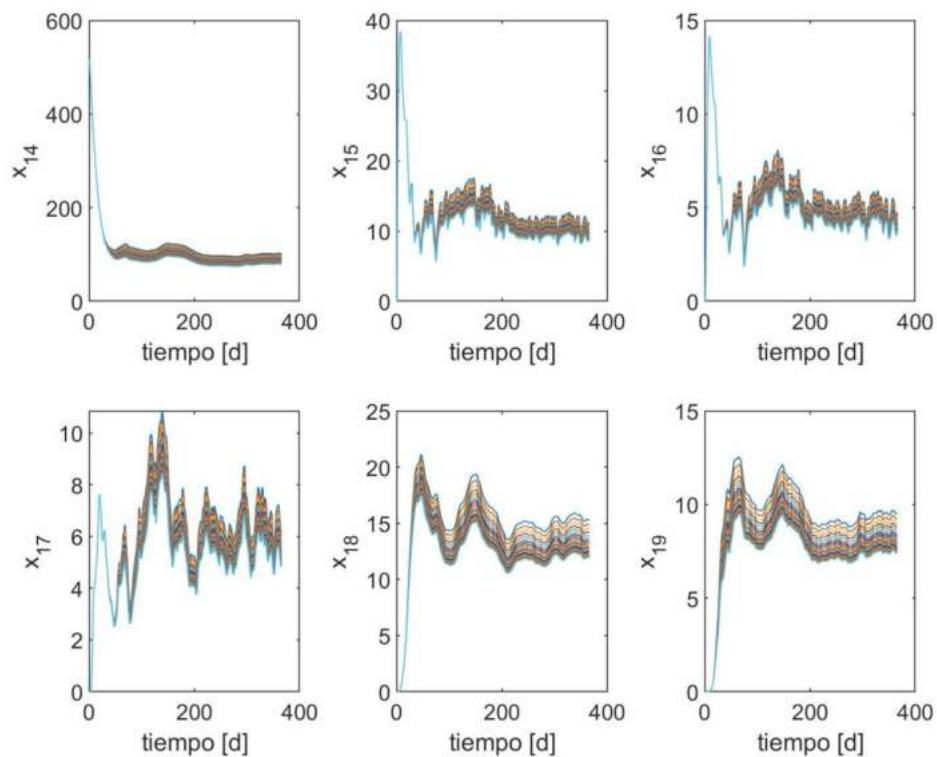


Figura 6. Sensibilidad del modelo depredador-presa al parámetro k_3

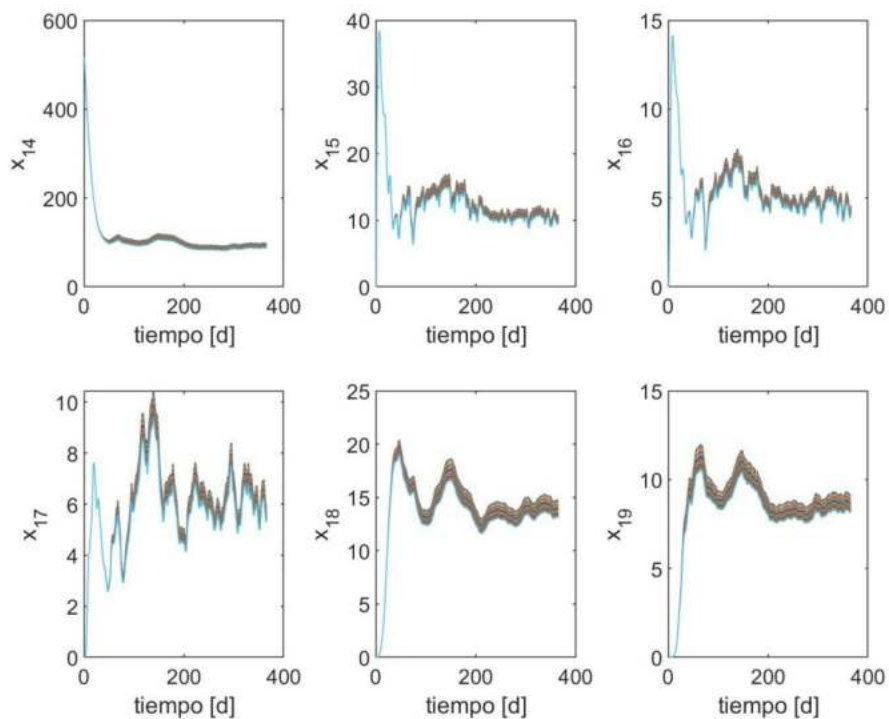


Figura 7. Sensibilidad del modelo depredador-presa al parámetro k_4

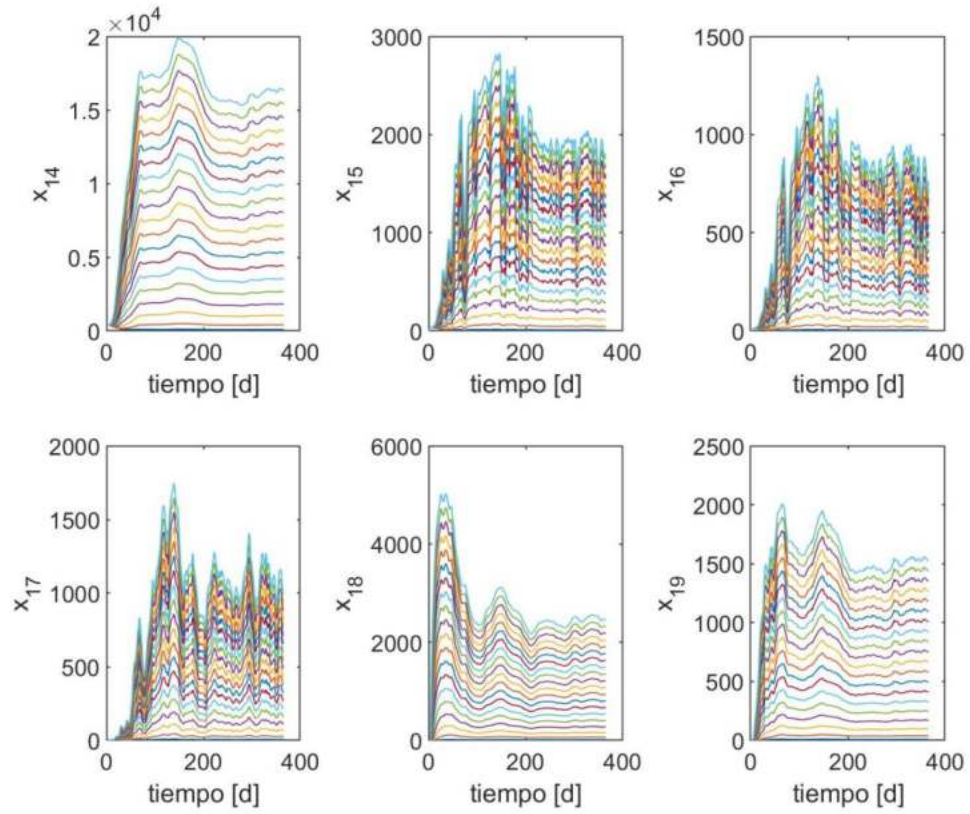


Figura 8. Sensibilidad del modelo depredador-presa al parámetro c_1

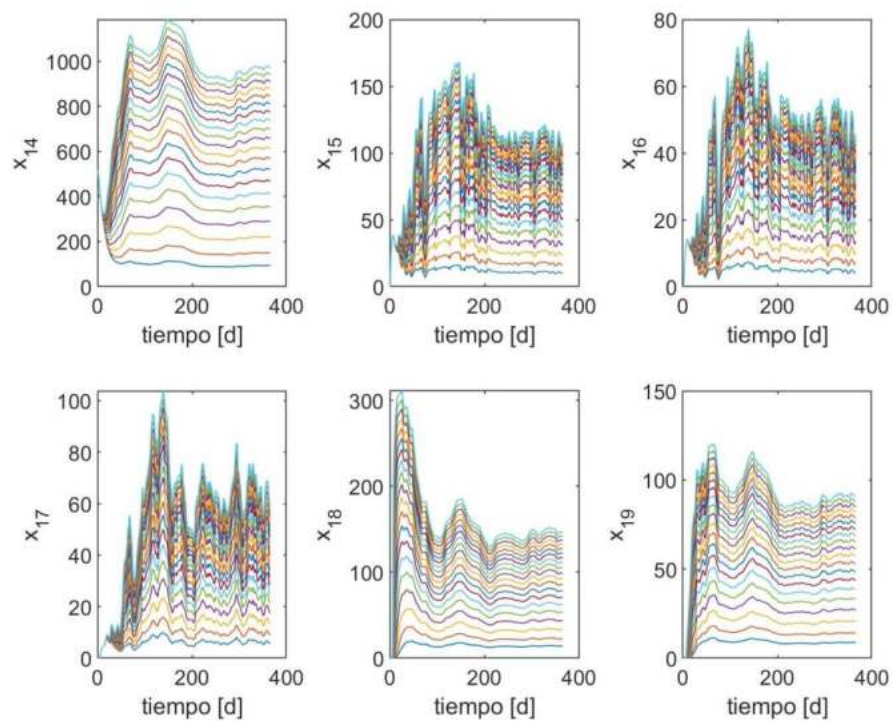


Figura 9. Sensibilidad del modelo depredador-presa al parámetro c_2

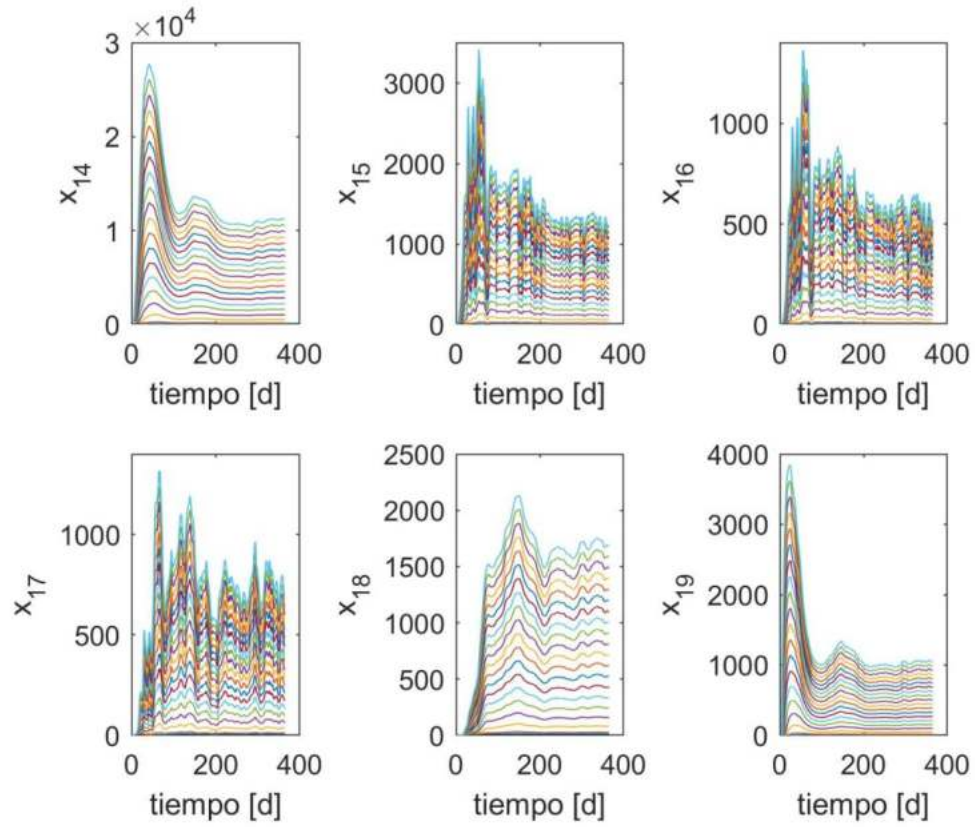


Figura 10. Sensibilidad del modelo depredador-presa al parámetro c_3

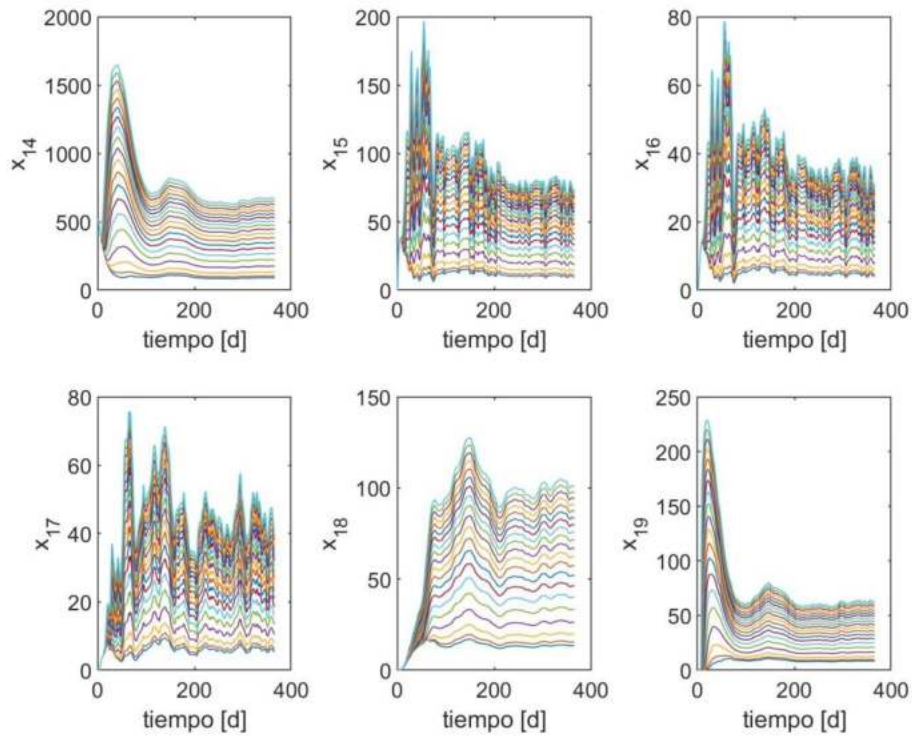


Figura 11. Sensibilidad del modelo depredador-presa al parámetro c_4

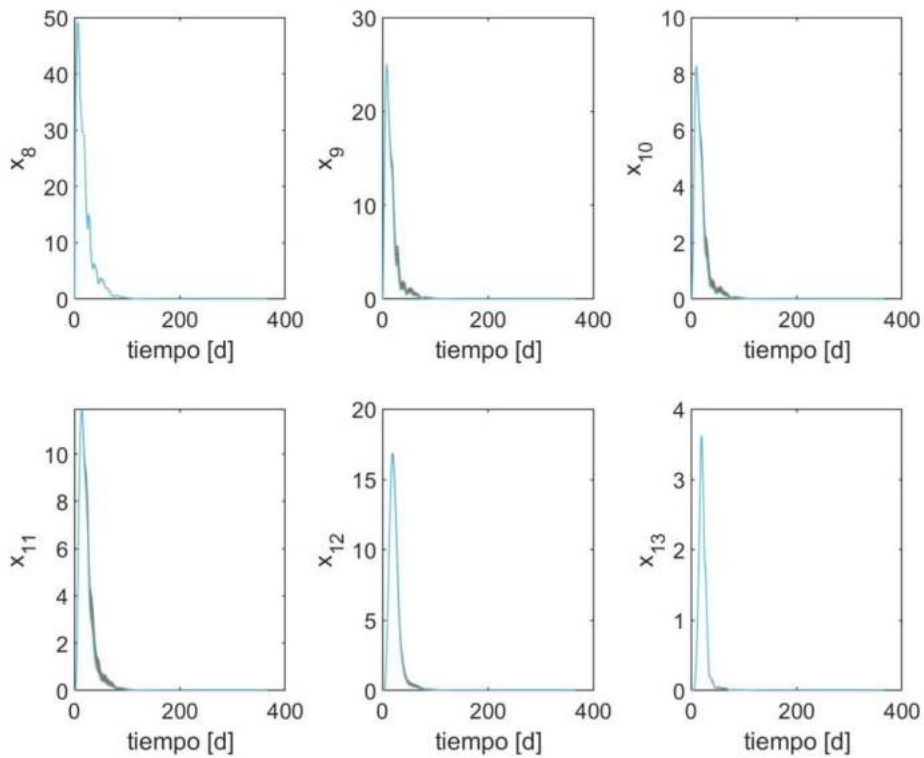


Figura 12. Sensibilidad de variables de estado de la población de las presas al parámetro k_4

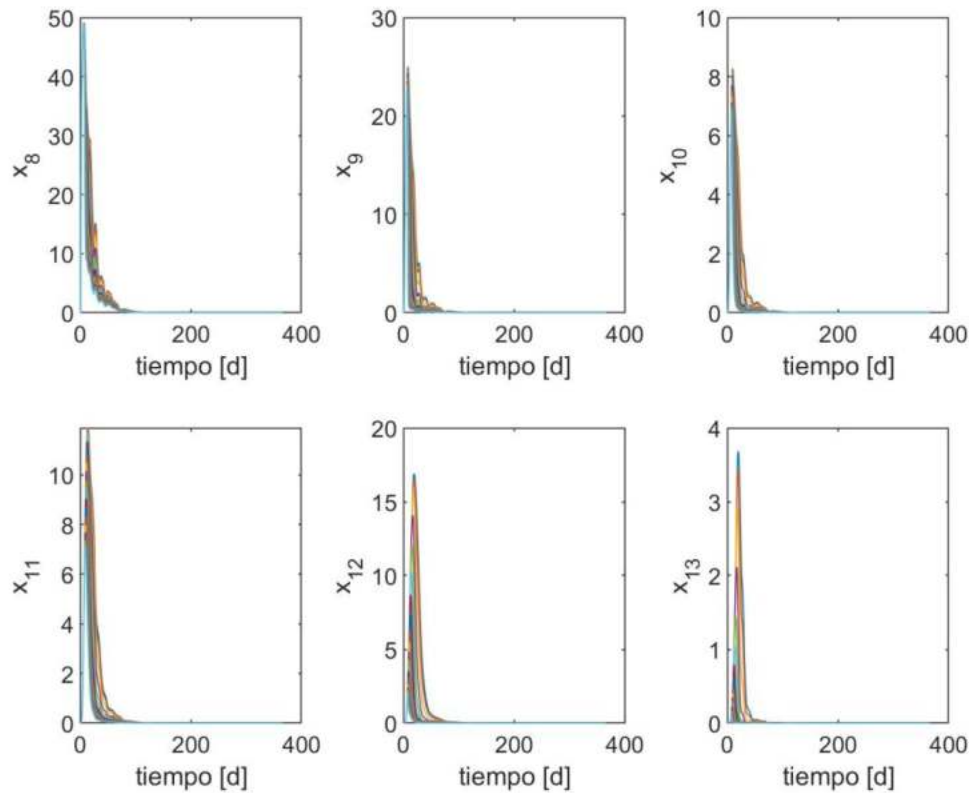


Figura 13. Sensibilidad de variables de estado de la población presa al parámetro c_4

Conclusiones

El modelo dinámico depredador-presa desarrollado para las poblaciones de *Frankliniopsis-Scirtothrips* en aguacate, de acuerdo con las simulaciones numéricas, muestra que es posible controlar el crecimiento de las poblaciones de trips mediante la manipulación de la población de su depredador y por lo tanto el modelo puede ser la base para generar estrategias de control biológico de poblaciones de trips en aguacate.

El análisis de sensibilidad, basado en simulaciones, indica que los parámetros que más influyen en el comportamiento del modelo depredador-presa para *Frankliniopsis-Scirtothrips* son los que aparecen en las tasas de cambio de la población de los depredadores (c_1, c_2, c_3 y c_4). Estos parámetros son los que se deben estimar en una calibración del modelo.

Literatura Citada

Libros

- Boyce, W.E., DiPrima, R.C. (2005).** Ecuaciones diferenciales y problemas con valores en la frontera. LIMUSA. México. pp. 521-530.
- De Roos, A.M. (2019).** Modelling Population Dynamics. University of Amsterdam. The Netherlands.
- Kuang, Y. (2017).** Modeling and analysis of competing dynamic ecological systems. PhD Thesis. Kansas State University.
- University of California (2008).** Integrated Pest Management for Avocados. Publication 3503. pp. 1-3.
- Thornley, J.H.M., and France, J. (2007).** Mathematical models in agriculture. Quantitative methods for the plant, animal and ecological sciences. CABI. Oxon, UK. Pp. 505-508.
- Sosa Calix Jainer Oniel (2021).** Modelación de la dinámica de poblaciones de trips (Insecta: Thysanoptera) en el cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill). Tesis de Maestría en Protección Vegetal. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.
- Wallach, D. Makowski, D., Jones, J.W., Brun, F. (2019).** Working with dynamic crop models. Methods, tools and examples for agriculture and environment. Elsevier, London, UK. pp 32-38.

Revistas

- Anguelov, R., Dufourd, C. & Dumont, Y. (2017).** Mathematical model for pest-insect control using mating disruption and trapping. *Applied Mathematical Modeling*, 52, 437-457.
- Hoddle, M.S. (2002).** Developmental and reproductive biology of *Scirtothrips perseae* (Thysanoptera: Thripidae): a new avocado pest in California. *Bulletin of Entomological Research* (2002) **92**, 279–285.
- Hoddle, M.S., Robinson, L., Drescher, K., Jones J. (2000).** Developmental and reproductive biology of a predatory *Franklinothrips n. sp.* (Thysanoptera: Aeolothripidae). *Biological Control* 18: 27-38.
- López Cruz, I.L. Durán Peralta, E., Salazar-Moreno, R., Fitz-Rodríguez, E. (2021).** Dynamic modeling of trips population in avocados trees. Enviado a la revista Computación y Sistemas.
- Maino, J.L. & Kearny, M.R. (2015).** Testing mechanistic models of growth in insects. *Proc. R. Soc. B* 282, 20151973

Referencia electrónica

- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2019).** Panorama Agroalimentario 2019 (1ª ed.). Ciudad de México, México. Consultada en https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2019/Atlas-Agroalimentario-2019

10º Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

Simulación numérica de la turbulencia para analizar transferencia de temperatura en un muro verde

Jorge Flores Velazquez¹, Abraham Rojano², Cruz Ernesto Aguilar-Rodriguez³

1 Colegio de Posgraduados Campus Montecillos. Carretera Mexico Texcoco, Km. 36.5, Montecillo Edo de Mexico. 56230

2 Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua. Universidad Autónoma Chapingo. Carretera Mexico Texcoco. Km. 380.5 Chapingo, Mex. 56230

3 Instituto Tecnológico de Los Reyes. Carretera Los Reyes-Jacona, Col. Libertad. 60300. Los Reyes de Salgado, Michoacán. México; ernesto.ar@losreyes.tecnm.mx

MESA 1: Matemáticas y Física

Resumen

En fluidos principalmente compresibles, el análisis de turbulencia se requiere en fenómenos de transferencia. Dependiendo de la velocidad con la que se muevan las partículas, se puede caracterizar un flujo laminar o turbulento, el cual se origina generalmente por las fluctuaciones entre la velocidad promedio y su fluctuación. Definir el modelo que mejor describe este movimiento es de interés en diversas áreas donde se requiera estabilidad térmica y de masa, como puede ser un biosistema. La modelación está basada en la ecuación general de transporte que se resume en las ecuaciones de Navier-Stokes, donde se acopla el modelo de turbulencia. Con el modelo de turbulencia se asocia el transporte de masa, momento y energía, contenida en el fluido. El modelo más utilizado para simular transferencia en sistemas semi cerrados es el modelo K-epsilon. El problema consiste en detectar las variaciones cuando esas fluctuaciones son imperceptibles, con el fin de mostrar detalles de la transferencia. El objetivo de este trabajo fue mostrar la distribución térmica espacial en una pared vertical simuladas con dos modelos de turbulencia.

Palabras Clave: Fluctuación, Navier-Stokes, Modelo de turbulencia, Pared Vertical

Abstract

In primarily compressible fluids, turbulence analysis is required in transfer phenomena. Depending on the speed with which the particles move, a laminar or turbulent flow can be characterized, which is generally caused by fluctuations between the average speed and its

fluctuation. Defining the model that best describes this movement is of interest in various areas where thermal and mass stability are required, such as a biosystem. The modeling is based on the general transport equation that is summarized in the Navier-Stokes equations, where the turbulence model is coupled. The turbulence model is associated with the transport of mass, moment and energy, contained in the fluid. The most widely used model to simulate transfer in semi-closed systems is the K epsilon model. The problem is to detect variations when these fluctuations are imperceptible, in order to show details of the transfer. The objective of this work was to show the spatial thermal distribution in a vertical wall simulated with two turbulence models.

Keywords: Fluctuation, Navier-Stokes, Turbulence Model, Vertical Wall

Introducción

La turbulencia es un fenómeno cuya descripción constituye un reto tecnológico. El problema se puede concentrar en la descripción de métodos de cálculo sencillos que den una aproximación razonable al comportamiento del flujo. Un tipo de modelado, como el Reynolds Average Navier Stokes (RANS) responde a esas necesidades dentro de un margen de error que puede mantenerse dentro del 10-20 % para problemas “clásicos”; es decir, para extrapolaciones de casos cuyos resultados se conocen por otros medios (Jiménez, 2007). Su limitación es el coste, que aumenta rápidamente con el número de Reynolds, y que ha tendido a limitar las simulaciones directas a números de Reynolds relativamente bajos ($Re < 10$). El avance de la informática va alejando progresivamente esos límites y en consecuencia en la actualidad, los experimentos de referencia en turbulencia homogénea son numéricos.

La simulación de grandes escalas o Large Eddy Simulations (LES) describe un método intermedio entre la simulación directa (Direct Numerical Simulations -DNS) y el RANS, en el que una parte de la física del flujo se simula y otra se modela. En su estado actual el LES es capaz de simular correctamente las propiedades medias de los flujos turbulentos separados, de los flujos lejos de paredes (Jiménez, 2007), y en general de aquellos en los que la generación de energía cerca de la pared no es un efecto dominante (Wall effect).

Debido a la complejidad que representa el fenómeno, ha sido necesaria una discretización, para realizar un análisis del sistema. El desarrollo de herramientas numéricas ha permitido la modelación dinámica asumiendo condiciones físicas y dejando fijas ciertas características del fluido. Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) ha venido a resolver el problema, mostrando la adaptabilidad para obtener resultados de manera espacial del fenómeno de estudio.

En sistemas protegidos o semiprottegidos como invernaderos, CFD ha sido una técnica usada para modelar el ambiente del interior de un invernadero y con ello plantear estrategias para la gestión del microclima, ya sea de manera natural o mediante sistemas auxiliares de refrigeración o calentamiento (Flores-Velázquez et al., 2011). Más recientemente se han hecho simulaciones en tecnologías *indoor* que supone un aporte a la producción de cultivos en zonas urbanas como fábricas de plantas o granjas verticales (Zhanga and M. Kacira, 2018). Sin embargo, existen otras tecnologías de la reciente

Agricultura Urbana (AgUrban) como techos y paredes verdes, los cuales abordan no solo la producción de cultivos con fines de obtener cosechas, o alimentos. En la categoría de muros verdes o verticales, además se aborda la resolución de problemas de tipo ambiental; se han observado ventajas en a la estabilización térmica, deposición de sólidos en el ambiente y filtros pluviales, y temas más puntuales como la producción de plantas eficientes en el intercambio de CO₂ – O₂. Entre la simulación de fenómenos en biosistemas cerrados y semi cerrados y un muro vertical, existe un vacío tecnológico respecto de si los modelos siguen representando la transferencia de masa y momento con los modelos de turbulencia que integra,

El uso de las paredes verdes o granjas verticales no solo tratan de producir plantas cultivadas para obtener alimentos, sino de una serie de procesos en los cuales intervienen el consumo energético, materiales, mano de obra y recursos. En las granjas verticales, los alimentos son la parte más visible del proceso, siendo la parte de la agricultura que los consumidores ven, mientras que el resto del proceso permanece invisible (Despommier y Ellingsen, 2008; Lovell, 2010; Gorgolewski et al. 2011).

Para aplicaciones al aire libre tales como jardines, la gama de productos se limitaría a las especies tolerantes (Lovell 2010). Las técnicas hidropónicas se adaptan mejor económica y logísticamente a una gama de vegetales que incluyen cultivos de hoja (espinaca, lechuga, ensalada), cultivos de vid (tomate, pepino, pimiento, calabaza, frijoles, calabacín) o hierbas culinarias (albahaca, perejil, cebollino, cilantro) (Puri y Caplow 2009). Despommier (2009) sostiene que el rendimiento de una granja vertical podría ser alrededor de 5 veces mayor en comparación con los sistemas tradicionales y en algunos cultivos, como las fresas, el factor puede llegar a ser de hasta 30.

Debido al incremento de la población, el uso de los recursos naturales, el aumento de la contaminación y la creciente necesidad energética son temas de preocupación a nivel mundial. Convirtiendo la sustentabilidad agrícola en una prioridad (Bohn y Viljoen, 2011; Caplow, 2009). Para el año 2050, se prevé que casi el 80 % de la población mundial residirá en zonas urbanas. Calculando que se necesitaran alrededor de un 20 % más de tierra de lo que representa el país de Brasil para cultivar alimentos suficientes para alimentar a las personas (Despommier & Ellingsen. 2009).

La agricultura urbana, en sus diferentes formas como cultivos *indoor*, fabrica de plantas, muros y techos verdes o granja vertical se considera actualmente una de las soluciones para la adaptación al cambio climático, desempeñando un papel importante en el desarrollo de la ciudad y la mejora del clima urbano, al tiempo que estimula la reutilización productiva de los residuos orgánicos urbanos y reduce la huella energética urbana (Astee y Kishnani, 2010; Brock, 2008; Chuck Martin, 2013; Despommier, 2011; De Zeeuw, 2011; Germer et al., 2011; Hui, 2011; Islam, 2004; Mendes, 2008; Nelkin y Caplow, 2008; Sauerborn, 2011; Zande, 2006. Las granjas verticales o paredes verdes son un nuevo concepto, donde se utilizan tecnologías y sistemas de cultivo eficientes para cultivar productos en los centros de las ciudades, evitando problemas de transporte cuando son utilizados para productos agrícolas y aprovechando espacios que en décadas pasadas no se utilizaban para cultivar (Raja et al., 2008; Bosschaert, 2008; Despommier, 2010;).

Unas de las ventajas del uso de paredes verdes es la protección de las fachadas, reduciendo significativamente el calentamiento del edificio por efecto de la radiación solar al mejorar el aislamiento y reduciendo la tasa de transferencia de calor al exterior durante el invierno (Bass y Baskaran, 2001; Dunnet y Kingsbury, 2004; Delor, 2011). Las paredes verdes, refrigeran la temperatura del aire de dos maneras. Las paredes detrás de la granja absorben menor radiación solar, reduciendo la temperatura de la superficie de las paredes. Las granjas refrigeran el aire caliente a través de la evapotranspiración (Wong et al., 2003a; Wong et al., 2003b)

Krusche et al., 1982 estudiaron la transformación de la luz solar en energía en una granja vertical, estableciendo que del 100 % de la energía solar recibida, la evapotranspiración utiliza entre el 20 % y 40 %, la fotosíntesis entre el 5 % y el 20 %, las hojas reflejan entre el 5 % y el 30 % y la transmisión de calor es entre 10 % y 50 %. Sin embargo, en la evolución del sector agrícola en biosistemas, la discretización de la luz por longitud de onda y el tipo de planta, o el tipo de clorofila que la planta contiene, son procesos que pueden ser analizados desde el punto de vista numérico.

El objetivo de este trabajo es establecer la viabilidad del uso de dinámica de fluidos computacional CFD para describir la interacción climática entre la pared verde como un biosistema integrado y sus alrededores, en función de los modelos de turbulencia que integra, específicamente el Moldeo $k-\epsilon$ en sus tres modalidades y el Modelo $K-\omega$.

Materiales y métodos

Descripción del Sitio experimental

La pared verde se encuentra localizada en el municipio de Jiutepec en Morelos (18°53'05.8"N 99°09'32.1"W) a 1350 msnm. La temperatura en el municipio oscila entre 10.8 ° C a 31.4 ° C durante el año (Conagua, 2019).

La pared vertical tiene un área de 53.46 m² (Figura 1). El muro cuenta con 66 módulos empotrados en la pared, los cuales contienen un marco, una bolsa contenedora de sustrato, un sistema de anclaje, capas de geomalla y la plantación (*Sedum* spp).

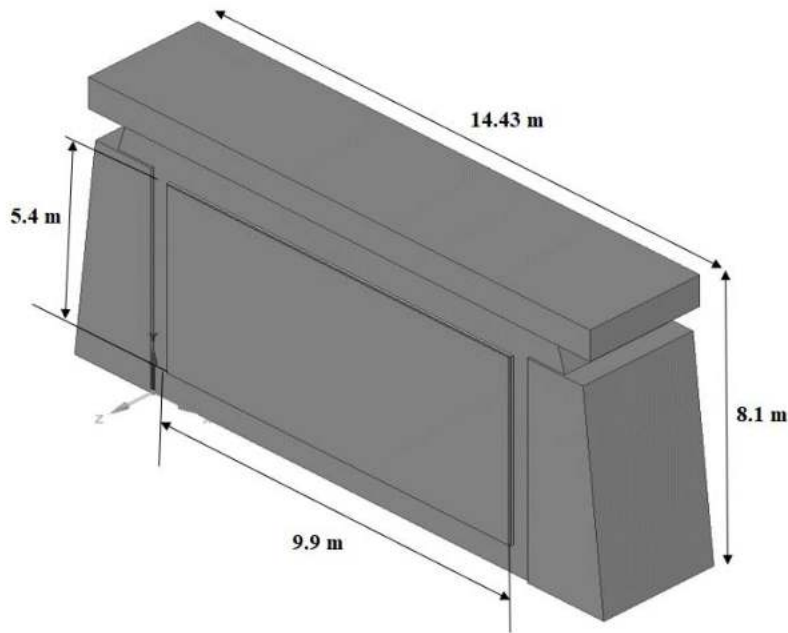


Figura 1. Dimensiones de la granja vertical y del edificio donde se coloca

El sistema de riego de la granja vertical está basado en una línea de conducción a base de PVC hidráulico de 1" de diámetro, la cual es alimentada a partir de un hidroneumático. El suministro de agua al interior del muro se regula por una válvula de paso y una válvula solenoide, la distribución se realiza en líneas horizontales con poliducto de manguera de 0.5" goteros, difusores y piquetas con caudal de 6 litros por minuto. El encendido y apagado de dicho sistema se realiza con la válvula solenoide controlada por una tarjeta electrónica.

Modelo Computacional

El desarrollo y simulación del modelo computacional se llevó a cabo a partir del prototipo. El pre-proceso, consistió en la construcción de la geometría en ANSYS® Workbench mediante la herramienta Design Modeler. Se insertó en el modelo un dominio con una altura de 64.8 m y una superficie de 14993.1 m². El mallado del modelo se realizó en Meshing, contando con elementos estructurados con una calidad ortogonal de 0.99 y una calidad de distorsión de 5.9849e-003.

Dentro de la fase del proceso de solución del modelo CFD, las ecuaciones de momento, masa y energía fueron resueltas en estado estacionario, definiendo las condiciones del modelo y de las variables para darle solución (Cuadro 1).

Modelo de turbulencia

En general dentro de los procesos de flujo existe gran similitud matemática entre los flujos laminar y turbulento, sin embargo obtener una solución a las ecuaciones de flujo en régimen turbulento aun esta fuera del alcance del análisis matemático y calculo numérico

actual, motivo por el cual se recurre a un estudio estadístico de turbulencia, mediante el cual se trabaja con propiedades promedio. Una posibilidad de promediar los valores de flujos es considerar que en un punto del campo de las variables vienen dadas como una suma de un valor promedio y una fluctuación turbulenta, analíticamente para la presión y velocidad puede representarse como lo muestra la Ec. 1:

$$p(x,t) = \bar{p}(x,t) + p'(x,t) \quad \text{y} \quad \text{Ec. 1}$$

$$v(x,t) = \bar{v}(x,t) + v'(x,t)$$

El valor promedio temporal de una variable se obtiene de la forma: $\frac{1}{T} \int_{t-\frac{T}{2}}^{t+\frac{T}{2}} dt$, por lo tanto la

¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. ecuación puede representarse como la Ec. 2

$$\bar{p}(x,t) = \frac{1}{T} \int_{t-\frac{T}{2}}^{t+\frac{T}{2}} p(x,t) dt, \quad \text{y} \quad \text{Ec. 2}$$

$$\bar{v}(x,t) = \frac{1}{T} \int_{t-\frac{T}{2}}^{t+\frac{T}{2}} v(x,t) dt$$

aplicando las ecuaciones de Navier-Stokes y haciendo sus respectivas deducciones, para el flujo de un fluido newtoniano e incompresible adoptan la forma Ec 3:

$$\nabla \cdot \bar{v} = 0 \quad \text{y} \quad \text{Ec. 3}$$

$$\rho \frac{D\bar{v}}{Dt} = -\nabla \cdot \bar{p} + \nabla \cdot (2\mu \bar{D} \bar{T}_r) + f_v$$

Las incógnitas de estas ecuaciones son el campo de velocidades $v(x,t)$ y de presión $P(x,t)$ en el tiempo t ; la ecuación de continuidad difiere al substituir el campo de velocidades por el campo de velocidades promedio, pero también presenta un nuevo termino, denominado "tensiones turbulentas de Reynolds". Estas tensiones cuantifican la influencia de la fluctuación turbulenta en el campo del flujo promedio.

Poder resolver las ecuaciones de N-S (Navier-Stokes) promediadas es necesario conocer como se relacionan estas tensiones turbulentas con las variables de flujo; a la relación matemática entre $\overline{T_r}$, $\overline{v}$ y $\overline{p}$ se conoce como modelo de turbulencia.

La resolución de las ecuaciones de Navier Stokes (ecuaciones de conservación de la cantidad de movimiento) bajo características específicas puede analizarse mediante los modelos de turbulencia: Direct Numerical Simulation (DNS), el cual es un modelo relativamente sin aproximaciones, es decir que es similar a realizar un experimento real. Este tipo de técnica es aplicable mayoritariamente a geometrías simples, donde el flujo se desarrolla a bajas velocidades (con numero de Re menores a 2000) y sistemas básicos de complejidad. Otro sistema de modelación es el Large Eddy Simulation (LES), el cual es capaz de simular correctamente las propiedades medias de los flujos turbulentos separados, de los flujos lejos de paredes, y en general de todos aquellos en los que la generación de energía cerca de la pared no es un efecto dominante. Esto ha dado paso a su utilización en casos complejos. Desgraciadamente, estas simulaciones realistas, ya sean directas o LES, necesitan grandes medios de cálculo. Es usado en simulaciones no estacionarias en las que la turbulencia de gran escala es resulta mientras que los remolinos pequeños son aproximados. También aplicado a geometrías con un grado de complejidad pequeño y $Re < 2000$.

El tercer grupo para llevar a cabo la modelación es el tipo Reynolds Average Navier Stokes (RANS), es uno de los modelos más usados debido a que puede ser aplicable a simulaciones en geometrías complejas con números de Re mayores a 5000, con la ventaja de considera el aspecto térmico y presenta el modelo de radiación. Usado principalmente en modelos estacionarios y una amplia aplicación en el campo de la ingeniería. Este tipo de simulación ha sido utilizado en flujos de aire en invernaderos y flujo de agua en dispositivos de aforo; en ambos casos ha obtenido concordancias estadísticas del orden del 95 % entre valores simulados y medidos por lo que es recomendado. Aunado a ello, al usar velocidades promedio, reduce la cantidad de celdas lo cual trae como consecuencia que el tiempo de cómputo para la resolución de las ecuaciones sea comparativamente menor.

Cuadro 1. Condiciones de frontera del modelo computacional

Condiciones de frontera	Método
Solver	Basado en presión (Pressure-Based)
Estado	Estacionario (Steady)
Modelo de viscosidad	Estándar k- ϵ , RNG k- ϵ , Realizable k- ϵ y Estándar k- ω
Ecuación de energía	Activada
Dominio de entrada	Velocidad de entrada (Velocity inlet)
Dominio de salida	Presión de salida (Pressure outlet)

Temperatura del aire	Perfil constante
Velocidad del viento	Perfil constante
Tratamiento de medios porosos	Cultivo: Porous Zone
Fuente de calor	Constante desde el suelo, Hipótesis de Boussinesq
Condición térmica del suelo	Flujo de calor

Para la evaluación del modelo se instalaron sensores de tipo Arduino. El registro de datos se realizó el 22 de enero del 2019, se utilizaron un Arduino Mega 2560, 4 sensores de temperatura (DS18B20) y 3 sensores de humedad (DHT22) programados para registrar información como un promedio cada 10 minutos. Como condición inicial para el modelo computacional, los datos de temperatura y humedad registrados durante el periodo de 14:00 a 14:10 fueron utilizados como condición inicial.

Resultados y Discusión

Se llevaron a cabo cuatro simulaciones en estado estacionario utilizando ANSYS®. Para las simulaciones se consideró el modelo de viscosidad k- ϵ Estándar, k- ϵ RNG, k- ϵ Realizable y k- ω Estándar. El análisis de velocidad y temperatura fue realizado en tres zonas de manera vertical y a 10 cm del cultivo (Figura 2) con la finalidad de establecer que modelo representa mejor la interacción de los fenómenos físicos en exteriores con la pared verde.

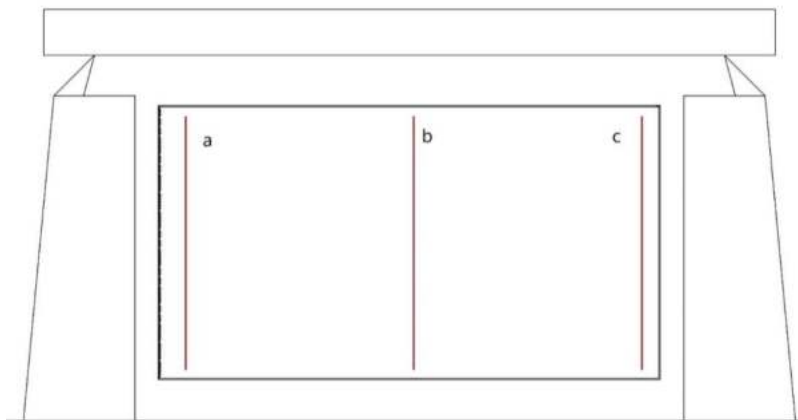


Figura 2. Líneas verticales para el análisis espacial de temperatura y velocidad a 10 cm de la pared verde

La figura 3 muestra la distribución del gradiente térmico horizontalmente a 10 cm de la pared verde. Los resultados indican que no existe diferencia significativa entre las temperaturas bajo los diferentes escenarios simulados.

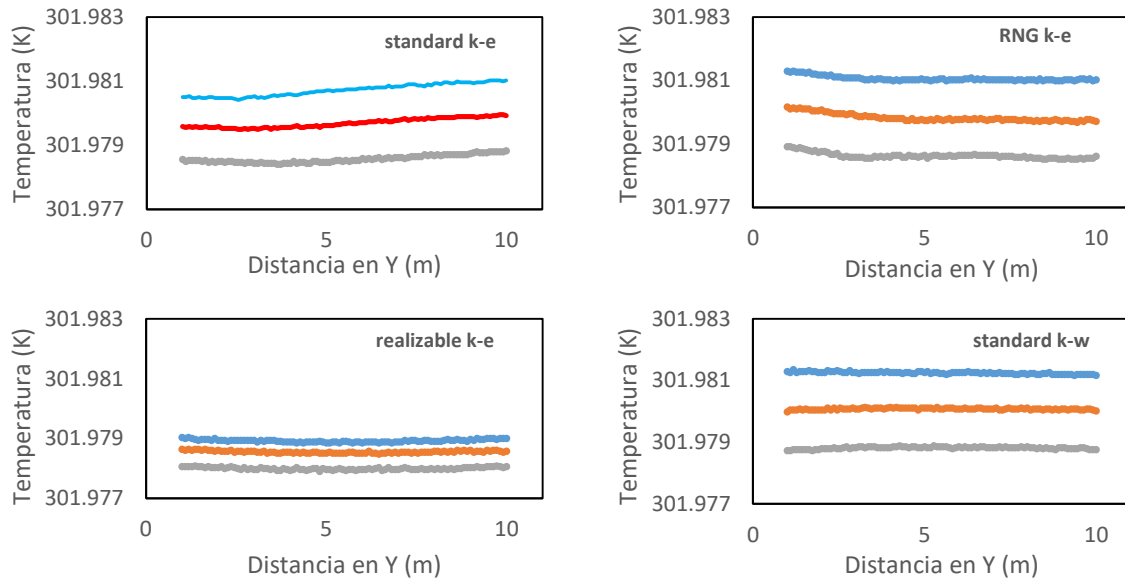
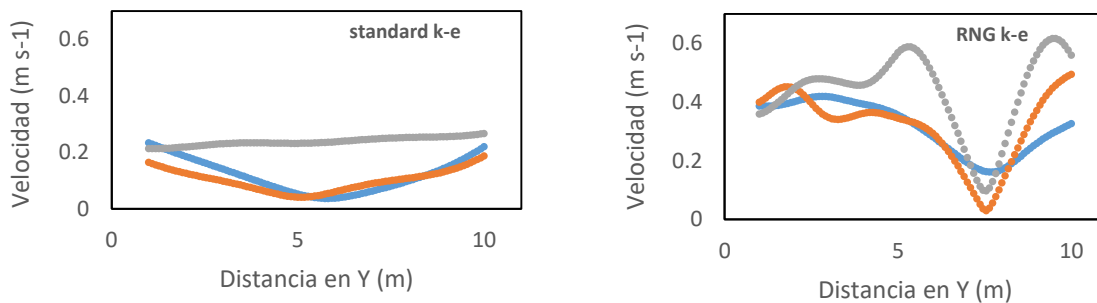


Figura 3. Gradiente térmico a 10 cm de la pared verde en: a (●), b (●) y c (●).

La figura 4 muestra que el gradiente de velocidad no es uniforme para los escenarios con diferentes modelos de viscosidad. Para el escenario con el modelo de viscosidad k-e estándar y k-e realizable se tiene velocidades inferiores a los 0.3 ms⁻¹. Mientras que para el modelo k-e RNG y k-w estándar las velocidades alcanzan valores de hasta 0.4 y 0.6 m s⁻¹ en algunas zonas.



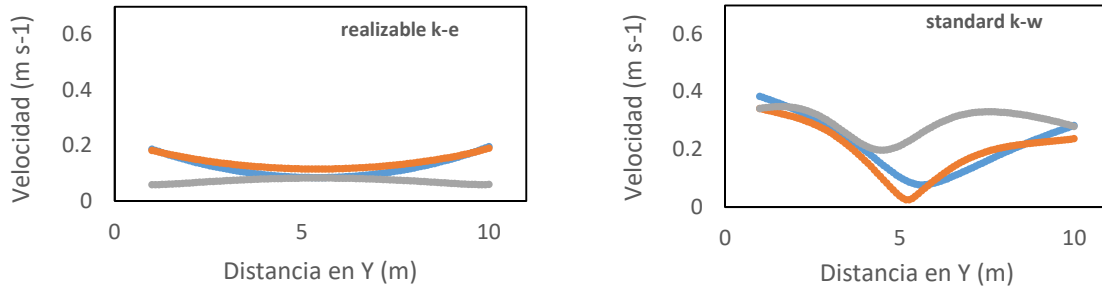


Figura 4. Gradiente de velocidad a 10 cm de la pared verde en: a (●), b (●) y c (●).

Los resultados de las simulaciones indican que los escenarios con el modelo de turbulencia k-e estándar y k-e realizable son los que representan mejor el fenómeno en la pared verde. Estos modelos de turbulencia han demostrado ser eficientes para simular los fenómenos generados en zonas exteriores, tal y como lo indican García-Sánchez, Philips y Gorlé, C. (2014); Toparlar et al., (2015); García-Sánchez y van Tendeloo (2017) quienes emplearon CFD para predecir la distribución de temperatura y aire en zonas urbanas.

Se tienen correlaciones entre las velocidades simuladas de 0.93 a 0.97 en las diferentes zonas para el modelo de viscosidad k-e estándar y k-e realizable. Sin embargo, se encontró que el modelo que k-e realizable es el que mejor se adapta a las condiciones de la investigación. La figura 5 indica que en la pared verde se tienen velocidades cercanas a los 0.01 m s⁻¹ hasta los 0.083 m s⁻¹. La reducción de velocidades en la zona del cultivo es determinada por la condición inicial del cultivo como de medio poroso.

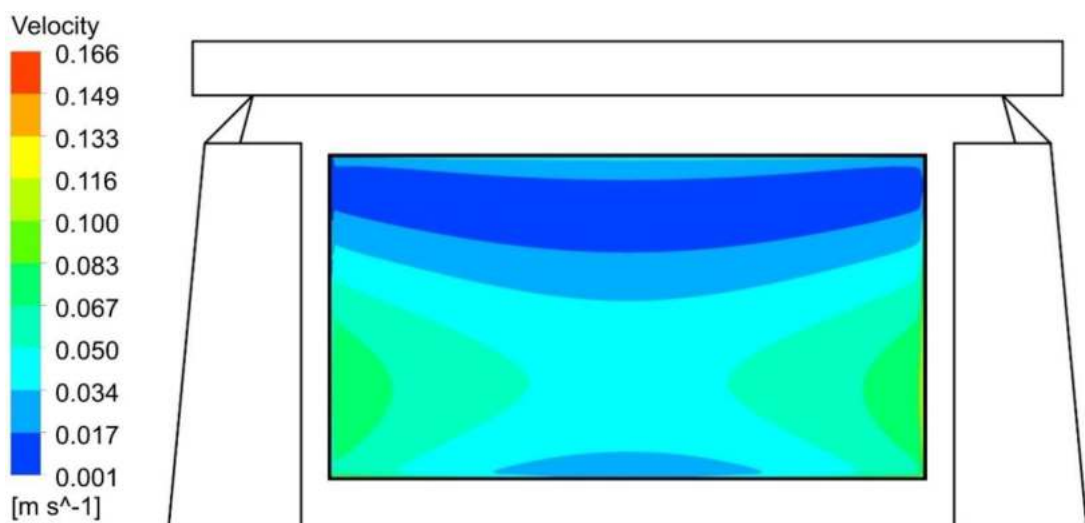


Figura 5. Contornos de velocidad de manera transversal en el edificio, la pared verde y el dominio

Conclusiones

En esta investigación se llevaron a cabo simulaciones en CFD para evaluar diferentes modelos de turbulencia con la finalidad de predecir el entorno ambiental de una pared verde. Llegando a las siguientes conclusiones:

El modelo CFD fue capaz de predecir la distribución de velocidad y viento utilizando datos de la estación meteorológica y datos de los sensores de temperatura (DS18B20) y humedad (DHT22)

Los modelos que predijeron correctamente la distribución del viento y temperatura son el modelo k-ε estándar y k-ε realizable.

Referencias

- Astee, L.Y., and N.T. Kishnani. 2010. Building integrated agriculture: Utilising rooftops for sustainable food crop cultivation in Singapore. *Journal of Green Building* 5(2): 105–113.
- Bass, B., and B. Baskaran. 2001. Evaluating rooftop and vertical gardens as an adaptation strategy for urban areas. NRCC Report 46737. Institute for Research in Construction, National Research Council Canada.
- Bohn, K., and A. Viljoen. 2011. The edible city: Envisioning the continuous productive urban landscape (CPUL). *Field Journal* 4(1): 149–161.
- Bosschaert, T. 2008. Large scale urban agriculture. Rotterdam: Except Integrated Sustainability Netherlands. <http://www.except.nl/en/#.en.articles.91-large-scale-urban-agriculture>.
- Brock, A. 2008. Room to grow: Participatory landscapes and urban agriculture at NYU. New York: New York University.
- Caplow, T. 2009. Building integrated agriculture: Philosophy and practice. In *Urban futures 2030: Urban development and urban lifestyles of the future*, ed. Heinrich Böll Foundation, 54–58. Berlin, Germany: Heinrich-Böll-Stiftung.
- De Zeeuw, H. 2011. Cities, climate change and urban agriculture. *Urban Agriculture Magazine* 25: 39–42.
- Delor, M. 2011. Current state of building-integrated agriculture, its energy benefits and comparison with green roofs—summary. Sheffield, U.K.: University of Sheffield.
- Despommier, D. 2008. Cities dream of a second agricultural revolution. *Space Magazine* 488: 103–105.

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

- Despommier, D. 2009. The rise of vertical farms. *Scientific American* 301(5): 80–87.
- Despommier, D. 2010. *The vertical farm: Feeding the world in the 21st Century*. New York: Thomas Dunne Books.
- Despommier, D. 2011. The vertical farm: Controlled environment agriculture carried out in tall buildings would create greater food safety and security for large urban populations. *Journal of Consumer Protection and Food Safety* 6(2): 233–236.
- Dunnett y Kingsbury N. . 2004. *Planting Green Roofs and Living Walls* . Portland (OR)Timber Press.
- García-Sánchez C. Y. van Tendeloo, C. G. (2017). *Quantifying inflow uncertainties in RANS simulations of urban pollutant dispersion*. *Atmospheric Environment* (Vol. 18). <https://doi.org/10.1080/15228916.2016.1216233>
- García-Sánchez, C., Philips, D. A., & Gorlé, C. (2014). Quantifying inflow uncertainties for CFD simulations of the flow in downtown Oklahoma City. *Building and Environment*, 78(2014), 118–129. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.04.013>
- Germer, J., J. Sauerborn, F. Asch, J. de Boer, J. Schreiber, G. Weber, and J. Müller. 2011. Skyfarming an ecological innovation to enhance global food security. *Journal of Consumer Protection and Food Safety* 6(2): 237–251.
- Gorgolewski, M., J. Komisar, and J. Nasr. 2011. *Carrot city: Creating places for urban agriculture*. New York: The Monacelli Press.
- Hui, S.C.M. 2011. Green roof urban farming for buildings in highdensity urban cities. In Paper presented at World green roof conference, 18–21 Mar, Hainan, China.
- Islam, K.M.S. 2004. Rooftop gardening as a strategy of urban agriculture for food security: The case of Dhaka City, Bangladesh. *Acta Horticulturae* 643: 241–247.
- Jiménez, J. 2007. La simulación numérica en turbulencia. E.T.S. Ingenieros Aeronáuticos, U. Politécnica, 28040 Madrid y Centre for Turbulence Research, Stanford University, USA.
- Liu, S., Pan, W., Zhang, H., Cheng, X., & Long, Z. (2017). CFD simulations of wind distribution in an urban community with a full-scale geometrical model. *Building and Environment*, 117, 11–23. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.02.021>
- Lovell, S.T. 2010. Multifunctional urban agriculture for sustainable land use planning in the United States. *Sustainability* 2(8): 2499–2522.
- Mendes, W. 2008. Implementing social and environmental policies in cities: The case of food policy in Vancouver, Canada. *International Journal of Urban and Regional Research* 32(4): 942–967.
- Nelkin, J.B., and T. Caplow. 2008. Sustainable controlled environment agriculture for urban areas. *Acta Horticulturae* 801: 449–456.
- Puri, V., and T. Caplow. 2009. How to grow food in the 100% renewable city: Building-integrated agriculture. In *100% renewable: Energy autonomy in action*, ed. P. Droege, 229–241. London: Earthscan.

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

- Raja, S., C. Ma, and P. Yadav. 2008. Beyond food deserts: Measuring and mapping racial disparities in neighborhood food environments. *Journal of Planning Education and Research* 27: 469–482.
- Sauerborn, J. 2011. Skyfarming: An alternative to horizontal croplands. *Resource: Engineering and Technology for a Sustainable World* 18(1): 19.
- Toparlar, Y., Blocken, B., Vos, P., Van Heijst, G. J. F., Janssen, W. D., van Hooff, T., ... Timmermans, H. J. P. (2015). CFD simulation and validation of urban microclimate: A case study for Bergpolder Zuid, Rotterdam. *Building and Environment*, 83, 79–90. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.08.004>
- Wong, N.H., D.K.W. Cheong, H. Yan, J. Soh, C.L. Ong, and A. Sia. 2003a. The effects of rooftop garden on energy consumption of a commercial building in Singapore. *Energy and Buildings* 35(4): 353–364.
- Wong, N.H., S.F. Tay, R. Wong, C.L. Ong, and A. Sia. 2003b. Life cycle cost analysis of rooftop gardens in Singapore. *Building and Environment* 38: 499–509.
- Zande, R.V. 2006. The advantages of a rooftop garden and other things. *International Journal of Art & Design Education* 25(2): 205–216.
- Zhang and M. Kacira. 2018. Analysis of environmental uniformity in a plant factory using computational fluid dynamics (CFD) analysis. *Acta Hortic.* 1227. ISHS 2018. DOI 10.17660/ActaHortic.2018.1227.77 Proc. Int. Symp. on New Technologies for Environ. Control, Energy-Saving and Crop Production in Greenhouse and Plant Factory - GreenSys2017

10° Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas

Universidad Autónoma Chapingo, 21 y 22 de octubre de 2021

Comparación de dos Modelos de Redes Neuronales para la Predicción de PM 2.5

Raquel Salazar-Moreno¹

Resumen

Las partículas suspendidas (PM) representan el principal contaminante del ambiente en las ciudades, influyen en la lluvia ácida, reducen la visibilidad, modifican a las propiedades de las nubes. Las partículas suspendidas finas (PM_{2.5}) contienen metales pesados y otros contaminantes y es un factor de mortalidad de cancer de pulmón y otras enfermedades. Recientemente se han utilizado técnicas como series de tiempo y redes neuronales para predecir PM_{2.5}. El objetivo de este estudio es comparar dos modelos de redes neuronales artificiales para simular el comportamiento de las PM_{2.5} a partir de factores ambientales y otros contaminantes en el ambiente. El 1^{er} modelo considera 14 variables de entrada, en el 2° modelo únicamente se tomaron en cuenta los promedios y máximos en las 1^{as} 8 horas del día de las mismas variables del modelo 1, un total de 22 variables de entrada. Se probaron 5 algoritmos de entrenamiento combinados con dos algoritmos de aprendizaje y se encontró que el mejor desempeño lo tuvo “trainlm” en combinación con “learngdm”. El modelo 2 tuvo un buen desempeño para la etapa de entrenamiento, prueba y validación (E=0.93; MAE= 2.57), en la etapa de evaluación del modelo estos indicadores disminuyeron (E=0.7; MAE= 4.25). Se realizó un análisis de sensibilidad en ambos modelos y se encontró que en el modelo 1 que las PM_{2.5} fueron más sensibles a cambios en las variables PM₁₀, RH, día y CO. En el modelo 2 las variables mas sensibles fueron las PM₁₀ promedio (PM_{10p}) y máximas (PM_{10m}), así como al promedio de SO₂, O₃ y NO₂.

Palabras clave: Contaminación, Ciudad de México, PM₁₀, Ozono, humedad relativa.

Abstract

Suspended particles (PM) represent the main environmental pollutant in cities, influence acid rain, reduce visibility, modify the properties of clouds. Fine particulate matter (PM_{2.5}) contains heavy metals and other pollutants and it causes lung cancer and other diseases. Techniques such as time series and neural networks have recently been used to predict PM_{2.5}. The objective of this study is to compare two artificial neural networks models to simulate the behavior of PM_{2.5} from environmental factors and other pollutants in the environment. The 1st model considers 14 input variables, in the 2nd model only the averages and maximums in the 1st 8 hours of the day of all variables of model 1, giving a total of 22 input variables. Five training algorithms combined with two learning algorithms were tested and it was found that the best performance was obtained by "trainlm" in combination with "learngdm". Model 2 had a good performance for the training, testing and validation stage (E = 0.93; MAE = 2.57), in the model evaluation stage these indicators decreased (E = 0.7; MAE = 4.25). A sensitivity analysis was performed in both models and it was found that in model 1, PM_{2.5} were more sensitive to changes in the variables PM₁₀, RH, day and CO. In model 2, the most sensitive variables were the average PM₁₀ (PM_{10p}) and maximum (PM_{10m}), as well as the average of SO₂, O₃ and NO₂.

Keywords: Contamination, Mexico City, PM10, Ozone, relative humidity

Introducción

La contaminación del aire es uno de los problemas ambientales más importantes que enfrenta la humanidad debido al rápido crecimiento de la población. El material particulado (PM) es un indicador clave de la contaminación del aire que llega al aire por una variedad de actividades naturales y humanas. Como puede estar suspendido durante mucho tiempo y viajar a grandes distancias en la atmósfera, puede causar una amplia gama de enfermedades que conducen a una reducción significativa de la vida humana (Kim et al. 2015).

Desde 2016 las partículas suspendidas (PM) se clasifican como el grupo No 1 de contaminantes en las ciudades (Li et al., 2020) y son una mezcla de partículas sólidas y líquidas suspendidas en el aire, las cuales varían en el tiempo en tamaño y composición química. Las PM se componen de Nitratos, Sulfatos, carbón vegetal y orgánico, compuestos orgánicos, compuestos biológicos y metales pesados (Fe, Cu, Ni, Zn). Hong et al. (2013) menciona que las partículas en suspensión (PM) influyen en la contaminación del ambiente, en la lluvia ácida, reducen la visibilidad, modifican a las propiedades de las nubes y en los problemas relacionados con la salud.

Las PM se clasifican por su capacidad de penetración en el pulmón como: (i) partículas suspendidas gruesas (PM₁₀) con un diámetro aerodinámico de 10 μm y (ii) partículas suspendidas finas (PM_{2.5}) con un diámetro aerodinámico de 2.5 μm (WHO, 2013). Las partículas en suspensión con un diámetro aerodinámico menor a 10 μm (PM₁₀) tienen efectos negativos en los cultivos animales y en la salud humana por esta razón los gobiernos han tratado de reducir su emisión.

Por otro lado, la exposición a altos niveles de PM_{2.5} es un factor de mortalidad de cáncer de pulmón (Chen, 2018). Las fuentes que se generan las partículas suspendidas (PM) son: tráfico, quema de combustibles, polvo, aguas residuales, desechos industriales, desgaste del pavimento, llantas, minerías, en dichas actividades se libera Cu, Pb, Cd, Zn (Esworty 2013). Las PM₁₀ y PM_{2.5} son la principal vía de deposición en las hojas de las plantas las cuales contienen metales pesados y metaloides (Shahid et al., 2017) y (Uzu, 2010).

Mugica et al. (2012), investigaron la contaminación atmosférica mediante el análisis de las PM dentro de la estación Azcapotzalco del metro de la Ciudad de México (CDMX), encontraron concentraciones medias de Cr, Ni, Pb y Zn de 16.52, 6.17, 59.73 y 131.16 ng m^{-3} en las PM_{2.5} respectivamente, teniendo concentraciones más elevadas dentro del metro con respecto al ambiente afuera del metro.

En cuanto a la absorción de metales pesados por parte de las plantas, existen numerosos estudios que demuestran que los vegetales de hoja como la lechuga y el tomate absorben grandes cantidades de metales, siendo consideradas plantas bioacumuladoras de los mismos. Estos contaminantes son absorbidos, de la misma forma que la planta absorbe los nutrientes del suelo, acumulándolos en distintos tejidos dependiendo de la concentración disponible en el medio (Gupta et al., 2019).

Antisari et al. (2015) en un estudio hecho en la ciudad de Bolonia en Italia encontró que la lechuga absorbió hasta 160 mg de metales pesados kg^{-1} de peso seco, y que el tomate fue la planta que más Cd absorbió. De acuerdo con Shahid et al. (2017) y Uzu (2010) las plantas absorben metales pesados, a través de las hojas, especialmente por las partículas suspendidas PM₁₀ y PM_{2.5}. La exposición foliar es la principal vía de acceso de Pb en las hojas de los vegetales (Luo et al. 2019).

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

En un estudio realizado sobre absorción de metales pesados en hortalizas de hoja, Margenat et al. (2019) encontraron una concentración superior de metales pesados en los tejidos de lechuga y otras hortalizas de hoja, siendo el Pb los predominantes con 0.099 mg kg^{-1} ; mientras que el cultivo de tomate presentó la mayor absorción de Cu, Zn y Pb predominando en las raíces sobre la parte aérea.

Existen pocos estudios enfocados en la caracterización de metales pesados en la atmósfera a partir de contaminantes del aire fácilmente obtenibles y en los factores meteorológicos (Li et al. 2020).

Por otro lado, existe el peligro de que algunas plantas cultivadas en la CDMX absorban los metales pesados, lo cual perjudicaría la salud de las personas que los consumen.

El monitoreo y predicción de la concentración de contaminantes del aire ha sido vital en áreas industriales a fin de reducir los efectos adversos a la salud, ya que la ingesta de metales pesados está asociada a cáncer gastrointestinal, fracturas y malformación de huesos, sistema inmunológico débil, crecimiento mental retardado, hipertensión, desnutrición, entre otros (Rai et al., 2013).

Para predecir la calidad del aire, muchos científicos han utilizado el aprendizaje automático, específicamente las redes neuronales artificiales (ANN) por su eficacia probada en el tratamiento de problemas complejos, no lineales, y particularmente en los campos de asociación, clasificación y predicción (Gogikar, 2018). De acuerdo con Chelalli et al. (2016) las redes neuronales artificiales han mostrado ser una herramienta poderosa para captar las relaciones complejas entre contaminantes y las variables climatológicas y para datos con alta dimensión. Los modelos de RNA son utilizados ampliamente para estimar las concentraciones de contaminantes tales como PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$ (Zhang y Peng 2014).

Asimismo, Roy et al. (2011) comparó ANN con modelos de regresión múltiple y encontró que las variables meteorológicas, y los datos de contaminación fueron útiles en la predicción de PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$. McKendry (2000) comparó los modelos de ANN con regresión múltiple, las variables de entrada las clasificó en tres categorías: 1) Contaminantes químicos que son directamente emitidos en el aire tales como Óxido Nítrico (NO_x), Monóxido de Carbono CO, Oxidos de Carbono CO_2 , y Oxidos de sulfuro (SO_x), hidrocarbón (HC), y partículas suspendidas (PM). 2) Contaminantes secundarios son elementos formados por reacciones químicas tales como Ozono (O_3); 3) variables meteorológicas como: velocidad del viento (VV), dirección del viento (DV), humedad relativa (HR), temperatura del aire (T).

En Nanjing China, Li et al. (2020) utilizó modelos de redes neuronales para simular las concentraciones de metales pesados utilizando como variables de entrada contaminantes atmosféricos (Dióxido de Nitrógeno NO_2 , Dioxido de Sulfuro SO_2 Ozono O_3 , Monóxido de Carbono CO y $\text{PM}_{2.5}$), factores meteorológicos (temperatura, humedad relativa, presión atmosférica y velocidad del viento), la conclusión de su estudio fue que los metales pesados en las PM_{10} y los contaminantes atmosféricos provienen de fuentes comunes que incluyen tráfico vehicular, quema de biomasa, combustión de carbón y polvo, y muchos de los contaminantes siguen un patrón de comportamiento dependiente de la estación del año.

Zang et al. (2015) utilizó Back Propagation Artificial Neural Networks (BPANN) para predecir las concentraciones de exposición a PM_{10} del área urbana en Taiyuan, su estudio indicó que la red neuronal artificial es un método eficaz para el modelado de la contaminación por PM_{10} .

Gogikar et al. (2018), en un estudio hecho en el distrito de Odisha en India utilizó ANN para predecir de manera estacional $\text{PM}_{2.5}$ y PM_{10} utilizando variables meteorológicas y encontró que la acumulación de más humedad promueve la formación de contaminantes secundarios, modificando las propiedades físicas de las partículas suspendidas. Asimismo, la velocidad del viento y su dirección son las responsables del transporte y dispersión de contaminantes en el área de estudio. La

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

contaminación por metales pesados es una amenaza para el ambiente, la agricultura y la salud humana.

Desde hace varios años en la Red Automática de Monitoreo Atmosférico RAMA, y la Red Manual de Monitoreo Atmosférico (REDMA) ya no registran el contenido de metales pesados en el ambiente tales como Pb, Cr, Cd, Ni, As, los cuales son muy dañinos para la salud si se consumen en vegetales que los hayan absorbido. Los modelos de predicción de las partículas suspendidas ($PM_{2.5}$) pueden dar indicios de la presencia de metales pesados, de allí el interés de que a través de la predicción de las $PM_{2.5}$ se pueda estimar de manera indirecta el contenido de metales pesados en el ambiente.

Por otro lado, los factores climatológicos tales como: humedad relativa (HR), temperatura media promedio (TMP), velocidad del viento (VV), dirección del viento (DV), tienen una influencia directa sobre la contaminación del aire y su dispersión (Zhang y Peng, 2014).

El objetivo de este trabajo es desarrollar dos modelos de redes neuronales, para predecir el contenido de $PM_{2.5}$ en el medio ambiente de la Ciudad de México, con base en las condiciones climatológicas y en otros contaminantes del aire; asimismo, identificar las variables que tienen una mayor influencia en el comportamiento de esta variable.

Materiales y Métodos

De acuerdo con el sistema de Monitoreo del Aire de la Ciudad de México (2018), la dirección de los vientos dominantes de la ZMVM es hacia el Norte, por lo que la contaminación del Centro y Sur pueden llegar al Norte. Debido a lo anterior, se eligió para este estudio la estación ubicada en la alcaldía Venustiano Carranza ubicada al norte de la ciudad de México, y además es una de las más completas, cuenta con REDMA, RAMA y con la base de datos de la red de meteorología (REDMET). Antes de implementar la red se analizará el comportamiento estadístico de cada una de las variables, incluyendo la correlación.

Modelo 1 RNA para la predicción de $PM_{2.5}$

las variables utilizadas como entradas a la red neuronal artificial fueron: Año, Día, Hora (Hr) Humedad Relativa (HR), Temperatura Media (TM), Velocidad del Viento (VV), Dirección del viento (DV), Monóxido de Carbono CO (ppm), Monóxido de Nitrógeno NO (ppb), Dióxido de Nitrógeno NO₂, Óxido Nítrico (NOx) (ppb), Ozono O₃(ppb), Dioxido de Sulfuro SO₂ (ppb), partículas suspendidas menores a 10 micras ($PM_{10} \mu g m^{-3}$). La variable de salida son las Partículas Suspendidas menores a 2.5 micras ($PM_{2.5} \mu g m^{-3}$).

Se contó con un conjunto de datos de cada hora desde enero 2011 hasta diciembre 2018, en total 70,272 patrones de datos, la información se dividió en 90% entrenamiento validación y prueba (60%, 20%, 20%), el 10% de los datos se utilizaron en la evaluación. Se probarán dos modelos de redes neuronales con las características descritas arriba.

Ordieres (2005) menciona como regla general que el número de datos de entrenamiento cuando la variable de salida está libre ruido blanco, debe ser el doble de casos de entrenamiento que el número de pesos. Cuando la variable de salida tiene ruido blanco el número de datos debe de ser 30 veces más que el número de pesos. En todos los casos se cumplió con esta regla.

La red neuronal que se utilizará es un perceptron multicapa con alimentación hacia adelante, con el algoritmo de retropropagación de errores, que es una de las más utilizadas debido a su poder de predicción en problemas no lineales (Zhang y Peng, 2014).

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

Cada salida entre la capa de entrada y la capa oculta, así como entre la capa oculta y la de salida se cuantifica utilizando la expresión (1)

$$p_j = f\left(\sum_{i=1}^m w_{ji} x_i\right) - \theta_j \quad (1)$$

En donde p es la salida estimada por la red, w son los pesos y b el término de sesgo, ambos son parámetros que se estiman de acuerdo al tipo de entrenamiento y función de activación f utilizada. En las RNA que se implementarán se utilizará la función de activación sigmoideal Ecuación (2).

$$\sigma(p_j) = \frac{1}{1+e^{-p_j}} \quad (2)$$

Con el fin de encontrar la arquitectura óptima de la Red estática Multilayer Perceptrón, se variará el número de nodos en la capa oculta de acuerdo a los siguientes criterios: 1). Regla de la pirámide Geométrica $h_1 = \sqrt{m * n}$; 2). Promedio entre el número de nodos en la capa de entrada y la de salida $h_2 = \frac{m+n}{2}$; 3). Teorema de Kolmogorov $h_3 = 2n + 1$; 4). Regla empírica $h_4 = n$; En donde: n = número de neuronas de entrada; m = número de neuronas de salida.

Modelo de redes neuronales 2

Se implementó un 2º modelo de RNA con los valores promedio y máximos de las 8 horas del día, con el fin de poder tener una estimación de las PM_{2.5} a las 8 am, que es cuando el día laboral inicia (Ordieres; 2005). Para evitar las posibles discontinuidades en la variable dirección del viento se utilizó el Índice de Dirección del Viento (WDI) (Ecuación 3).

$$WDI = 1 + \sin\left(DV + \frac{\pi}{4}\right) \quad (3)$$

El segundo modelo de redes neuronales tiene 22 variables de entrada: Humedad Relativa Promedio (HRp; %), Temperatura Media Promedio (TMp; °C), Velocidad del Viento Promedio (VVp; m s⁻¹), Índice de Dirección del Viento Promedio (WDIp; °), Monóxido de Carbono Promedio (COp; ppm), Monóxido de Nitrógeno Promedio (NOP; ppb), Dióxido de Nitrógeno Promedio (NO₂p; ppb), Óxido Nítrico Promedio (NOxp; ppb), Ozono Promedio (O₃p; ppb), Dioxido de Sulfuro Promedio (SO₂p; ppb), Partículas Suspendidas Menores a 10 micras Promedio (PM10p; µ gm⁻³). Humedad Relativa Máxima (HRmax; %), Temperatura Media Máxima (TMmax; °C), Velocidad del Viento Máxima (VVmax; m s⁻¹), Dirección del Viento Máxima (DVmax; °), Monóxido de Carbono Máximo (COMax; ppm), Monóxido de Nitrógeno Máximo (NOMax; ppb), Dióxido de Nitrógeno Máximo (NO₂max; ppb), Óxido Nítrico Máximo (NOxmax; ppb), Ozono Máximo (O₃max; ppb), Dioxido de Sulfuro Máximo (SO₂max; ppb), Partículas Suspendidas Menores a 10 micras Máximo (PM10max; µ gm⁻³). La variable de salida son las Partículas Suspendidas Menores a 2.5 micras promedio de las 8 horas del día (PM2.5; µ gm⁻³).

En esta red se compararán cinco algoritmos de entrenamiento: Levenberg-Marquardt (Trainlm); gradiente conjugado escalado (Trainscg); Broyden, Fletcher, Goldfarb, y Shanno (Trainbfg); gradiente conjugado Fletcher-Powell (Traincgf); gradiente descendente (Traingd) en combinación con dos algoritmos de aprendizaje: gradiente descendente (Learngd); gradiente descendente con momento (Learnmd).

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

Medidas de Desempeño

Para cada tipo de red se medirá el desempeño del modelo mediante la Eficiencia (E) (Ecuación 4) y el Error Cuadrado Medio (MSE) (Ecuación 5).

$$E = 1 - \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (4)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (5)$$

Una vez seleccionado el mejor modelo de redes Neuronales se implementará el análisis de sensibilidad, para detectar cuál de las variables de entrada tiene mayor efecto en las PM_{2.5}.

Análisis de Sensibilidad

Se implementó el Algoritmo de Garson descrito en Garson (1991) para conocer la importancia de las contribuciones relativas de las variables de entrada con respecto a la variable de salida.

Las variables de entrada con mayores pesos de conexión representan mayores intensidades de transferencia de señal y, por lo tanto, son más importantes en el proceso de predicción en comparación con las variables con menores pesos. Para implementar este algoritmo, se utilizaron las matrices de pesos generadas entre la capa de entrada y la oculta y entre la oculta y la capa de salida, en las redes neuronales con la mayor eficiencia.

Resultados

En el año 2016 se registró la máxima concentración de PM_{2.5} y gracias a las medidas para mejorar la calidad del aire, se pudo disminuir esa cifra en los 2 años posteriores (Cuadro1).

Cuadro 1. Estadísticos de PM_{2.5} (μg m⁻³) alcaldía Venustiano Carranza en CDMX

Año	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Media	26.9	24.7	26.5	25.5	27.7	27.2	25.9	25.8
Max	161.0	172.0	156.0	152.0	177.0	380.0	158.0	123.0
Min	1	1	1	1	1	1	1	1
S	15.3	14.4	15.9	14.9	17.3	17.9	14.7	12.9
Dmax	360	1	1	365	1	45	349	1

S.-desviación estándar; Dmax.- Dia en que se encontró la máxima PM_{2.5}

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

Cuadro 2. Promedio de PM_{2.5} (μgm^{-3}) en 24 hrs en diferentes días

día/año	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1	49.9	64.3	51.0	62.7	71.5	92.2	66.8	49.0
2	23.5	7.9	17.9	29.0	20.2	25.3	30.6	20.7
3	25.8	19.0	20.8	21.1	16.0	33.7	33.6	32.6
100	26.1	25.1	21.3	18.0	38.0	39.7	29.0	26.5
200	13.5	27.1	28.1	23.7	29.3	23.7	23.7	20.3
300	35.7	22.5	14.8	25.2	56.7	20.1	32.0	27.8
350	40.5	48.5	30.5	33.0	23.2	32.9	22.0	32.9
365	37.3	15.4	20.0	47.8	31.9	14.0	28.6	27.9

De acuerdo a las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), el valor promedio de las PM_{2.5} en un periodo de 24 hrs debe ser menor a 45 (μgm^{-3}) (INECC, 2021). El día primero de todos los años (2011-2018) el promedio de las PM_{2.5} (μgm^{-3}) rebasa ese límite, y se mantiene por debajo de ese valor, a partir del día 300 el promedio de las PM_{2.5} se empieza a incrementar, sin embargo sólo en los años 2012, 2014, 2015 hubo un día en el que se rebasa el límite permisible.

De acuerdo a la clasificación que hace Ritzer y Sage (2005), existe una correlación moderada negativa entre la HR, temperatura media y los niveles de O₃ ($0.50 \leq |r| \leq 0.69$). Existe una correlación moderada entre VV y CO, y entre NO y NOx, las PM_{2.5} presentan correlación moderada con CO y NO₂, y alta correlación ($0.70 \leq |r| \leq 0.89$) con PM10.

Cuadro 3. Matriz de correlaciones

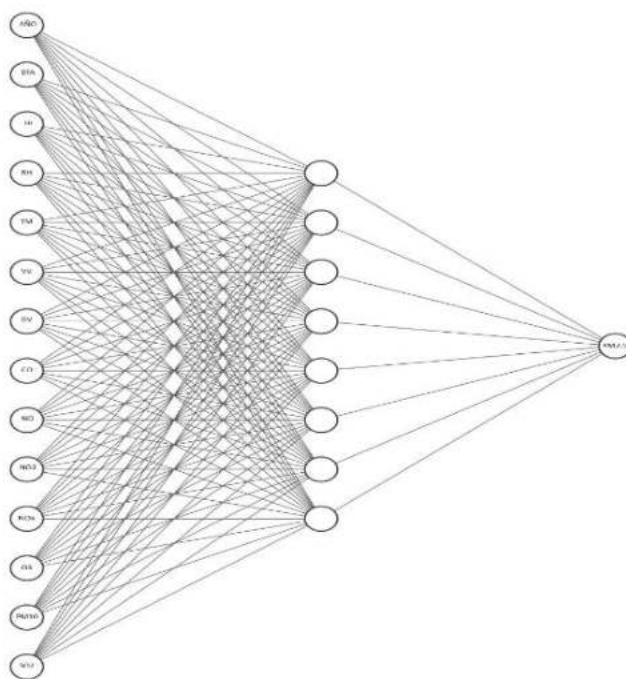
	RH	TM	VV	DV	CO	NO	NO ₂	NOX	O ₃	PM10	PM25	SO ₂
RH	1.00	-0.63	-0.35	0.10	0.09	0.19	-0.06	0.14	-0.64	-0.37	-0.13	0.08
TM	-0.63	1.00	0.46	-0.05	-0.33	-0.49	-0.22	-0.46	0.76	0.04	-0.03	-0.28
VV	-0.35	0.46	1.00	0.19	-0.50	-0.50	-0.45	-0.54	0.33	-0.19	-0.39	-0.19
DV	0.10	-0.05	0.19	1.00	-0.15	-0.14	-0.12	-0.15	-0.12	-0.19	-0.21	0.01
CO	0.09	-0.33	-0.50	-0.15	1.00	0.85	0.70	0.90	-0.33	0.51	0.51	0.17
NO	0.19	-0.49	-0.50	-0.14	0.85	1.00	0.52	0.97	-0.45	0.41	0.36	0.23
NO ₂	-0.06	-0.22	-0.45	-0.12	0.70	0.52	1.00	0.72	-0.23	0.58	0.58	0.22
NOX	0.14	-0.46	-0.54	-0.15	0.90	0.97	0.72	1.00	-0.43	0.50	0.47	0.25
O ₃	-0.64	0.76	0.33	-0.12	-0.33	-0.45	-0.23	-0.43	1.00	0.17	0.18	-0.17
PM10	-0.37	0.04	-0.19	-0.19	0.51	0.41	0.58	0.50	0.17	1.00	0.84	0.29
PM25	-0.13	-0.03	-0.39	-0.21	0.51	0.36	0.58	0.47	0.18	0.84	1.00	0.32
SO ₂	0.08	-0.28	-0.19	0.01	0.17	0.23	0.22	0.25	-0.17	0.29	0.32	1.00

El resultado encontrado no coincide con el de Chen (2018) quien encontró una alta correlación entre $PM_{2.5}$ y humedad relativa, pero coincide en la correlación negativa con la temperatura y factores de viento.

Modelo 1 de Redes Neuronales

En la Figura 1 se muestra el perceptrón multicapa con 14 variables de entrada, una capa oculta con 8 nodos en la capa oculta.

Figura 1. Variables de entrada y salida del modelo 1 de Redes Neuronales para la predicción de $PM_{2.5}$



El número de nodos en la capa oculta se varió entre 4-29 de acuerdo a los criterios del Cuadro 3. La variación de la eficiencia y el error medio absoluto de acuerdo al número de nodos en la capa oculta se presenta en la Figura 2.

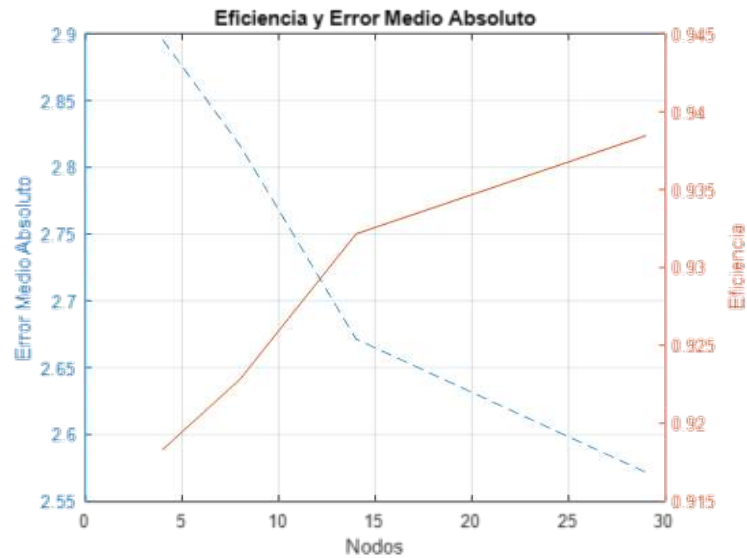
Cuadro 3. Error Medio Absoluto y Eficiencia para diferentes nodos en la capa oculta

Criterios	No nodos	MAE	EF
Pirámide geométrica	$h = \sqrt{1 * 14} = 4$	2.89	0.918
Media entre entradas y salidas	$h = \frac{1 + 14}{2} = 8$	2.81	0.9228

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

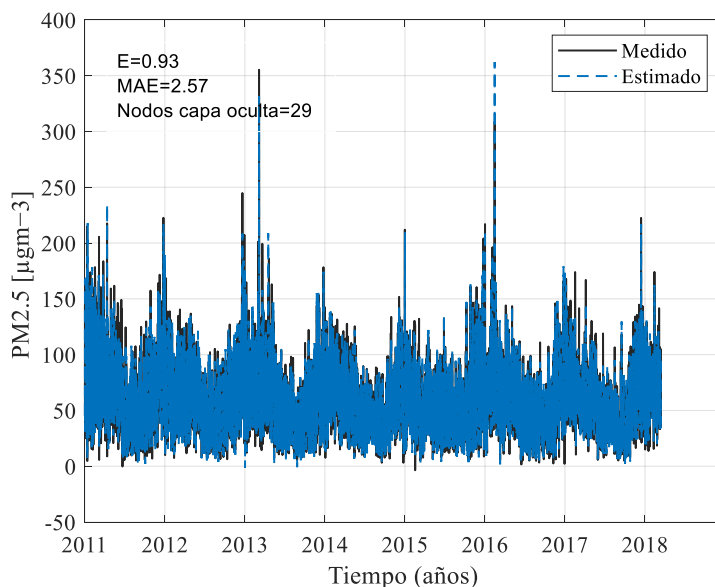
Teorema de Kolmogorov	$h = 2(14) + 1 = 29$	2.57	0.9385
Regla empirica	$h=14$	2.67	0.9322

Figura 2. . Error Medio Absoluto y Eficiencia para diferentes nodos en la capa oculta del modelo 1 de RNA



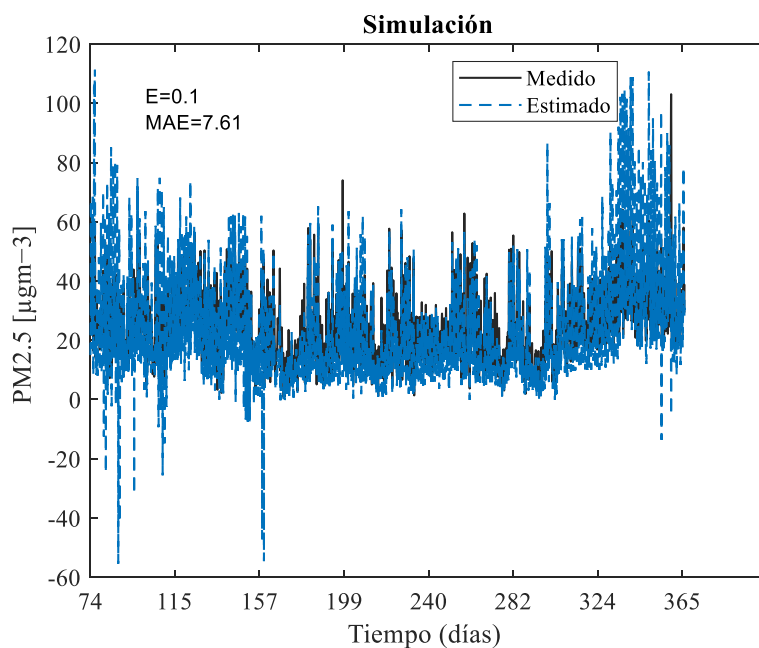
En la Figura 3 hace la comparación entre los valores medidos y simulados por la RNA que tuvo el mejor desempeño en la etapa de entrenamiento, prueba y validación.

Figura 3. Comparación entre las $PM_{2.5}$ estimados y medidos, en el entrenamiento prueba y validación del modelo 1 de redes neuronales



Se separó el 10% de los datos para la etapa de evaluación del modelo que tuvo el mejor desempeño, en esta parte solo se presentaron las entradas sin las salidas, del día 74-365 del año 2018. Aunque la eficiencia fue muy baja ($E=0.1$) debido a algunos cambios bruscos en los valores estimados, la tendencia entre lo medido y estimado se conserva (Figura 4).

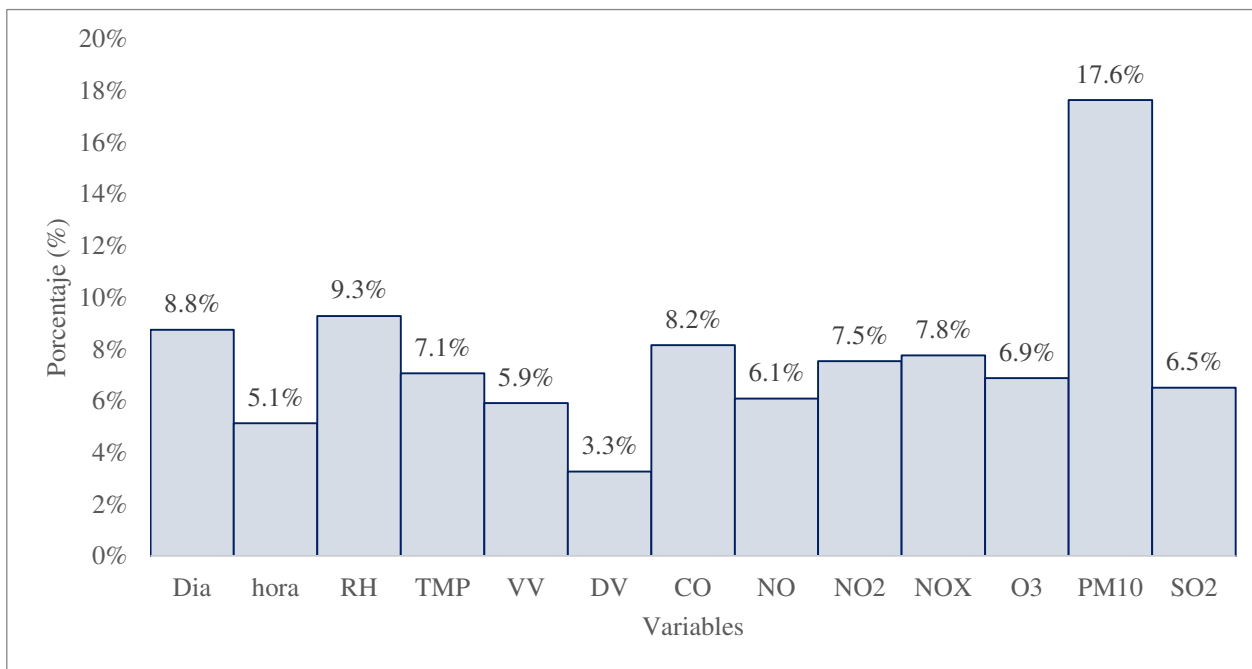
Figura 4. Comparación entre las $PM_{2.5}$ estimados y medidos, en la evaluación del modelo 1 simulación de los días 74-365 del año 2018.



Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

El análisis de sensibilidad del modelo 1 utilizando el algoritmo de Garson, se presenta en la Figura 5.

Figura 5 Análisis de Sensibilidad Modelo 1



Las variables con la mayor importancia relativa en la variación de las PM_{2.5}, fueron las PM₁₀, RH, día y CO.

Modelo 2 de Redes Neuronales Artificiales

Como se mencionó en la metodología, de acuerdo a Ordieres (2005) un modelo más apropiado para predecir el comportamiento de las PM_{2.5} es utilizando el promedio y máximos de las variables en las 1^{as} 8 horas. Utilizando este criterio, se obtuvieron los promedios y máximos, desde enero 2011 hasta diciembre 2018, en total se tuvo 2828 patrones de datos, la información se dividió en 90% entrenamiento validación y prueba (60%, 20%, 20%), y el 10% de los datos se utilizaron en la evaluación.

El Cuadro 4 despliega las medidas de desempeño y el número de iteraciones al combinar 5 algoritmos de entrenamiento y 2 algoritmos de aprendizaje.

Cuadro 4. Algoritmos utilizados en el modelo 2 y medidas de desempeño

Entrenamiento	Aprendizaje	MSE	E	MAE	No. Iter
trainlm	learngd	2.39	0.98	1.01	12
trainscg	learngd	17.85	0.867	3.04	74
trainbfg	learngd	6.46	0.952	1.70	72
traincgf	learngd	5.58	0.958	1.54	191

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

traingd	learngd	62.20	0.535	5.73	1000
trainlm	learnngdm	2.19	0.9822	0.85	14
trainscg	learnngdm	6.70	0.950	1.75	121
trainbfg	learnngdm	4.60	0.966	1.34	131
traincgf	learnngdm	7.40	0.945	1.76	130
traingd	learnngdm	77.38	0.421	6.33	1000

Levenberg-Marquardt (Trainlm); gradiente conjugado escalado (Trainscg); Broyden, Fletcher, Goldfarb, y Shanno (Trainbfg);
 gradiente conjugado Fletcher-Powell (Traincgf); gradiente descendente (Traingd); gradiente descendente (Learnngd);
 gradiente descendente con momento (Learnngdm).

La red con el mejor desempeño fue con los algoritmos trainlm y learnngdm, con 24 nodos en la capa oculta. En la Figura 6 se hace la comparación entre los valores medidos y simulados por la RNA que tuvo el mejor desempeño en la etapa de entrenamiento, prueba y validación.

Figura 6. Comparación entre las $PM_{2.5}$ estimados y medidos, en el entrenamiento prueba y validación del modelo 2 de redes neuronales (promedio y máximos de las 1as 8 hrs del día)

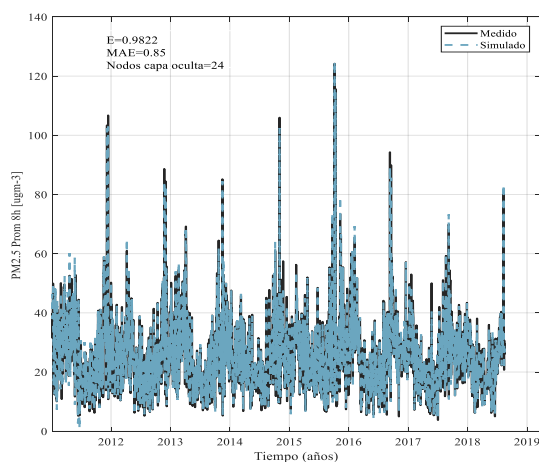
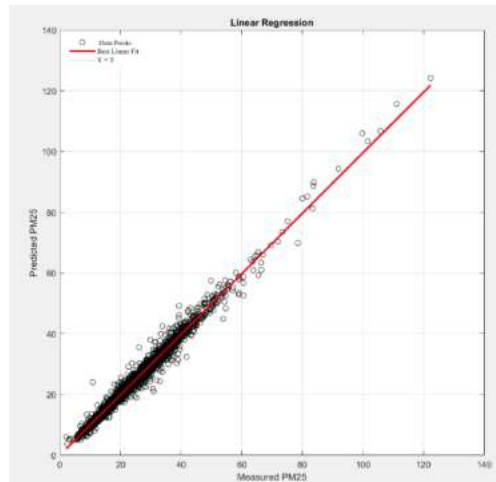


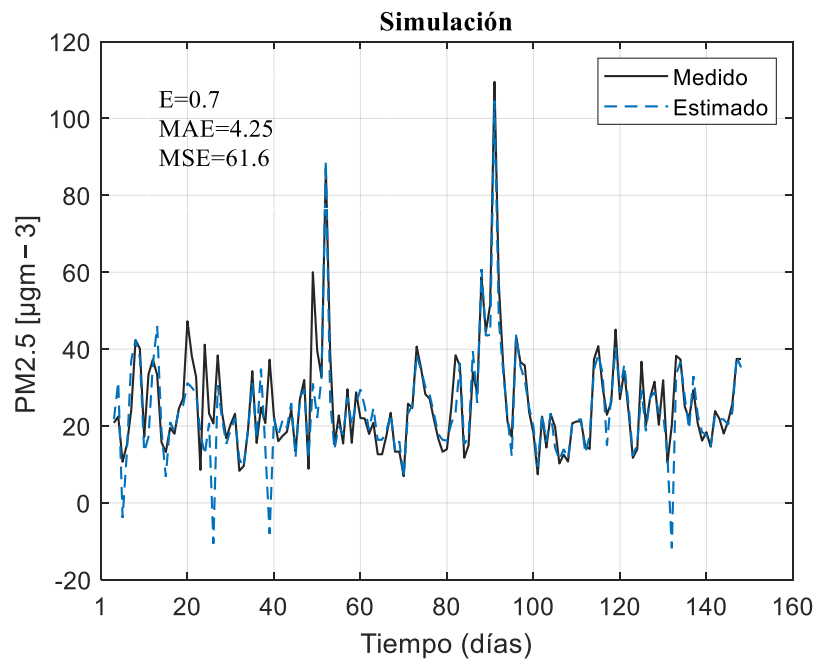
Figura 7. Regresión lineal entre lo medido y simulado 2011-2018

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México



La RNA ya entrenada se utilizó para evaluar el modelo utilizando el 10% de los datos restantes (Figura 8).

Figura 8. Simulación del modelo 2 de redes neuronales (promedio y máximos de las 1as 8 hrs del día).



La eficiencia en la simulación mejoró notablemente en el modelo 2 con respecto al 1.

Figura 9. Regresión lineal entre $PM_{2.5}$ simulados y medidas

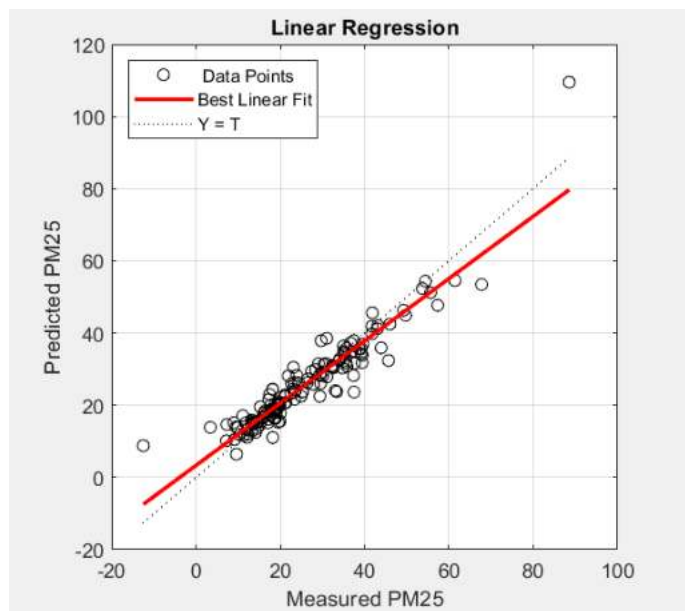
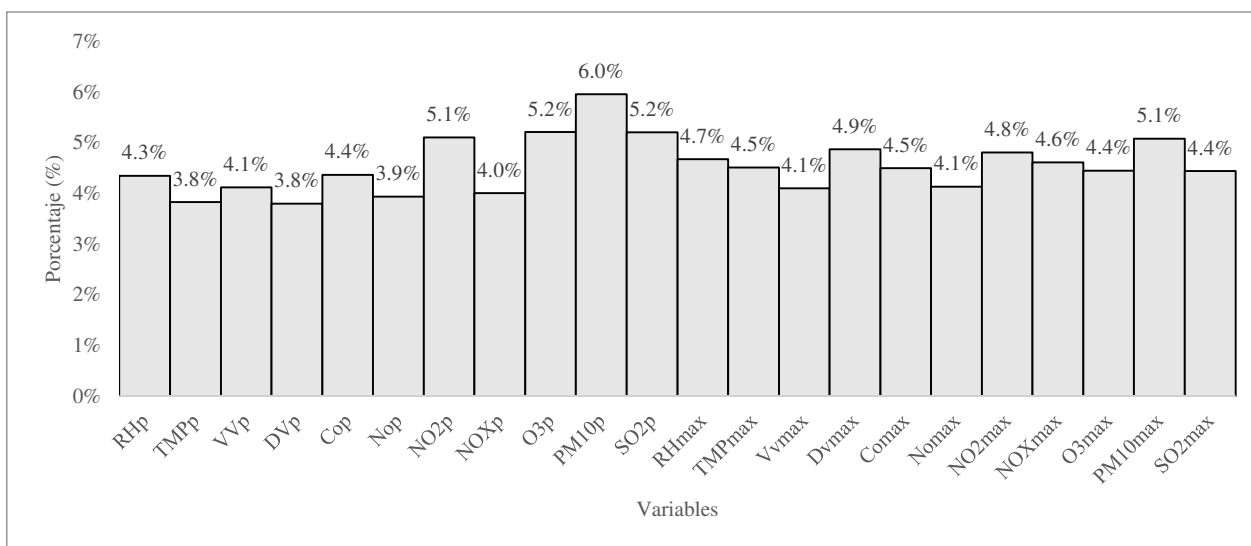


Figura 5 Análisis de Sensibilidad Modelo



Las $PM_{2.5}$ resultaron ser más sensibles a los cambios en PM_{10} promedio (PM_{10p}) y máximas (PM_{10m}), así como al promedio de SO_2 , O_3 y NO_2 . En nuestro estudio las variables de viento tuvieron poca importancia relativa para predecir $PM_{2.5}$, a diferencia de Chelani et al. (2002) que

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

aplicó ANN para predecir los niveles de contaminación y encontró que las predicciones fueron más sensibles a la dirección y velocidad del viento que el resto de las variables.

Conclusiones

De acuerdo al desempeño de los modelos especialmente en la etapa de evaluación, el mejor modelo para predecir las PM_{2.5} fue utilizar los promedios y máximos de las primeras 8 horas del día.

La información sobre el comportamiento de las PM_{2.5} será de utilidad para la población en general, porque pueden estar alertas y evitar salir cuando las condiciones climatológicas no sean convenientes. Además, pueden ser utilizados en la formulación del manejo de la calidad del aire de la Ciudad de México y puede ser extendido a otras delegaciones de la ciudad de México.

En futuros trabajos se recomienda el desarrollo de un modelo de redes neuronales que pueda predecir el contenido de PM_{2.5} con base únicamente en información climatológica y en la concentración de otros contaminantes fácilmente medibles.

Referencias

Antisari, L. V., Orsini, F., Marchetti, L., Vianello, G., & Gianquinto, G. (2015). Heavy metal accumulation in vegetables grown in urban gardens. *Agronomy for Sustainable Development*. 35(3), 1139–1147. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0308-z>

Chelani AB, Gajghate DG, Hasan M.Z. (2002). Prediction of ambient PM10 and toxic metals using artificial neural networks. *J Air Waste Manag Assoc*. 52(7):805-10. doi: 10.1080/10473289.2002.10470827. PMID: 12139345.

Chen, Y. (2018). Prediction algorithm of PM2.5 mass concentration based on adaptive BP neural network. *Computing* 100, 825–838. <https://doi-org.tudelft.idm.oclc.org/10.1007/s00607-018-0628-3>

Garson, G.D. (1991) Interpreting Neural Network Connection Weights. *AI Expert*, 6, 47-51.

Gogikar, P., Tyagi, B. & Gorai, A.K. (2019). Seasonal prediction of particulate matter over the steel city of India using neural network models. *Model. Earth Syst. Environ*. 5, 227–243 (2019). <https://doi-org.tudelft.idm.oclc.org/10.1007/s40808-018-0530-1>.

Gupta P.C. (2009). Particulate matter air quality assessment using integrated surface, satellite and meteorological products: A neural network approach. *J. Geophys Res Atmos* 114 (D14).

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2021). [Calidad del aire \(inecc.gob.mx\)](http://inecc.gob.mx) Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire, SINAICA. Consultado 11 agosto 2021 [Mexico: Air Quality Standards | Transport Policy](https://inecc.gob.mx/temas/mexico-air-quality-standards-transport-policy)

Kim, K.-H., Kabir, E., & Kabir, S. (2015). A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environment International*, 74, 136–143. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.10.005>

Li, H., Dai, Q., Liu, X., Zhou, M., Qian, X., Yang, M., & Li, F. (2020). Heavy metals in submicronic particulate matter (pm1) from a chinese metropolitan city predicted by machine learning models. *Chemosphere*, 261. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127571>

Margenat, A., Matamoros, V., Díez, S., Cañameras, N., Comas, J., & Bayona, J. M. (2019). Occurrence and human health implications of chemical contaminants in vegetables grown in peri-urban agriculture. *Environment International*, 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.12.013>

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

McKendry (2000). Evaluation of artificial neural networks for fine particulate pollution (PM 10 y PM2.5) forecasting. *J Air Waste Manage Assoc* 52:1096-1101.

Mugica-Alvarez, V., Figueroa-Lara, J., Romero-Romo, M., Lopez-Moreno, T., & Sepulveda-Sanchez, J. (2012). Concentrations and properties of airborne particles in the Mexico City subway system. *Atmospheric Environment*, 49, 284–293. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.11.038>

Rai P.K., Panda L.S., Chutia, B.M., Singh, M.M. (2013). Roadside plants as bio indicators of air pollution in an industrial region. Rourkela. *India Int J Adv Res Technol* 4: 14-36.

Ritzer, G. (2005). Encyclopedia of social theory. Sage Publications. [Correlation Coefficient - an overview | ScienceDirect Topics](#)

Shahid, M., Dumat, C., Khalid, S., Schreck, E., Xiong, T., & Niazi, N. K. (2017). Foliar heavy metal uptake, toxicity and detoxification in plants: A comparison of foliar and root metal uptake. *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 325, pp. 36–58. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.11.063>

Uzu, G., Sobanska, S., Sarret, G., Muñoz, M., & Dumat, C. 2010. Foliar Lead uptake by lettuce exposed to atmospheric fallouts. *Environmental Science and Technology*, 44(3), 1036–1042. <https://doi.org/10.1021/es902190u>

WHO. 2013. Health effects of particulate matter. Policy implications for countries in eastern Europe, Caucasus and central Asia. World Health Organization. [WHO/Europe | Air quality - Health effects of particulate matter. Policy implications for countries in eastern Europe, Caucasus and central Asia \(2013\)](#)

Zhang, D. Z., & Peng, Z. R. (2014). Near-road fine particulate matter concentration estimation using artificial neural network approach. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11(8), 2403–2412. <https://doi.org/10.1007/s13762-014-0565-4>

Zhang, Y.W., Zhang, X.Y., Zhang, Y.M., Shen, X.J., Sun, J.Y., Ma, Q.L., Yu, X.M., Zhang, L., Che, H.C. (2015). Significant concentration changes of chemical components of PM1 in the Yangtze River Delta area of China and the implications for the formation mechanism of heavy haze/fog pollution. *Sci. Total Environ.* 538, 7e15.

Aplicación de redes neuronales artificiales en la medición de las dimensiones del bulbo húmedo en riego por goteo superficial

Ing. Irouri Cristóbal-Muñoz¹

Dr. Jorge Víctor Prado-Hernández²

Dra. Raquel Salazar-Moreno³

Dr. Antonio Martínez-Ruiz⁴

Mesa: 1 Matemáticas y Física

Resumen

En las últimas décadas se ha incrementado la exigencia a la agricultura de tener mayores rendimientos con un menor consumo de agua. La tecnología de riego por goteo puede ayudar a enfrentar este desafío y para ello es necesario optimizar aspectos de diseño y operación, donde la información del patrón de humedecimiento juega un papel fundamental. Es deseable contar con información de la geometría del bulbo de mojado, obtenida de forma directa en experimentos de campo o laboratorio; sin embargo, ello resulta complicado y costoso. Por tal motivo, el objetivo de esta investigación fue implementar dos Redes Neuronales Artificiales (ANN), capaces de estimar adecuadamente el ancho y la profundidad de mojado en riego por goteo superficial en un suelo de textura franco arcillo arenosa con emisores de diferentes caudales. Para la implementación de las ANN se utilizó un perceptrón multicapa con una sola capa oculta y se compararon diferentes algoritmos de retropropagación. Se probaron diferentes cantidades de nodos en la capa oculta, calculadas con cuatro criterios empíricos. Los mejores resultados se obtuvieron con el número de neuronas (seis) calculado con el criterio del promedio y la función trainlm (Levenberg-Marquardt backpropagation). Se lograron implementar dos ANN óptimas que predicen aceptablemente la evolución temporal de las magnitudes vertical y horizontal del bulbo de humedecimiento, vislumbrando este enfoque de modelación como una herramienta potencial en la gestión del riego por goteo, en el que se tendrá que continuar investigando para mejorar sus alcances.

Palabras clave: Inteligencia artificial, geometría del bulbo, modelación del riego, agua en el suelo.

Abstract

In recent decades, the demand for agriculture to have higher yields with less water consumption has increased. Drip irrigation technology can help to face this challenge and for this it is necessary to optimize design and operation aspects, where the information of the wetting pattern plays a fundamental role. It is desirable to have information on the geometry of the fountain bulb, obtained directly in field or laboratory experiments;

however, this is complicated and expensive. For this reason, the objective of this research was to implement two Artificial Neural Networks (ANN), capable of adequately estimating the width and depth of wetting in surface drip irrigation in a sandy clay loam soil with emitters of different flow rates. For the implementation of the ANN, a multilayer perceptron with a single hidden layer was used and different backpropagation algorithms were compared. Different numbers of nodes were tested in the hidden layer, calculated with four empirical criteria. The best results were obtained with the number of neurons (six) calculated with the average criterion and the trainlm function (Levenberg-Marquardt backpropagation). It was possible to implement two optimal ANN that acceptably predict the temporal evolution of the vertical and horizontal magnitudes of the wetting bulb, envisioning this modeling approach as a potential tool in drip irrigation management, in which further research will have to be done to improve its scopes.

Keywords: Artificial intelligence, bulb geometry, irrigation modeling, water in the soil.

Introducción

En México la agricultura es el sector que más agua consume en el país, la demanda de agua por este sector se incrementó en 15.4% entre 2001 y 2014; de seguir con esta tendencia se pronostica un escenario bastante desfavorable en la disponibilidad de agua para el año 2030. Debido a esta restricción uno de los aspectos de mayor relevancia nacional es reducir el consumo de agua en relación a la producción obtenida (SEMARNAT, 2016). La tecnología de riego por goteo puede ayudar a enfrentar este desafío, dando a los productores un mayor control sobre la aplicación de agua e insumos (Subbaiah & Mashru, 2013). Para lograr el máximo beneficio que ofrece la tecnología del riego por goteo, se requiere optimizar aspectos de diseño y operación, como el espaciamiento de instalación de los emisores, caudales de los emisores, frecuencia y tiempo del riego (Skaggs, Trout, Šimůnek & Shouse, 2004).

La técnica de aplicación del riego por goteo se ha empleado y estudiado en muchos lugares alrededor del mundo (Venot et al., 2014). Con esta técnica el agua se conduce hasta la planta y es entregada puntualmente al suelo con emisores de baja presión, anulando las pérdidas por coleos, minimizando las pérdidas por conducción y con potencial de minimizar las pérdidas por percolación profunda y evaporación (Ayars, Fulton & Taylor, 2015). El objetivo de esta forma de aplicación de riego es suministrar agua a un volumen de suelo limitado en la zona activa de absorción de las raíces (Amin & Ekhmaj, 2006). Las principales ventajas del riego por goteo sobre otras técnicas de aplicación de riego, es la alta eficiencia de aplicación (90%) y el mantenimiento relativamente constante del nivel de humedad en la zona de raíces, provocando un aumento considerable en la producción de muchos cultivos (Waller & Yitayew, 2016).

La geometría del bulbo de mojado del agua en el suelo es uno de los aspectos importantes del diseño y operación del riego por goteo (Hammami, Daghari, Balti & Maalej, 2002), pues con dicha información se puede establecer el espaciamiento óptimo entre emisores para mejorar la aplicación de agua en el sistema radicular de la planta. En cuestiones prácticas de diseño y operación del riego por goteo superficial, el bulbo de mojado puede ser definido por su profundidad y su ancho en la superficie del suelo (Malek & Peters,

2011). La distribución del agua del bulbo de mojado se puede obtener por tres medios: a través de mediciones en experimentos en campo, con mediciones en modelos físico experimentales en laboratorio, y con el uso de modelos matemáticos (Cruz-Bautista et al., 2016).

En el caso de los experimentos de riego en campo, si no se cuenta con el equipo adecuado que evite realizar excavaciones en el suelo en los sitios de observación, se pueden presentar algunas desventajas: (1) alteraciones de las condiciones físicas del suelo, (2) las observaciones se limitan únicamente a un tiempo de riego, ya que si se usa un sitio excavado previamente para todas las observaciones temporales se corre el riesgo de modificar la dinámica del movimiento del agua en el suelo, porque la cara del suelo de observación quedaría expuesta al ambiente directamente, y (3) dificultad para la identificación del frente de humedecimiento si la condición inicial de humedad es alta.

El uso de sensores de humedad del suelo en la medición de la distribución de humedad en riego por goteo es una buena alternativa para este problema, siempre que estos sean precisos y permitan medir con alta frecuencia la evolución espacio-temporal de la humedad en el suelo, pero es necesario contemplar un especial cuidado en su instalación y uso, además del costo de su adquisición. La principal limitación del uso de sensores en experimentos de campo en comparación a su uso en laboratorio, es el no poder obtener directamente la profundidad de mojado del bulbo húmedo, y en el caso del riego por goteo subsuperficial no poder obtener la profundidad y ancho de mojado sin alterar los sitios de observación en los experimentos. Una excelente opción para resolver este problema es el uso de Redes Neuronales Artificiales (ANN), considerando los trabajos del modelado de infiltración en riego por goteo con ANN realizados por Lazarovitch, Poulton, Furman & Warrick (2009), Neto, Teixeira, Braga, Santos & Leão (2015). Elnesr & Alazba (2017) y Karimi, Mohammadi, Sanikhani, Salih & Yaseen (2020).

Las ANN son técnicas robustas de reconocimiento de patrones que se pueden utilizar para relacionar un sistema de entradas y salidas, cuando las relaciones físicas para describir el sistema son muy complejas. Este conocimiento inspiró a los científicos a realizar experimentos utilizando ANN en la primera mitad de la década de 1990 y sus prometedores resultados llevaron a adoptar esta técnica para resolver muchos problemas de campos orientados; un ejemplo de esto es su aplicación en la modelación de fenómenos hidrológicos (Kumar, Raghuwanshi & Singh, 2011). La mayoría de los estudios han demostrado que las ANN pueden superar a las técnicas estadísticas tradicionales y producir resultados comparables a los modelos conceptuales. Sin embargo, el campo del modelado de infiltración bajo riego por goteo utilizando ANN se encuentra todavía en una etapa temprana de desarrollo, y sigue siendo un tema de investigación en curso, por lo que, se necesita más investigación para apoyar la discusión sobre el valor de estas técnicas en este campo y para ayudar a desarrollar todo su potencial (Subbaiah, 2013).

Un modelo de red neuronal es una construcción matemática con una arquitectura que está altamente estructurada, y tiene capacidades de aprendizaje y generalización que intentan imitar los mecanismos neurológicos del cerebro humano (Figura 1). Los componentes básicos de una ANN son elementos de procesamiento (neuronas artificiales) dispuestos en capas y pesos de conexión entre capas de neuronas adyacentes. La primera capa de neuronas se llama capa de entrada y la última capa se llama capa de salida, y las capas

situadas entre las capas de entrada y salida se denominan capas ocultas. Los parámetros de entrada se transmiten a través de conexiones que multiplican sus puntos fuertes por pesos para formar entradas ponderadas. La capa de entrada recibe los parámetros de entrada y los distribuye a las neuronas en la siguiente capa sin hacer ningún cálculo (Li, Yoder, Odhiambo & Zhang, 2004). Las neuronas de las capas oculta y de salida constan de dos partes, la primera parte simplemente agrega las entradas ponderadas; la segunda parte es esencialmente un filtro no lineal, generalmente llamado función de transferencia o función de activación, el cual limita el valor de la salida de una neurona artificial a un valor entre dos asíntotas (Kumar et al., 2011).

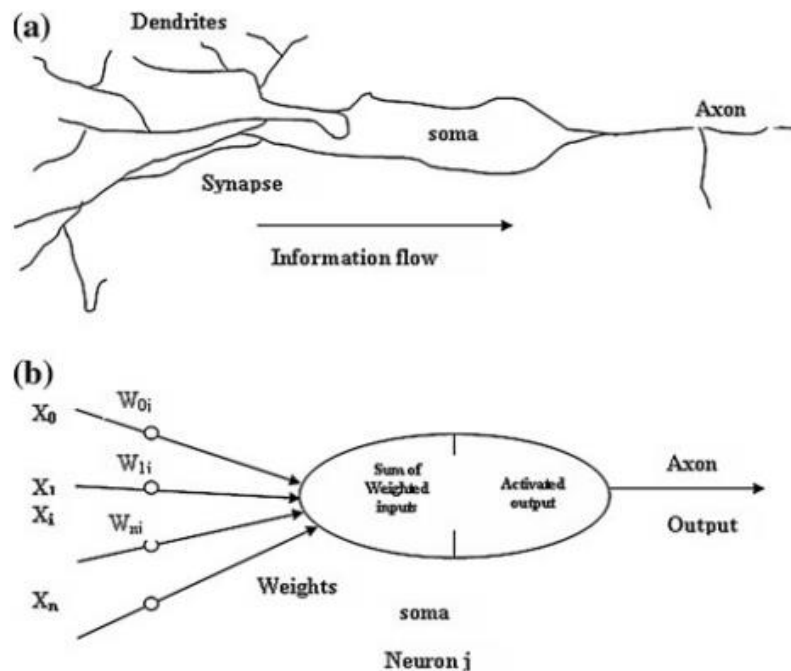


Figura 1. Representación esquemática de una neurona biológica (a) y una neurona artificial (b). Fuente: Kumar et al. (2011).

Las ANN están capacitadas para realizar funciones complejas ajustando los pesos de conexión entre neuronas. Por lo general, las ANN se ajustan o entrenan de modo que una entrada particular conduzca a productos objetivo, los pesos de las conexiones se ajustan en función de una comparación de los ejemplos de entrada y las salidas esperadas. El objetivo es minimizar la diferencia entre la entrada y los valores de salida esperados, utilizando algoritmos de entrenamiento, porque los pesos iniciales se asignan aleatoriamente a las conexiones, entonces la diferencia entre la predicción y lo deseado pueden ser grandes. Por lo tanto, el aprendizaje implica ajustar iterativamente los pesos de conexión para minimizar estas diferencias (Li et al., 2004).

Las ANN tienen las siguientes ventajas (Subbaiah, 2013): (a) pueden simular la no linealidad en un sistema, (b) pueden distinguir eficazmente lo relevante y lo irrelevante de la información, (c) no requieren necesariamente la suposición o aplicación de restricciones o una solución a priori, (d) tienen demandas computacionales relativamente bajas y se pueden integrar fácilmente con otras técnicas, debido a su estructura de modelación

compacta y flexible, (e) cuando un elemento de la ANN falla, puede continuar sin ningún problema debido a su naturaleza paralela, y (f) una ANN aprende y no tiene que ser reprogramada.

Por todo lo anterior, el objetivo de esta investigación fue implementar dos ANN óptimas, capaces de estimar la dimensión horizontal (ancho) y vertical (profundidad) del bulbo de mojado en suelos bajo riego por goteo superficial, con una precisión y exactitud aceptables.

Materiales y métodos

A partir de las experiencias obtenidas por Lazarovitch et al. (2009), Neto et al. (2015), Elnesr & Alazba (2017) y Karimi et al. (2020) se decidió utilizar un perceptrón multicapa (PM) con una sola capa oculta (Figura 2). Las ANN se implementaron en el software Matlab versión 9.8 con diferentes algoritmos de retropropagación para el entrenamiento del PM, ejecutados con las funciones: `trainlm` (Levenberg-Marquardt backpropagation), `trainbfg` (BFGS quasi-Newton backpropagation) y `traincgf` (Conjugate gradient backpropagation with Fletcher-Reeves update). Para el aprendizaje de las redes se utilizaron el gradiente descendente con y sin momento (`learngdm` y `learngd`). En la capa oculta se aplicó una función de transferencia tangente sigmoideal y en la capa de salida una función de transferencia lineal.

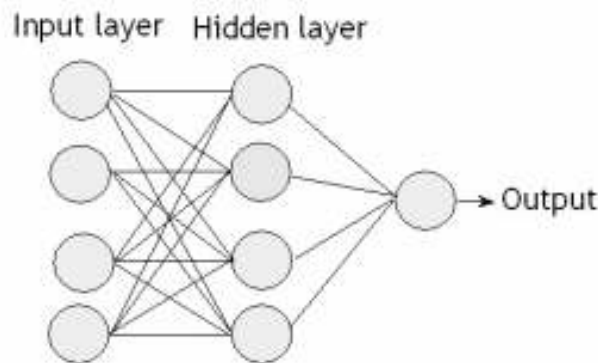


Figura 2: Arquitectura típica de un Perceptrón Multicapa. Fuente: Ekhmaj, Abdulaziz & Almdny (2007).

Para encontrar el número de neuronas óptimo en la capa oculta, se probaron diferentes cantidades de nodos en dicha capa, obtenidas con los siguientes criterios empíricos;

1. Regla de la pirámide geométrica.

$$\text{nodos de capa oculta} = \sqrt{\text{nodos (capa entrada)} * \text{nodos (capa salida)}} \quad (1)$$

2. Promedio.

$$\text{nodos de capa oculta} = \frac{\text{nodos (capa entrada)} + \text{nodos (capa salida)}}{2} \quad (2)$$

3. Teorema de Kolmogorov.

$$\text{nodos de capa oculta} = 2 * \text{nodos (capa entrada)} + 1 \quad (3)$$

4. Regla empírica.

$$\text{nodos de capa oculta} = \text{nodos (capa entrada)} \quad (4)$$

En la construcción y evaluación de los modelos de ANN se utilizó la información obtenida por Cristóbal-Muñoz (2019), donde se generó información del patrón de humedecimiento en riego por goteo superficial en un suelo de textura franco arcillo arenosa, con sensores de humedad y un modelo físico-experimental de paredes transparentes (Figura 3). Se tomó la información de cuatro riegos con tres tasas de descarga del emisor (1.44, 2.90 y 3.75 litros por hora).

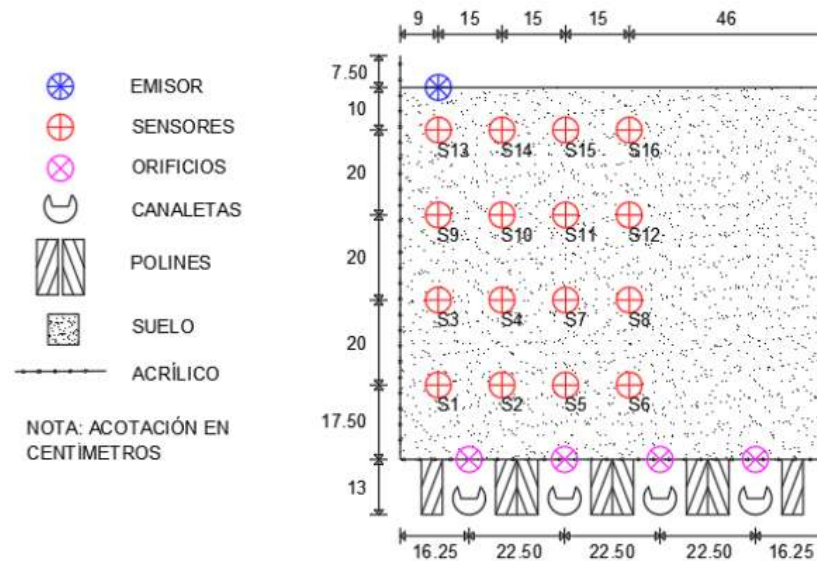


Figura 3: Sistema experimental con acotaciones en centímetros. Fuente: Cristóbal-Muñoz (2019).

Se generó una matriz de 1354 x 13 datos, donde las 13 columnas son el tiempo de riego, caudal del emisor, ancho de mojado (d), profundidad de mojado (z) y las lecturas de humedad volumétrica de los sensores 3, 4, 7, 9, 10, 11, 13, 14 y 15. A partir de esta matriz se crearon dos condiciones para las ANN, la primera es cuando la variable de salida es la profundidad de mojado y las entradas son el resto de variables, sin contemplar el ancho de mojado. La segunda es cuando la variable de salida es el ancho de mojado y las entradas son el resto de variables, sin contemplar la profundidad de mojado. Los datos se dividieron aleatoriamente en dos partes: entrenamiento (90%) y evaluación (10%). El entrenamiento fue dividido en capacitación (60%), validación (20%) y pruebas (20%). Además, se realizó una prueba práctica del funcionamiento de las ANN obtenidas; para ello se utilizaron datos distintos a los usados en el entrenamiento y evaluación de las ANN, analizando los últimos 40 minutos de un riego en el mismo sistema experimental y con una descarga del emisor de 3.75 litros por hora.

La evaluación de las capacidades predictivas de las ANN se hizo con la raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE) y el coeficiente de eficiencia de Nash y Sutcliffe (EF) (Willmott, Robeson & Matsuura, 2012):

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2 \right]^{1/2} \quad (5)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2} \quad (6)$$

donde, N es el número total de datos, P_i corresponde al i-ésimo dato estimado, O_i es el i-ésimo dato observado y $\bar{O}$ es la media de los datos observados.

Según los valores del indicador EF, el desempeño del modelo puede calificarse como (Ritter & Muñoz-Carpena, 2013): insatisfactorio ($EF < 0.65$), aceptable ($0.65 \leq EF < 0.80$), bueno ($0.80 \leq EF < 0.90$), y muy bueno ($EF \geq 0.90$).

Resultados

El número de neuronas probadas en la capa oculta fueron 4, 6, 11 y 23, calculados con los criterios empíricos 1, 2, 4 y 3, respectivamente. En el Cuadro 1 se aprecian las eficiencias y las raíces de los errores cuadráticos medios, usando los posibles números de nodos en la capa oculta y la función trainlm, combinado con un aprendizaje con el gradiente descendente con momento. Se observaron excelentes resultados para todas las opciones posibles, por lo tanto, se descarta la opción de utilizar 23 nodos en la capa oculta, debido a que siempre se busca tener los mejores resultados con una arquitectura simple de la red neuronal.

Cuadro 1. Indicadores estadísticos usando trainlm y learnngdm.

Numero de nodos en la capa oculta	Profundidad de mojado (z)		Ancho de mojado (d)	
	RMSE (cm)	EF	RMSE (cm)	EF
4	0.1438	0.9997	0.7088	0.9983
6	0.1254	0.9998	0.2325	0.9998
11	0.0905	0.9999	0.3106	0.9997
23	0.1053	0.9998	0.5349	0.9990

En el Cuadro 2 se aprecian los resultados del entrenamiento de las ANN, en la predicción de la profundidad y ancho de mojado se obtuvieron los mejores resultados al realizar el entrenamiento con la función trainlm y un aprendizaje con el gradiente descendente con y sin momento. Por lo tanto, se escogieron las redes entrenadas con la función trainlm para la evaluación y la prueba práctica de las ANN.

Cuadro 2. Indicadores estadísticos de las ANN en el entrenamiento.

Nodos	Aprendizaje	Entrenamiento	Profundidad (z)	Ancho (d)
-------	-------------	---------------	-----------------	-----------

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

(capa oculta)			RMSE (cm)	EF	Iteraciones	RMSE (cm)	EF	Iteraciones
4	Learngd	Trainlm	0.1370	0.9997	67	0.5923	0.9988	120
		Trainbfg	0.5324	0.9956	58	2.8465	0.9720	45
		Traincgf	0.7886	0.9903	67	2.7961	0.9730	86
	Learngdm	Trainlm	0.1419	0.9997	599	0.7472	0.9981	50
		Trainbfg	0.3989	0.9975	132	3.5997	0.9553	25
		Traincgf	0.7559	0.9910	59	3.0975	0.9669	39
6	Learngd	Trainlm	0.1108	0.9998	73	0.5922	0.9988	39
		Trainbfg	0.3680	0.9979	93	2.5443	0.9777	39
		Traincgf	0.4819	0.9964	144	2.9419	0.9701	53
	Learngdm	Trainlm	0.1541	0.9996	45	0.3706	0.9995	247
		Trainbfg	0.6541	0.9933	71	2.8621	0.9717	42
		Traincgf	0.5993	0.9944	85	2.7511	0.9739	56
11	Learngd	Trainlm	0.0692	0.9999	90	0.4151	0.9994	200
		Trainbfg	0.3764	0.9978	129	2.4536	0.9792	41
		Traincgf	0.6159	0.9941	71	1.3214	0.9940	170
	Learngdm	Trainlm	0.1468	0.9997	37	0.1555	0.9999	180
		Trainbfg	0.3569	0.9980	104	1.0538	0.9962	156
		Traincgf	0.4354	0.9970	163	1.9076	0.9874	150

En el caso de la evaluación, todas las redes seleccionadas obtuvieron excelentes resultados (Cuadro 3), pero en la prueba práctica los resultados no fueron tan buenos (Cuadro 4), ya que se obtuvieron resultados aceptables solo en tres redes, dos en la predicción de la profundidad de mojado (trainlm y learngd con 4 y 6 nodos en la capa oculta) y una en el caso del ancho de mojado (trainlm y learngdm con 6 nodos en la capa oculta). Estos resultados comprobaron lo dicho por Subbaiah (2013), quien afirma que la minimización de errores en la fase de entrenamiento y evaluación de las ANN, no implica necesariamente un buen desempeño operativo. Lo anterior sugiere la necesidad de continuar investigando la aplicación de las ANN en la modelación de la geometría del bulbo de mojado en riego por goteo. En la Figura 4 se observa lo predicho por las ANN óptimas encontradas contra los datos observados de la prueba práctica.

Cuadro 3. Indicadores estadísticos de las ANN (trainlm) en la evaluación.

Numero de nodos en la capa oculta	Aprendizaje	Profundidad (z)		Ancho (d)	
		RMSE (cm)	EF	RMSE (cm)	EF
4	Learngd	0.4747	0.9963	0.7971	0.9980

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

	Learngdm	0.4891	0.9961	1.4639	0.9934
6	Learngd	0.4351	0.9969	0.7476	0.9983
	Learngdm	0.5540	0.9950	0.7126	0.9984
11	Learngd	0.2331	0.9991	0.7886	0.9981
	Learngdm	0.5066	0.9958	1.7997	0.9900

Cuadro 4. Indicadores estadísticos de las ANN (trainlm) en la prueba práctica.

Numero de nodos en la capa oculta	Aprendizaje	Profundidad (z)		Ancho (d)	
		RMSE (cm)	EF	RMSE (cm)	EF
4	Learngd	0.8428	0.6539	25.3167	-51.1813
	Learngdm	3.3646	-4.6742	12.8605	-12.4657
6	Learngd	0.7127	0.7454	2.8255	0.3500
	Learngdm	2.1305	-1.2751	1.8282	0.7279
11	Learngd	7.5947	-27.9110	21.4933	-36.6113
	Learngdm	3.4863	-5.0923	13.8033	-14.5124

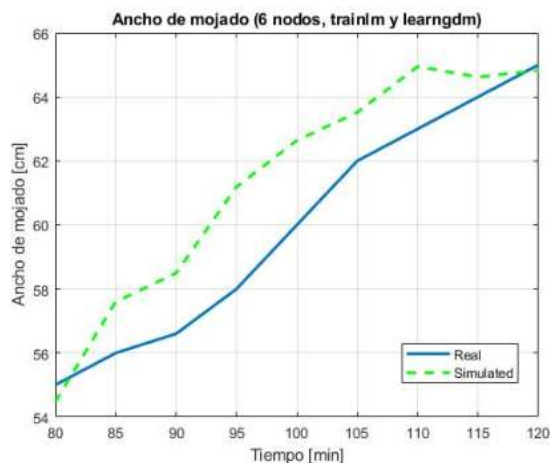
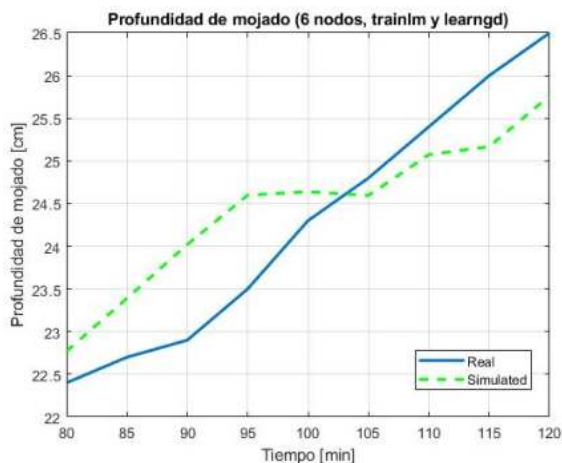


Figura 4: Mediciones versus simulaciones con las ANN óptimas en la prueba práctica.

En las Figuras 5 y 6 se muestran la arquitectura de las redes óptimas encontradas, los resultados obtenidos de las redes óptimas fueron excelentes en comparación a los resultados encontrados por Cristóbal-Muñoz, Prado-Hernández y Cristóbal-Acevedo (2020) en la predicción de la geometría del bulbo de mojado, a partir de mediciones de sensores de humedad del suelo y el método de Kriging con el software Surfer 10, donde los valores de RMSE oscilaron entre 3.4 a 8.7 cm y 4.4 a 12.9 cm en la predicción de la profundidad y del ancho de mojado, respectivamente.

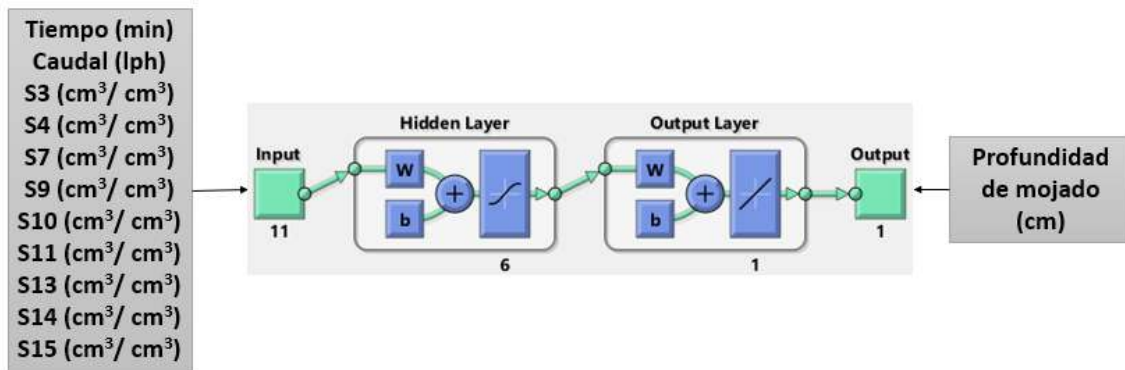


Figura 5: Arquitectura de la red óptima para la predicción de la profundidad de mojado (trainlm y learngd).

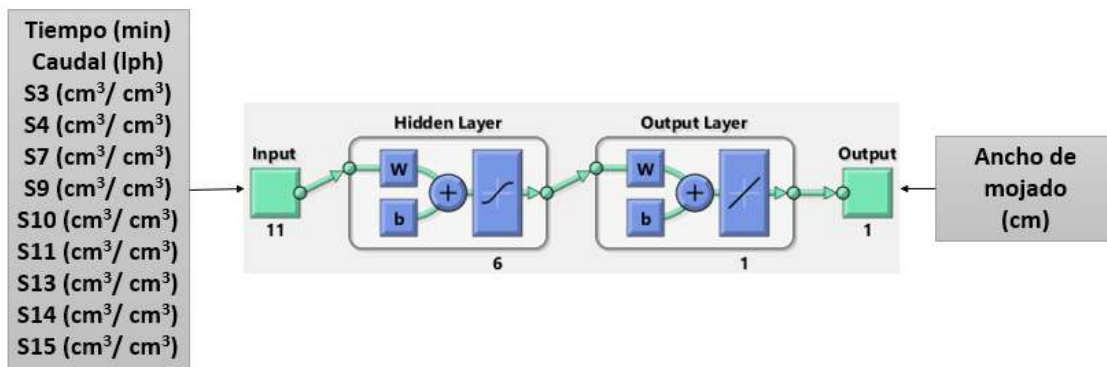


Figura 6: Arquitectura de la red óptima para la predicción del ancho de mojado (trainlm y learnqdm).

Conclusiones

Se implementaron dos ANN capaces de predecir las dimensiones del bulbo de humedecimiento con una precisión y exactitud aceptable, comprobando que las ANN pueden ser una buena opción para obtener la profundidad y ancho de mojado en situaciones donde no se pueden medir directamente. Los mejores resultados se obtuvieron con seis neuronas en la capa oculta y la función trainlm, con un aprendizaje con la función learngd y learnqdm para la profundidad y ancho de mojado, respectivamente.

La aplicación de ANN en la modelación de riego se encuentra en una etapa temprana de desarrollo, por lo que se necesita más investigación de este tema para lograr visualizar todo su potencial.

Agradecimientos

Se agradece a la Dirección General de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma Chapingo por el apoyo otorgado para la adquisición del sistema experimental.

Literatura citada

Amin, M. S. M., & Ekhmaj, A. I. M. (2006). DIPAC-Drip Irrigation Water Distribution Pattern Calculator. 7th International Micro Irrigation Congress, 10-16 Sept., Pwtc, Kuala Lumpur, Malaysia.

Ayars, J.E., Fulton, A., & Taylor, B. (2015). Subsurface drip irrigation in California—Here to stay?. *Agricultural Water Management*, 157, 39-47. DOI: 10.1016/j.agwat.2015.01.001

Cristóbal-Muñoz, I. (2019). Medición y análisis del patrón de humedecimiento en riego por goteo superficial en un suelo franco arcillo arenoso. Tesis de licenciatura, Departamento de Irrigación, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, México: 45-63.

Cristóbal-Muñoz, I., Prado-Hernández, J. V., & Cristóbal-Acevedo, D. (2020). “Geometría del bulbo de mojado de riego por goteo a partir de sensores de humedad de suelo”. *Memoria del VIII Congreso Internacional y XXII Congreso Nacional de Ciencias Agronómicas*. Chapingo, México. 417-418.

Cruz-Bautista, F., Zermeño-González, A., Álvarez-Reyna, V., Cano-Ríos, P., Rivera-González, M., & Siller-González, M. (2016). Validación de un modelo para estimar la extensión del bulbo de humedecimiento del suelo con riego por goteo. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(1), 45-55.

Ekhmaj, A. I., Abdulaziz, A. M., & Almdny, A. M. (2007). Artificial neural networks approach to estimate wetting pattern under point source trickle irrigation. *African Crop Science Conference Proceedings*, 8, 1625-1630. ISSN 1023-070X

Elnesr, M.N., & Alazba, A.A. (2017). Simulation of water distribution under surface dripper using artificial neural networks, *Computers and Electronics in Agriculture*, 143, 90-99. DOI: 10.1016/j.compag.2017.10.003

Hammami, M., Daghari, H., Balti, J., & Maalej, M. (2002). Approach for predicting the wetting front depth beneath a surface point source: Theory and numerical aspect. *Irrigation and Drainage*, 51(4), 347-360. DOI: 10.1002/ird.60

Karimi, B., Mohammadi, P., Sanikhani, H., Salih, S. Q., & Yaseen, Z. M. (2020). Modeling wetted areas of moisture bulb for drip irrigation systems: An enhanced empirical model and artificial neural network, *Computers and Electronics in Agriculture*, 178, 105767. DOI: 10.1016/j.compag.2020.105767

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

- Kumar, M., Raghuwanshi, N.S., & Singh, R. (2011). Artificial neural networks approach in evapotranspiration modeling: a review. *Irrigation Science*, 29, 11-25. DOI:10.1007/s00271-010-0230-8
- Lazarovitch, N., Poulton, M., Furman, A., & Warrick A. W. (2009). Water distribution under trickle irrigation predicted using artificial neural networks. *J Eng Math* 64, 207–218. DOI: 10.1007/s10665-009-9282-2
- Li, J., Yoder, R.E., Odhiambo, L.O., & Zhang, J. (2004). Simulation of nitrate distribution under drip irrigation using artificial neural networks. *Irrig Sci*, 23, 29–37. DOI: 10.1007/s00271-003-0090-6
- Malek, K., & Peters, R. T. (2011). Wetting Pattern Models for Drip Irrigation: New Empirical Model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 137(8), 530-536. DOI: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000320
- Neto, O. C. D. R., Teixeira, A. D. S., Braga, A. P. S., Santos, C. C. D., & Leão, R. A. O. (2015). Application of artificial neural networks as an alternative to volumetric water balance in drip irrigation management in watermelon crop. *Engenharia Agrícola*, 35(2), 266-279. DOI: 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n2p266-279/2015
- Ritter, A., & Muñoz-Carpena, R. (2013). Performance evaluation of hydrological models: statistical significance for reducing subjectivity in goodness-of-fit assessments. *Journal of Hydrology*, 480, 33–45. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2012.12.004
- SEMARNAT. (2016). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde. Edición 2015. Semarnat. México. 380-381.
- Skaggs, T. H., Trout, T. J., Šimůnek, J., & Shouse, P. J. (2004). Comparison of HYDRUS-2D simulation of drip irrigation with experimental observations. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 130(4), 304-310. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9437(2004)130:4(304)
- Subbaiah, R., & Mashru, H.H. (2013). Modeling for predicting soil wetting radius under point source surface trickle irrigation. *Agricultural Engineering International: The CIGR Journal*, 15(3), 1-10.
- Subbaiah, R. (2013). A review of models for predicting soil water dynamics during trickle irrigation. *Irrigation Science*, 31, 225–258. DOI: 10.1007/s00271-011-0309-x
- Venot, J. P., Zwarteveen, M., Kuper, M., Boesveld, H., Bossenbroek, L., Kooij, S.V.D., Wanvoeke, J., Benouniche, M., Errahj, M., Fraiture, C.D. & Verma, S. (2014), BEYOND THE PROMISES OF TECHNOLOGY: A REVIEW OF THE DISCOURSES AND ACTORS WHO MAKE DRIP IRRIGATION. *Irrigation and Drainage*, 63(2), 186-194. DOI: 10.1002/ird.1839
- Waller, P., & Yitayew, M. (2016). Introduction In: Waller, P. and Yitayew, M., Eds., *Irrigation and Drainage Engineering* 1-18. Switzerland: Springer International Publishing. DOI: 10.1007/978-3-319-05699-9_1

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

Willmott, C. J., Robeson, S. M., & Matsuura, K. (2012). A refined index of model performance. *International Journal of Climatology*, 32(13), 2088–2094. DOI: 10.1002/joc.2419

10º Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

Efectos de la Información, Estabilidad y Dinámica Compleja en Modelos Económicos

Daniel Sepúlveda Jiménez¹; Jesús Loera Martínez^{2*}; Daniel Eduardo Sepúlveda Robles³
¹Centro de Investigación en Economía y Matemáticas Aplicadas de la UACH. sepjim700@yahoo.com.mx; ^{2*}Universidad Autónoma de Chapingo, División de Ciencias Económico-Administrativas. ³Liceo Universidad Pedro de Gante, hbky2d@yahoo.com.mx

Resumen

En este trabajo se analiza la influencia que tiene la información en la dinámica compleja de dos modelos de duopolio. El primer modelo estudiado es el de Sarafopoulos y Papadopoulos, este modelo consiste en dos empresas que producen bienes diferenciados, la primera empresa escoge la cantidad producida de una manera racional, mientras que la segunda decide de una manera ingenua. Se muestra que este sistema presenta una dinámica caótica a través de varias gráficas representativas y el control de caos, es posible debido a la variación del parámetro que mide la información. El segundo modelo se debe a Sahico y consiste en incorporar los efectos de la información asimétrica en un juego de duopolio de Cournot, donde los jugadores tienen racionalidad limitada. Este sistema está gobernado por dos ecuaciones en diferencias para los productos producidos por las empresas. Se elaboran varias gráficas representativas que muestran el comportamiento caótico del sistema analizado.

Palabras clave: Estabilidad, juego dinámico de Cournot, equilibrio de Nash, dinámica compleja, información asimétrica.

Abstract

This paper analyzes the influence that information has on the complex dynamics of two duopoly models. The first model studied is that of Sarafopoulos and Papadopoulos, this model consists of two companies that produce differentiated goods, the first company chooses the quantity produced in a rational way, while the second decides in a naive way. It is shown that this system presents a chaotic dynamics through several representative graphs and the control of chaos is possible due to the variation of the parameter that measures the information. The second model is due to Sahico and consists of incorporating the effects of asymmetric information in a Cournot duopoly game, where the players have limited rationality. This system is governed by two difference equations for the products produced by the companies. Several representative graphs are made that show the chaotic behavior of the analyzed system.

Introducción

El estudio de los sistemas dinámicos caóticos se enmarca en el campo de la dinámica no lineal y su interés se centra en el análisis de los procesos cuya evolución temporal es irregular e impredecible, a pesar de estar regida por una ley de movimiento determinista que describe la evolución temporal del sistema. La dinámica caótica busca explicar el origen de la irregularidad observada en una serie temporal, por su parte, el control de los sistemas caóticos intenta suprimir dicha irregularidad ya sea exógena o endógena al sistema, estabilizando el sistema generador de la serie en un movimiento regular.

La principal propiedad de la dinámica caótica es su sensibilidad a las condiciones iniciales, esto significa que trayectorias inicialmente vecinas se separan una de la otra de manera exponencial en el curso del tiempo. Esta característica hace que el caos en modelos económicos sea indeseable, ya que la sensibilidad a las condiciones iniciales de los sistemas caóticos reduce su previsibilidad para tiempos grandes.

Los oligopolios son estructuras económicas que pueden modelarse matemáticamente con sistemas de ecuaciones diferenciales o sistemas de ecuaciones en diferencias, la solución de estos conducen a dinámicas muy complejas, como equilibrios múltiples, indeterminación y en general muestran una dinámica caótica, incluso en su forma más simple, que suele denominarse duopolio, esto es dos empresas que producen y suministran un bien en un mercado común. Esta complejidad puede surgir de la combinación de varias fuentes, como la forma en que cada empresa formula expectativas sobre las decisiones del rival relativas a los niveles de bienes producidos y suministrados en el mercado o el precio en el que estos bienes son suministrados por ambas empresas, la consideración de estructuras de costos heterogéneas, la introducción de dinámicas en el proceso de toma de decisiones de las empresas, o la adopción de sofisticadas cooperativas y estrategias de ambos jugadores y su impacto sobre el equilibrio del juego, entre otros.

Un oligopolio es un mercado en el que unas pocas empresas controlan el precio de un bien. Cournot introdujo por primera vez el modelo de oligopolio en 1838. Consideró una economía de dos empresas que producen el mismo bien, ambas empresas eligen su respectiva producción para maximizar su beneficio. Como el beneficio de cada empresa depende de su producción, así como de la producción de la otra empresa, esta situación se puede analizar desde la perspectiva de la teoría de juegos. Para obtener mayores beneficios, cada empresa necesita anticipar correctamente el comportamiento de la otra firma. El estado de equilibrio entre las dos empresas (jugadores), se conoce como Equilibrio de Cournot-Nash; aquí, la respuesta de cada jugador al otro es óptima. Este equilibrio se obtiene cuando los dos jugadores son lo suficientemente racionales.

Sin embargo, en la realidad, los jugadores no son necesariamente racionales. Estudios previos (Rubinstein. A., 1998), han examinado juegos en los que los jugadores tienen una racionalidad limitada.

El juego de duopolio con racionalidad limitada ha sido analizado por varios investigadores (Bischi. G. I. y col., 2000) y (Bischi. G. I. y col., 1998), en este modelo, dos jugadores ajustan sus salidas paso a paso con el fin de aumentar sus respectivas ganancias. Juegos de duopolio de Cournot con respuestas ingenuas han sido analizados por Puu y Kopel., (Puu. T. 1991) y (Kopel. M., 1996). Una extensión en el juego de duopolio de Cournot con jugadores heterogéneos donde los jugadores adoptan estrategias diferentes para las decisiones de mercado fue analizada por Bischi y Kopel, (Bischi. G. I. y M. Kopel. M., 2001) y por Agiza y Elsadany, (Agiza. H. y Elsadany. A., 2003).

Dado que la información en el mercado suele ser incompleta, las expectativas juegan un papel importante. Por ejemplo, si las empresas no conocen la producción de las empresas concurrentes, no es capaz de calcular la producción que maximiza sus ganancias y entonces cada empresa puede adoptar varios mecanismos de formación de expectativas sobre la cantidad ofrecida por el rival. Algunos autores consideraron duopolios con expectativas homogéneas, (Agiza., 1999) y (Agiza y Elsadany., 2004) y también modelos con agentes heterogéneos (agiza y col., 2002), (Den Haan., 2001), (Fanti y Gori., 2012), (Tramontana., 2010) y (Zhang y col., 2007).

Otro concepto significativo en la microeconomía moderna es la asimilación de información, donde un jugador tiene más o mejor información que los demás. Esta asimetría puede crear un desequilibrio en las transacciones, que a su vez podría conducir a fallas del mercado en el peor de los casos. Estudios anteriores han considerado el efecto de la información sobre la estabilidad de un juego dinámico de Bertrand, (Junhai Ma y Zhambig Guo., 2016)., sin embargo, el concepto de asimetría de información en juegos donde los jugadores han acotado la racionalidad aún no está bien establecida.

Por lo tanto la investigación de juegos de duopolio de Cournot dinámico en tiempo discreto de jugadores con racionalidad limitada donde un jugador tiene información sobre el comportamiento del otro jugador y a su vez el segundo jugador tiene información sobre el primero es un problema importante para continuar en su análisis. Si la información es diferente en ambos jugadores, entonces el problema planteado es un juego de duopolio con asimetría en la información.

Es conveniente recordar que el análisis de los modelos caóticos sirve como una herramienta para que las empresas diseñen sus políticas de producción y competencia así el estudio de los modelos económicos con dinámica caótica permite diseñar políticas económicas que persiguen estabilizar la economía, esta es una motivación para investigar modelos económicos con dinámica compleja, así como las causas que producen este comportamiento y los diferentes métodos de control y supresión de caos dichos modelos.

También es importante mostrar como la información estabiliza el equilibrio de Cournot-Nash y suprime el comportamiento caótico en algunos valores de los parámetros del

sistema a considerar. Es esta la motivación para analizar dos modelos que aparecen en la literatura científica y que en este trabajo abordaremos en detalle.

Metodología

Se analizan dos modelos económicos del tipo duopolio de Cournot para la influencia que tiene la información sobre la dinámica caótica que presentan estos modelos. El primer modelo analizado es el de Sarafopoulos y Papadopoulos, (Sarafopoulo. G. y K. Papadopoulos. K., 2018). Este modelo sirve para estudiar el impacto de la información sobre la estabilidad de un Juego de duopolio tipo Cournot con información asimétrica. Las ecuaciones que gobiernan el modelo son dos ecuaciones en diferencias no lineales en tiempo discreto para el precio y el producto, se presenta brevemente el modelo y los resultados para los puntos de equilibrio, se llevan a cabo simulaciones para diferentes valores de los parámetros, se encuentran las gráficas para las trayectorias y paramétrica para el sistema así como los diagramas de bifurcación. A continuación, se analiza un segundo modelo de duopolio de Cournot propuesto por Masahiko., (Masahico. U., 2019), el cual sirve para modelar dos empresas en competencia. Este modelo representa un juego de duopolio de Cournot dinámico en tiempo discreto de jugadores con racionalidad limitada, donde un jugador tiene información sobre el comportamiento del otro jugador. El jugador con información, ajusta su salida basado en la salida actual del otro jugador. También es conveniente resaltar que en este modelo la información es asimétrica. Se muestra brevemente como se obtienen las ecuaciones en diferencias que gobiernan el sistema y los puntos de equilibrio, se elaboran las gráficas de las trayectorias y la paramétrica, estas muestran una dinámica caótica. También se elaboran las gráficas de bifurcación correspondientes. Finalmente se dan las conclusiones respectivas.

Este modelo sirve para estudiar el impacto de la información sobre la estabilidad de un Juego de duopolio tipo Cournot con productos diferenciados.

Modelos

Modelo de Sarafopoulos y Papadopoulos.

A continuación se da una descripción del modelo de Sarafopoulos y Papadopoulos: Se supone la existencia de una economía con dos tipos de agentes: empresas y consumidores. Existe un sector duopolístico con dos empresas, la empresa 1 y la empresa 2. La empresa i produce bienes diferenciados cuyo precio y cantidad están dados por p_i y q_i , respectivamente, con $i \in \{1, 2\}$. Sus decisiones de producción se toman en tiempo discreto períodos t ($t = 0, 1, 2, \dots$). En este estudio se consideran jugadores heterogéneos y más específicamente, se supone que la empresa 1 elige la cantidad de producción de forma racional, siguiendo un mecanismo de ajuste (jugador racional limitado), mientras que la empresa 2 decide de manera ingenua, seleccionando una cantidad que maximice su

producción (jugador ingenuo). La inversa de la función de demanda viene dada por la siguiente ecuación:

$$p_i = a - q_i - dq_j, \quad i \neq j \quad (1)$$

Así que se tiene para cada firma las siguientes funciones:

$$p_1 = a - q_1 - dq_2 \quad (2a)$$

$$p_2 = a - q_2 - dq_1 \quad (2b)$$

Donde a es un parámetro positivo que expresa el tamaño del mercado y $d \in (-1, 1)$ es el parámetro que revela el grado de diferenciación entre dos productos. Para valores positivos del parámetro d cuanto mayor sea el valor, menor diversificación tenemos entre dos productos, si $d = 0$ cada empresa participa en una monopolio. Por otro lado valores negativos del parámetro d significa que los dos productos son complementarios. La función de costo que se propone es:

$$C_i(q_i) = c \cdot q_i \quad (3)$$

Donde $c > 0$ es el costo marginal para las dos firmas. Con estos supuestos las ganancias de las firmas están dadas por:

$$P_i(q_i, q_j) = p_i q_i - C_i(q_i) = (a - c - q_i - dq_j) q_i \quad (4)$$

Entonces la ganancia marginal en un punto del espacio estratégico es:

$$\frac{\partial P_i}{\partial q_i} = a - c - 2q_i - dq_j \quad (5)$$

Supongamos que la primera firma es un jugador racional limitado. Entonces, si $k > 0$ la ecuación dinámica del primer jugador es:

$$\frac{q_1(t+1) - q_1(t)}{q_1(t)} = k \frac{\partial P_1}{\partial q_1} \quad (6)$$

En donde k es la velocidad de ajuste del jugador 1, es un parámetro positivo que da el grado de variación de la producción de la empresa.

La segunda empresa busca información sobre la empresa 1 y luego hace una estimación basada en esta información. Se supone que es difícil conseguir la perfecta información

sobre la decisión exacta del primer jugador, pero la empresa 2 puede tener información más efectiva sobre la decisión exacta. Se usa $\lambda \in [0, 1]$ para denotar la cantidad de información efectiva, el valor más grande significa una estimación más precisa. Se considera el hecho de que la información básica de la segunda empresa es la última decisión de la primera empresa $q_1(t)$.

La información perfecta de la empresa 2 debe ser la decisión exacta de este período $q_1(t+1)$, con estos supuestos se propone que:

$$q_1^e(t+1) = (1-\lambda)q_1(t) + \lambda q_1(t+1) \quad (7)$$

Donde $\lambda = 0$ significa que la empresa 2 solo obtiene la información básica sobre la empresa 1, $\lambda = 1$ significa que la empresa 2 obtiene la información perfecta sobre la empresa 1. Según esta estimación, la segunda empresa decide de manera ingenua seleccionando una producción que maximiza sus ganancias.

$$q_2(t+1) = \max_{q_2} P_2(q_1^e(t+1), q_2(t+1)) \quad (8)$$

De acuerdo con estos supuestos el sistema dinámico está descrito por las ecuaciones siguientes:

$$q_1(t+1) = q_1(t) + kq_1(t) \cdot \frac{\partial P_1}{\partial q_1} \quad (9a)$$

$$q_2(t+1) = \left(\frac{1}{2}\right)(a - c - dq_1(t) - d \cdot k \cdot \lambda \cdot q_1(t) \cdot \frac{\partial P_1}{\partial q_1}) \quad (9b)$$

O también:

$$q_1(t+1) = q_1(t) + kq_1(t) \cdot (a - c - 2q_1 - dq_2) \quad (10a)$$

$$q_2(t+1) = \left(\frac{1}{2}\right)(a - c - dq_1(t) - d \cdot k \cdot \lambda \cdot q_1(t) \cdot (a - c - 2q_1 - dq_2)) \quad (10b)$$

Puntos de equilibrio y estabilidad local

El equilibrio del sistema dinámico gobernado por las ecuaciones (10.a, 10b) se obtiene cuando:

$$q_1(t+1) = q_1(t) = q_1^*; \quad q_2(t+1) = q_2(t) = q_2^* \quad (11)$$

Las soluciones para el equilibrio del sistema de ecuaciones (10.a, 10b) son:

- 1) Si $q_1^* = 0$, entonces $q_2^* = \frac{a-c}{2}$ y se obtiene la órbita:

$$E_0 = \left(0, \frac{a-c}{2}\right) \quad (12)$$

- 2) Si $\frac{\partial P_1}{\partial q_1} = 0$, entonces se obtiene: $q_1^* = \frac{a-c-dq_2^*}{2}$ y de la ecuación (10b) $q_2^* = \frac{a-c-dq_1^*}{2}$, con estas ecuaciones se forma el sistema de ecuaciones siguiente:

$$q_1^* = \frac{a-c-dq_2^*}{2}$$

$$q_2^* = \frac{a-c-dq_1^*}{2}$$

Se puede obtener fácilmente la solución de este sistema, esta solución es:

$$q_1^* = q_2^* = \frac{(a-c)(2-d)}{4-d^2} \quad (13)$$

Y por tanto el equilibrio de Cournot-Nash del sistema dinámico es:

$$E^* = (q_1^*, q_2^*) = \left(\frac{(a-c)(2-d)}{4-d^2}, \frac{(a-c)(2-d)}{4-d^2}\right) \quad (14)$$

Se puede mostrar con el análisis de la matriz Jacobiana que el equilibrio E_0 es inestable y que el equilibrio de Cournot-Nash es localmente estable asintóticamente.

Modelo de Masahico.

Consideramos dos empresas (jugadores) $i = 1, 2$ que producen el mismo bien. La producción de cada empresa se describe mediante q_i . Se supone que el precio del bien está determinada por la oferta total $Q = q_1 + q_2$. La función de demanda inversa es:

$$p(q_1, q_2) = a - b(q_1 + q_2) \quad (15)$$

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

Donde a y b son constantes positivas. Si se incrementa la oferta total, el precio del bien se vuelve más bajo. También se supone que el costo de producción de la empresa i es lineal, como cq_i con $c > 0$. Con estos supuestos, el beneficio de la empresa i es el siguiente:

$$P_i(q_1, q_2) = (a - bQ)q_i - cq_i \quad (16)$$

En el lado derecho, el primer término representa las ventas del bien y el segundo término representa el costo del bien. Por lo tanto, si estas diferencias se vuelven más grandes, la ganancia aumenta. Cuando ambos jugadores son racionales, su mejor respuesta viene dada por las condiciones de maximización de beneficios.

$$\frac{\partial P_1(q_1, q_2)}{\partial q_1} = 0 \quad (17.a)$$

$$\frac{\partial P_2(q_1, q_2)}{\partial q_2} = 0 \quad (17.b)$$

Consideramos la dinámica de dos jugadores racionales limitados. El producto del jugador i en el momento $t \in \{0, 1, \dots\}$ se describe como $q_i(t)$. Cada jugador ajusta su producción paso a paso con el fin de aumentar sus ganancias. Se considera la situación en la que el jugador 1 ajusta su producción como:

$$q_1(t+1) = q_1(t) + \alpha q_1(t) \frac{\partial P_1(q_1(t), q_2(t))}{\partial q_1} \quad (18)$$

En el lado derecho, el primer término significa la producción en el paso anterior, y el segundo término significa el efecto de que el jugador 1 ajusta su producción paso a paso según el gradiente de su beneficio. La constante positiva se llama velocidad de ajuste. Se considera la situación de información asimétrica tal el jugador 2 ya conoce $q_1(t+1)$ en el tiempo $(t+1)$ de alguna manera y elige $q_2(t+1)$ como

$$q_2(t+1) = q_2(t) + \alpha q_2(t) \frac{\partial P_2(q_1(t+1), q_2(t))}{\partial q_2} \quad (19)$$

En estas ecuaciones se supone que la velocidad de ajuste de los dos jugadores es común. Por lo tanto, la dinámica de los dos jugadores se describe como

$$q_1(t+1) = q_1(t) + \alpha q_1(t)[a - c - 2bq_1(t) - bq_2(t)] \quad (20.a)$$

$$q_2(t+1) = q_2(t) + \alpha q_2(t)[a - c - 2bq_2(t) - bq_1(t+1)] \quad (20.b)$$

O también:

$$q_2(t+1) = q_2(t) + \alpha q_2(t)[a - c - 2bq_2(t) - bq_1(t)] - \alpha^2 bq_1(t)q_2(t)[a - c - 2bq_1(t) - bq_2(t)]$$

(20.b')

Puntos de equilibrio y estabilidad:

Los puntos fijos están dados por las ecuaciones siguientes:

$$q_1[a - c - 2bq_1 - bq_2] = 0 \quad (21.a)$$

$$q_2[a - c - 2bq_2 - bq_1] = 0 \quad (21.b)$$

Los cuales se obtienen si se considera:

$$q_1(t+1) = q_1(t) = q_1^*; \quad q_2(t+1) = q_2(t) = q_2^* \quad (22)$$

A partir de las ecuaciones (21.a, 21.b) se encuentran 4 punto fijos que son:

$$E_0 = (0,0) \quad (23)$$

$$E_1 = \left(\frac{a-c}{2b}, 0\right) \quad (24)$$

$$E_2 = \left(0, \frac{a-c}{2b}\right) \quad (25)$$

$$E_3 = \left(\frac{a-c}{3b}, \frac{a-c}{3b}\right) \quad (26)$$

Al analizar los valores propios de la matriz Jacobiana del sistema se encuentra que: E_0 es inestable siempre que $(a-c)>0$, E_1 y E_2 son puntos silla siempre que $0 < A < 2$ e inestable cuando $A>2$. Donde $A = \alpha(a - c)$.

Finalmente se encuentra la estabilidad de Cournot-Nash al analizar la matriz Jacobiana en el punto fijo E_3 .

Resultados

Simulaciones del Modelo de Sarafopoulos y Papadopoulos.

En esta sección se muestra el comportamiento cualitativo de las soluciones numéricas del modelo de Sarafopoulos y Papadopoulos, este es un juego con jugadores heterogéneos, el cual está gobernado por el sistema de ecuaciones (10.a, 10.b). El análisis estático con la

matriz Jacobiana muestra un punto de equilibrio inestable $E_0 = \left(0, \frac{a-c}{2}\right)$ y el punto de equilibrio de Cournot-Nash, estable local asintóticamente.

Para mostrar evidencia del comportamiento caótico del sistema, se elaboraron las gráficas de las trayectorias para q_1 y para q_2 , figuras 1 y 2, así también la gráfica paramétrica, figura 3, y los diagramas de bifurcación figuras 4 y 5. En la elaboración de las gráficas de la trayectoria para q_1 y para q_2 , se usan el sistema de ecuaciones (10.a, 10.b) y los valores iniciales $(q_1^0, q_2^0) = (0.06, 0.06)$, así como el valor de los parámetros $\lambda=0.04$, $k=0.61$, $a=6.5$, $c=0.5$ y $d=0.94$. Estas gráficas muestran el comportamiento caótico del modelo. También para la elaboración de la gráfica paramétrica, se utilizaron los mismos valores iniciales y el mismo valor de los parámetros, esta gráfica, figura 3, muestra nuevamente el comportamiento caótico de la dinámica del sistema.

Una buena evidencia de la dinámica caótica, se puede observar en los diagramas de bifurcación, figuras 4 y 5, estas se elaboraron con los valores iniciales $(q_1^0, q_2^0) = (0.5, 0.5)$, y los valores de los parámetros usados en las gráficas anteriores. El parámetro que mide la influencia de la información λ , cambia desde 0.1 hasta 0.99. En estos diagramas se muestra como las trayectorias son atraídas hacia el punto de equilibrio de Cournot-Nash, el cual para estos valores de los parámetros es: $E^* = (q_1^*, q_2^*) = \left(\frac{(a-c)(2-d)}{4-d^2}, \frac{(a-c)(2-d)}{4-d^2}\right) \approx (2.0, 2.0)$. También, estos diagramas muestran un comportamiento caótico para $\lambda=0.1$ y cuatro periodos para $\lambda=0.2$.

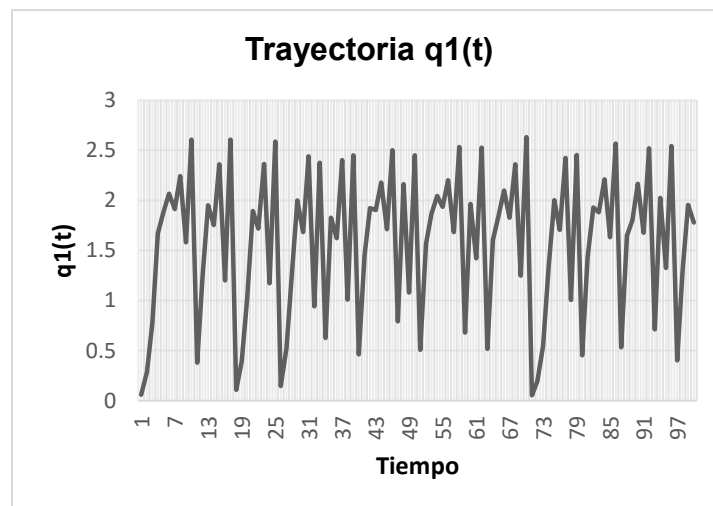


Figura 1. Gráfica de la trayectoria de q_1 contra el tiempo. Los valores iniciales son: $(q_1^0, q_2^0) = (0.06, 0.06)$, para el sistema de ecuaciones (10). El valor de los parámetros son: $\lambda=0.04$, $k=0.61$, $a=6.5$, $c=0.5$, $d=0.94$. Elaboración propia.

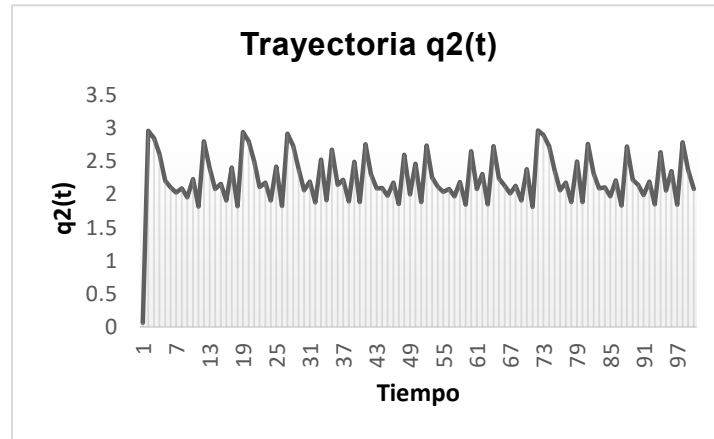


Figura 2. Gráfica de la trayectoria de q_2 contra el tiempo. Los valores iniciales son: $(q_1^0, q_2^0) = (0.06, 0.06)$, para el sistema de ecuaciones (10). El valor de los parámetros son: $\lambda = 0.04$, $k = 0.61$, $a = 6.5$, $c = 0.5$, $d = 0.94$. Elaboración propia.

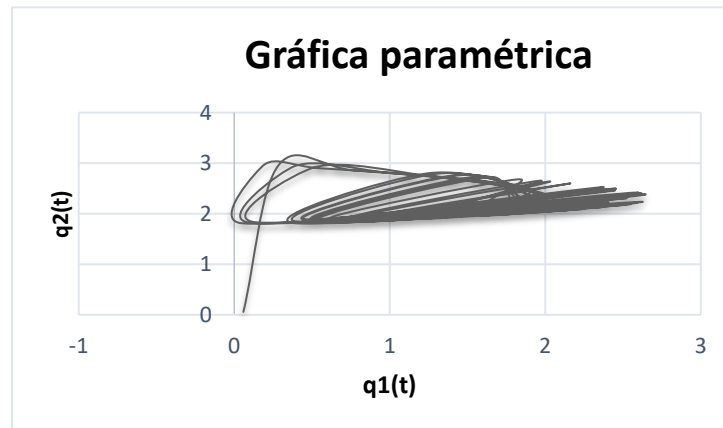


Figura 3. Gráfica paramétrica q_2 contra q_1 . Los valores iniciales son: $(q_1^0, q_2^0) = (0.06, 0.06)$, para el sistema de ecuaciones (10). El valor de los parámetros son: $\lambda = 0.04$, $k = 0.61$, $a = 6.5$, $c = 0.5$, $d = 0.94$. Elaboración propia.

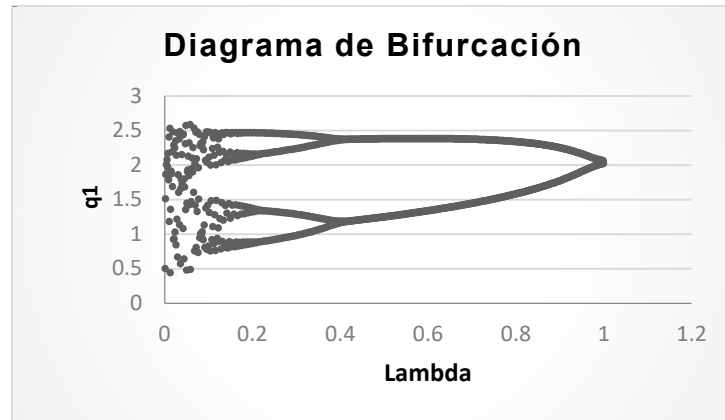


Figura 4. Diagrama de bifurcación para q_1 . Los valores iniciales son: $(q_1^0, q_2^0) = (0.5, 0.5)$, para el sistema de ecuaciones (10). El valor de los parámetros son: $k=0.61$, $a=6.5$, $c=0.5$, $d=0.94$, λ cambia desde 0.1 hasta 0.99. Elaboración propia.

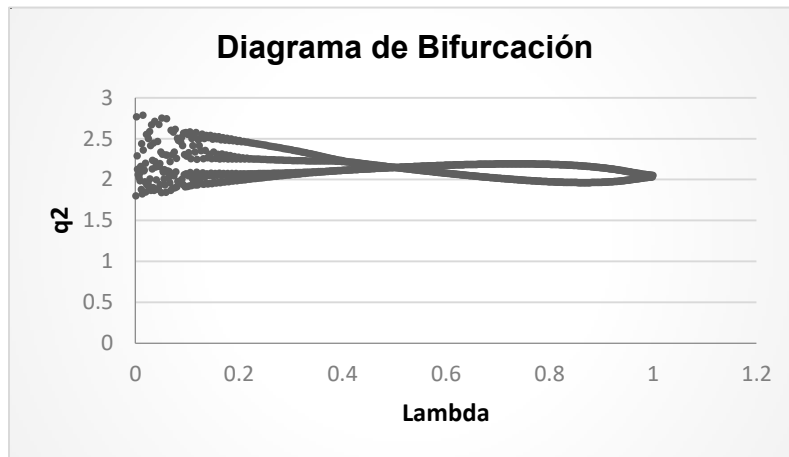


Figura 5. Diagrama de bifurcación para q_2 . Los valores iniciales son: $(q_1^0, q_2^0) = (0.5, 0.5)$, para el sistema de ecuaciones (10). El valor de los parámetros son: $k=0.61$, $a=6.5$, $c=0.5$, $d=0.94$, λ cambia desde 0.1 hasta 0.99. Elaboración propia.

Simulaciones del Modelo de Masahico Ueda.

A continuación se muestra el comportamiento cualitativo de las soluciones numéricas del modelo de Masahico, este es un juego con información asimétrica y jugadores racionales limitados, el Cual está gobernado por el sistema de ecuaciones (20.a, 20.b).

El análisis estático con la matriz Jacobiana muestra cuatro puntos de equilibrio: $E_0 = (0,0)$, $E_1 = \left(\frac{a-c}{2b}, 0\right)$, $E_2 = \left(0, \frac{a-c}{2b}\right)$ y $E_3 = \left(\frac{a-c}{3b}, \frac{a-c}{3b}\right)$. Cuando se analizan los valores propios de la matriz Jacobiana del sistema, se encuentra que E_0 es inestable siempre que $(a-c) > 0$, E_1 y E_2 son puntos silla siempre que $0 < A < 2$ e inestable cuando $A > 2$. Donde $A = \alpha(a-c)$.

Como evidencia de una dinámica caótica del sistema, se elaboraron las gráficas de las trayectorias para q_1 y para q_2 , figuras 6 y 7, así también la gráfica paramétrica, figura 8, y los diagramas de bifurcación figuras 9 y 10.

En la elaboración de las gráficas de las trayectorias para q_1 y para q_2 , se usan el sistema de ecuaciones (20.a, 20.b) y los valores iniciales $(q_1^0, q_2^0) = (0.5, 0.3)$, así como el valor de los parámetros $\alpha=3.0$, $a=2.0$, $b=1.0$, $c=1.0$. Estas gráficas muestran el comportamiento caótico del modelo. También para la elaboración de la gráfica paramétrica se utilizaron los mismos valores iniciales y el mismo valor de los parámetros, esta gráfica, figura 8, muestra nuevamente el comportamiento caótico de la dinámica del sistema.

La dinámica caótica del modelo de Masahico, se puede observar con claridad en los diagramas de bifurcación para q_1 y q_2 mostrados por las figuras 9 y 10, en estos usamos los valores iniciales $q_1=0.001$, $q_2=0.8$ y se grafica para $\alpha=2.84$ hasta $\alpha=3.05$ con el valor de los parámetros $a=2.0$, $b=1.0$ y $c=1.0$. En estos diagramas se muestra la órbita de equilibrio de Cournot-Nash en $E_3=(0.33, 0.33)$.

En los diagramas de bifurcación de las figuras 11 y 12, cuando la velocidad de ajuste cambia desde $\alpha=0.0$ hasta $\alpha=3.1$, se observan los cuatro puntos de equilibrio que se encuentran en el análisis con la matriz Jacobiana.

Los diagramas de bifurcación de las figuras 13 y 14, muestran un acercamiento para $\alpha=2.95$ hasta $\alpha=3.15$, en estos diagramas se muestra que solo para un pequeño intervalo de variación de la velocidad de ajuste, la dinámica del sistema se comporta de manera caótica y que para otros valores de la velocidad de ajuste el sistema es estable, así que, la información tiene un efecto de estabilización del sistema.

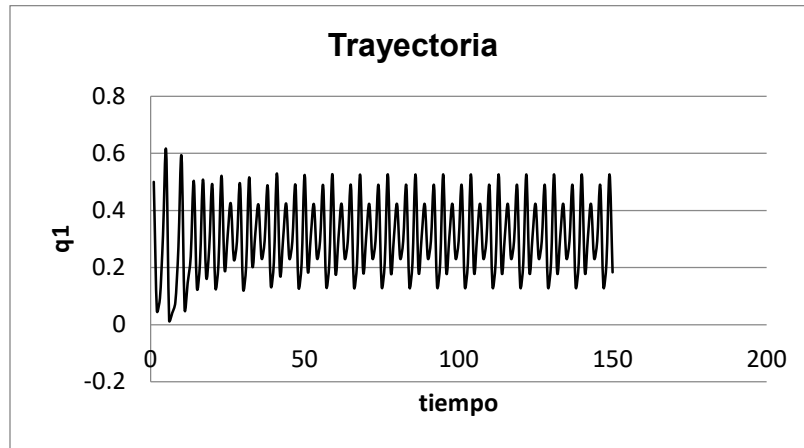


Figura 6. Gráfica de la trayectoria de q_1 contra el tiempo. Los valores iniciales son: $(q_1^0, q_2^0) = (0.5, 0.3)$, para el sistema de ecuaciones (20). El valor de los parámetros son: $\alpha = 3.0$, $a = 2.0$, $b = 1.0$, $c = 1.0$, Elaboración propia.

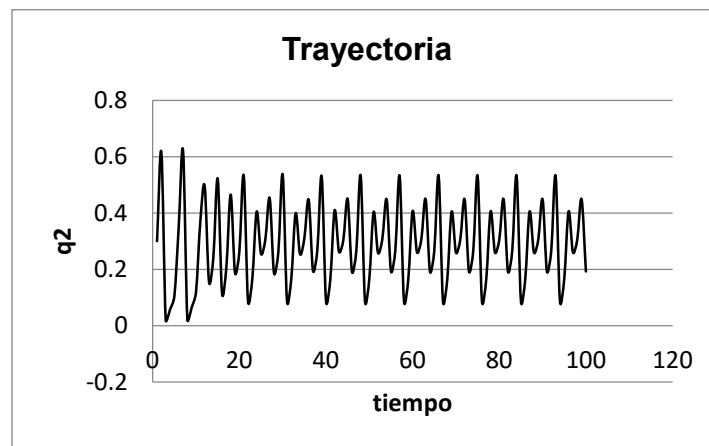


Figura 7. Gráfica de la trayectoria de q_2 contra el tiempo. Los valores iniciales son: $(q_1^0, q_2^0) = (0.5, 0.3)$, para el sistema de ecuaciones (20). El valor de los parámetros son: $\alpha = 3.0$, $a = 2.0$, $b = 1.0$, $c = 1.0$, Elaboración propia.

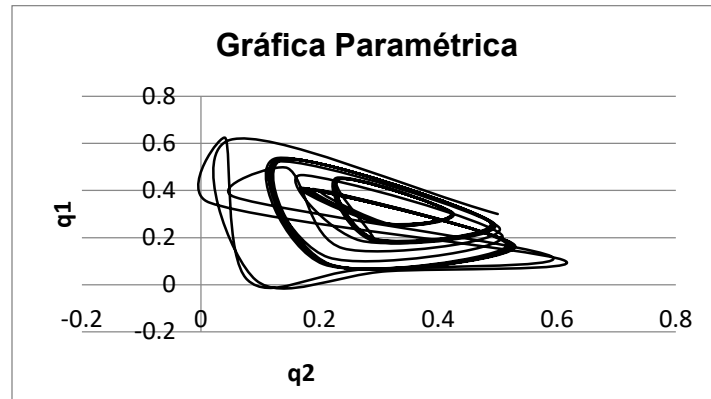


Figura 8. Gráfica paramétrica q_1 contra q_2 . Los valores iniciales son: $(q_1^0, q_2^0) = (0.5, 0.3)$, para el sistema de ecuaciones (20). El valor de los parámetros son: $\alpha = 3.0$, $a = 2.0$, $b = 1.0$, $c = 1.0$, Elaboración propia.

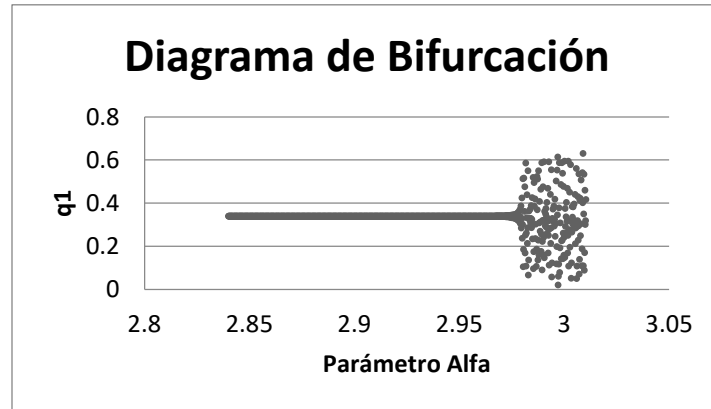


Figura 9. Diagrama de bifurcación para q_1 . Los valores iniciales son $q_1 = .001$, $q_2 = 0.8$ y se grafica a partir de $\alpha = 2.84$, los valores de los parámetros son: $a = 2.0$, $b = 1.0$, $c = 1.0$, Elaboración propia.

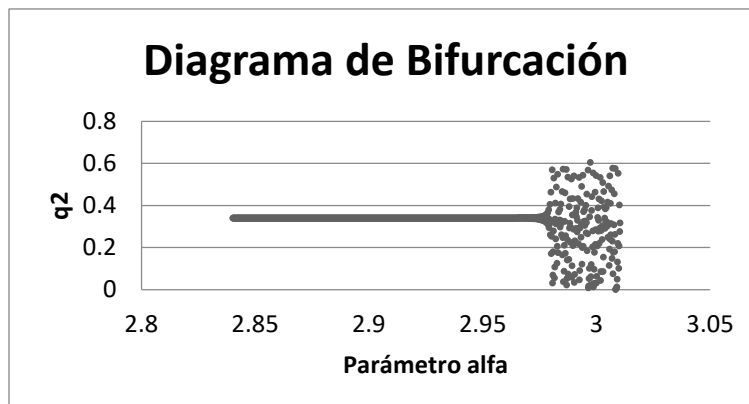


Figura 10. Diagrama de bifurcación para q_2 . Los valores iniciales son $q_1=.001$, $q_2=0.8$ y se grafica a partir de $\alpha=2.84$, los valores de los parámetros son: $a=2.0$, $b=1.0$, $c=1.0$, Elaboración propia.

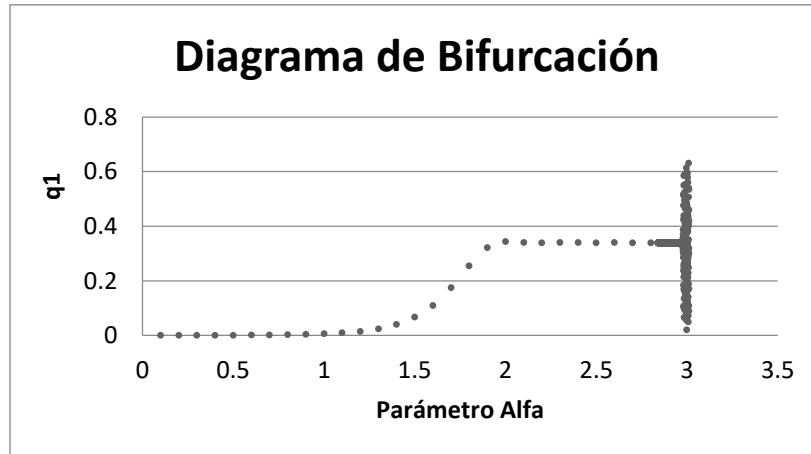


Figura 11. Diagrama de bifurcación para q_1 . Los valores iniciales son $q_1=.001$, $q_2=0.8$ y se grafica a partir de $\alpha=0.1$ hasta $\alpha=3.2$, los valores de los parámetros son: $a=2.0$, $b=1.0$, $c=1.0$, Elaboración propia.

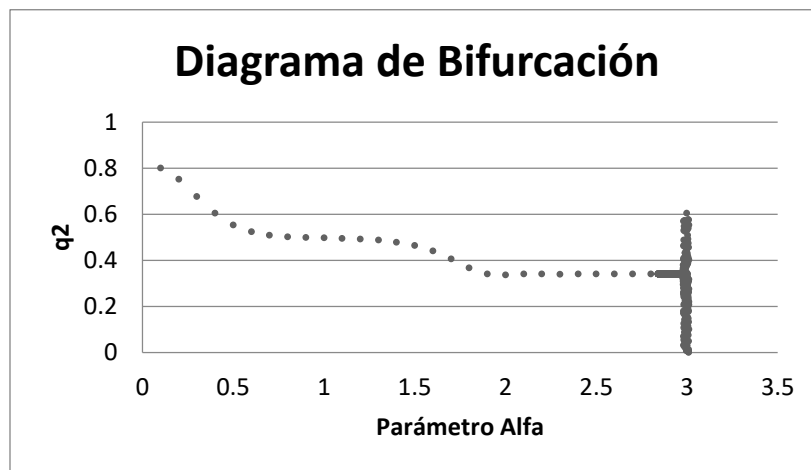


Figura 12. Diagrama de bifurcación para q_2 . Los valores iniciales son $q_1=.001$, $q_2=0.8$ y se grafica a partir de $\alpha=0.1$ hasta $\alpha=3.2$, los valores de los parámetros son: $a=2.0$, $b=1.0$, $c=1.0$, Elaboración propia.

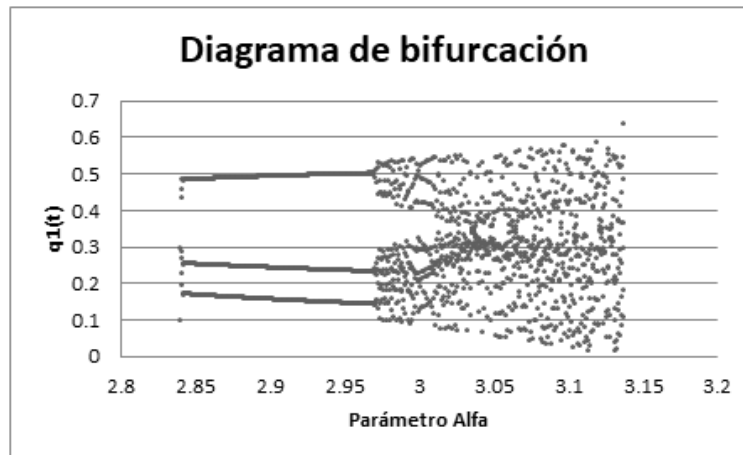


Figura 13. Acercamiento del diagrama de bifurcación para q_1 . Los valores iniciales son $q_1=.1$, $q_2=0.1$ y se grafica a partir de $\alpha=2.85$ hasta $\alpha=3.1$, los valores de los parámetros son: $a=2.0$, $b=1.0$, $c=1.0$, Elaboración propia.

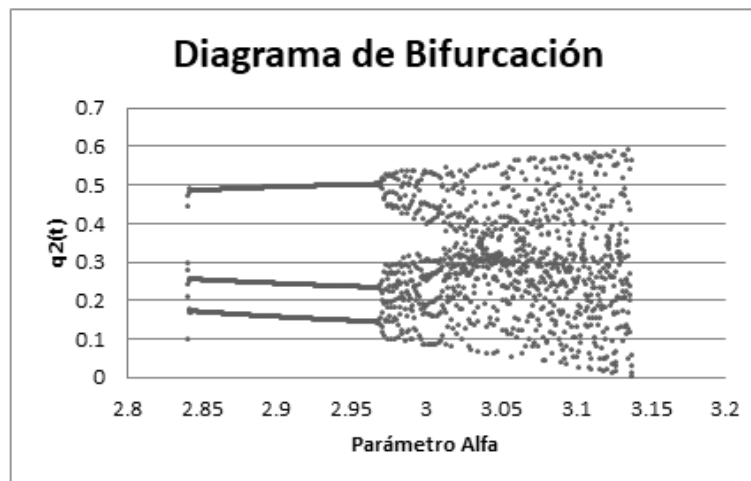


Figura 14. Acercamiento del diagrama de bifurcación para q_2 . Los valores iniciales son $q_1=.1$, $q_2=0.1$ y se grafica a partir de $\alpha=2.85$ hasta $\alpha=3.1$, los valores de los parámetros son: $a=2.0$, $b=1.0$, $c=1.0$, Elaboración propia.

Conclusiones

En este trabajo se analizaron dos modelos de duopolio de Cournot. El primero propuesto por Sarafopoulos y Papadopoulos en el cual un jugador investiga la información acerca de su competidor antes de tomar su decisión, en el trabajo se investiga los efectos de la información sobre la dinámica del juego. En el modelo se introduce un parámetro λ , el cual

mide la cantidad de información y que cambia desde $\lambda=0$ hasta $\lambda=1$. Si λ es pequeña, significa poca información y $\lambda=1$ significa información completa. El principal resultado es que cuando se tiene poca información la dinámica del sistema es compleja mientras que a mayor información el sistema se estabiliza al punto de equilibrio de Cournot-Nash.

El segundo modelo analizado, es el de Masahiko, en este también se analiza el efecto de la información asimétrica sobre la dinámica del sistema. Se suponen jugadores con racionalidad limitada, en concreto se estudia como la información que tiene un jugador acerca del comportamiento del otro, afecta la estabilidad del equilibrio de Cournot-Nash. Se mostró teóricamente y numéricamente como la información estabiliza al equilibrio de Cournot-Nash y se suprime el comportamiento caótico.

Referencias

- Agiza H.N., 1999. On the analysis of stability, bifurcation, chaos and chaos control of Kopel map, *Chaos, Solitons & Fractals* 10, pp. 1909-1916.
- Agiza. H., Elsadany. A., 2003. Nonlinear dynamics in the cournot duopoly game with heterogeneous players, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 320., pp. 512–524.
- Agiza H.N. and Elsadany A.A., 2004. Chaotic dynamics in nonlinear duopoly game with heterogeneous players, *Applied Mathematics and Computation* 149, pp. 843-860
- Bischi. G. I., Naimzada. A., 2000. Global analysis of a dynamic duopoly game with bounded rationality, in: *Advances in dynamic games and applications*, Springer, pp. 361–385.
- Bischi. G. I., Stefanini. L. Gardini. L., 1998. Synchronization, intermittency and critical curves in a duopoly game, *Mathematics and Computers in Simulation* 44, pp. 559–585.
- Bischi. G. I., Kopel. M., 2001. Equilibrium selection in a nonlinear duopoly game with adaptive expectations, *Journal of Economic Behavior & Organization* 46 (1), pp. 73–100.
- Den Haan W.J., 2001. The importance of the number of different agents in a heterogeneous asset – pricing model, *Journal of Economic Dynamics and Control* 25, pp. 721-746.
- Fanti L. and Gori L., 2012. The dynamics of a differentiated duopoly with quantity competition, *Economic Modelling* 29, pp. 421-427.
- Junhai Ma, Zhanbing Guo., 2016. The influence of information on the stability of a dynamic Bertrand game, *Commun. Nonlinear. Sci. Numer. Simulat.* 30, pp. 32-44.
- Masahiko U., 2019. Effect of information asymmetry in Cournot duopoly game with bounded rationality *Applied Mathematics and Computation*, vol. 362, issue C. 124535.
- Puu. T., 1991. Chaos in duopoly pricing, *Chaos, solitons & fractals* 1 (6) pp. 573–581.
- Rubinstein. A., 1998. *Modeling bounded rationality*, MIT Press, Massachusetts.

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

Sarafopoulos. G. y Papadopoulos. K., 2018. On the Stability of a Cournot Dynamic Game Under the Influence of Information, in The Economies of the Balkan and the Eastern European Countries in the changing World, KnE Social Sciences, pages pp. 131–144. DOI 10.18502/kss.v3i10.3534

Tramontana F., 2010. Heterogeneous duopoly with isoelastic demand function, Economic Modelling 27, pp. 350-357.

Zhang J., Da Q. and Wang Y., 2007. Analysis of nonlinear duopoly game with heterogeneous players, Economic Modelling 24, pp. 138-148.

¹VARIABILIDAD, PERFIL DE DISTRIBUCIÓN DEL RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES EN FRIJOL COMBA (*Phaseolus lunatus* L.) BAJO INVERNADERO

José Alberto Salvador Escalante Estrada¹

Yolanda Isabel Escalante Estrada²

Mesa: Matemáticas y física

Resumen

El frijol comba (*Phaseolus lunatus* L.) es de importancia para la dieta alimenticia de la población. El objetivo del presente estudio fue determinar en frijol comba sembrado en invernadero: a) el rendimiento en grano y sus componentes; b) su distribución en el dosel vegetal; b) los días a floración; c) el modelo matemático que determine la influencia de los componentes en el rendimiento y d) su ciclo de crecimiento. El estudio se realizó en invernadero de cristal en Montecillo, México, de clima templado. Frijol comba de grano de color claro y crecimiento indeterminado trepador, fue sembrado el 16 de mayo de 2017 en macetas de 3 kg con suelo arcilloso. Los siete tratamientos con cuatro repeticiones consistieron en la posición de las macetas, desde las más expuestas a la luz hasta las de mayor competencia (en gradiente del 1 a 7). La distribución de las plantas (datos de 2019) afecta el rendimiento y sus componentes a excepción del tamaño del grano y los días a etapas fenológicas. La distribución del rendimiento, granos y vainas en el dosel vegetal se ajusta a un modelo exponencial. El modelo matemático de mayor precisión que estima el rendimiento en grano, involucra al número de granos, tamaño del grano, vainas, granos por vaina, peso seco de valvas y el índice de llenado de vaina. El frijol comba bajo condiciones de invernadero presenta un comportamiento perenne. El rendimiento en grano por dos m², fluctuó entre 2119 a 2830 g en cuatro años de cosecha.

Palabras clave: **fenología, número de granos, vainas, granos por vaina, modelo exponencial.**

Abstract

The “comba” bean (*Phaseolus lunatus* L.) is important for the diet of the population. The objective of this study was to determine in greenhouse planted beans: a) grain yield and its components; b) its distribution in the plant canopy; b) days to flowering; c) the mathematical model that determines the influence of the components on yield and d) its growth cycle. The study was carried out in a glass greenhouse in Montecillo,

¹ El Dr. José Alberto Salvador Escalante Estrada es Profesor Investigador del Postgrado en Botánica. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de Méx, México.56230. jasee@colpos.mx, (autor correspondiente).

² - La MC. Yolanda Isabel Escalante Estrada es Profesora Investigadora del Instituto de Investigación Científica Área de Ciencias Naturales. Universidad Autónoma de Guerrero. Chilpancingo, Guerrero México. y_escalante@yahoo.com.mx

Mexico, with a temperate climate. Comba bean of light color grain and indeterminate climbing growth, was sown on May 16, 2017 in 3 kg pots with clay soil. The seven treatments with four repetitions, consisted of the position of the pots, from those most exposed to light to those with the greatest competition (on a gradient from 1 to 7). The distribution of the plants (2019 data) affects the yield and its components with the exception of the grain size and the days to phenological stages. The distribution of the yield, grains and pods in the canopy is adjusted to an exponential model. ²The most accurate mathematical model that estimates grain yield involves the number of grains, grain size, pods, grains per pod, shell dry weight, and pod fill index. The bean under greenhouse conditions shows a perennial behavior. The grain yield per two m² was from 2119 to 2830 g in four years of harvest.

Key words: phenology, number of grains, pods, grains per pod, exponential model.

Introducción

El frijol comba o lima (*Phaseolus lunatus* L.) es la segunda especie de mayor distribución, superficie cultivada y consumo del género *Phaseolus* en el mundo (Delgado-Salinas *et al.*, 1999). Los brotes de frijol de lima, las hojas, las vainas tiernas y las semillas verdes son comestibles y se consumen como verduras (Gawande *et al.*, 2018). Su siembra es común en los trópicos. Se conocen dos tipos de frijol comba, los arbustivos y los trepadores que requieren de un tutor para su crecimiento. El grano es fuente rica de proteínas, carbohidratos, hierro, calcio, fibra y bajo contenido de grasas (Martínez- Castillo, 2015). En México, este cultivo en la Península de Yucatán (Martínez-Castillo *et al.*, 2004), presenta gran variación en la forma y color del grano. Se siembra en junio o julio asociado con maíz (*Zea mays* L.), donde su crecimiento es lento; una vez que el maíz llega a madurez, penetra mayor cantidad de luz al agrosistema, que estimula el crecimiento del frijol comba. También se cultiva en la Depresión del Río Balsas, entre los estados de México, Guerrero y Michoacán, se siembra bajo condiciones de régimen de lluvia (temporal) en pequeñas parcelas asociado con maíz o en monocultivo con varas como tutor. En Zonas de Tierra caliente del estado de Guerrero, se siembra con maíz donde se ha observado que cuando este llega a madurez, se práctica el doblado y el comba está en crecimiento activo, dejando entrar al ganado a la parcela para su consumo (observación personal). En cuanto a su caracterización morfológica, López Alcocer *et al.* (2016) mencionan que el promedio de 30 colectas del Occidente de México, el frijol lima presentó 2.3 semillas por vaina, 9.02 g de peso de 100 semillas, 58.5 días a floración, longitud de vaina de 4.6 cm y ancho de vaina de 1.4 cm. Los estudios sobre producción son limitados. Bajo condiciones de campo, con patrón de siembra de 0.75 * 0.75 m, se han reportado en frijol comba, 110 días a 50% de la floración, longitud y ancho de vaina de 7.7 y 1.9 cm, respectivamente; peso de 100 semillas de 81 g, 120 g de semilla por planta, 2133 kg ha⁻¹ y 16 % de proteína (Gawande *et al.*, 2018). De Cássia Batista (2020), al estudiar 10 cultivares nativos de frijol comba encontraron una variabilidad en el rendimiento entre 325 a 1490 kg ha⁻¹. Dado la importancia de este cultivo los estudios que conduzcan a conocer el crecimiento de esta especie y su manejo ayudarían a la búsqueda de incrementos en el rendimiento. Por otra

parte, la aplicación de modelos matemáticos en la agricultura es herramienta importante que puede orientar la investigación, la gestión tecnológica y la toma de decisiones (Corrêa *et al.* 2011). Dentro de estos modelos, la regresión lineal múltiple permite determinar el grado de influencia de los componentes en la producción agrícola. Así, un análisis de regresión puede indicar lo que afecta el cambio de una variable independiente en la variable respuesta (Gujarati, 2000). Los estudios a nivel de invernadero sobre el rendimiento, sus componentes, como se distribuyen en el dosel vegetal, así como los modelos matemáticos que indican la influencia de los componentes del rendimiento sobre la producción de grano no son abundantes.

El objetivo del presente estudio fue determinar en frijol lima sembrado bajo condiciones de invernadero de cristal: a) el rendimiento en grano y sus componentes; b) su distribución en el dosel vegetal, y sus componentes; b) los días a floración; c) el modelo matemático que determine el grado de influencia de los componentes en la producción de grano y d) su ciclo de crecimiento.

Materiales y método

El estudio se realizó en invernadero de cristal en Montecillo, municipio de Texcoco, estado de México, (19°29'N y 98°53'O y 2250 msnm) de clima templado (García, 2005). El frijol comba o lima (*Phaseolus lunatus* L.) de grano de color claro, hábito de crecimiento indeterminado trepador, tipo IV, fue sembrado el 16 de mayo de 2017 en macetas de 3 kg de capacidad colocando dos semillas por maceta. Hasta 2021 las plantas seguían produciendo. El sustrato de cada maceta fue suelo arcillo-limoso, pH 7.6, CE de 1.9 dS m⁻¹ y MO de 3.5 %. Se tuvieron siete tratamientos que consistieron en la posición de las filas de las macetas en el invernadero, teniendo desde las más expuestas a la luz hasta las que estuvieron en mayor competencia (en gradiente del 1 a 7). Cuatro repeticiones fueron por tratamiento. Se colocaron hilos de rafia como tutores a los 20 días de la siembra (dds). De acuerdo con el criterio señalado en Escalante y Kohashi (2015), se registraron los días a emergencia (E), al inicio de floración (IF) y a madurez fisiológica (MF, cosecha de vainas) para cada año. A la MF el rendimiento en grano (g, RG), el número de granos (NG), tamaño del grano (mg, TG), número de vainas (NV), número de granos por vaina (GV, el peso de valvas (g, PSV) y el índice de llenado de vaina (IV), que se calculó mediante el razonamiento; $IV = [\text{peso seco del grano} / (\text{peso seco del grano} + \text{peso seco de valvas}) * 100]$, la longitud y ancho de vainas en cm para lo cual se tomó una muestra de 100 vainas. El dosel vegetal se dividió en estratos de 0-30, 30-60, 60-90, 90-120 y 120-150 cm a partir del suelo para evaluar la distribución del RG, NG y NV (Escalante *et al.*, 2017). Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA), prueba de comparación de medias de Tukey, análisis de correlación y regresión por el método de Stepwise para busca el mejor modelo que estime el rendimiento de grano mediante el paquete SAS 9.0 (SAS, 2003), la temperatura máxima, mínima (°C) y humedad relativa (%) durante el desarrollo de este estudio, aquí se presentan solamente los datos de 2019. En cuanto al rendimiento en grano por superficie sembrada se presentan los datos de 2017 a 2020.

Resultados y discusión

Fenología y elementos del clima

La emergencia (E) del frijol fue a los 8 días después de la siembra (dds), el inicio de la floración (F) a los 65 y la MF a los 140 dds (corte de vainas). Este cultivar es 7 días más tardío que el promedio a floración de las colectas de Occidente reportado por López-Alcocer *et al.* (2016). Durante el desarrollo del cultivo, la temperatura mínima y máxima promedio fue de 15 y 45°C respectivamente, con humedad relativa media de 50 A 75 %.

Rendimiento en grano (RG, g), número de granos (NG), número de vainas (NV) por planta

El ANDEVA mostró diferencias significativas para el RG, NG y NV. Las plantas más expuestas a la luz (tratamiento 1 y 2), reciben radiación fotosintéticamente activa (RFA) dentro del invernadero de 1249 $\mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, medida a las 1200 h y a 1.8 m de altura), presentaron los valores más altos en estas variables en relación con las más alejadas de esta condición y en mayor competencia por la misma (3 a 7) observándose un gradiente en el RG, NG y NV (Cuadro 1). El NG y NV presentaron una correlación alta con el RG ($r=0.97^{**}$ y 0.89^{**} , respectivamente), que indica que los cambios en el RG están asociados con cambios en el NG en 97% y en el NV en 89%. El NG y NV presentaron una relación $r=0.90^{**}$, que indica que los cambios en el NG están asociados con cambios en el NV en 90%. Esto indica que, para incrementar el RG en el frijol comba, se requiere incrementar el NG y para este el NV. La RFA fuera del invernadero (en el campo) fue de 2531 $\mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. En este caso el invernadero de cristal redujo en 51% la RFA incidente.

Tamaño del grano (TG, g) y número de granos por vaina (GV)

El ANDEVA para TG no presentó cambios significativos. El TG medio fue de 0.642 g y fue superior al reportado por López-Alcocer *et al.* (2016). En contraste, el número de GV mostró un gradiente en relación con la posición de las plantas en el invernadero. El mayor número de GV se observó en las plantas más expuestas a la luz y se fue reduciendo conforme había más interferencia por este recurso. El número de GV promedio fue de 2 (cuadro 1) que fue cercano al número de GV mostrado por López-Alcocer *et al.* (2016) que fue de 2.3.

Peso seco de valvas (PSV, g) e índice de llenado de vaina (IV)

En general el PSV y el IV mostró diferencias significativas entre tratamientos, presentaron un gradiente, donde los valores más altos estuvieron en las plantas más expuestas a la luz y los valores más bajos en las plantas con más interferencia en ese recurso (cuadro 1).

Cuadro 1. Variabilidad del rendimiento en grano y sus componentes del frijol comba (*Phaseolus lunatus* L.) bajo condiciones de invernadero. Datos por planta. Montecillo Mex. Verano 2019.

Tratamiento	RG	NG	TG (g)	NV	GV	PSV	IV
1	93 a	244 a	0.621	111 a	2.2 a	120 a	0.97 a
2	92 ab	146 ab	0.628	71 c	2.3 a	111 a	0.82 b
3	89 b	131 b	0.681	84 b	2.1 ab	124 a	0.71 b
4	84 c	123b	0.659	56 e	2.2 a	85 b	0.89 a

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

5	78 d	125b	0.625	66 d	2.2 a	107 a	0.73 b
6	69 e	109 c	0.630	84b	1.8 e	81 b	0.88 a
7	64 f	98 d	0.650	68 cd	1.9 d	88 b	0.72 b
Media	81	126	0.642	80	2.0	102	0.8
Tukey ≤0.05	3	10	0.10	3	0.1	18	0.12
Prob. F	**	**	NS	**	**	**	**

En columnas valores con letra similar son estadísticamente iguales según Tukey ≤ 0.05 . ** Prob. F al 1%. NS = diferencias no significativas (Prob F 5%).

Longitud y ancho de vaina.

En este caso se tomó una muestra de 100 vainas. La longitud promedio fue de 7.5 ± 0.6 cm y el ancho de 1.7 ± 0.14 cm que superó al promedio de las colectas de occidente de frijol comba que fue de 4.6 cm de longitud y 1.4 cm de ancho presentados por López-Alcocer *et al.* (2016).

Modelos que estiman el rendimiento

La búsqueda del mejor modelo para estimar el RG en función de sus componentes, mediante el procedimiento Stepwise Forward, presentó los modelos presentados en el cuadro 2. En este se observa que al incorporar variables independientes (componentes del rendimiento) al modelo, el coeficiente de determinación (R^2) que indica el grado de dependencia se incrementa. Sin embargo, llega a ser similar ($R^2=0.99$) como en los modelos 2 al 5, por lo que se recurre al estadístico C(p) de Mallows para determinar el más preciso (valor más pequeño) que corresponde al modelo 5. Al incorporar más variables (modelo 6) en $R^2=1$ y el C(p) es el valor más bajo comparado con los otros modelos. En la columna 5 se presentan los valores de probabilidad de F parciales. Con base en esto, queda al criterio del investigador, escoger el modelo más apropiado para estimar el RG, considerando sus recursos de investigación.

Cuadro 2.- Modelos de estimación del rendimiento en grano (RG) en función de sus componentes en frijol comba (*P. lunatus* L.) cultivado bajo invernadero. Montecillo Méx. 2019.

No. modelo	Variable ingresada	R^2	C (p)	Probabilidad F
1	NG	0.94	14009	0.0001
2	NG TG	0.99	146	0.001 0.001
3	NG	0.99	57	0.0001

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

	TG			0.0001
	IV			0.06
4	NG	0-99	44	0.0001
	TG			0.0001
	NV			0.36
	IV			0.13
5	NG	0.99	20	0.0011
	TG			0.0011
	NV			0.0011
	GV			0.19
	IV			0.12
				0.09
6	NG	1.0	7	0.009
	TG			0.01
	NV			0.10
	GV			0.12
	PSV			0.16
	IV			0.09

RG = rendimiento en grano) g planta⁻¹; NG = número de granos); TG = tamaño del grano (g por grano); NV =número de vainas; GV =granos por vaina; PSV =peso seco de valvas; IV = índice de llenado de vaina.

Distribución del rendimiento, número de granos y vainas por planta.

No se observaron diferencias entre tratamientos en los modelos de distribución del RG, NG y NV en el dosel vegetal. En la figura 1, se presenta valores promedio por planta. La magnitud de estas variables se incrementó conforme se llegó a la parte más alta del dosel. El modelo que explica esta respuesta fue del tipo exponencial. Lo que indica que para incrementar el rendimiento del frijol comba es necesario aparte de incrementar el NV en la parte superior es buscar mayor amarre de vainas en la parte inferior del dosel. Este menor NV en los estratos superiores puede estar relacionado con una menor incidencia de RFA en estos estratos, debido al sombreado ocasionado por los estratos superiores y por las plantas vecinas. Tendencias similares fueron reportadas en frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) por Escalante *et al.* (2017).

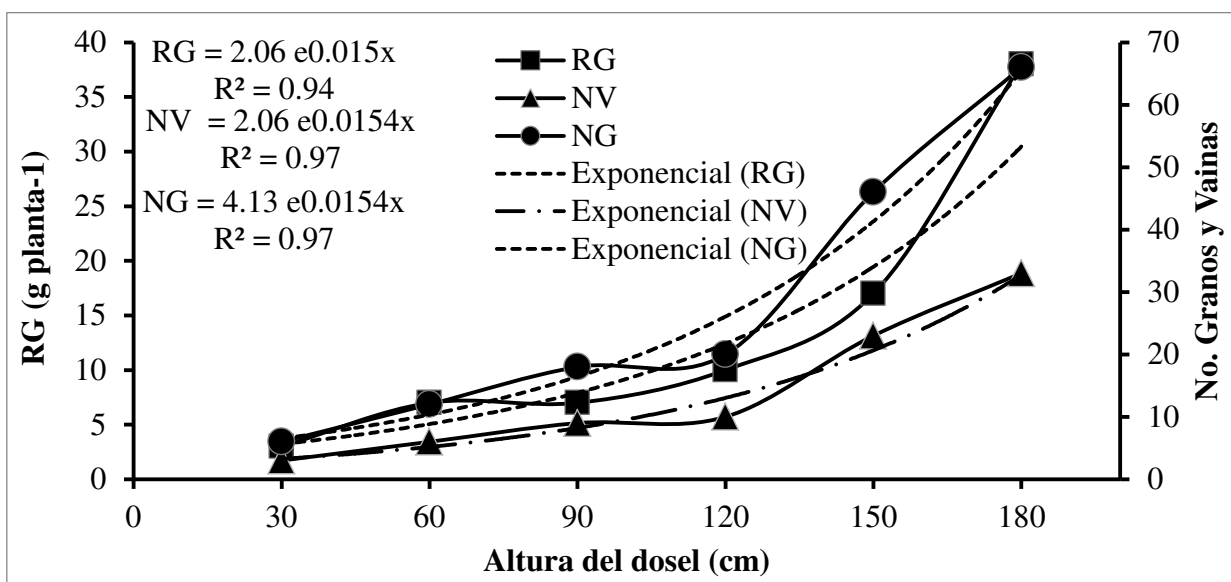


Figura 1.- Distribución del rendimiento en grano, número de granos y vainas por planta en el dosel del frijol comba (*P. lunatus* L.) sembrado en invernadero. Datos promedio por planta. Montecillo, municipio de Texcoco, Méx. 2019.

Producción de grano y rendimiento anual por dos m²

El NG y RG (datos de dos m²), presentó variabilidad en los cuatro años de estudio (figura 2). Los años de mayor producción en ambas variables fue en el 2017 y 2020, seguido de 2019 y 2018 el de menor producción. La media anual de RG fue de 2512 ± 368 g y de 3912 ± 574 NG, con un peso medio por semilla de 0.642 g. Si consideramos que el grano o semilla tiene 50% de germinación, esto podría generar 1958 plantas, lo que sería de interés si se quieren utilizar estos espacios para producción de semilla.

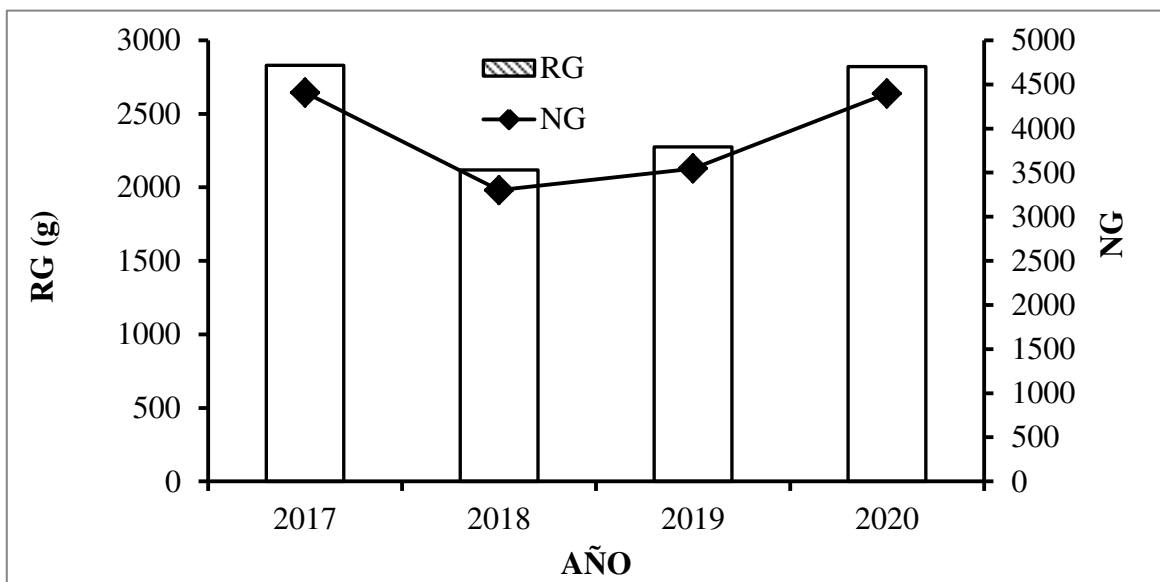


Figura 2. – Producción anual de grano y rendimiento de frijol comba (*P. lunatus* L.) bajo invernadero. Montecillo, municipio de Texcoco Méx. 2017-2020.

Conclusiones

La distribución de las plantas en el invernadero afecta el rendimiento y sus componentes a excepción del tamaño del grano y los días a ocurrencia a etapas fenológicas. La distribución del rendimiento, número de granos y vainas en el dosel vegetal se ajusta a un patrón que responde a un modelo exponencial. El modelo matemático de mayor precisión que determina el rendimiento en grano involucra al número de granos, tamaño del grano, número de vainas, granos por vaina, peso seco de valvas y el índice de llenado de vaina. El frijol comba bajo condiciones de invernadero presenta un comportamiento perenne.

Literatura citada

Antônia Maria de Cássia Batista de Sousa, Verônica Brito da Silva, Ângela Célis de Almeida Lopes, Regina Lucia Ferreira Gomes and Leonardo Castelo Branco Carvalho. (2020). Prediction of grain yield, adaptability, and stability in landrace varieties of lima bean (*Phaseolus lunatus* L.). Crop Breeding and Applied Biotechnology 20(1): 1-7. <http://dx.doi.org/10.1590/1984-70332020v20n1a15>.

Corrêa STR, Lorençoni R, Dourado Neto D, Scarpore FV, Vivian R and Ruiz ET (2011) Aplicações e limitações da modelagem em agricultura – Revisão. Revista de Agricultura 1: 1-13.

Delgado-Salinas A., T. Turley, A. Richman and M. Lavin (1999). Phylogenetic analysis of the cultivated and wild species of *Phaseolus* (Fabaceae). *Systematic Botany* 24:438-460.

Escalante-Estrada, J. A. y J Kohashi-Shibata. (2015). El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco. México.

Escalante-Estrada, José Alberto Salvador, María Teresa Rodríguez-González, y Yolanda Isabel Escalante-Estrada. (2017). Modelos que describen la distribución del rendimiento, sus componentes y radiación solar en ayocote en espaldera de tripie. En: F. Pérez, D. Sepúlveda, R. Salazar, D. Sepúlveda (eds.) Ciencias Matemáticas aplicadas a la Agronomía. Handbook T-I.-©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017. ISBN-978-607-8534-34-0. <http://www.ecorfan.org/handbooks/>

García E.L. (2005). Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen 4^a (ed). Universidad nacional Autónoma de México (UNAM). D.F. México, 217 p.

Gujarati DN. (2000). Econometría básica. Makron Books, São Paulo, 920p.

José de J. López-Alcocer, Rogelio Lépez-Ildfonso*, Diego R. González-Eguiarte, Ramón Rodríguez-Macías y Eduardo López-Alcocer. (2016). Variabilidad morfológica de *Phaseolus lunatus* L., silvestre de la región occidente de México. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 39 (1): 49 – 58.

Martínez-Castillo J. (2015) Consideraciones sobre la importancia del muestreo en los estudios de la domesticación de plantas: el caso del frijol lima (*Phaseolus lunatus*) en México. *Desde el Herbario CICY* 7:17-22.

Martínez-Castillo J., D. Zizumbo-Villarreal, H. Perales-Rivera and P. Colunga-García-Marín (2004). Intraspecific diversity and morpho-pheno- logical variation in *Phaseolus lunatus* L. from the Yucatan Peninsula, Mexico. *Economic Botany* 58:354-380.

SAS Institute Inc. (2011) SAS®93 Guide to Software updates. Cary. NC: SAS Institute Inc.

Sweta Gawande, Ekta Ningot, Chanchal Nikam and Madhavi Bhaladhare. (2018). Effect of Different Spacings on Flowering, Yield and Quality of Lima Bean (*Phaseolus lunatus* L.). *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci. Special. Issue-6*: 2036-2042

Comparación de Tres Métodos de Determinación de Tensiones en Recipientes de Paredes Delgadas

Comparison of Three Methods of Stress Determination on Thin-Wall Shells

María Victoria Gómez Águila.¹

Luis Tonatiuh Castellanos Serrano²;

Josué Vicente Cervantes Bazán³;

Luis Arturo Soriano Avendaño⁴

Resumen

La aplicación de las herramientas de diseño asistido por computadora y análisis por elementos finitos durante la determinación de tensiones y deformaciones en recipientes a presión de paredes delgadas y la comparación de los resultados logrados con los emanados de cálculos analíticos y de mediciones experimentales, constituye el propósito central de este trabajo. Fueron aplicados tres métodos para la determinación de las tensiones y deformaciones unitarias en determinados puntos característicos de un recipiente de paredes delgadas objeto de estudio: el método analítico clásico basado en la teoría de la membrana; el Método de los Elementos Finitos y la medición experimental basada en la extensometría eléctrica. Como resultado se obtuvo que en zonas de los recipientes de paredes delgadas sin cambios bruscos de curvatura y alejados de empalmes u otras discontinuidades, los resultados del cálculo del estado tensional por métodos analíticos basados en la teoría de la membrana presentaron una alta aproximación con relación a la aplicación del Método de los Elementos Finitos y la medición experimental. Así mismo se evidenció que en el caso de existencia de cambios bruscos de curvatura o aproximación de los puntos objeto de determinación a empalmes o discontinuidades, los resultados del cálculo del estado tensional en recipientes de paredes delgadas aplicando el Método de los Elementos Finitos proporcionó una alta aproximación a los obtenidos mediante mediciones experimentales, mientras que el método de cálculo basado en la teoría de la membrana arrojó resultados desfavorables.

Palabras clave: tensiones, elementos finitos, teoría de membrana, extensometría eléctrica.

Abstract

The application of computer-aided design tools and finite element analysis during stress-strain analysis in thin-walled pressure vessels and the comparison of the results achieved with those emanating from analytical calculations and experimental measurements, constitutes the central purpose of this research. Three methods for stress-strain determination on certain characteristic points of a thin-walled container object of study were applied: the classical analytical method based on the theory of the membrane; the finite element method and the experimental measurement based on strain gage technique. As a result, it was found that in areas of thin-walled containers without abrupt curvature

changes and far away from joints or other discontinuities, the results of the calculation of the stress-strain state by analytical methods based on the membrane theory presented a high approximation in relation to the application of the Finite Element Method and the experimental measurement. Likewise, it was evidenced that when sudden changes of curvature or discontinuities are present, the results of the calculation of the tensional state in thin walled containers applying the Finite Element Method provided a high approximation to those obtained by experimental measurements, while the method of calculation based on the theory of the membrane gave unfavorable results.

Key words: stress, finite elements, membrane theory, strain gage.

Introducción

Los métodos tradicionales de cálculo de tensiones y deformaciones en recipientes de paredes delgadas sometidos a presión, apoyados en la teoría de membrana, sólo son aplicables en zonas de las paredes apartadas de cambios bruscos de curvatura, refuerzos y otras discontinuidades que son frecuentes en la práctica y en los que se producen tensiones de flexión y concentración de tensiones que en general revisten importancia decisiva en los cálculos. La aplicación de métodos analíticos avanzados de la teoría de la elasticidad puede ser una vía para la solución de determinados problemas de este tipo, no obstante, revisten una alta complejidad, generando cálculos en extremo laboriosos.

Modernamente, los métodos de simulación apoyados en el empleo de software de diseño asistido por computadora y de análisis por elementos finitos, constituyen una poderosa herramienta para la solución, con un alto nivel de aproximación, de problemas dirigidos a la determinación de tensiones y deformaciones en estructuras y órganos de máquinas, entre otras aplicaciones.

De acuerdo a Romero (2010) con la denominación de recipientes a presión se incluye a cualquier envase constituido por una envolvente, normalmente metálica, capaz de contener un fluido, en estado líquido o gaseoso, cuyas condiciones de temperatura y presión son distintas a las del medio ambiente.

El Código ASME (ASME, 2017), define los recipientes a presión como envases para la contención de fluidos bajo presión interna o externa, la cual puede obtenerse de una fuente externa, o por la aplicación de calor desde una fuente directa o indirecta. El método tradicional de cálculo de recipientes de paredes delgadas basado en la teoría membranar no ha perdido actualidad, formando parte de los planes de estudio de ingeniería (Silva y Livaque, 2016; Balanzá, 2018) en diversos países. Durante el cálculo de esfuerzos en recipientes de paredes delgadas, aplican la teoría de membrana y señalan que, debido a la simetría axial del recipiente y de su contenido, no se ejercen esfuerzos cortantes sobre un elemento de área en la pared del recipiente.

Para que una superficie de pared delgada se comporte en régimen de membrana y puedan ser aplicables las expresiones correspondientes a esta teoría, es necesario la asunción de algunas restricciones, como:

- Que el espesor de la superficie sea muy pequeño en comparación con las restantes dimensiones. El radio de curvatura mínimo de la superficie debe ser superior a 10 veces el espesor de la pared;

- Que las acciones exteriores sean tales que los esfuerzos se desarrollen solamente en la superficie media de la pared;
- Que las reacciones de apoyo estén localizadas en el plano meridiano, caso contrario se desarrollan esfuerzos transversales y de flexión en la región de frontera;
- Que la variación del radio de curvatura de la curva que engendra la superficie sea suave, no existiendo discontinuidades. De otra forma surgirán esfuerzos transversales y momentos flectores en las zonas próximas a dichas discontinuidades.

Según Veličković (2007) los métodos analíticos pueden ser aplicados con exactitud satisfactoria en un gran número de problemas técnicos en la práctica, aunque en el caso de reservorios de paredes delgadas con formas atípicas, así como con la posibilidad de existencia de concentración de tensiones, es prácticamente imposible aplicar métodos analíticos durante la determinación de tensiones y deformaciones en las paredes de dichos reservorios. Sobre esta base, aplica métodos numéricos durante la determinación del estado tensional y deformacional de un contenedor de gas licuado de geometría toroidal.

Bischoff y col. (2004) señalan que, entre los métodos de discretización, el predominante ha sido el Método de los Elementos Finitos, formulando su aplicación para el diseño de estructuras de paredes delgadas.

Asimismo señala que, según Ramm, E. y Wall, W.A. (2004), en el presente la capacidad computacional ha devenido un elemento poderoso que ha posibilitado un alto nivel de sofisticación de las herramientas de simulación, sin olvidar la principal fuerza motriz de los predecesores de los estudios de las estructuras de paredes delgadas: la concentración sobre lo esencial y su reducción al principal comportamiento mecánico de dichas estructuras.

Jachimowicz y col. (2018) señalan que desde los años 60-70 del siglo XX tuvo lugar un significativo progreso en los métodos de análisis estructural gracias al desarrollo de los métodos matriciales, sí como que ese progreso hizo posible el surgimiento del Método de los Elementos Finitos. Asimismo señalan que no obstante los métodos analíticos fueron ampliamente usados posteriormente al desarrollo de las tecnologías computarizadas en los años 70-80, hoy en día el Método de los Elementos Finitos constituye la principal técnica utilizada en el análisis de estructuras de paredes delgadas, así como de toda clase de estructuras.

Bakker y Peköz (2003) también abordan la aplicación del Método de los Elementos Finitos durante el análisis de estructuras de paredes delgadas, alertando las posibles fuentes de error durante este tipo de análisis, tanto lineales como no lineales.

Una tercera vía de determinación de tensiones y deformaciones en estructuras de cualquier tipo, con un alto nivel de exactitud, es la vía experimental, basada fundamentalmente en el empleo de la extensometría eléctrica. No obstante, esta vía se emplea en las etapas de prueba y comprobación, ya que como es obvio, en la etapa de cálculo aún no se cuenta con la estructura física objeto de medición.

La aplicación de las herramientas de diseño asistido por computadora y análisis por elementos finitos durante la determinación de tensiones y deformaciones en recipientes a presión de paredes delgadas y la comparación de los resultados logrados con los emanados

de cálculos analíticos y de mediciones experimentales, constituye el propósito central de este trabajo.

Materiales y métodos

El análisis se efectuó mediante un estudio de caso consistente en un recipiente vacío de gas refrigerante (figura 1) y sus dimensiones (tabla 1) con tres zonas con diferentes radios de curvatura: una zona circunferencial, una elipsoidal y otra de transición entre ambas con una curvatura toroidal.

Las determinaciones del estado tensional en las tres zonas del recipiente se efectuaron para cuatro niveles de presión manométrica interior: 0,5; 1,0; 1.5; 2,0 atmósferas métricas (kgf/cm^2). El estado tensional en determinados puntos de cada zona se caracterizó mediante la determinación de las tensiones meridionales (σ_m) y circunferenciales (σ_c) empleando los tres métodos objeto de estudio:

1. El método analítico clásico;
2. El método de los Elementos Finitos;
3. El método experimental.

Para la aplicación del método analítico se empleo la teoría de la membrana clásica (Figura 2).

Aplicando la ecuación de Laplace (Kane & Sternheim, 2004) se obtiene una primera ecuación (1):

$$\frac{\sigma_m}{\rho_m} + \frac{\sigma_c}{\rho_c} = \frac{P}{t} \quad (1)$$

siendo: ρ_m y ρ_c : los radios de curvatura de la pared del recipiente en las direcciones meridional y circunferencial, respectivamente;

t : espesor de la pared;

P : presión aplicada en el interior del recipiente.

Una segunda ecuación (2), se obtiene del corte seccional en lugares oportunos del recipiente objeto de estudio. Para el caso general de la figura 2, se obtiene la ecuación de presión aplicada P .

$$\sigma_m \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot t \cdot \sin \theta = P \quad (2)$$

Aplicando este método, se obtienen las expresiones para la determinación de los esfuerzos circunferenciales y meridionales en los casos objeto de estudio (cilindro, elipsoide y toroide).

Una vez calculados los esfuerzos normales, son obtenidas las deformaciones unitarias meridionales (ε_m) ecuación 3, y circunferenciales (ε_c) ecuación 4, aplicando la Ley de Hooke para el estado tensional plano:

$$\varepsilon_m = \frac{1}{E} \cdot (\sigma_m - \mu\sigma_c) \quad (3)$$

$$\varepsilon_c = \frac{1}{E} \cdot (\sigma_c - \mu\sigma_m) \quad (4)$$

siendo E y μ : el módulo de elasticidad longitudinal o módulo de Young, y el coeficiente de Poisson del material del recipiente, respectivamente.

Figura 1. Recipiente objeto de estudio



Tabla 1. Dimensiones del recipiente

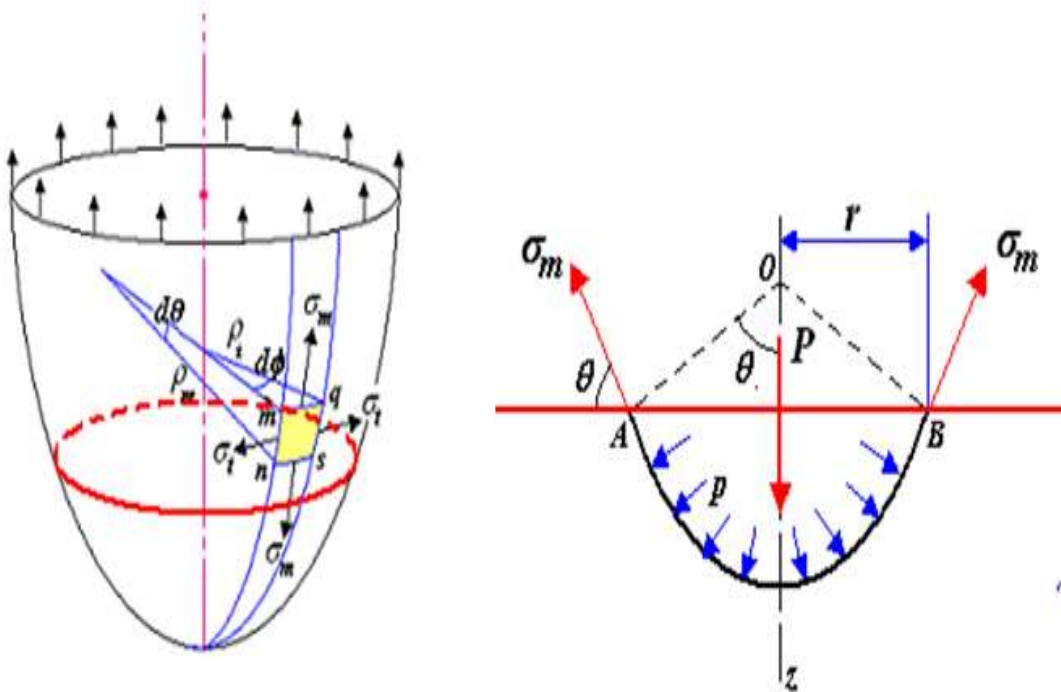
Parámetros geométricos	Unidad; mm
r_1	125.0
r_2	106.0
r_3	50.0
b	63.0
t	1.0

El segundo método aplicado (Método de los Elementos Finitos) se parte de la elaboración de un modelo geométrico tridimensional digitalizado del recipiente objeto de estudio (figura 3) y su procesamiento en un programa comercial de análisis por elementos finitos. En este caso se empleó el programa Cosmos DesignStar 3.0.

A los efectos de economía de recursos computacionales, el modelo geométrico consistió en la mitad del cilindro (figura 3) aplicándose como condición de frontera la opción de simetría (restricciones de color verde). En toda la superficie interior se aplicó la presión manométrica (flechas de color rojo) entre 0.5 y 2 atmósferas métricas (kgf/cm^2).

En la figura se aprecia además el mallado de elementos finitos aplicado, estando constituido por 32 888 elementos y 65 619 nodos de una malla sólida, estándar y de alta calidad, de acuerdo a la clasificación del software utilizado. El mallado fue definido como resultado de un estudio de convergencia de los resultados de salida. Como salida, el programa brinda, en cada nodo, los esfuerzos y deformaciones unitarias en los diferentes ejes, entre otras salidas.

Figura 2. Representación gráfica para el planteamiento de la teoría de membrana



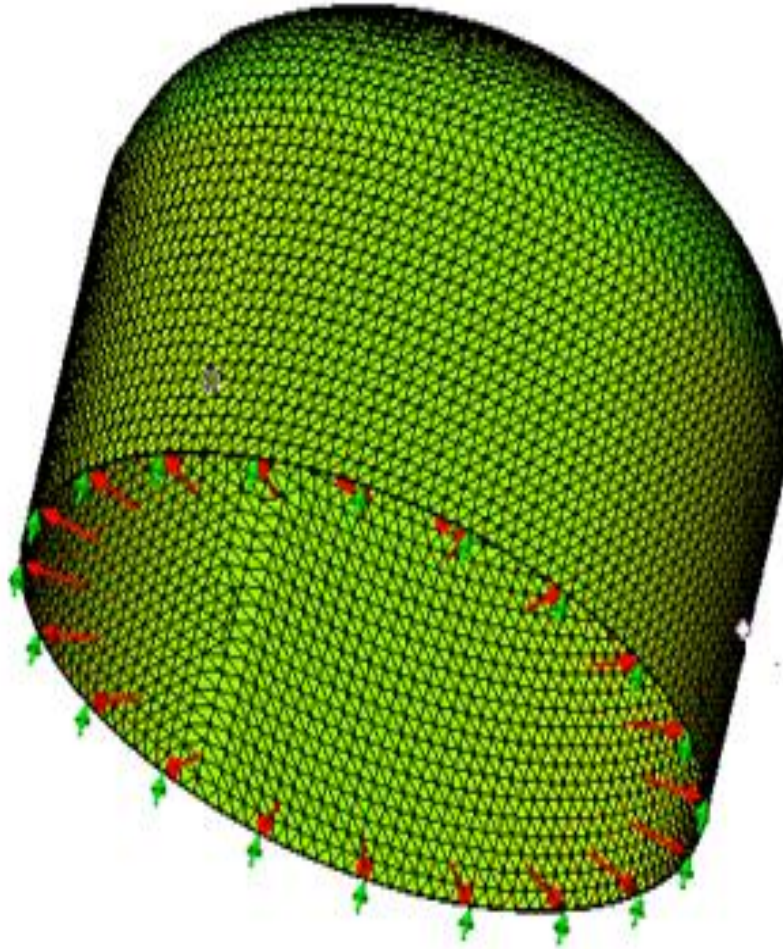
El tercer método (medición experimental) se efectuó aplicando técnicas de extensometría eléctrica. La figura 4 muestra la instrumentación empleada en las mediciones, la cual está conformada por cinco puentes de extensómetros, cada uno de ellos con un extensómetro activo y otro colocado en un recipiente gemelo (sin carga) para compensación de temperatura.

Los extensómetros activos miden la deformación unitaria en cinco puntos y direcciones:

- Deformación unitaria meridional en la zona de curvatura elipsoidal;
- Deformación unitaria meridional y circunferencial en la zona de curvatura toroidal;
- Deformación unitaria meridional y circunferencial en la zona de curvatura cilíndrica.

Mediante un compresor (figura 4.a) es aplicado el nivel de presión correspondiente al recipiente objeto de medición, controlado por un manómetro instalado a la entrada del aire al recipiente. Cada uno de los puentes se equilibra de manera que cuando la presión es nula, se encuentre en cero la lectura en σ strain del indicador del amplificador extensométrico, marca Bruel&Kjaer Tipo 1516. De esta manera, la lectura del indicador obedecerá exclusivamente a las variaciones en deformación unitaria de los extensómetros activos.

Figura 3. Modelo geométrico, mallado y condiciones de frontera



Una vez medidas las deformaciones unitarias, entonces se calculan los esfuerzos mediante la Ley de Hooke generalizada ecuación 5 y 6.

$$\sigma_c = \frac{E}{(1-\mu)} \cdot (\varepsilon_c + \mu \cdot \varepsilon_m) \quad (5)$$

$$\sigma_m = \frac{E}{(1-\mu)} \cdot (\varepsilon_m + \mu \cdot \varepsilon_c) \quad (6)$$

Durante las corridas experimentales, cada variante fue objeto de tres repeticiones, obteniéndose el valor medio.

Figura 4 a. Equipamiento empleado en las mediciones experimentales



Figura 4 b. Detalle del pegado de los extensómetros eléctricos



Resultados y Discusión

Los resultados de la determinación de las tensiones meridionales y circunferenciales en la zona cilíndrica del recipiente se muestran en las tablas 1 y 2. En las tablas se observa además, las ecuaciones de regresión y los coeficientes de determinación (R^2) obtenidos para las tensiones en función de la presión en el recipiente, así como las diferencias en % cuando se comparan los resultados obtenidos por los diferentes métodos de determinación.

Tabla 1. Esfuerzos meridionales en la zona cilíndrica

	Tensión meridional, parte cilíndrica (MPa)					
Presión, atm	Elementos Finitos (i)	Método experimenta l	Método analítico (iii)	Dif. (%) $\frac{100(iii - i)}{iii}$	Dif. (%) $\frac{100(i - ii)}{i}$	Dif. (%) $\frac{100(iii - ii)}{iii}$

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

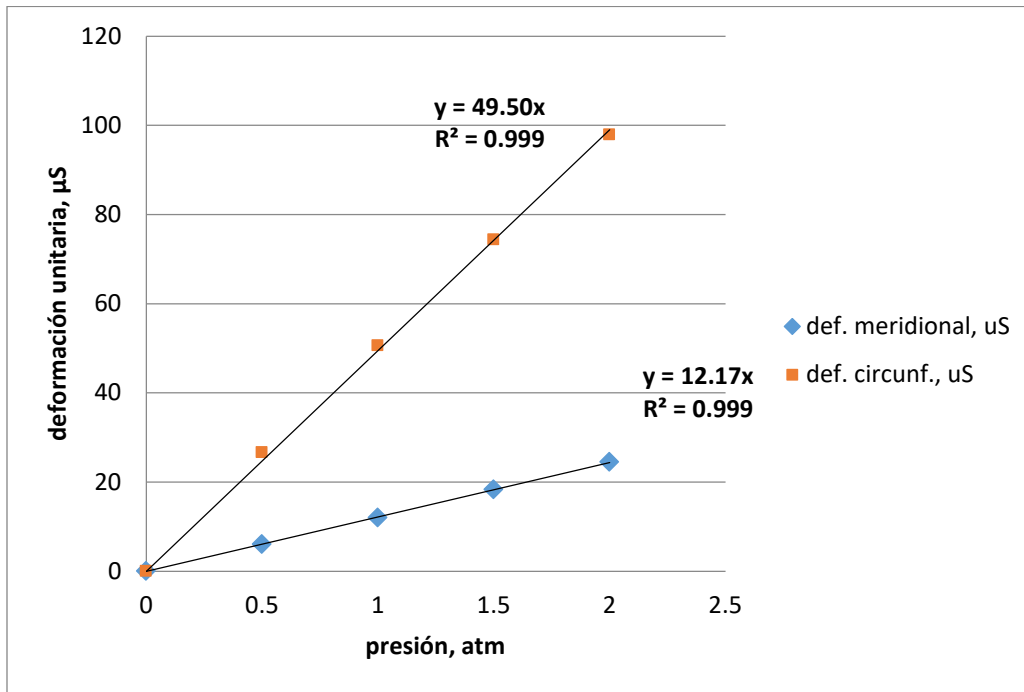
		(ii)				
0	0	0	0	0	0	0
0,5	3,03	3,15	3,04	0,32	3,8	3,6
1,0	6,08	6,09	6,08	0,13	0,16	0,16
1,5	9,12	9,14	9,12	0	0,22	0,16
2,0	12,03	12,39	12,10	0,58	3	2,39
Regresión	$\sigma_m=6.044 p$	$\sigma_m=6.154 p$	$\sigma_m=6.064 p$			
Coef. Determ.	$R^2 = 0.999$	$R^2 = 0.999$	$R^2 = 1$			

Tabla 2. Tensiones circunferenciales en la zona cilíndrica

	Esfuerzo circunferencial, parte cilíndrica (MPa)					
Presión, atm	Elementos Finitos (i)	Método experimenta l (ii)	Método analítico (iii)	Dif. (%) $\frac{100((iii) - i)}{iii}$	Dif. (%) $\frac{100(i - ii)}{i}$	Dif. (%) $\frac{100((iii) - ii)}{iii}$
0	0	0	0	0	0	0
0,5	6,09	6,51	6,08	0,16	6,89	7
1,0	12,15	12,39	12,16	0,08	1,97	1,89
1,5	18,20	18,27	18,24	0,2	0,38	0,16
2,0	24,22	24,15	24,3	0,32	0,29	0,62
Regresión	$\sigma_c = 12.12 p$	$\sigma_c = 12.18 p$	$\sigma_c = 12.15 p$			
Coef. Determ.	$R^2 = 1$	$R^2 = 0.999$	$R^2 = 1$			

De estos resultados se aprecia que las diferencias en los resultados obtenidos por los tres métodos son insignificantes, así como que en todos los casos se obtiene una alta correlación en los ajustes lineales de las tensiones en función de la presión, ratificándose la proporcionalidad entre las tensiones y las presiones interiores en los recipientes. La relación lineal entre las deformaciones unitarias en la parte cilíndrica y las presiones interiores en el recipiente, obtenidas de las mediciones experimentales, se aprecia en la figura 5.

Figura 5. Relación lineal entre la deformación unitaria y la presión interior



Los altos coeficientes de determinación (R^2) obtenidos, es una muestra de la calidad de las mediciones y del equipamiento utilizado.

En la Tabla 3 se muestran los valores de los esfuerzos meridionales obtenidos en la zona de curvatura elipsoidal, obtenidos por los tres métodos objeto de estudio.

Del análisis de las ecuaciones de regresión y las diferencias en % obtenidas se aprecia, al igual que en la zona de curvatura cilíndrica, una alta aproximación en los resultados obtenidos por los tres métodos, aunque es de resaltar la extraordinaria similitud en los cálculos efectuados por los métodos analíticos tradicionales en comparación con el método de los elementos finitos. Así mismo es necesario aclarar, que las zonas seleccionadas para las determinaciones están alejadas de zonas con cambios bruscos de curvatura lo que asegura la aplicación exitosa de la teoría de la membrana.

Pasando al análisis de los resultados en la parte con curvatura toroidal (Tablas 4 y 5) es posible apreciar que la aplicación de la teoría de la membrana ya no brinda resultados satisfactorios, precisamente por estar situada en una zona de transición entre dos zonas con diferente curvatura, apareciendo incluso tensiones de compresión no detectables por el análisis membranar. En la figura 6 se muestra uno de los valores negativos de la tensión meridional en la zona toroidal, obtenido por el método de los elementos finitos, para una presión interior de 2 atm métricas. Es evidente la no posibilidad de aplicación del método analítico basado en la teoría membranar en casos como éste.

Tabla 3. Esfuerzos meridionales en la zona de curvatura elipsoidal

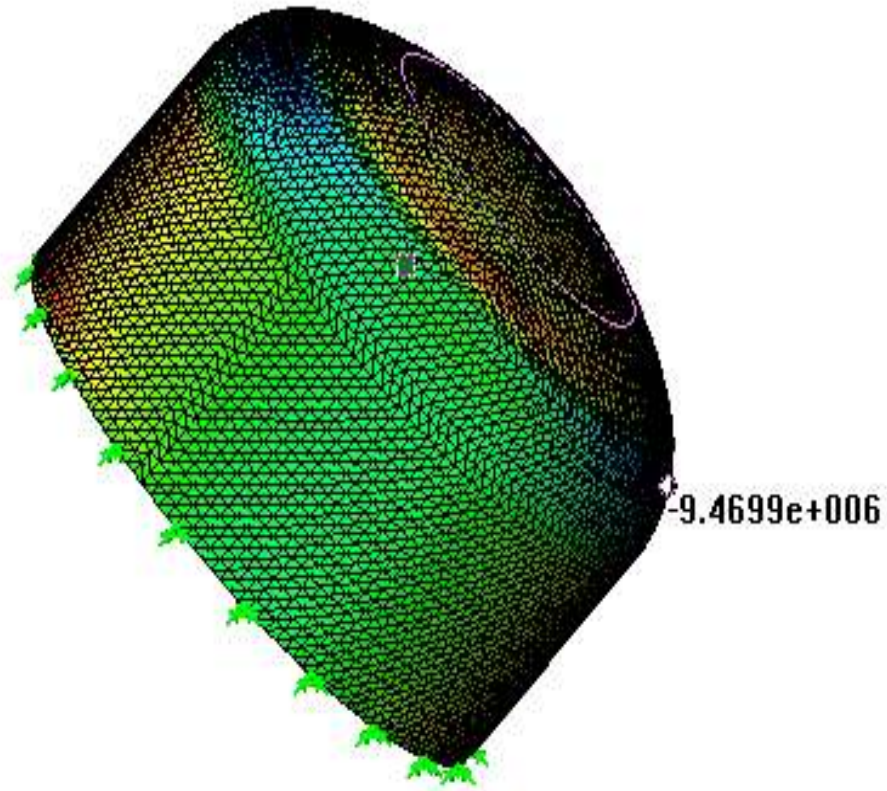
Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

	Esfuerzos meridionales, parte elipsoidal (MPa)					
Presión, atm	Elementos Finitos (i)	Método experimental (ii)	Método analítico (iii)	Dif. (%) $\frac{100(iii - ii)}{iii}$	Dif. (%) $\frac{100(i - ii)}{i}$	Dif. (%) $\frac{100(iii - i)}{iii}$
0	0	0	0	0	0	0
0,5	15	17	14.68	4	4,4	0.13
1,0	39.34	35	39.35	4,3	4,2	0,03
1,5	54.01	52	54.03	3,7	3,7	0,05
2,0	68.57	68	68.7	1	0,83	0,22
Regresión	$\sigma_m=35.33 p$	$\sigma_m=34.33 p$	$\sigma_m=35.35 p$			
Coef. Determ.	$R^2 = 0.990$	$R^2 = 0.999$	$R^2 = 0.990$			

Tabla 4. Tensiones meridionales en la zona toroidal

	Tensión meridional, parte toroidal (MPa)		
Presión, atm	Elementos Finitos (i)	Método experimental (ii)	Método analítico (iii)
0	0	0	0
0,5	-2,12	-2,10	2.084
1,0	-4,22	-4,20	4.168
1,5	-7,33	-7,35	6.252
2,0	-9,47	-9,45	8.337

Figura 6. Tensión meridional en la zona de curvatura toroidal-presión interior de 2



atm

Tabla 5. Tensiones circunferenciales en la zona toroidal

	Tensiones circunferenciales, parte toroidal (MPa)		
Presión, atm	Elementos Finitos (i)	Método experimental (ii)	Método analítico (iii)
0	0	0	0
0,5	2,94	2,93	1.276
1,0	4,69	4,68	2.551
1,5	6,09	6,09	3.827
2,0	8,53	8,53	5.102

Así mismo, se aprecia la alta aproximación del método de los elementos finitos en comparación a la medición experimental, lo que ratifica la validación de este método como vía de análisis en casos que no cumplieren las restricciones requeridas para el empleo del método de análisis basado en la teoría de la membrana.

Conclusiones

- En zonas de los recipientes de paredes delgadas sin cambios bruscos de curvatura y alejados de empalmes u otras discontinuidades, los resultados del cálculo del estado tensional por métodos analíticos basados en la teoría de la membrana presentan una alta aproximación con relación a la aplicación del Método de los Elementos Finitos y la medición experimental;
- En el caso de existencia de cambios bruscos de curvatura o aproximación de los puntos objeto de determinación a empalmes o discontinuidades, los resultados del cálculo del estado tensional en recipientes de paredes delgadas aplicando el Método de los Elementos Finitos proporciona una alta aproximación a los obtenidos mediante mediciones experimentales, mientras que el método de cálculo basado en la teoría de la membrana arroja resultados desfavorables.

Referencias

- ASME: American Society of Mechanical Engineers. Código de diseño, construcción, inspección y pruebas para calderas y recipientes a presión. Sección VIII, División I. Disponible en: http://www.asme.org/Codes/International_Boiler_Pressure.cfm. Consultado: 23 nov. 2019.
- Bakker M.C.&T.Peköz The finite element method for thin-walled members—basic principles. *Thin-Walled Structures*. Volume 41, Issues 2–3, February 2003, Pages 179-189. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0263-8231\(02\)00086-1](https://doi.org/10.1016/S0263-8231(02)00086-1) . Consultado: 25/5/2019
- Balanzá, J. C. Cálculo de Recipientes a Presión de Pared Delgada. Monografía. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/42401291/Calculo-Recipientes-Presion-Pared-Delgada>. Consultado: 25/05/2019.
- Jachimowicz, J.; J. Makowski&J. Osiski. Selected Problems Concerning the Analysis of ThinWalled Structures with the use of Finite Element Method. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Jerzy_Jachimowicz/publication/228974928. Consultado: 25/8/2019.
- Kane, J. W. & M. M. Sternheim. *Física*. 2ª ed. Editorial Reverté, 2004. ISBN: 8429143181. Pág. 336-337
- Ramm E &W.A. Wall. Shell structures – a sensitive interrelation between physics and numerics. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*2004; 60: 381–427. [Wiley Online LibraryADSWeb of Science@Google Scholar](#).
- Romero, B. E. Evaluación de los criterios de diseño y configuración estructural de recipientes a presión. Universidad de Oriente. Núcleo de Anzoátegui. Escuela de

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Anzoátegui, Venezuela. Agosto 2010. Disponible en:
<https://es.scribd.com/user/8011699/enidian> . Consultado: 12/4/2019

Silva, L. y N.R. Livaque. Esfuerzos en Recipientes de Paredes Delgadas (Tubulares).
Mecánica de Sólidos. Escuela profesional de Ingeniería Civil. Universidad Nacional
Autónoma de Chota. Perú. Julio, 2016. Disponible en:
<https://es.slideshare.net/featured/category/engineering>. Consultado: 25/5/2019.

Veličković, V. Stress and Strain States in the Material of the Stressed Toroidal Container
for Liquefied Petroleum Gas. Scientific Technical Review, Vol. LVII, No.3-4,2007. p 94.

Diseño de un implemento para retirar acolchados de polietileno en cultivos de fresa

María Victoria Gómez-Águila¹,

Luis Arturo Soriano Avendaño²;

Josué Vicente Cervantes Bazán³;

Luis Tonatiuh Castellanos Serrano⁴

Resumen

En el presente trabajo se muestra el diseño de un implemento destinado a la recolección del plástico utilizado en acolchados de fresa. Se siguieron como criterios principales para la selección de materiales y mecanismos su disponibilidad en el mercado mexicano, su sencillez y su funcionalidad; estableciendo como requisito el trabajo del mismo para velocidades de traslación elevadas, facilitando el trabajo del agregado tractor-implemento de manera sencilla, esto para levantar los acolchados en el menor tiempo posible, cortándolo a ras de suelo por cada lado de la cama agrícola sobre la cual se siembra la fresa, y lo enrolla en un eje que gira de manera proporcional al avance del tractor, accionado por un sistema de transmisión de potencia de cadena que relaciona el movimiento de las llantas del implemento y el enrollado de película plástica. Como resultado se tiene un implemento que trabaja a una velocidad propuesta de $7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ y que recolecta el plástico, cortando el suelo de la cama agrícola 10 cm por cada costado, para asegurar el corte del plástico del acolchado, tiene un ancho de 1.3 m y una capacidad de carga de 646 kg de plástico que pueden ser mantenidos en el eje de recolección antes de tener que depositarlo en un almacén.

Palabras clave: películas-plásticas, camas agrícolas, transmisión-ejes

Design of a machine for the retirement of plastic films used in mulching of strawberry crops

Abstract

In this paper, the design of a tractor accessory to collect the plastic used in strawberry toppers is presented. This design is based on the next main criteria; for material selection its availability in the Mexican market, and in the case of the mechanism its simplicity and functionality. In order to give a value added to the tractor accessory proposed the high translation velocities were considered as work requirement in the design. This accessory cut from bottom ground by each side of agricultural area where the strawberry is sowing, and it also roll up in a shaft which turn in a proportional way to the tractor movement, finally the design considers a power transmission system of chain relation the tractor movement aforementioned between the wheels of the accessory proposed and the rolled of strawberry toppers. All these features are helpful to raised strawberry toppers in the less possible time. As a result, a design of a tractor accessory to collect the plastic is obtained. The design proposed have a speed proposed of $7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ that collects the strawberry toppers. It cuts 10 cm by each side of agricultural area from the ground, its weigh is 1.3 m and its load capacity of 646 kg. This last feature can load the product collected before to put down in a storage.

Keywords: mulching, agricultural bed, chain-shafts

Introducción

Para México la producción de fresas representa una fuente de ingresos importante, sobre todo porque gran parte de la producción nacional se destina a la exportación, contribuyendo a generar empleos alrededor de todos los procesos y actividades desde la preparación de los terrenos hasta la llegada de las frutas a los anaqueles. Esto quiere decir, que en este sector productivo en particular

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

existe un flujo de recursos económicos importante. El cultivo de la fresa ha venido a más en los años recientes. Según [10], en los últimos 10 años se han cuadruplicado las exportaciones nacionales del cultivo, al pasar de 52 mil toneladas en 2003 a 152 mil toneladas para el 2020.

Este cultivo utiliza técnicas y prácticas particulares que son necesarias para permitir el desarrollo adecuado de las frutas, algunas de estas labores pueden ser mecanizadas o manuales dependiendo del nivel tecnológico del cultivo, pudiendo marcarse una gran diferencia entre una forma y la otra, dependiendo del tamaño y volumen de producción, la velocidad a la que se realice una labor puede incidir sobre las fechas marcadas para la producción o representar una ventaja de simplificar la labor, y al final repercutir económicamente en las ganancias finales.

Una de estas técnicas empleadas es el acolchado plástico sobre camas agrícolas, que trae consigo beneficios de protección para las plantas para obtención de una mejor cosecha, actúan de la siguiente forma:

- Sobre las radiaciones, utilizando según necesidades, el color (láminas coloreadas) o la capacidad obtenida por metalización (uso de aluminio o de óxidos de titanio aluminio, etc.).
- Sobre la temperatura del suelo y la humedad por debajo de la lámina.
- Sobre las plantas por eliminación de malas hierbas si se utiliza lamina negra; el crecimiento de las malas hierbas bajo lamina transparentes es normal si no se utilizan herbicidas.
- Sobre las plagas y ciertos microorganismos.
- Sobre el crecimiento al conseguir que el anhídrido carbónico producido por fermentación del suelo quede en la zona de los estomas de las plántulas en crecimiento. (Dubois, 1980).

Estas ventajas son la razón por las que la práctica de acolchados plásticos haya sido adoptada en los últimos años de manera tan amplia, para aplicarse no solo en la fresa sino en diversos cultivos, de forma constante, ciclo tras ciclo productivo.

Pero esta práctica tan beneficiosa para el manejo del cultivo tiene desventajas, una de ellas es generar contaminación al final de la vida útil de los plásticos, a pesar de que lo adecuado es que estos desechos se levanten y se lleven a un lugar donde sean manejados adecuadamente, esto es tratarlos para reciclarlos o aprovechar su valorización energética, en México aún no existe un avance considerable en ello.

Una vez finalizados los cultivos el acolchado plástico se muestra deteriorado y hay que sustituirlo. Debe ser retirado del campo y hacer una disposición adecuada del mismo para reciclaje o para un relleno sanitario convenientemente habilitado. En ningún caso los plásticos deben ser quemados, los gases son tóxicos en especial por los aditivos que le colocan al plástico en su elaboración. Otra práctica incorrecta es rastrear el lote y desmenuzar los plásticos, estos serán llevados por la brisa causando distorsiones enormes, el plásticos con sus aditivos tiene capacidad de durar años afectando al suelo, flora y fauna. (Díaz et al, 2001).

Las alternativas de gestión de los productos agrícolas plásticos se resumen en procesos de reciclado mecánico y de vertido controlado de los mismos, siendo la valorización energética una opción prácticamente desaprovechada. (Díaz et al, 2001).

Además, la labor de levantado de las películas plásticas suele dejarse para el último momento y esto puede ocasionar perjuicios extra, por ejemplo si se deja sobre el terreno demasiado, el sol llega a degradar el plástico sobre el suelo el cual se ve afectado por los pequeños residuos que no se pueden coleccionar fácilmente, esta actividad además se realiza de manera manual y constituye un trabajo pesado para los trabajadores del campo.

Estas las razones principales del por qué pensar en una máquina que pueda levantar los plásticos en menor tiempo no está fuera de lugar.

El presente trabajo está dedicado al diseño de una solución mecánica simple que permita la recolección de los acolchados plásticos en camas agrícolas de fresa. Se buscó el diseño de un implemento agrícola que arrastrado por un tractor permitiera levantar todo el plástico utilizando a dos personas para el trabajo, y que tuviese la capacidad de recolectarlo de manera rápida.

Las camas agrícola sobre las que se siembra la fresa son un montículo de tierra relativamente elevado sobre el que se extienden plásticos para cubrirlo en su superficie (acolchados), fijándolo en la parte de los lados, la máquina propuesta como solución a esta necesidad debe cortar la parte de abajo del plástico y enrollarlo en un eje desmontable, con capacidad de carga de más de 600 kg de plástico de desecho, para ello son necesarias dos personas para operarla, una para manejar el tractor agrícola y otra para poner el plástico en el eje al principio de cada cama agrícola, se diseñó la máquina para levantar el plástico a una velocidad de avance nominal de $7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, lo cual representa una superficie estimada de película plástica de $0.91 \text{ ha}\cdot\text{h}^{-1}$. La operación de levantado inicia con el implemento colocado en la cama agrícola, después avanza la distancia necesaria, cortando lo suficiente para que una persona pueda enrollar el plástico en un eje que girará conforme avanza el implemento permitiendo que se recolecte de manera uniforme, esto se logra con una transmisión de cadena que tiene una relación de los piñones 1:1 en ambos ejes, haciendo que el avance de la llanta del implemento mueva el eje superior.

En el presente artículo se explica el proceso de diseño seguido para cumplir con el objetivo de especificar los materiales y las dimensiones adecuadas de la máquina, justificadas con los cálculos considerados necesarios, los cuales se desarrollan también, esto tratando de abarcar otro aspecto considerado importante: explicar de manera detallada el proceso seguido para el diseño.

Materiales y métodos

En general se procedió a caracterizar el problema (reconocimiento de la necesidad) se definen los requerimientos para el implemento y algunos parámetros para el diseño como son: ancho del implemento (1.3 m dado por las dimensiones de las camas de cultivo), capacidad de carga (646 kg) y velocidad de operación ($7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$). Se definieron las funciones que realizará el equipo en el campo, se propusieron dos soluciones y se seleccionó la mejor alternativa con los componentes más apropiados.

Los principales componentes que conforman el diseño (figura 1) lo integran: las llantas 1, el sistema de transmisión de potencia 2, el eje superior donde se acumulará la película de polietileno 3, los ejes de las ruedas 4, el rodillo tensor 5, el bastidor 6 y las cuchillas para corte del material polietileno 7.

Para seleccionar las llantas del implemento se consultaron catálogos comerciales de neumáticos diseñados para trabajo agrícola, tomando en cuenta la necesidad de una rueda de radio pequeño, de un ancho menor a 33 cm y una capacidad de carga superior a 700 kg.

Diseño del sistema de transmisión de potencia

Con el radio de las llantas se calculó la velocidad angular de entrada del sistema a partir de la ecuación (1) que debido a la necesidad de un sistema con relación 1:1 sería también la velocidad angular de salida, esto y la velocidad de avance de operación seleccionada.

$$\omega = V/r \tag{1}$$

donde:

ω : velocidad angular; ($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$),

V: velocidad de avance; ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$),

r: radio de la llanta; (m).

La potencia necesaria para trabajar con hasta 646 kg de película plástica acumulada se determina con la ecuación 2.

$$P = F * V \quad (2)$$

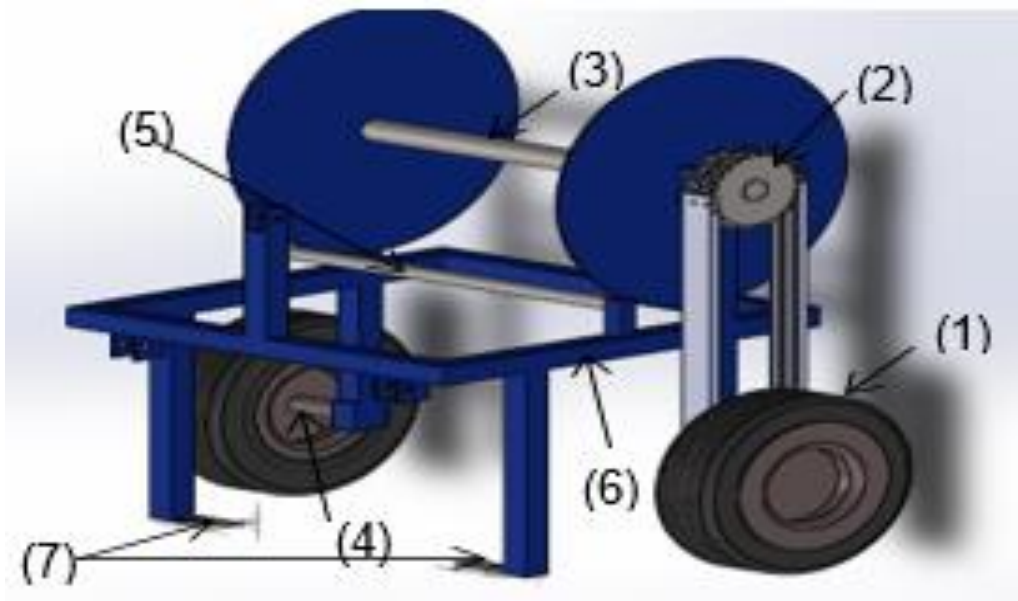
donde:

P: potencia; W,

F: carga generada por el material polietileno; N,

v: velocidad de avance del agregado tractor-implemento; ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$).

Figura 1. Implemento recolector de acolchados de polietileno



La potencia obtenida se multiplicó por un factor de servicio de 1.4 [2], esta potencia y la velocidad angular se utilizaron para iterar diseños de transmisión de cadena estandarizados en catálogos, buscando el tamaño adecuado para la máquina, el cual se determinó con la ecuación (3).

$$D = \frac{P}{\sin\left(\frac{180}{N}\right)} \quad (3)$$

donde:

P: paso de la cadena; pulg,

N: número de dientes de la Catarina,

D: diámetro de las catarinas; pulg.

Distancia mínima entre centros y longitud de la cadena

La distancia entre centros se determina según la ecuación 4 y la longitud der cadena, según la ecuación 5.

$$C = 30 p \quad (4)$$

donde :

C: distancia entre centro; m.

$$L = 2 C + \frac{N_2 + N_1}{2} + \frac{1}{C * 4 \pi r^2} (N_2 - N_1)^2 \quad (5)$$

donde:

L: longitud de la cadena; m,

N₁: número de dientes de la Catarina menor; m,

N₂: número de dientes de la Catarina mayor; m.

Ángulo de contacto de las catarinas

El funcionamiento correcto de la transmisión se garantizará a los 120° [7]. El ángulo de contacto de las catarinas se determina a través de la ecuación 6.

$$\theta_1 = 180^\circ - 2 \operatorname{sen}^{-1}[(D_2 - D_1)/2C] \quad (6)$$

donde:

θ₁: ángulo de contacto de las catarinas; rad,

D₁: diámetro de la catarina menor; m,

D₂: diámetro de la catarina mayor; m,

C: distancia entre centros; m.

En este caso las dos catarinas tienen el mismo diámetro por lo que el arco de contacto es igual para las dos.

Diseño del eje de recolección

Para el diseño del se emplea la teoría de falla por fatiga [2], [6], empleando la ecuación (7) para determinar el diámetro mínimo adecuado.

$$D = 32 \frac{N}{\pi} \sqrt[3]{(kt M/Sn)^2 + \frac{3}{4}(T/Sy)^2} \quad (7)$$

donde:

D: diámetro mínimo de diseño; m,

N: factor de diseño, medida de la seguridad relativa de un componente bajo la acción de una carga,

K_t : coeficiente por cambios en la geometría del eje,

M: momento flector; N.m,

Sy: resistencia estimada a la fatiga del material de construcción del eje; MPa,

T: momento torsor en el eje; N.m,

S_y resistencia de fluencia del material del eje; N.m.

Para determinar el momento flector crítico se analizaron las fuerzas que actúan sobre el eje, dibujándose los diagramas de momento flector y fuerza cortante, mientras que el torque se obtuvo con la ecuación (8).

$$T = P/\omega \quad (8)$$

donde:

T: momento torsor; N.m,

P: potencia que transmitirá el eje; hp,

ω : velocidad angular; rad/s,

El material a utilizar es el acero 1040 [5] .

Selección de rodamientos

Los rodamientos empleados tanto en el eje superior, como en los de las llantas se empleó una vida útil de 6000 horas, la que se determina con la ecuación 9 [8].

$$Ld = h * n * 60) \quad (9)$$

donde:

Ld: vida útil; rev,

h: vida útil; horas,

n: frecuencia de rotación del rodamiento; (rpm).

Las reacciones se determinan considerando el diagrama de cuerpo libre del eje, aplicando las ecuaciones de equilibrio estático [3] se determina la carga estática [2], y con ella se determina la carga dinámica según la ecuación 10 [3].

$$Cr = Pd \left(\frac{Ld}{10^6} \right)^{1/k} \quad (10)$$

donde:

Cr: carga dinámica; N,

Pd: carga estática; N,

Ld: vida útil; rev

K = 3, para rodamientos de bolas [2], [7]

Diseño del bastidor del implemento

Para el bastidor se tomó como crítica la fuerza necesaria para mantener el implemento a una velocidad constante y esta se utilizó para el diseño, esta fuerza aplicada por el tractor al arrastrar el implemento es la resistencia a la rodadura que es presentada por la norma ANSI/ASABE 296 como se ve en la ecuación (11).

$$RR = W \left(\frac{1.2}{Cn} + 0.04 \right) \quad (11)$$

donde:

RR: resistencia a la rodadura; N,

W: carga normal; N,

C_n: _coeficiente adimensional en función del índice de cono (Ci) para el suelo.

El coeficiente C_n se determina a partir de la ecuación (1).

$$Cn = \frac{Ci \cdot b \cdot d}{W} \quad (12)$$

donde:

C_i: índice de cono del suelo se determina mediante una prueba normalizada con el penetrómetro (kPa),

b: ancho de los neumáticos sin carga; (m),

d: alto de los neumáticos sin carga; (m).

Se calculó la deflexión [4] a partir de la ecuación (13), considerando el modelo como una viga doblemente apoyada, y se compara con valores límite recomendados para maquinaria [6].

$$\nabla = \left(\frac{Pl^3}{48EI} \right) \quad (13)$$

donde:

∇ : deflexión vertical; m,

P: fuerza externa; N,

E: módulo de elasticidad longitudinal; MPa,

I: momento de inercia rectangular; m⁴

Diseño de los ejes de las ruedas

Para estos ejes se calculó la potencia requerida para vencer la resistencia a la rodadura, es decir para que el agregado tractor-implemento avance a una velocidad constante esto con la ecuación 14.

$$P = RR * v \quad (14)$$

donde:

P: potencia; W,

RR: _resistencia a la rodadura; N,

V: velocidad de avance del tractor; m/s

Para determinar las reacciones, momentos flexionantes y fuerzas cortantes, se modelaron estos ejes como vigas en voladizo y se determinó su diámetro mínimo por la ecuación (7), tomando el mayor para los dos para mantener la simetría en el diseño.

Diseño de las cuchillas de corte de la película plástica.

El diseño de la cuchilla se realiza según [1] y se recomienda sea, dentada para facilitar el corte del material de polietileno de manera perpendicular a su espesor, con un ángulo de 180° según recomendaciones [1].

La fuerza para que las cuchillas penetren el suelo a 10 cm considerados necesarios para cortar el polietileno se utilizó la ecuación 15 de Gorjatschkin y (Ortiz Cañavate, 1989) [1]

$$F = a * p * \mu \quad (15)$$

donde:

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

F: fuerza de resistencia que se genera en el suelo; N

a: ancho de trabajo; cm,

p: profundidad de trabajo; cm,

μ - resistencia específica del suelo; $N \cdot cm^{-2}$.

La resistencia específica μ se determina según la ecuación 16 [1], para las condiciones de mayor exigencia que corresponden a un suelo arcillo-limoso.

$$\mu = 7 + 0.049 v^2 \quad (16)$$

donde:

v : velocidad de avance del tractor.

Selección de las cuchillas

Las cuchillas deberán resistir el trabajo sin fallar. El área a cortar, coincide con el área transversal de la cuchilla. La misma se determina considerando la condición de resistencia mecánica a cortante, según [7] y se calcula a través de la ecuación 17.

$$\tau = \frac{V}{Ac} \leq \tau p \quad (17)$$

donde:

V: fuerza cortante; N,

Ac: área transversal sometida a cortante; m^2 ,

τ : esfuerzo cortante permisible; 375 MPa.

Para las cuchillas se seleccionó un acero AISI W1 cuya resistencia de fluencia es 1500 MPa.

El área transversal mínima obtenida con la ecuación 17 es igual a $A = 1.4 \text{ cm}^2$

Enganche de tres puntos

Para las dimensiones del enganche de tres puntos se siguieron las normas de la American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE), para un enganche de categoría II. Como se muestra en la tabla 19 [11].

Resultados

Se tiene el diseño de un implemento para la recolección de películas de polietileno usadas en camas de cultivo de fresa, ideado para trabajar a $7 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ y con una capacidad de carga de 646 kg de película recolectada, que puede ser operado por dos personas.

Llantas

Las llantas seleccionadas para el implemento tienen las siguientes características principales: el neumático contiene una cámara interior (TT- Tube type), régimen de capas (PR) de 8, ancho del rin 5.5 pulgadas, el peso (WT) es de 10.886 kg, diámetro exterior (OD) de 72.136, ancho de sección de 20.066 cm, radio con carga estática (SLR) de 32 cm, capacidad de carga a una presión específica de 52 psi 948 kg, velocidad máxima recomendada (SP) 48.27 km/h. Estos valores fueron obtenidos del catálogo de la marca Alliance Tire Group.

Transmisión de potencia

Se seleccionó un sistema de transmisión por cadena que transmite la potencia generada en el eje de las llantas hacia el eje superior de recolección, en resumen el diseño a utilizar de la transmisión de potencia por cadena es: Cadena estándar de doble hilera número 120 con paso de 1.5 pulgadas. La longitud de la cadena será de 86 pasos. $L=327.66$ cm (129 pulgadas). La distancia mínima entre centros será de 30.5 pasos. $C=116.205$ cm (45.75 pulgadas). Contará con dos catarinas iguales de 25 dientes $N=25$, con diámetros de $D = 30.399$ cm (11.968 pulgadas).

Ejes de las ruedas

Estos ejes tendrán un diámetro de 70 mm, y estarán unidos a los rines de las llantas, por el otro extremo se colocarán los rodamientos y se unirán a las columnas inferiores del bastidor. Habrá una distancia de 0.238 m desde la unión con el rin hasta el extremo del eje, donde irán colocados en dos rodamientos estándar número 6914 ambos serán iguales.

Eje superior

El eje superior (figura 2) estará construido en acero 1040 y tendrá un diámetro de 85 mm, mismo que podrá funcionar con los rodamientos estándar 6217 y tendrá un largo total de 1.4 metros, sobre él se montará además de dos rodamientos la Catarina para la transmisión de potencia.

Figura 2. Eje superior

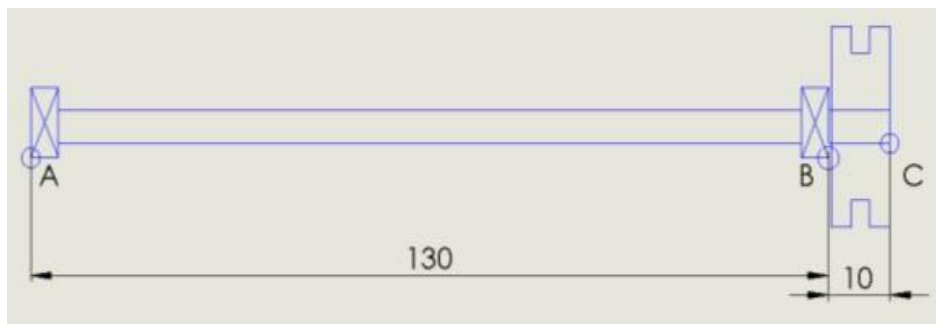
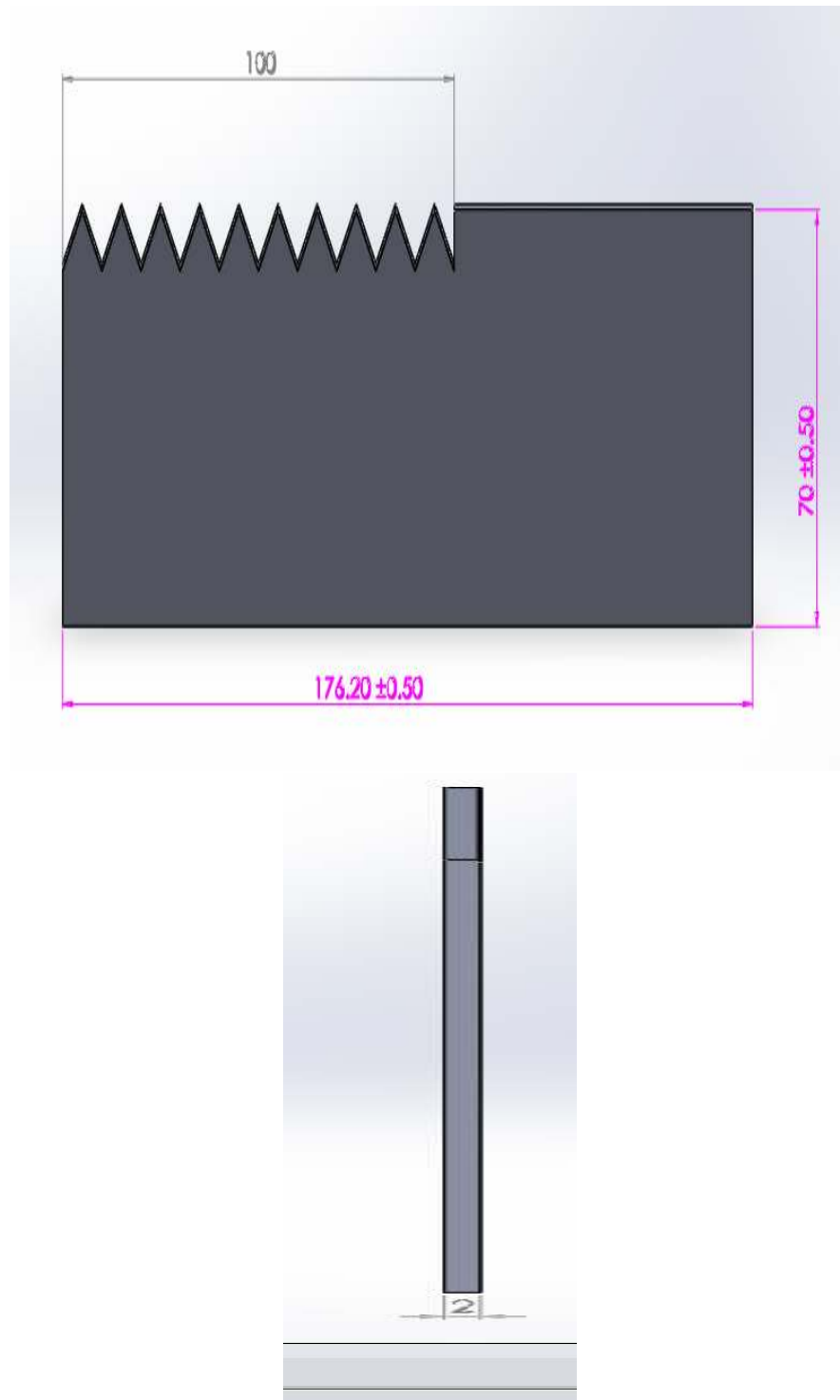
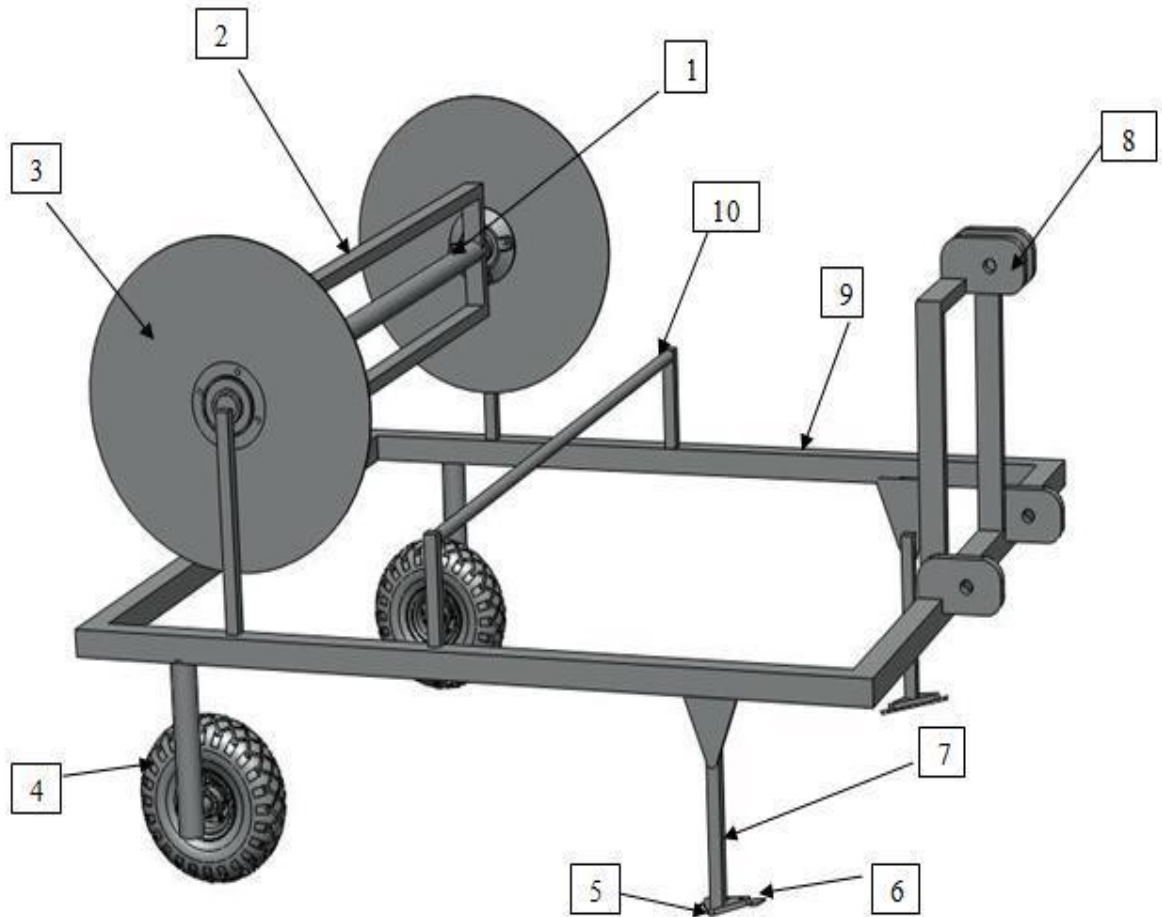


Figura 3. Cuchilla



En la figura 4 a y 4 b se observan las partes que componen el diseño realizado.

Figura 4 a. Componentes de la máquina



(1. Eje de giro del sistema de recolección de plástico, 2. Barras para enrollado de plástico, 3. Discos para evitar que el acolchado se salga de las barras, 4. Llantas (tracción del implemento), 5. Portacuchilla, 6. Cuchilla, 7. Barra acoplada al bastidor y a la portacuchilla, 8. Sistema de enganche de 3 puntos, 9. Bastidor, 10. Rodillo guía para el plástico.

Figura 4 b. Ensamble del diseño final en Solidworks



Conclusiones

El diseño del implemento para retirar el acolchado de polietileno en los cultivos de fresa lo componen: dos llantas, dos órganos de corte, barra o ejes soportes para los órganos de corte, transmisión catarina - cadena de doble hilera, dos rodamientos de bolas 6217, 6914 con una capacidad de corte de 646 kg equivalente a una superficie estimada de 0.91 ha/h con avance de la máquina igual a 7 km/h.

Referencias bibliográficas

- ANSI/ASABE 296: General Terminology for Traction of Agricultural Traction and Transport Devices and Vehicles.
- ASABE estándar: ASAE S217.12 DEC01 (ISO+730-1:1994) Three-Point Free-Link Attachment for Hitching Implements to Agricultural Wheel Tractors.
- Deutschman, Aarón D., Walter J. Michels, Charles E. Wilson. 1987; Diseño de Máquinas (teoría y práctica). Ed. Continental. México. 959 p.
- Díaz Serrano, Teresa; *et al*; 2001; Los filmes plásticos en la producción agrícola; MundiPrensa; España; 320 p.
- Dubois, P.; 1980; Los plásticos en la agricultura; MundiPrensa; Madrid, España; 209 p.
- Gutiérrez Vaca, César; Serwatowski, Ryszard; Cabrera Sixto, José M.; Saldaña

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

Robles, Noé y Juárez-Guaní, José A.; Estudio de corte de películas plásticas sobre suelos acolchados; Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias; v.19 n.4 San José de las Lajas oct.-dic. 2010.

Mott, Robert L.; 2006; Diseño de elementos de máquina; Pearson Educación; cuarta edición; México; 944 p.

Mott, Robert L.; 1996; Resistencia de materiales aplicada; Pearson Prentice Hall; tercera edición; México; 640 p.

Ortiz-Cañavate y Puig Mauri, Jaime *et al*; 1989; Técnica de la mecanización agrícola; Mundi-Prensa; 3 ed.; España; 643 p.

Pérez Papaseit *et al*. 1997. Los plásticos y la agricultura. Ediciones de agricultura. Madrid. 240 p.

Tesis profesional. Diseño de un implemento para retirar acolchados plásticos en cultivos de fresa. Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco de Mora. Estado de México. 2015.

Bases de datos hidrológicos en México

Abrahan Rojano Aguilar¹, Jorge Flores Velazquez²

¹Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5. Ctra Mex Tex. Chapingo Mex. 56230. Correo: abrojano@hotmail.com

² Colegio de Postgraduados. Campus Montecillos. km 36.5 Ctra Mex Tex. Montecillos Estado de México. 56230:

MESA 1: Matemáticas y Física

Resumen

Los datos son una fuente hasta ahora indispensables para mover al mundo científico. Los datos son el inicio, y el fin de cualquier investigación científica cuantitativa donde se mide, compara, analiza y decide las acciones posteriores de cualquier estudio técnico. Asimismo, también sucede algo similar en las descripciones de variables categóricas como son las de apreciación en el cálculo difuso. Los datos por si solos son importantes, pero cuando se les agregan otros elementos como la georreferenciación o la integración en programas o aplicaciones actuales como las de google resultan muy útiles, atractivos y con un fuerte valor agregado.

En este trabajo se hace una búsqueda histórica y se presentan no solo los datos sintetizados o concentrados de la hidrología nacional a escala temporal mensual, a nivel país, y dos estaciones meteorológicas, sino que exploramos la visualización con el uso de archivos shp de la cuenca del rio Magdalena junto a los datos meteorológicos como ingredientes naturales para alimentar cualquier modelo hidrológico posterior ya sea del tipo empírico o con ciertos componentes de balance de masa y momento basados en las leyes de la mecánica del agua.

Palabras Clave: Temperatura, precipitación, estación meteorológica, registros.

Abstract

Data is a source so far indispensable to move the scientific world. Data is the beginning, and the end of any quantitative scientific investigation where the subsequent actions of any technical study are measured, compared, analyzed and decided. Likewise, something similar also happens in the descriptions of categorical variables such as those of appreciation in the fuzzy calculation. The data alone is important, but when other elements are added such as georeferencing or integration into current programs or applications such as Google, they are very useful, attractive and with a strong added value.

In this work, a historical search is carried out and not only the synthesized or concentrated data of the national hydrology are presented on a monthly temporal scale, at the country

level, and two meteorological stations, but we also explore the visualization with the use of shp files of the basin of the Magdalena River together with meteorological data as natural ingredients to feed any subsequent hydrological model, whether of the empirical type or with certain components of mass and moment balance based on the laws of water mechanics.

Key Words: Temperature, precipitation, weather station, records

Introducción

Históricamente, en México, desde hace más de 100 años se empezó a capturar información de acuerdo a los recursos y estándares de aquella época, primero con algunas estaciones rudimentarias, pero actualmente su número rebasa, tan solo en CONAGUA las 5000 estaciones, y existen organismos de aviación, estatales, municipales y privados que también capturan datos. Trabajar exitosamente con datos agro meteorológicos en México requiere ciertas características no solo técnicas sino también de gestión administrativa y de relaciones socioculturales.

El diagnóstico es la fase primaria o el principio de análisis en la pirámide en la teoría de la información. Los datos son fundamentales o ingrediente que empieza con el registro de variables en una forma tabulada, pero cuando el número de datos crece, el proceso de ordenación y búsqueda ha requerido la participación de mecanismos computacionales crecientes.

La obtención de datos generalmente es uno de los pasos primarios para alimentar cualquier investigación. La existencia de datos ayuda a mejorar la calidad de vida, sirve para mejorar las acciones individuales o de grupo. Al principio los datos son unidades solitarias, pero ya ordenadas o sistematizados pueden servir para analizar problemas a diferentes escalas, y a veces con la construcción de descripciones inimaginables o sorprendentes. Los datos correctos obtenidos de mediciones son pilares fundamentales del conocimiento y alimentando los modelos pueden ayudar a medir, mejorar, y controlar las decisiones correctas

(Gazoni, et, al, 2018; McKinney, W. 2010; Roberts, et al., 2018)

Algunos tipos de datos son fáciles de obtener como la temperatura mientras otros son mas difíciles como la radiación. La etapa de obtener datos en forma limitada ha cambiado en tiempos modernos donde la existencia de datos crece en forma exponencial y rápido podemos entrar al área de big data. Además, se requieren algoritmos de todo tipo para lidiar con ellos para entrar a los problemas de velocidad de acceso. Las fuentes y formas de os datos son tan variadas que la homogeneidad es un área de intensa investigación como son las bases de datos no estructuradas.

Los datos junto con modelos y herramientas estadísticas pueden generar la ciencia de datos. En programación los datos requieren ser apoyados con código para generar una interacción mas efectiva. Asi los datos por ejemplo son apoyados con geo referenciación y

específicamente en un lenguaje interprete de alto nivel como Python requiere el uso de numpy, geopandas, sqlite3 y matplotlib para hacer procesos de búsqueda, cálculos y visualización.

Al presente, técnicamente, aun cuando existen diversas fuentes de datos los detalles aparecen desde los formatos diferentes hasta la falta de calibración, verificación y redundancia. El problema de las cuatro Vs, (volumen, velocidad, variedad, y veracidad) es recurrente en alguna o varias de las variables.

El volumen rápidamente puede crecer por el incremento del número de las estaciones, de las variables registradas y de la frecuencia en la captura. La velocidad es una exigencia o necesidad contemporánea de búsqueda en respuestas rápidas. La variedad del tipo de datos ha crecido, así como su forma de registrarlos y finalmente la veracidad es una tarea que requiere el trato fino para detectar los errores y anomalías (Montero, M., et. al., 2013, Iñiguez, M., et. al., 2011).

Así, el objetivo específico de este trabajo es describir no solo el estado de los datos en la parte hidrológica de México desde el inicio hasta las plataformas actuales de datos sintéticos, y mostrar el camino actual el manejo y ordenamiento con el uso de software libre

Materiales y Métodos

Generalmente, el usuario final solo percibe las bases de datos como tablas o matrices con algunos encabezados descriptivos, pero aun cuando estamos en un problema dentro de la teoría de bases de datos del tipo relacional, se requiere un conjunto de archivos ordenados, con localización y fecha, objetos, índices y tablas, campos y columnas, registros y filas, claves y relaciones donde la unidad mínima es el carácter o símbolo. Dentro de los miles de estaciones, la estación de Temilpa, Morelos, fue seleccionada como un prototipo de lo que generalmente ocurre en la evolución de otras estaciones de la república mexicana desde hace mas de 100 años. Los datos capturados empiezan con un encabezal de descripción del lugar y una tabla con columnas para registrar fecha, precipitación(mm), evaporación(mm), temperatura máxima(°C), temperatura mínima(°C), y radiación (MJ/m²/día).

Asimismo, la estación de Conagua 9017 ubicada en el desierto de los Leones en la CDMX, es un ejemplo mas reciente de una colección de datos con registro diario de temperatura, precipitación y con limitaciones de evaporación obtenida de una red de 5000 estaciones en todo el país y donde se puede comparar la información local con la global reportada en el Cuadro 2.

Posteriormente, se presenta un histograma de los resultados obtenidos con el programa Meteoblue que sintetiza la precipitación por horas en cualquier punto de la cuenca del río Magdalena y nos sirve para detectar los posibles escurrimientos si conocemos los umbrales mínimos de infiltración mayores a 1mm/h.

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

Finalmente, la cuenca del río Magdalena es generada dentro del programa SIATL de INEGI generando una red de drenaje con tres archivos del tipo shp con posibilidades de interactuar dentro de los mapas convencionales de Google no solo para visualizar los detalles topográficos sino para llevar a cabo simulaciones posteriores.

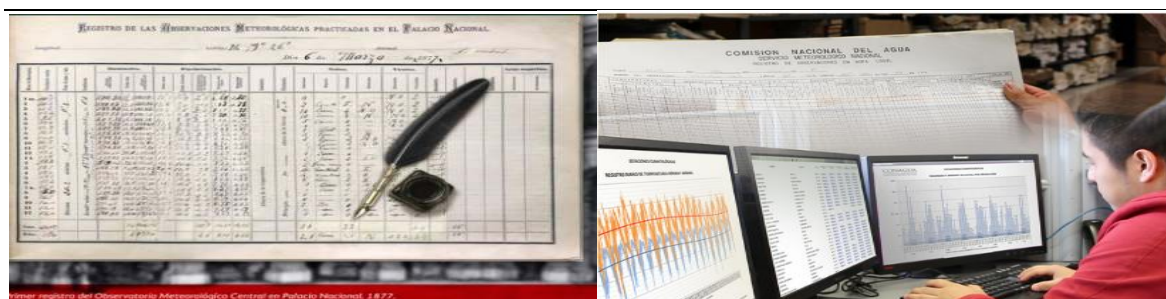
Resultados y discusión

Trabajar con datos meteorológicos y reportados en este trabajo, no solo ha requerido explorar la conexión, compartición y gestión institucional con organismos como CONAGUA, sino que también con INIFAP, y programa SIATL de INEGI y algunas fuentes particulares. Los problemas de las cuatro Vs son abordados con recursos computacionales escogiendo un lenguaje de programación interprete como Python versión 3 en su librería de Pandas, así como la interacción con R, y lenguajes específicos de bases de datos relacionales MariaDB, y sus manejadores Heidi o Sqlite3.

Cuadro 1. Formato de registro de datos de Temixpa, Morelos.

Fecha	Pre	Evap	T max	Tmin	Rad
01/04/1955	0	8	35	15.5	26.06
02/04/1955	0	8.6	34	16.0	25.101
03/04/1955	0	5.6	36	15.5	26.853
04/04/1955	0	7.8	36.5	14.5	27.885

Figura 1. Evolución de los formatos de bases de datos. Izquierda en papel en tiempos pasados; derecha en tiempos actuales.



Fuente: <https://www.gob.mx/smn/acciones-y-programas/banco-nacional-de-datos-climatologicos-del-smn>

El río Magdalena está localizado como un afluente de la cuenca del valle de México. Físicamente el río desciende abruptamente de las montañas desde 3400 m para incrustarse

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

en la ciudad donde los asentamientos humanos crecen por los 2200 m en una distancia menor a los 20km hasta llegar al río Churubusco. El río Magdalena tiene una contribución de cinco principales afluentes como son el Eslava, Anzaldo, Coyotes y Texcalatlaco con áreas de 45.54, 2.73, 2.75 y 3.92 km², respectivamente.

Varios de los modelos simplificados para conocer el flujo en los puntos de observación empiezan por definir los componentes de áreas de influencia y precipitación sobre la cuenca de tipo anual, mensual u horario.

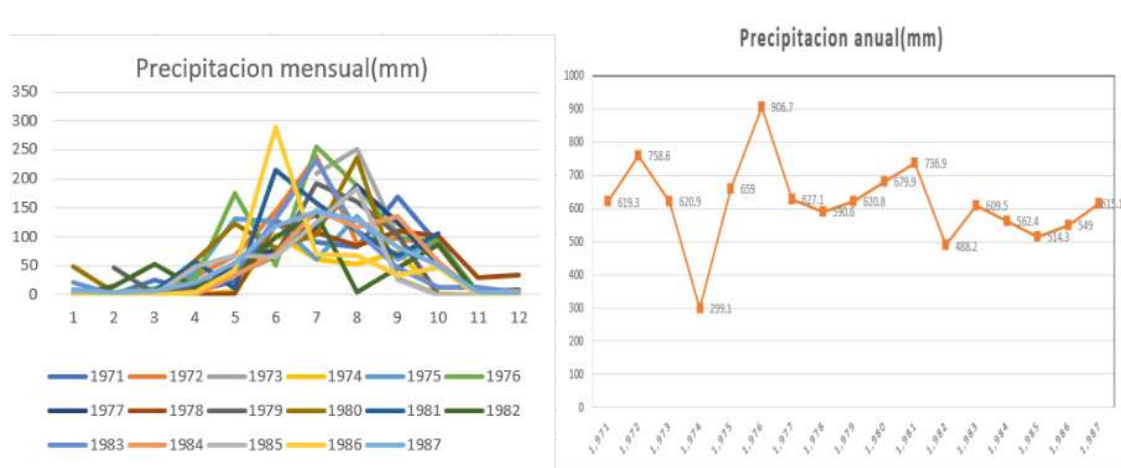
Area. Este componente geométrico actualmente puede hacerse por medio de Google Earth en 3D o con fotografías satelitales con cierta capacidad de detalle para ubicar la red hidrográfica con el programa SIATL de INEGI y el perfil vertical de descenso de los ríos. Estudios mas acuciosos pueden requerir fotografías con drones.

Figura 3. Izquierda. Área de influencia de la cuenca del río Magdalena y con la red de afluentes. Derecha. Zona rural y urbana con los afluentes principales.



Precipitación. Este componente del ciclo hidrológico ligado con el agua es una variable de enorme utilidad para alimentar los modelos ya sea como registro, anual o temporal o inclusive a nivel de minutos.

Figura 4. Izquierda, precipitación mensual en milímetros de la estación 9017. Derecha. Precipitación anual para 17 años obtenidos de CONAGUA.

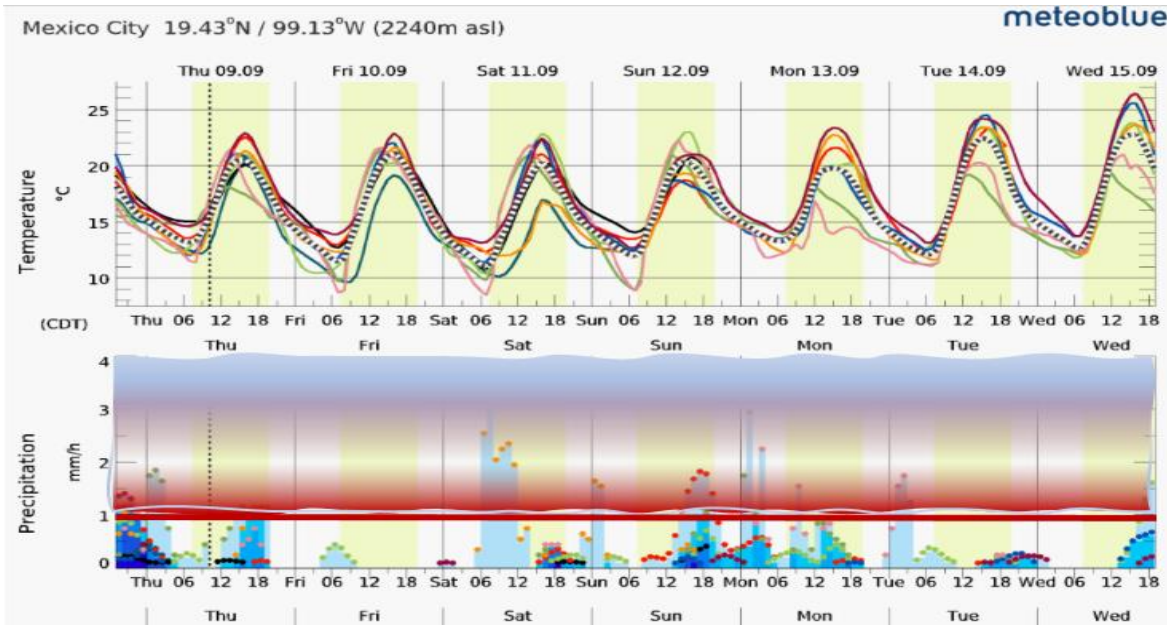


Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

Cuadro 2. Datos concentrados de la precipitación nacional por estados en forma anual y mensual en todo el país, pero también existen los de temperatura, y evaporación de la misma fuente.

ENTIDAD FEDERATIVA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Aguascalientes	38.5	28.4	1.5	4.6	17.3	72.6	162.8	77.3	81.9	4.5	0.0	8.9	498.1
Baja California	4.3	10.5	62.4	11.8	0.6	0.0	1.1	0.5	1.1	0.5	3.9	6.9	103.5
Baja California Sur	1.9	8.8	36.9	0.2	0.0	0.8	6.6	22.4	17.8	3.6	1.0	3.1	103.0
Campeche	31.1	13.4	4.1	25.9	207.1	499.1	137.2	184.8	234.2	293.1	99.1	50.3	1779.3
Coahuila	11.3	2.8	21.6	7.3	30.5	23.8	44.5	6.0	63.8	0.4	2.8	12.4	227.2
Colima	80.1	112.1	0.0	0.0	2.1	84.7	354.8	664.3	339.2	27.0	0.0	0.7	1665.1
Chiapas	28.4	46.9	21.0	32.4	239.4	409.1	182.5	345.9	373.1	251.8	199.1	38.3	2167.9
Chihuahua	6.0	20.2	27.3	3.3	6.2	19.5	82.8	32.4	49.1	0.1	1.5	12.4	260.8
Ciudad de México	11.3	5.3	8.1	21.9	32.8	59.7	103.8	107.8	97.0	20.1	1.5	0.5	469.7
Durango	16.9	18.7	2.3	1.0	5.6	31.1	143.9	49.9	115.1	1.9	0.3	3.6	390.4
Guanajuato	5.6	20.5	12.1	6.7	27.7	104.5	111.1	109.9	69.9	4.7	1.2	1.7	475.5
Guerrero	4.0	4.9	2.9	7.8	11.9	133.1	179.4	307.3	226.4	43.2	4.5	2.7	928.0
Hidalgo	34.5	9.8	6.9	39.3	46.0	64.6	60.9	80.8	111.0	21.4	22.0	4.4	501.5
Jalisco	49.8	55.6	1.1	1.4	16.0	81.7	209.3	254.4	167.4	24.5	0.1	12.9	874.2
Estado de México	7.8	8.0	16.2	29.3	26.6	115.6	184.2	184.5	150.6	29.2	3.5	3.3	758.9
Michoacán	6.8	29.8	9.0	5.1	9.8	92.5	155.9	201.0	167.6	20.2	2.9	2.4	703.0
Morelos	4.0	7.7	14.6	8.7	32.3	248.6	348.0	337.7	452.7	46.9	6.5	0.0	1507.5
Nayarit	60.4	61.7	0.1	0.8	9.3	53.5	303.0	349.0	251.2	30.3	0.0	21.4	1140.5
Nuevo León	13.0	3.5	15.2	37.0	80.5	72.7	171.4	14.8	102.8	2.7	3.8	8.0	525.5
Oaxaca	29.5	17.0	2.8	25.9	63.5	148.6	169.1	303.2	238.2	66.0	51.7	10.1	1125.6
Puebla	25.9	12.8	9.6	41.3	68.5	171.9	172.2	239.0	285.1	40.5	29.6	7.9	1104.4
Querétaro	23.7	12.5	19.3	17.2	34.4	66.4	83.3	58.6	70.3	13.4	6.6	1.3	407.0
Quintana Roo	56.8	27.2	9.6	12.0	248.4	406.0	105.3	153.0	172.3	354.9	254.9	70.3	1870.7
San Luis Potosí	29.0	6.0	8.6	28.1	47.1	65.4	96.2	56.8	81.3	9.6	15.6	2.8	446.3
Sinaloa	21.4	54.9	3.0	1.7	2.3	14.9	221.8	162.3	150.6	6.4	1.9	12.3	653.4
Sonora	9.2	25.6	82.1	2.5	7.3	12.0	93.5	74.8	17.8	0.2	1.8	16.4	343.0
Tabasco	75.3	137.8	18.8	36.3	281.7	385.7	92.9	303.1	461.3	550.4	501.3	173.3	3017.9
Tamaulipas	19.9	3.1	12.9	35.9	120.0	117.3	128.5	53.2	105.9	17.6	10.4	6.5	631.1
Tlaxcala	8.8	1.1	3.3	34.9	46.0	64.0	123.4	106.1	114.9	31.5	3.8	0.6	538.4
Veracruz	85.2	56.6	8.1	50.7	135.6	218.0	107.5	243.5	282.2	123.1	189.6	48.6	1548.6
Yucatán	29.5	8.0	4.1	23.4	194.8	551.9	121.8	144.9	166.5	402.7	103.3	51.6	1802.2
Zacatecas	27.4	19.6	2.3	2.7	13.3	56.7	153.7	51.1	68.5	3.7	0.0	7.2	406.3
Nacional	21.6	22.7	21.0	14.0	53.9	108.7	120.9	122.3	128.2	55.5	36.6	17.0	722.5

Figura 5. Datos de precipitación horario para la CDMX obtenidos de varios programas computacionales y condensados en meteoblue para la segunda semana de septiembre 2021.



Fuente: https://www.meteoblue.com/en/weather/forecast/multimodel/mexico-city_mexico_3530597?fcstlength=168

Conclusión

Los datos fueron una fuente de poder para los que los tenían, controlaban o los usaban para sus proyectos posteriores. Aunque el problema sigue persistiendo, actualmente es posible contestar o realizar algunas tareas consiguiendo datos en acceso libre hasta cierto detalle o punto.

El ciclo hidrológico, que podemos empezar a narrarlo desde la precipitación y su contacto primario en las partes altas de una cuenca. En el caso del complejo metropolitano de la cuenca del Valle de México, con algunos de sus ríos tributarios arrancan desde cerca de los 4000 m y descienden las corrientes hasta los 2000 m en una distancia menor a 50 km.

Actualmente la hidrología tanto urbana como rural ha beneficiado mucho a la sociedad con el apoyo tecnológico de la computación y sobre todo del acceso generalizado de las masas a un precio relativamente bajo a como lo era hace algunas décadas.

Dicha mancuerna de la hidrología para definir la geometría de las áreas en estudio con la computación sobre todo en la visualización espacial y temporal es muy exitosa no solo para sensibilizar a una gran cantidad de ciudadanos sobre el desarrollo de los procesos prácticamente en tiempo real y actualmente virtual.

Para hacer una comparación de lo que significa el volumen, la velocidad y la variedad de la información, se presenta este trabajo entendiendo que el problema no es solo juntar o amontonar datos hasta cantidades inmanejables.

Para numerosas aplicaciones con menos de un gigabyte basta un programa de Excel, block de notas o pandas en algún programa interprete como es Python. El juego de conversión, manejo, agrupación, clasificación y búsqueda puede ser muy ilustrativo no sin antes mencionar lo importante que significa la visualización.

Las bases de datos agro meteorológicos son un área que ha evolucionado hasta un punto en que se han convertido en una necesidad para generar mapas y tomar decisiones en tiempo real. El diagnóstico es un ejercicio multidisciplinario que requiere la participación de físicos, matemáticos, informáticos, meteorólogos así como de los diferentes profesionistas de la ciencia del medio ambiente.

Los datos cada vez son mas complejos y no solo consisten de simples números aislados, sino que requieren estructuras adicionales que permitan interactuar con programas globales que garanticen una integración y facilidad de uso para una sociedad cada vez mas exigente.

Referencias

Montero Martínez, J. M., Ojeda Bustamante, W., Santana Sepúlveda, J. S., Prieto González, R. y Lobato Sánchez, R. 2013. Sistema de consulta de proyecciones regionalizadas de

cambio climático para México. Tecnología y Ciencias del Agua. Volumen IV, núm. 2, 113-128.

Íñiguez-Covarrubias, M., Ojeda-Bustamante, W., Rojano Aguilar, A. 2011. Metodología para la determinación de la evapotranspiración integrada y la capacidad de canales en una zona de riego. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. 43(2): 175-191.
<http://bdigital.uncu.edu.ar/4320>

Gazoni, E.; Clark, C., 2018, Openpyxl—A Python Library to Read/Write Excel 2010 xlsx/xlsm Files. Available online: <https://openpyxl.readthedocs.io/en/stable/> (accessed on 30 September 2018).

McKinney, W. 2010, Data structures for statistical computing in python. In Proceedings of the 9th Python in Science Conference, Austin, TX, USA, 28–30 June 2010; pp. 51–56
Roberts, W.; Williams G.P., Jackson, E; Nelson, E.J.; Daniel P. A., 2018, Hydrostats: A Python Package for Characterizing Errors between Observed and Predicted Time Series, Hydrology, 5, 66; doi:10.3390/hydrology5040066 www.mdpi.com/journal/hydrology.

Evaluación de ecuación de régimen permanente para el diseño de drenes subterráneos parcelarios

Ángel Hernández Facundo¹ y Jorge Víctor Prado Hernández²

¹Maestría en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del agua, Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carretera México- Texcoco. 56230, Chapingo, Estado de México., facirrigacion@hotmail.com.

²Profesor Investigador del Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carretera México- Texcoco. 56230, Chapingo, Estado de México., Correo autor de correspondencia: vpradohdez@gmail.com.

Mesa 1: Matemáticas y física.

Resumen

Se construyó un modelo físico en laboratorio para simular un sistema de drenaje agrícola subterráneo y se midió la variación del Nivel Freático (NF) en el perfil del suelo representado con la finalidad de evaluar el modelo matemático para flujo permanente de Mishra y Sing. Se utilizaron suelos de los estratos 4 y 5 del campo experimental "La Cerna" de la Universidad Autónoma Chapingo para formar un perfil de 90 cm de espesor, con densidades aparente (D_a) de 1.22 y 1.46 g cm⁻³ y conductividad hidráulica (K) de 0.4057 y 0.0928 m día⁻¹, respectivamente. El experimento consistió en saturar por gravedad el perfil de suelo a través de dos tubos ranurados colocados verticalmente dentro del suelo y alimentados por un contenedor elevado de 200 l; el NF se abatió con dos drenes subterráneos paralelos de 1 cm de diámetro, colocados a 0.65 m de profundidad con una separación (L) de 1.4 m y pendiente de 1 %. La variación del NF se midió manualmente durante 17 horas con nueve piezómetros. Se observaron diferencias en la forma de los perfiles del NF observado y simulado, pero se encontró una buena aproximación del modelo en el eje de simetría del flujo ($L/2$) después de tiempos prolongados de drenado. En consecuencia, el modelo matemático analizado, puede ser una buena alternativa para el diseño de drenes subterráneos en suelos agrícolas sujetos a condiciones de régimen permanente.

Palabras clave: Drenaje agrícola, flujo permanente, nivel freático.

Abstract

A physical model was constructed in the laboratory to simulate a subsurface agricultural drainage system and the variation of the water table (NF) in the soil profile represented in order to evaluate the mathematical model for permanent flow of Mishra and Sing. Soils from strata 4 and 5 of the experimental field "La Cerna" of the Universidad Autónoma Chapingo were used to form a 90 cm thick profile, with bulk densities (D_a) of 1.22 and 1.46 g cm⁻³ and hydraulic conductivity (K) of 0.4057 and 0.0928 m día⁻¹, respectively. The experiment consisted of gravity saturating the soil profile through two slotted tubes placed vertically into the soil and fed by an elevated 200 l container; the NF was abated with two parallel subway drains of 1 cm diameter, placed at 0.65 m depth with a separation (L) of 1.4 m and slope of 1 %. NF variation was measured manually for 17 hours with nine piezometers. Differences in the shape of the observed and simulated NF profiles were observed, but a good model approximation was found on the flow symmetry axis ($L/2$) after prolonged drainage times. Consequently, the mathematical model analyzed can be a

good alternative for the design of subsurface drains in agricultural soils subject to permanent regime conditions.

Keywords: Agricultural drainage, permanent flow, ground water table.

Introducción

Las áreas cultivables disminuyen debido a la salinización del suelo, erosión y urbanización. Es necesario aumentar sustancialmente la producción de cultivos en las áreas húmedas, además se requiere de la agricultura de riego para proveer grandes proporciones de alimento en las regiones áridas y húmedas (Ayars y Evans, 2015). El drenaje agrícola artificial elimina el exceso de agua que afecta el desarrollo y producción de cultivos del perfil del suelo, además, facilita la remoción de sales permitiendo la recuperación de éstas zonas agrícolas (Oyarce et al., 2017).

La superficie potencial de riego en función de la aptitud de la tierra en México es de 13.5 millones de ha, esta superficie se reduce a 9.8 millones de ha si se toma en cuenta la disponibilidad de agua. La mayor parte de las tierras subutilizadas se localizan en el trópico húmedo, en donde se construyeron 18 Distritos de Temporal Tecnificado para el aprovechamiento de 7.5 millones de ha agrícolas con infraestructura hidráulica destinada a la evacuación del agua en exceso (FAO, 2014).

La Comisión Internacional de Riego y Drenaje en su base de datos de zona drenada del mundo, registra para México 27.5 millones de hectáreas de tierras arables y cultivos permanentes de las cuales solo el 18.9% cuenta con drenes (ICID, 2018). Aunque, el diseño y la gestión de los sistemas de riego han evolucionado enormemente en las últimas décadas, la metodología de diseño y los criterios de gestión del drenaje subterráneo no han cambiado en los últimos 50 años. Por lo tanto, todos los aspectos del drenaje agrícola requieren una seria reconsideración y reevaluación para poder satisfacer las nuevas necesidades de drenaje (Ayars y Evans, 2015).

De los 6.81 millones de ha bajo riego en México, el 74.9% de esta superficie aún se aplica el riego por gravedad (Inegi, 2019). Esta superficie se encuentra dividida en 86 Distritos de Riego y más de 40 mil Unidades de Riego, donde el manejo del agua es de baja eficiencia global (Conagua, 2018).

Namuche Vargas et al. (2020) estiman que del 10% de área bajo riego y 16% de los 7.5 millones en zonas del trópico húmedo en el país presentan problemas de salinidad y drenaje en algún grado. Además, este problema se incrementa en 10 mil ha año⁻¹ en áreas de riego y disminuye la producción en un 25%.

En muchos casos, los problemas asociados a niveles freáticos someros se han controlado mediante la instalación de sistemas de drenaje subterráneo (Hornbuckle et al., 2007; Ayars et al., 2006) y son medidas importantes para mantener o mejorar la productividad de tierras agrícolas (Rimidis y Dierickx, 2004). Además, Ayars et al., (2006) detallan que los beneficios derivados del drenaje agrícola son en la mejoría de: producción de cultivos, aireación del suelo, capacidad de tránsito de equipo agrícola, gestión de salinidad del suelo, protección a la infraestructura, condiciones de salud de los seres humanos al eliminar aguas estancadas que transmiten enfermedades relacionadas con el agua, e inclusive contribuye a

mantener zonas de alimentación y humedales para la vida silvestre y las aves migratorias, así como para la recreación y la pesca.

De acuerdo a Ritzema, citado por Darzi-Naftchally et al., (2014) los dos tipos básicos de ecuaciones empleadas para determinar el espaciamiento de drenaje parcelario son de estado permanente y de estado transitorio. Cuando se utilizan las ecuaciones de estado permanente, la descarga de drenaje de diseño se considera igual que la recarga neta promedio a través del tiempo y, en consecuencia, el nivel freático permanece constante en el tiempo. En áreas irrigadas o con precipitaciones muy variables, estas suposiciones no se cumplen y las ecuaciones del estado transitorio son a veces más apropiadas. Sin embargo, muchos de los diseños utilizados se realizan con ecuaciones de régimen permanente, debido a que los datos básicos requeridos para el diseño de los drenajes subterráneos pueden ser extremadamente laboriosos y costosos de recolectar.

Tanto la obtención de parámetros utilizados en el diseño, así como los procedimientos de cálculo provocan diseños deficientes. Una solución común a un diseño deficiente instalado en campo es reducir el espacio lateral mediante la instalación de un lateral adicional entre dos existentes, lo cual es una situación menos que ideal debido al costo y la pérdida de productividad debido a la saturación de agua y la salinización antes de proporcionar un drenaje adecuado (Namuche Vargas et al. 2020).

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el modelo matemático de Mishra y Singh (2007), a través de un modelo físico que representa las condiciones reales del campo Experimental “La Cerna”. El interés de este suelo se basa en su estratigrafía y además el problema real de anegamiento que presenta, pues diferentes autores como: Zavala et al. (2012), Mehdinejadiani et al. (2013), Darzi-Naftchally et al. (2014) y Oyarce et al. (2017) han utilizado suelos homogéneos con un solo estrato en la evaluación de modelos matemáticos.

Materiales y métodos

El experimento se construyó en las instalaciones del campo experimental Tlapeaxco del Departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH). El suelo utilizado fue del campo experimental “La Cerna”, cuya superficie es de 9.31 ha. Hernández (2020) realizó un diagnóstico de drenaje en este predio en un periodo de diez meses en 2019 con la finalidad de conocer la magnitud y origen del problema de anegamiento parcial que se presentaba, así mismo determinó la caracterización hidrodinámica del suelo. Los resultados mostraron que el Nivel Freático está a profundidades menores a 1 m en un 30% de la superficie en los meses de riego, y a profundidades mayores de 1 m en un 50% de la superficie en todo el periodo analizado. En los dos pozos pedológicos realizados se identificaron cinco estratos de suelo y el nivel freático se manifestaba en el estrato cuatro y cinco a profundidades mayores de 80 cm, dado lo anterior, el suelo se extrajo a esa profundidad (Figura 1).



Figura 1. Perfil pedológico excavado en el campo experimental “La Cerona” (Fuente propia).

Se removió el suelo y se colocó sobre un plástico a la intemperie para retirar la humedad, el tiempo aproximado de secado fue de 48 horas o hasta que se identificó el suelo completamente seco. Este suelo se tamizó en una malla de 1.2 mm de abertura y se pesó con una báscula tipo romana con precisión de 0.5 kg, para posteriormente ser almacenada en bolsas de polipropileno en cantidades de 25 a 35 kg cada uno. Del estrato cuatro se extrajeron 1,760 kg y del estrato cinco 2,105 kg que se trasladaron hasta el área donde se construyó e instaló el modelo físico.

Modelo físico experimental

El modelo físico se construyó con una estructura desarmable de aluminio de 2.44 m de largo, 1.24 m de ancho y 1.24 m de altura, con paredes de acrílico transparente sujetas a barras verticales y horizontales con tornillos y arandelas a cada 0.3 m. En las caras de mayor longitud se colocaron dos soportes verticales a cada 81 cm y en las caras pequeñas únicamente se colocaron soportes en la parte media. Entre el acrílico y la estructura de aluminio se introdujo una solera de polímero y silicón adhesivo en la parte interna para impedir filtraciones de agua (Figura 2).

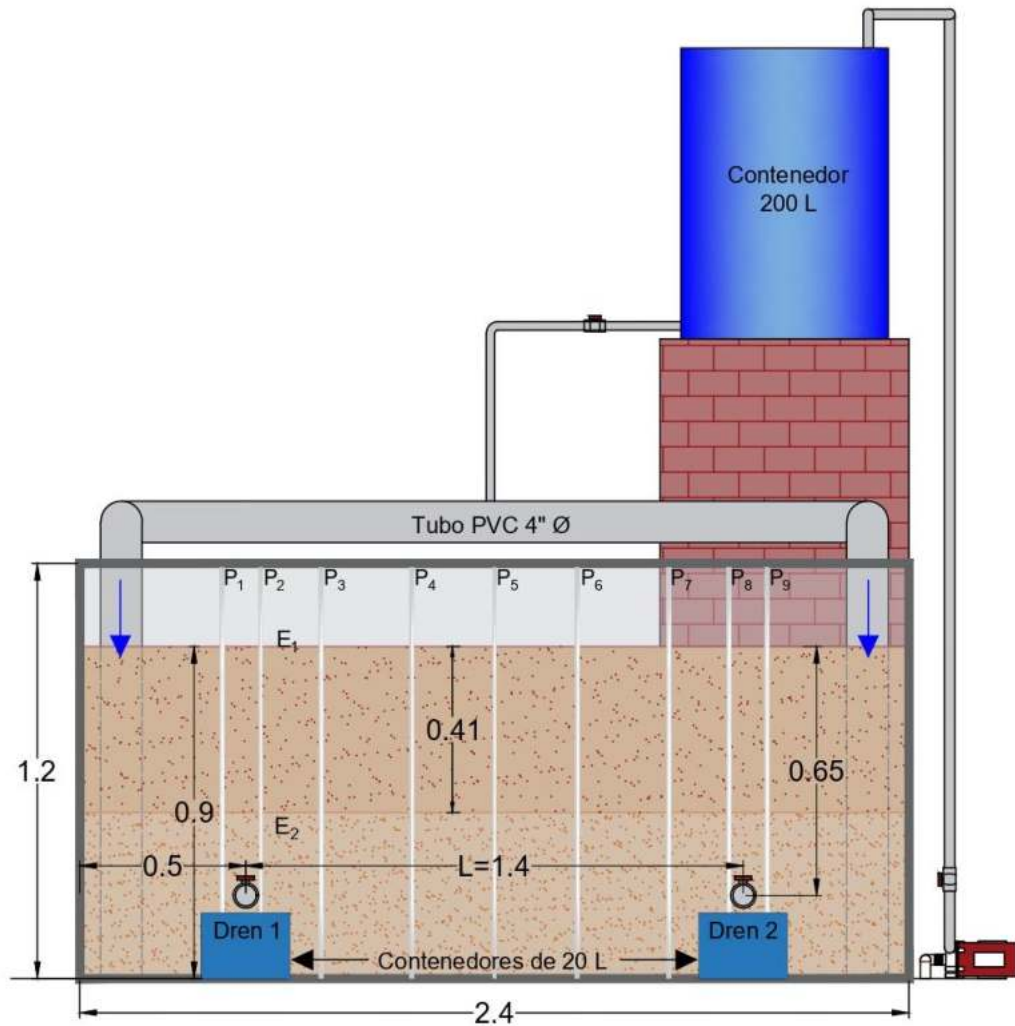


Figura 2. Modelo experimental (Acotaciones en metros, Fuente propia).

Antes de llenar el contenedor de suelo se realizó la instalación de los pozos de observación y los piezómetros dentro de la estructura. Los Pozos de Observación (PO) consistieron en tubos de PVC de 3 cm de diámetro interior, con 8 líneas de orificios de 5 mm a cada 2 cm, distribuidos de manera uniforme en toda la pared del tubo; los tubos empleados se cubrieron con una malla de polietileno de 1.35 mm de abertura y sobre ella se colocó otra malla de 0.8x0.6 mm de abertura para impedir el ingreso de partículas finas. Los PO se instalaron en el centro del contenedor paralelos a la cara más grande. El primer PO se instaló a 45 cm de la pared lateral del acrílico y posteriormente a separaciones 11, 17, 25.6, 23.3, 23.3, 25.6, 17 y 11 cm entre ellos, de tal manera que se pudiera caracterizar el perfil del NF. Los piezómetros (P) se instalaron de tubos transparentes de 12 mm de diámetro conectados desde la parte inferior de los PO hasta la parte externa del contenedor con la finalidad de observar y medir el NF.

La compactación del suelo dentro del contenedor se realizó de manera uniforme utilizando un apisonador de madera con peso de 3 kg. Para el estrato cuatro se agregaban 70 kg de suelo que se distribuía en toda la superficie del contenedor y se compactaba hasta alcanzar

una altura de 1.9 cm calculado a partir del área de 2.44 x 1.24 m de la estructura y la densidad de 1.22 kg cm⁻³ del suelo. Para el estrato cinco la misma masa de suelo requirió una altura de 1.6 cm para la densidad de 1.46 kg cm⁻³ la cual fue mayor.

La altura del estrato cinco fue de 49 cm y la del estrato cuatro de 41 cm, formando un perfil de suelo con dos estratos de 90 cm de profundidad. Los drenes se colocaron a 25 cm de la base y a 50 cm de la pared lateral, quedando ubicados en el estrato inferior, y la separación entre ellos fue de 1.40 m con pendiente de 1%. Su ubicación de acuerdo a los pozos de observación para el primer dren es a 7 cm del pozo uno y 4 cm del pozo dos y para el segundo dren es 4 cm del pozo ocho y 7 cm del pozo 9.

Las características físicas del suelo que se utilizó en el modelo se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características del suelo utilizado en el modelo.

Estrato	Espesor (m)	Textura	θ_{cc} (%)	θ_s (%)	Da (gcm ⁻³)
4	0.49	Franca	37.25	57.51	1.22
5	0.41	Franca	31.87	46.76	1.46

Los tubos de drenaje se perforaron de manera manual siguiendo las recomendaciones de la FAO (2009) que proponen orificios de 0.6 a 2 mm, distribuidos uniformemente en la pared de la tubería, por lo menos en cuatro filas con un mínimo en cada fila de dos perforaciones cada 100 mm, dado lo anterior se hicieron perforaciones de 1.6 mm a cada 2 cm en seis hileras de la pared del tubo (Figura 3) y se cubrió con una primera malla de polietileno de 1.35 mm de abertura y una segunda malla de 0.8x0.6 mm de abertura.

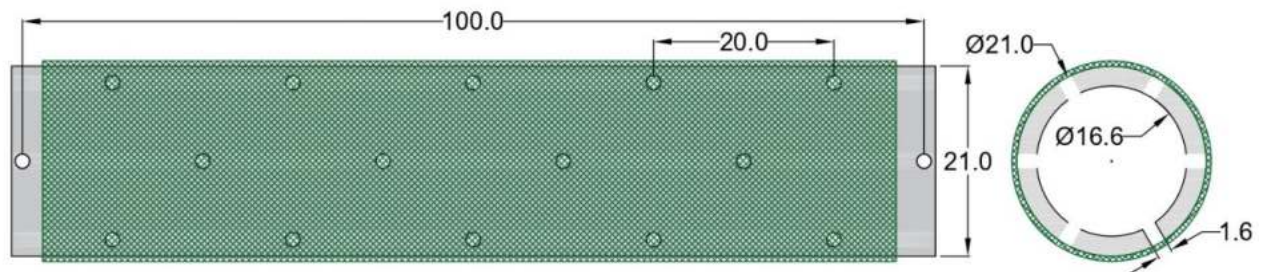


Figura 3. Características del tubo de drenaje, acotaciones en mm (Fuente propia).

Para la saturación del perfil del suelo se instalaron dos tubos en la parte posterior del modelo cubriendo el perfil del suelo, de manera vertical de 10 cm de diámetro con orificios de 5 mm a cada 4 cm en 10 hileras, los cuales fueron alimentados por un contenedor elevado de 200 litros. El cálculo del volumen a aplicar para saturar el suelo se hizo con base en el contenido de humedad inicial y de saturación del suelo; el primero de ellos fue obtenido con un TDR 300 ® y el segundo fue obtenido en laboratorio.

Para obtener la conductividad hidráulica (K) de los dos estratos se usó el método del pozo barrenado en el modelo físico experimental. El descenso del agua se midió con una sonda HOB0 MX2001 ®, con una resolución de décimas de milímetros y precisión de 3 mm y rango de respuesta de 1 s a temperatura estable. Se elaboró un pozo de 10.4 cm de diámetro

para realizar la prueba de conductividad, en el estrato superior fue de una profundidad de 25 cm y en el estrato inferior se excavo hasta una profundidad de 70 cm.

Para conocer la evolución del NF en proceso del drenado, una vez que se saturó el suelo y se abrieron los drenes, se registraron las lecturas en los piezómetros a 1, 2, 3, 4, 7, 10, 14 y 17 horas. Complementariamente, se obtuvo la evolución del volumen desalojado por cada uno de los drenes para calcular la recarga aplicada al suelo.

Modelo matemático

Se evaluó el modelo matemático de Mishra y Singh (2007), el cual considera el flujo horizontal y radial. La extensión de la zona de flujo radial la determinaron aplicando un criterio de balance de masa y diferenciabilidad del perfil de la superficie del agua en la interfaz de las zonas de flujo radial y Dupuit-Forchheimer (Figura 4).

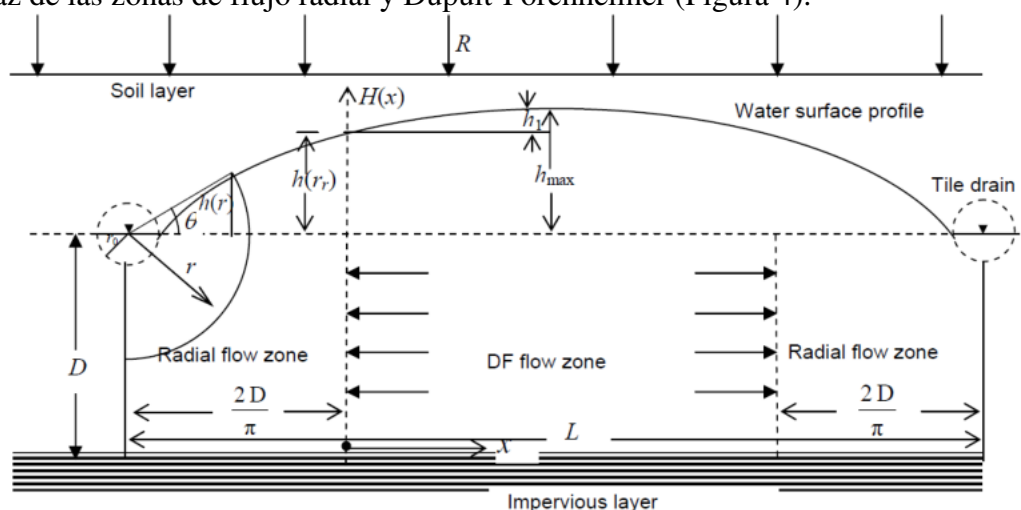


Figura 4. Flujo constante a los drenes que muestran las zonas de flujo radial y de Dupuit Forchheimer (Mishra y Singh, 2007).

La carga de flujo radial sobre los drenes $h(r_r)$ (m), se obtiene con la ecuación (1):

$$\frac{1}{2} \ln \left[\left(\frac{h(r_r) + \frac{\pi L}{4}}{\frac{2D}{\pi} - \frac{L}{2}} \right)^2 + \frac{\pi}{2} \left(\frac{h(r_r) + \frac{\pi L}{4}}{\frac{2D}{\pi} - \frac{L}{2}} \right) + \frac{R}{K} \right] - \frac{1}{2} \ln \left[\left(\frac{\pi L}{4 \left(r_0 - \frac{L}{2} \right)} \right)^2 + \frac{\pi}{2} \left(\frac{\pi L}{4 \left(r_0 - \frac{L}{2} \right)} \right) + \frac{R}{K} \right]$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{\pi}{8\sqrt{\left(\frac{\pi^2}{16} - \frac{R}{K}\right)}} \left[\ln \left\{ \frac{\left(\frac{h(r_r) + \frac{\pi L}{4}}{\frac{2D}{\pi} - \frac{L}{2}} \right)^2 + \frac{\pi}{2} \left(\frac{h(r_r) + \frac{\pi L}{4}}{\frac{2D}{\pi} - \frac{L}{2}} \right) + \frac{R}{K}}{\left(\left(\frac{h(r_r) + \frac{\pi L}{4}}{\frac{2D}{\pi} - \frac{L}{2}} \right) + \frac{\pi}{4} + \sqrt{\left(\frac{\pi^2}{16} - \frac{R}{K}\right)} \right)^2} \right\} \right. \\
 & \left. - \ln \left\{ \frac{\left(\frac{\frac{\pi L}{4} \left(r_0 - \frac{L}{2} \right)}{\frac{2D}{\pi} - \frac{L}{2}} \right)^2 + \frac{\pi}{2} \left(\frac{\frac{\pi L}{4} \left(r_0 - \frac{L}{2} \right)}{\frac{2D}{\pi} - \frac{L}{2}} \right) + \frac{R}{K}}{\left(\left(\frac{\frac{\pi L}{4} \left(r_0 - \frac{L}{2} \right)}{\frac{2D}{\pi} - \frac{L}{2}} \right) + \frac{\pi}{4} + \sqrt{\left(\frac{\pi^2}{16} - \frac{R}{K}\right)} \right)^2} \right\} \right] - \ln \left(\frac{\frac{L}{2} - r_0}{\frac{L}{2} - \frac{2D}{\pi}} \right) = 0
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

la cual es válida para

$$\left(\frac{\pi^2}{16} - \frac{R}{K} \right) > 0$$

donde L es la separación entre drenes (m), D es el espesor de suelo entre el centro del dren y la capa impermeable (m), R es la recarga (m d^{-1}); K es la conductividad hidráulica a saturación (m d^{-1}); y r_0 es el diámetro interno del dren (m).

La carga en la zona de flujo horizontal ($H(x)$) se obtiene como:

$$H^2(x) = -\frac{R}{K}x^2 + \frac{R}{K}\left(L - \frac{4D}{\pi}\right)x + (h(r_r) + D)^2 \tag{2}$$

Entonces la carga máxima sobre los drenes, en la mitad de la separación de los drenes, se calcula de la siguiente manera:

$$h_{\max} = h_1 + h(r_r) = \sqrt{(D + h(r_r))^2 + \frac{R}{4K}\left(L - \frac{4D}{\pi}\right)^2} - D \tag{3}$$

donde:

$$h_1 = -(D + h(r_r)) + \sqrt{(D + h(r_r))^2 + \frac{R}{4K}\left(L - \frac{4D}{\pi}\right)^2} \tag{4}$$

Evaluación del modelo matemático

El modelo matemático se evaluó con el error máximo (ME), raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE), coeficiente residual de masa (CRM), coeficiente de determinación (CD) y eficiencia del modelo (EF):

$$ME = \text{Max} |h_i - h'_i|_{i=1}^N \quad (5)$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (h'_i - h_i)^2}{N} \right]^{\frac{1}{2}} \frac{100}{\bar{h}} \quad (6)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^N h'_i - \sum_{i=1}^N h_i}{\sum_{i=1}^N h'_i} \quad (7)$$

$$CD = \frac{\sum_{i=1}^N (h_i - \bar{h})^2}{\sum_{i=1}^N (h'_i - \bar{h})^2} \quad (8)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^N (h_i - \bar{h})^2 - \sum_{i=1}^N (h'_i - h_i)^2}{\sum_{i=1}^N (h_i - \bar{h})^2} \quad (9)$$

donde h_i es la i -ésima carga simulada (m), h'_i es la i -ésima carga observada (m), $\bar{h}$ es la media de las cargas observadas (m), y N es el número de datos.

Resultados

El volumen total drenado a las 17 horas fue de 44.42 litros para el dren 1 y 42.3 litros para el dren 2. Hasta las 3 horas el volumen se presentó de manera exponencial posteriormente disminuyó considerablemente, comportándose de forma asintótica después de las 7 horas e indicando que a las 17 horas terminó el drenado. En el dren 1 siempre se obtuvo mayor gasto, esta variación también se reflejó en la carga sobre los drenes. Con el volumen drenado a las 17 h se obtuvo que la recarga (R) fue 0.042 m d^{-1} .

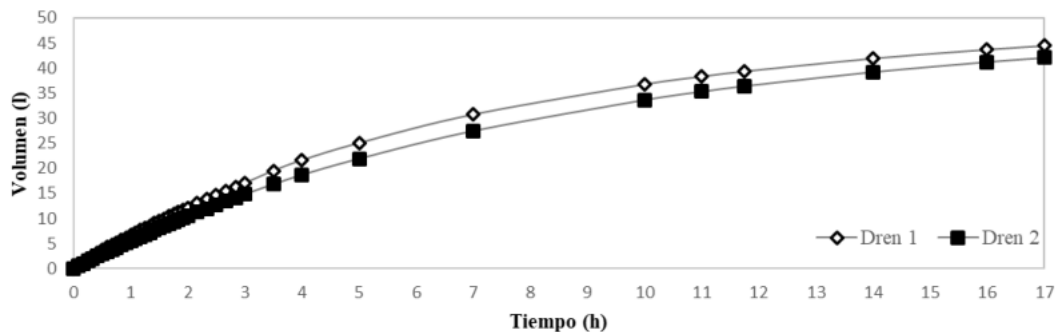


Figura 5. Volumen de agua drenado del dren 1 y 2 medido durante 17 horas (Fuente propia).

Los descensos del agua dentro de los pozos para la determinación de la conductividad hidráulica a saturación se muestran en las Figuras 6 y 7. Las conductividades resultaron de 0.4057 m d^{-1} para el estrato superior y de 0.0928 m d^{-1} para el estrato inferior.

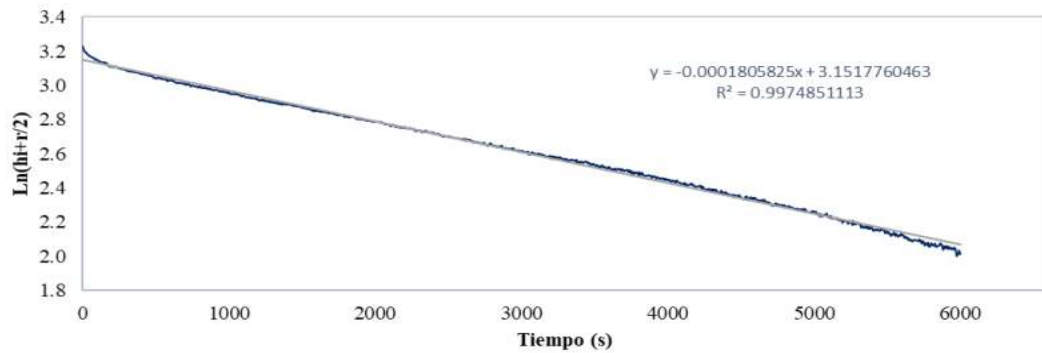


Figura 6. Descenso del agua en el estrato cuatro (Fuente propia).

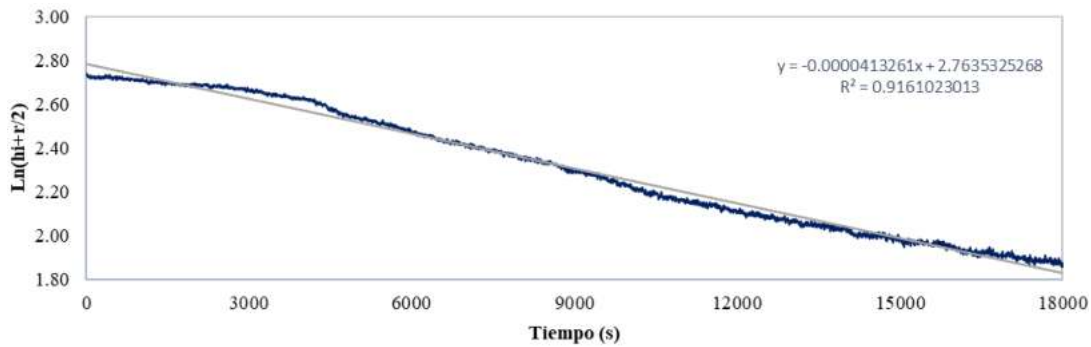


Figura 7. Descenso el agua en el estrato cinco (Fuente propia).

Debido a la densidad aparente el estrato cinco se compactó un 20% más que el estrato cuatro, por tal motivo resultó una conductividad hidráulica de 0.0928 m d^{-1} teniendo una diferencia de 0.3129 respecto a la conductividad hidráulica del estrato cuatro.

La evolución temporal y espacial observada del NF se muestra en la Figura 8. El perfil freático desde el inicio mostro mayor profundidad sobre los drenes y menor profundidad en el centro. En las primeras 3 horas el nivel freático descendió 9 cm en el eje de simetría y en la hora 4 bajo hasta 14 cm, a partir de este tiempo el descenso se mostró pausado debido a que llego a 27.5 cm en 7 horas y en la cercanía de los drenes el NF alcanzaba al estrato inferior. El volumen de los drenes se redujo a partir de este tiempo y la profundidad llegó hasta 51.3 cm en 17 horas o lo equivalente a 13.7 cm de carga sobre los drenes en $L/2$.

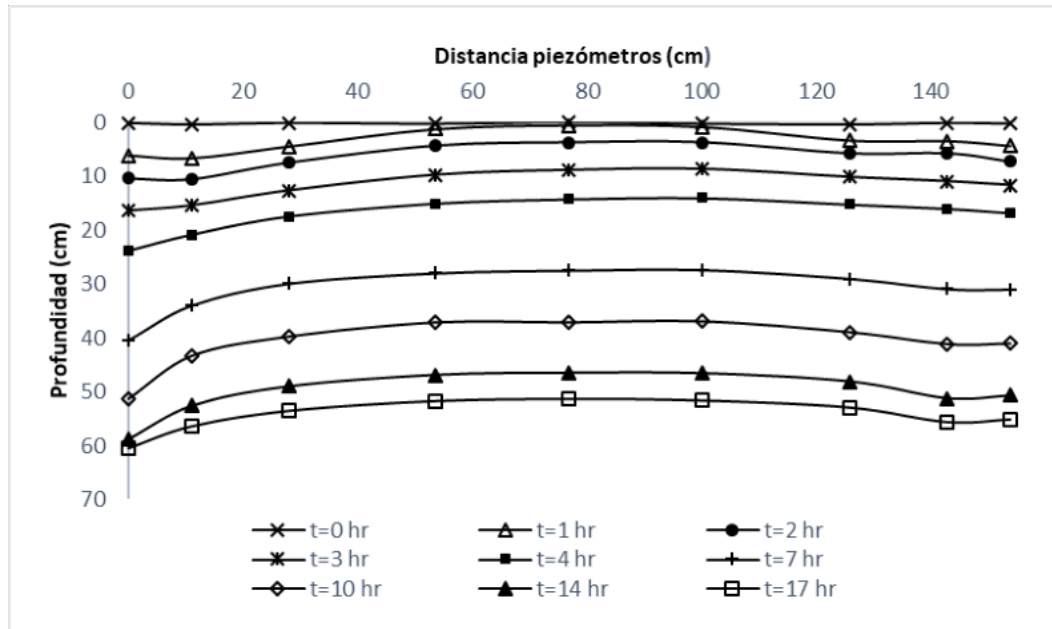


Figura 8. Perfiles de agua observados (Fuente propia).

Puesto que el modelo matemático de Mishra y Sing (2007) aplica en drenaje en estado de flujo permanente, sus resultados fueron evaluados con los observados del perfil del NF para el tiempo de 17 horas, tiempo en el que terminó el drenado del exceso de agua (Figura 9). La zona de flujo radial calculado con las suposiciones de Mishra y Sing resultó de 0.159 cm, en esta zona el perfil freático observado no tiene punto de comparación debido a que el perfil simulado considera la carga sobre el dren igual a cero. Sin embargo, a partir de este punto hacia el eje de simetría es decir en la zona de flujo horizontal el perfil freático observado contra lo calculado muestra un error máximo de 4 cm en el centro. Con los resultados estadísticos mostrados en el cuadro 2 se observa que el modelo evaluado puede ser una buena alternativa para el diseño de drenes subterráneos en suelos agrícolas sujetos a condiciones de régimen permanente debido a que los valores están muy cercanos a los observados.

Cuadro 2. Parámetros estadísticos.

ME	RMSE	CRM	CD	EF
0.043	26.28	0.196	0.239	-3.18994

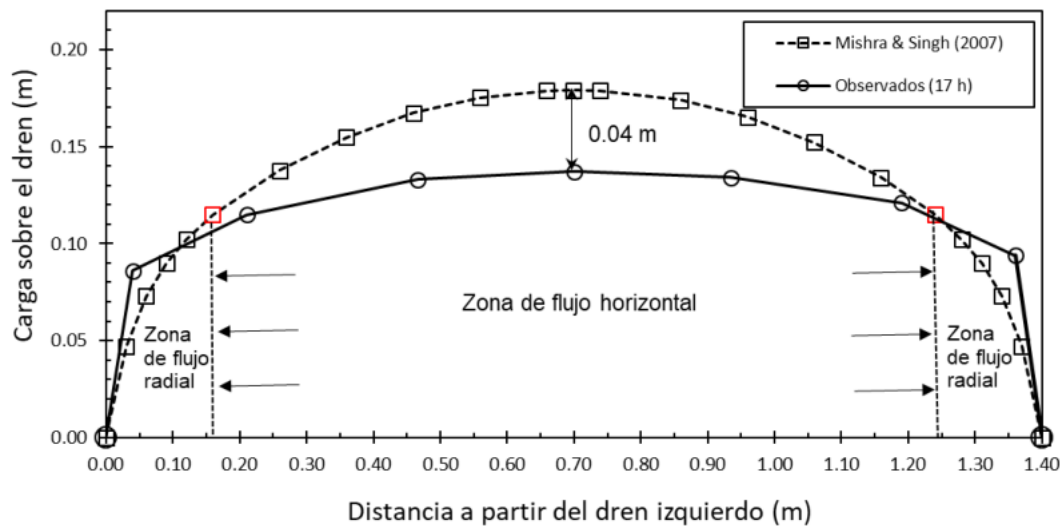


Figura 9. Perfil del Nivel freático para un tiempo de 17 horas (Fuente propia).

Conclusiones

El modelo matemático de Mishra y Sing (2007) mostró una buena aproximación en el eje de simetría de los drenes en tiempos largos de drenado, con 4 cm de error a las 17 horas, pero la forma del perfil del NF es más curvo que el observado sobre todo en las cercanías de los drenes.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico brindado para desarrollar mis estudios.

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Posgrado de Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua, por la oportunidad brinda para la realización de mis estudios de posgrado.

Al Dr. Jorge Víctor Prado Hernández, por su apoyo y su valioso tiempo para guiarme en la realización de este trabajo, toda mi admiración por ser un excelente investigador.

Literatura Citada

- Ayars, J. E., Christen, E. W., & Hornbuckle, J. W. (2006). Controlled drainage for improved water management in arid regions irrigated agriculture. *Agricultural Water Management*, 86(1–2), 128–139. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.07.004>
- Ayars, James E., & Evans, R. G. (2015). Subsurface Drainage - What's Next? *Irrigation and Drainage*, 64(3), 378–392. <https://doi.org/10.1002/ird.1893>
- CONAGUA. (2018). *Estadísticas del Agua en México* (2018th ed.). http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/eam_2018.pdf
- Darzi-Naftchally, A., Majid Miriatifi, S., & Asgari, A. (2014). Comparison of steady- and

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

- unsteady-state drainage equations for determination of subsurface drain spacing in paddy fields : a case study in Northern Iran. *Paddy Water Environ*, 12, 103–111. <https://doi.org/10.1007/s10333-013-0364-4>
- FAO. (2014). *Perfil de país-México* (pp. 1–23). <https://doi.org/10.1787/9789264222052-4-es>
- Hernández Facundo, A. (2020). Análisis de flujo subsuperficial y propuesta de drenaje subterráneo en "La Ceroná" [Tesis de maestría no publicada]. Posgrado de Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua. Universidad Autónoma Chapingo.
- Hornbuckle, J. W., Christen, E. W., & Faulkner, R. D. (2007). Evaluating a multi-level subsurface drainage system for improved drainage water quality. *Agricultural Water Management*, 89(3), 208–216. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.01.004>
- ICID. INTERNATIONAL COMMISSION ON IRRIGATION AND DRAINAGE, (2018). ICID DATABASE, *World drained areas*: <https://www.icid.org/world-drained-area.pdf>
- Inegi. (2019). *Encuesta Nacional Agropecuaria*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ena/2019/doc/irg_ena2019.pdf
- Mehdinejadani, B., Naseri, A. A., Jafari, H., Ghanbarzadeh, A., & Baleanu, D. (2013). A mathematical model for simulation of a water table profile between two parallel subsurface drains using fractional derivatives. *Computers and Mathematics with Applications*, 66(5), 785–794. <https://doi.org/10.1016/j.camwa.2013.01.002>
- Mishra, G. C., & Singh, V. (2007). A new drain spacing formula. *Hydrological Sciences Journal*, 52(2), 338–351. <https://doi.org/10.1623/hysj.52.2.338>
- Namuche Vargas, J. R., Olvera Salgado, M. D., Saucedo Rojas, H. E., Fuentes Ruíz, C., & Arellano Monterrosas, J. L. (2020). Desarrollo y evolución del drenaje agrícola en México. *Revista Ingeniería Agrícola*, 9(4), 1–26.
- Oyarce, P., Gurovich, L., & Duarte, V. (2017). Experimental evaluation of agricultural drains. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 143(4), 1–13. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0001134](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001134)
- Rimidis, A., & Dierickx, W. (2004). Field research on the performance of various drainage materials in Lithuania. *Agricultural Water Management*, 68(2), 151–175. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.03.004>
- Zavala, M., Saucedo, H., Bautista, C., & Fuentes, C. (2012). Comparison of Two Nonlinear Radiation Models for Agricultural Subsurface Drainage. *Drainage Systems*, 8, 165–180. <https://doi.org/10.5772/34466>

Metodología de Ingeniería de Software de un sistema de Mini-PFAL (Plant Factory with Artificial Lighting) con interconectividad IoT

Luis Tonatiuh Castellanos Serrano¹

María Victoria Gómez Águila²

Luis Arturo Soriano Avendaño³

Fernando Salinas Paniagua⁴

Josué Vicente Cervantes Bazán⁵

José Alfredo Castellanos Suárez⁶

1. Resumen

La ingeniería de software es un enfoque sistemático que permite realizar la trazabilidad de los proyectos orientados a programación en los múltiples paradigmas que estos se pueden redactar, de este modo permite la planeación ordenada de los flujos de información y algoritmos para llegar al resultado deseado a través de la implementación de una metodología robusta y sistemática. Por otro lado, la tendencia Indoor, es un concepto tecnológico que ha evolucionado con la entrada del siglo XXI, con el objetivo de promover la agricultura urbana, periurbana y rural, este concepto crea agricultura en cualquier parte desde un departamento hasta un invernadero. El presente trabajo expone los resultados de investigación del diseño de un mini-PFAL, tecnificado con múltiples capas de software para el control de crecimiento controlado de cultivos de lechuga experimental, como son la intensidad luminosa (Lux), temperatura (°C), humedad (%RH), frecuencia de espectro luminoso (nm), control de riego (ciclos de riego/día), etc. Se expone las estrategias de diseño para creación de la arquitectura de software en sus diferentes niveles, aplicando la metodología de diseño de software se ordena la estructura del proceso de diseño desde el análisis de requerimientos hasta el diseño de interfaz, con ellos el producto final reportado, es un sistema PFAL IoT que se interconecta vía Bluetooth y WiFi con el SmartPhone, a su vez vía puerto USB a una aplicación GUI Visual Studio, teniendo una data WhereHosue que administra la información de las variables en una base de datos local que gestiona la información en una página SharePoint que a su vez vincula con Access, teniendo un Dashboard para controlar de forma remota directa el crecimiento de cultivos, teniendo así, un sistema PFAL inteligente para el crecimiento de cultivos de hortalizas en formato vertical.

Palabras Claves: Fabrica de Plantas, Indoor, Internet de las cosas, Cultivos verticales, Diseño software

1.1. Abstract

Software engineering is a systematic approach that allows traceability of programming-oriented projects in the multiple paradigms that can be written, thus allowing the orderly planning of information flows and algorithms to reach the desired result through of the implementation of a robust and systematic methodology. On the other hand, the Indoor trend is a technological concept that has evolved with the entry of the 21st century, with the aim of promoting urban, peri-urban and rural agriculture, this concept creates agriculture anywhere from a department to a greenhouse. The present work presents the research results of the design of a mini-PFAL, technified with multiple layers of software for the control of controlled growth of experimental lettuce crops, such as light intensity (Lux), temperature (° C), humidity (% RH), light spectrum frequency (nm), irrigation control (irrigation cycles / day), etc. The design strategies for the creation of the software architecture at its different levels are exposed, applying the software design methodology, the structure of the design process is ordered from the requirements analysis to the interface design, with them the final product reported, it is a PFAL IoT system that is interconnected via Bluetooth and WiFi with the SmartPhone, in turn via USB port to a GUI Visual Studio application, having a WhereHosue data that manages the information of the variables in a local database that manages the information on a SharePoint page that in turn links with Acces s, having a Dashboard to directly control crop growth remotely, thus having an intelligent PFAL system for growing vegetable crops in vertical format.

Keywords: Plant Factory, Indoor, Internet of things, Vertical crops, Software design

2. Introducción

El modelo de agricultura vertical nace en 1990 por el biólogo Dr. Dickson Despommier (Chamberlain, 2007), quien acuña este término a la estrategia de siembra realizando el aprovechamiento de espacios para maximizar las áreas de cultivos, con la entrada de la era de la agricultura 4.0 y el acceso a menor costo como son los dispositivos Led's, sensores, procesadores, etc. La agricultura vertical se ha orientado a un término llamado PFAL (Plant Factory with Artificial Lighting), los cuales podemos definir como:

“Multiple culture shelves with electric lamps on each shelf are vertically stacked inside. Other necessary equipment and devices for a PFAL are air conditioners, air circulation fans, CO₂ and nutrient solution supply units, and an environmental control unit. Stacking more culture shelves vertically increases the efficiency of land use. Fluorescent lamps (FLs) have been mainly used in PFALs due to their compact size, but lightemitting diode (LED) lamps are now attracting great attention in industry and among researchers.” (Kozai et al., 2016).

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

El diseño automatizado, TIC's, BigData, IA, IR y todos los nuevos fenómenos tecnológicos que están revolucionando la entrada del 2020, se vincula de forma correlacionada con el diseño de los PFAL, siendo más que nunca un factor de diseño sumamente importante el software, dándole un valor así un valor agregado tanto en el peso económico como de diseño de ingeniería en sistemas computacionales

La IEEE define la *Ingeniería de Software* como:

“La ingeniería de software es: 1) La aplicación de un enfoque sistemático, disciplinado y cuantificable al desarrollo, operación y mantenimiento de software; es decir, la aplicación de la ingeniería al software. 2) El estudio de enfoques según el punto 1.” (IEEE, 2021)

Por otro lado, Pressman desglosa en 4 ejes rectores la ingeniería de software: Herramientas; Métodos; Procesos; Compromiso de Calidad. Donde los procesos forman parte de la administración del proyecto para generar los reportes, informes modelos, escritos, etc. Por otro lado, los métodos son las actividades prácticas de modelación, construcción, programación y afinamiento del proyecto, finalmente las herramientas son un vínculo entre los procesos y los métodos que permiten la asistencia de los programas que permitirán la integración del entorno del proyecto (Pressman, 2010).

De este modo se genera una sinergia entre la importancia de la Ingeniería de Software y las aplicaciones en la agricultura que van desde:

1. Aplicaciones de Escritorios
2. App's Móviles para Smartphone en sistemas Android y iOS
3. WebApp's
4. SpaceApp's
5. Servicios de internet
6. Gestores de bases de datos dedicados a la agricultura
7. Etc

Todas estas plataformas basadas en estructuras de software y soportadas en los multilenguaje que les permiten programar sus funciones operativas. Pero la correlación arquitectónica de su diseño se basa en la aplicación correcta de las metodologías de Ingeniería de Software, lo que hoy en día está tomando mayor terreno, el diseño de programas computacionales en las aplicaciones de la agricultura en todo su contexto

Mientras que, en el ámbito de los PFAL, las metodologías de *Ingenierías de Software*, no son casi publicadas o la información escasa, esto debido a que los países líderes en el

desarrollo de agricultura vertical, fabricas verdes o la tendencia Indoor, se encuentra concentradas en su mayoría en:

- Canadá
- Japón
- Taiwán
- China
- Estados Unidos
- Y algunos países bajos y europeos

Mientras que estos países lideran el diseño, construcción e investigación de los PFAL en los múltiples niveles de puesta en marcha, otros países como Latinoamérica, se encuentran adentrándose en procesos de investigación para analizar su viabilidad, detonando el atraso de la agricultura urbana, periurbana y popular, en las técnicas agrícolas conocidas, denotando de esta manera la escases del uso de las TIC's, en la era de la agricultura 4.0, llevando así al ejercicio de la reflexión, sobre la importancia que están tomando hoy en día las AgroApp's (por así nombrarlas) en el nicho de la agricultura moderna

3. Materiales y métodos

3.1. Análisis de Requerimientos

3.1.1. Objetivos

Objetivo General:

Diseñar software para control y monitoreo de sistema de cultivos verticales Mini-PFAL, para la producción a baja escala de hortalizas agrícolas, dicho sistema cuenta con programación orientada hardware basado en sistemas microcontrolados, que operan sensores y actuadores, de igual forma establecen interconexión de datos a una PC, Interfaz Gráfica de Usuario para monitoreo de los variables procesadas, interconexión a BD local para el resguardo de información e interconexión inalámbrica vía bluetooth y WIFI.

Objetivos particulares:

1. Diseño de algoritmos de control de lazo cerrado de iluminación y riego en sistemas microcontrolados
2. Diseñar Sistema de Gestión de Bases de Datos (SGBD) Local-Host con acceso a internet
3. Diseño de algoritmos de retroalimentación de crecimiento de masa vegetal, temperatura, intensidad luminosa y humedad relativa.
4. Interconexión de BD local con GUI, para control del sistema de cultivos verticales
5. Control inalámbrico bluetooth con aplicación móvil basada en Android Studio
6. Conectividad WIFI para la gestión de datos en un host en la nube

3.1.2. Características operacionales

1. Programación de Interfaz gráfica de Usuario de alto nivel en lenguaje Visual Basic (VB)
2. Programación de microcontroladores (MCU) para instrumentación del sistema, con panel TFT 3.5" con resolución de 320x480 RGB e interfaz TouchPad.
3. Programación aplicación móvil en lenguaje JAVA para control de sistema con conectividad Bluetooth
4. Diseño de Base de Datos con gestor de Access y SQL Server e interconexión remota con aplicación de SharePoint
5. Implementación de Dashboard en Power Apps para interconexión con el servicio de SharePoint

3.1.3. Plan del proyecto

Trazado de requerimientos de sistemas bajo los siguientes diagramas:

1. Aplicación de escritorio: Diagrama de flujo, diagrama UML y diseño de propuesta de formularios
2. Aplicación de MCU's: Diagrama de flujo y pseudocódigo
3. Aplicación Móvil: Diagrama UML y diseño de propuesta de formularios
4. Bases de Datos: Diagramas de Entidad-Relación

3.1.4. Modelo de análisis

Para configurar el modelo de análisis de la propuesta de sistema, se optó por implementar un diagrama de flujo de datos (DFD), recabando la información de las características operativas el resultado el DFD Nivel 0 como se muestra en la siguiente imagen:

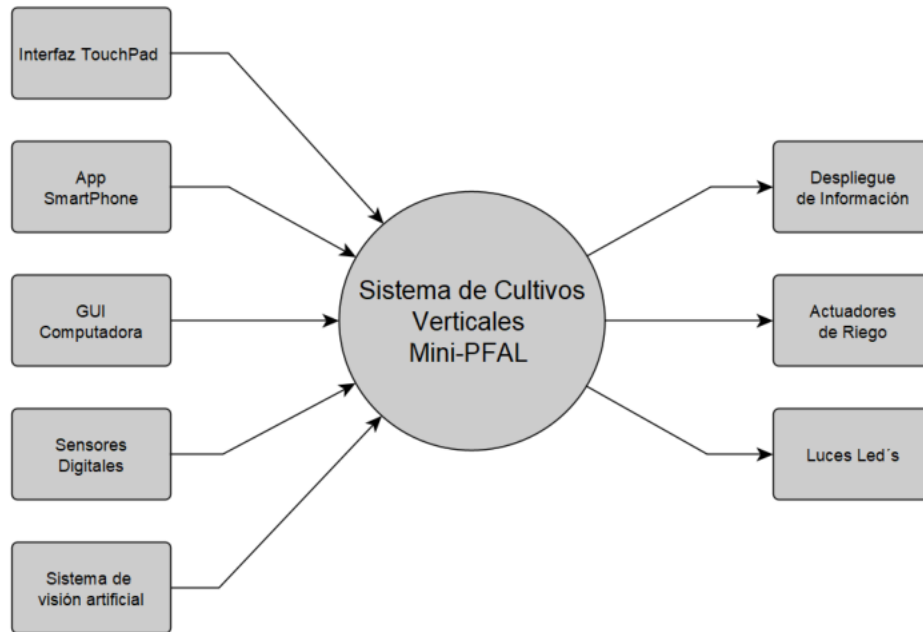


Figura 1. DFD Nivel 0 del Sistema de Cultivos Verticales Mini-PFAL (Autoría Propia)

3.2.Elementos del diseño del sistema

La propuesta ajustada a la presente metodología y focalizada al objeto de estudio, se puede apreciar en el Diagrama 2:

Elementos del diseño de datos

- Análisis de requerimientos
- Modelo general
- Análisis de variables, estructuras, algoritmos y resultados

Elementos del diseño arquitectónico

- Implementación de los diagramas de clases
- Implementación de los diagramas de flujo
- Implementación de diagramas Clase-Responsabilidad-Colaborador (CRC)
- Traducción e implementación de bases de datos

Elementos de diseño de la interfaz

- Traducción de diagramas de flujo y de canal
- Diseño de la interfaz de Base de datos
- Diseño de la navegación Web
- Diseño de la interfaz gráfica de usuario PC y Smartphone

Elementos del diseño en el nivel de los componentes

- Diagramas de componentes
- Lista de componentes
- Clases de diseño
- Diagramas de actividades
- Diagramas de secuencia
- Algoritmo de comportamiento de los componentes
- Pruebas e implementación de mejoras

Elementos del diseño del despliegue

- Diagramas de colaboración
- Diagramas de componentes
- Clases de diseño
- Diagramas de actividades
- Diagramas de secuencia
- Interconectividad con sistemas operativos
- Versiones
- Paqueterías de pre-instalación

Diagrama 1. Diagrama de metodología de diseño propuesto para Mini-PFAL

4. Resultados y Discusión

4.1. Diagrama de Flujo de Trabajo Operativo de Control del Sistema

Los diagramas de flujo de trabajo son herramientas para realizar el trazado del flujo de información, colocando los actores en canales divididos por bloques e interconectando los flujos de datos, para de ese modo representar el comportamiento del sistema.

“...Un diagrama de actividades es similar a uno de flujo, y utiliza rectángulos redondeados para denotar una función específica del sistema, flechas para representar flujo a través de éste, rombos de decisión para ilustrar una ramificación de las decisiones”

“Los casos de uso, junto con los diagramas de actividades y de canal, están orientados al procedimiento. Representan la manera en la que los distintos actores invocan funciones específicas (u otros pasos del procedimiento) para satisfacer los requerimientos del sistema.” (Pressman, 2010).

En el sistema Mini-PFAL Networking existen 4 actores:

1. Usuario
2. PFAL
3. PC
4. SmartPhone

Donde el usuario es el actor principal que se interconecta en primera instancia con el Sistema Embebido instalado en el PFAL, de allí la comunicación entre la PC y el SmartPhone es seleccionada por el usuario, el siguiente diagrama describe la forma operativa del comportamiento del flujo de información del sistema:

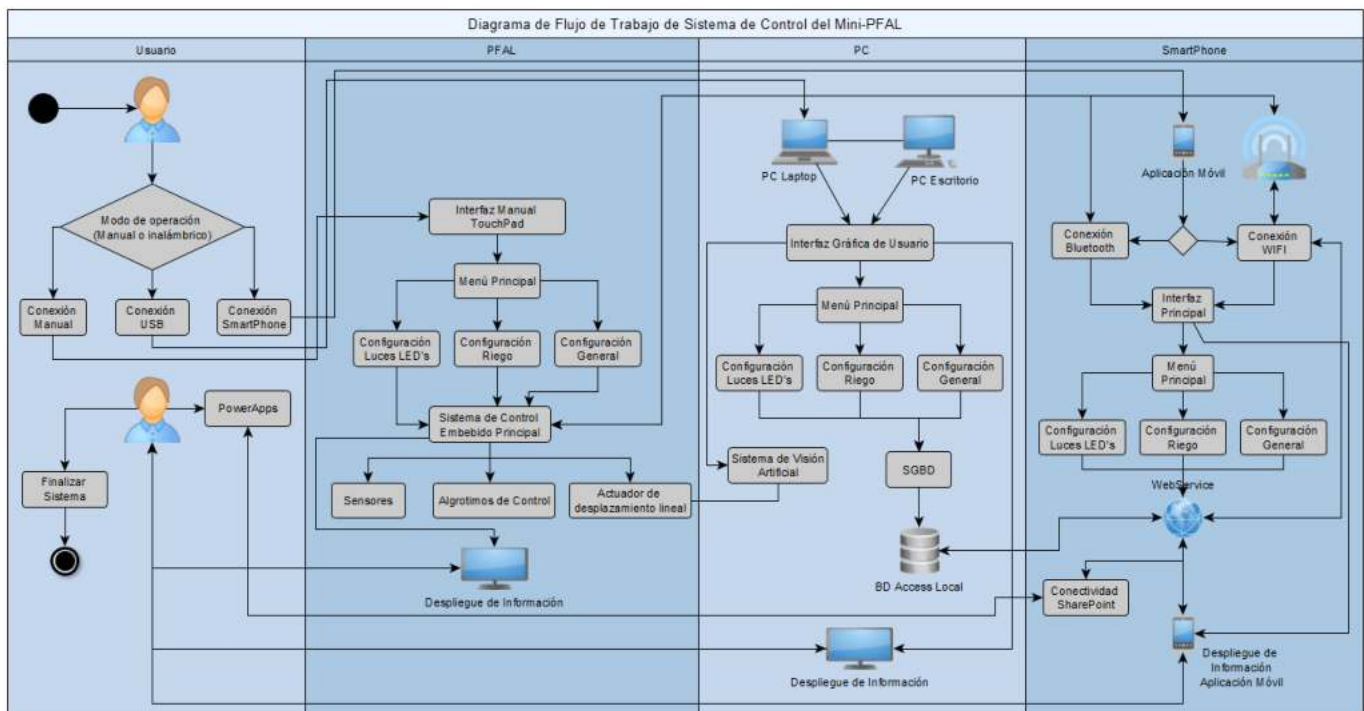


Diagrama 2. Diagrama de metodología de diseño propuesto para Mini-PFAL

4.2. Modelo del Sistema de Mini-PFAL

Realizando la conjunción de modelado basado en clases y los diagramas de canal de modelo de caso de uso, se procedió a realizar el mapeo y la estructuración del diagrama representativo general de la propuesta del proyecto, el resultado se puede apreciar en el diagrama 1, siendo el diseño de la interfaz a través de la exposición de un diagrama UML que se expone a continuación:

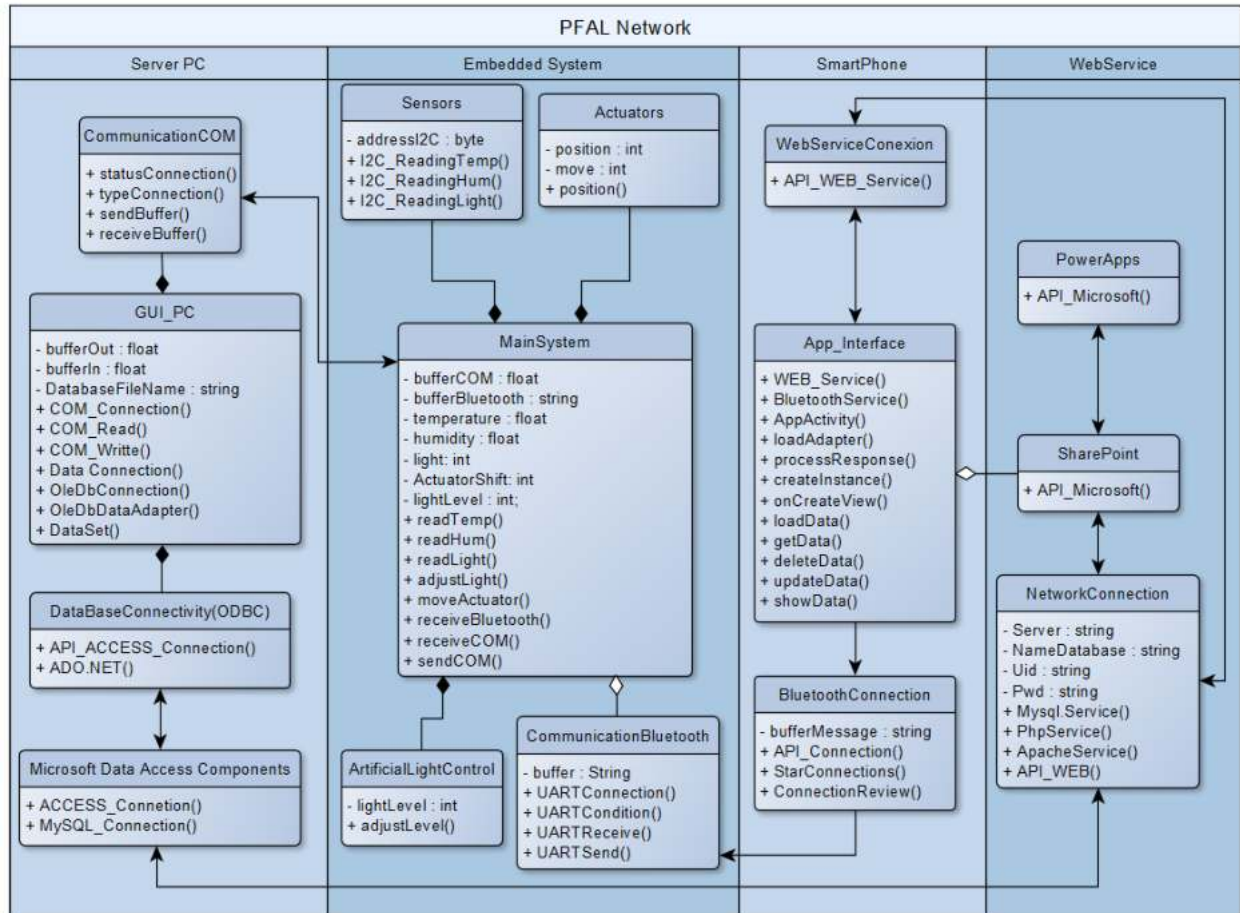


Diagrama 3. Modelo UML de diseño de la interfaz de Sistema de Cultivos Verticales Mini-PFAL (Autoría Propia)

Como se puede observar el diagrama de canal está dividido en 4 secciones, lo que conjunta los análisis de requerimientos realizados en el anteproyecto, la Tabla 1 explica de forma detallada los agentes que interviene en el Modelo UML propuesto para el diseño de la arquitectura de programación.

Tabla 1. Descripción operativa de los bloques principales del Mini-PFAL

<i>Bloque</i>	<i>Descripción Operativa de Flujo de Información</i>
Server PC	Este bloque tiene como eje central la clase <i>GUI_PC</i> , la cual es la Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) basada en lenguaje Visual Basic, contiene una

Embebed System

clase compuesta de *CommunicationCOM*, la cual gestiona una comunicación tipo COM, que por medio de un driver COM-USB, permite una comunicación dúplex vía puerto USB, con el *Embebed System*, para obtener datos del buffer de entrada y salida que comandaran el comportamiento operativo del PFAL y a su vez retroalimentan los datos para ser mostrados en la GUI por medio de herramientas gráficas. Por otro lado está compuesto de la clase *DataBaseConnectivity(ODBC)* y *MicrosoftDataAccess Components*, estas dos clases están relacionadas, la primera es la herramienta para la interconexión de una BD local de ACCEES y la segunda es la BD local creada dentro del servidor local, lo cual permite almacenar los datos del PFAL en la *BD_ACCESS*, ya sea por medio de la conexión USB o en su defecto por conexión a Internet con la clase *NetworkConnection*

Este bloque es el núcleo central de arranque, que congrega el inicio y fin de los 3 bloques restantes, donde se estructura la programación orientada a hardware, a través del uso de lenguaje C++ para la programación de un Atmega 2650 (Microchip, 2021). El bloque *MainSystem* representa el núcleo central del MCU donde se asignan las variables de control que operan los algoritmos de crecimiento del Mini-PFAL, como se puede observar en el Diagrama 1 el sistema embebido este compuesto por 3 elementos de acción (Actuators-ArtificialLightControl) y sensoramiento (Sensors).

La clase *Sensors* se desglosa en la adquisición de 3 variables:

1. Temperatura: Variable a medir °C, implementando un integrado HTU21D por protocolo de comunicación I²C
2. Humedad: Variable a medir %RH; integrado dentro del mismo integrado HTU21D
3. Luminosidad: Variable a medir Lx, implementando un integrado BH1750 por protocolo de comunicación I²C

La clase *Actuators* se encarga del procesamiento de variables de 8 bits para la inyección de señal PWM al driver de potencia, esto con el propósito de realizar el desplazamiento de mecanismo lineal sinfín-corona, que es el encargado de desplazar el sistema de visión artificial para la evaluación de crecimiento de masa vegetal de los cultivos por medio de un algoritmo de procesamiento de video en tiempo real (Este sistema no es implementado en el diagrama UML porque es una mejora a largo plazo, pero se contempla para adición a futuro)

El bloque de agregación de *CommunicationBluetooth*, es un periférico de salida por medio de un módulo HC-06, con la capacidad de comunicación dúplex maestro-esclavo y viceversa, esto permite la conexión el bloque *BluetoothConnection* la cual interactúa con la aplicación móvil para realizar la configuración de las variables del sistema embebido y a su vez retroalimenta a la App en un Dashboard que permita visualizar las variables en formas gráficas y etiquetas de despliegue de información.

SmartPhone	La clase central se encuentra <i>App_Interface</i> , basada en la arquitectura de XML se realiza una App dinámica y visualmente atractiva en Android Studio, para la gestión remota del PFAL vía SmartPhone, la gestión de datos se realiza en dos modalidades, la primera por medio de la clase <i>BluetoothConnection</i> , que permite configurar el PFAL y a la vez obtener datos todo por medio de la App móvil, por otro lado, también se cuenta con la clase <i>WebServiceConexion</i> , que permite un interconexión biunívoca con la BD local, pero a su vez también la conexión con un sitio en la nube por medio de la herramienta de Sharepoint de Microsoft Teams
WebService	El eje principal es la clase <i>NetworkConnection</i> donde es posible agregar una conexión con el componente SharePoint que a su vez se puede vincular con la aplicación de PowerApps, o simplemente vincular la conexión con <i>MicrosoftDataAccesComponents</i> del Server PC , para vincular los datos de la BD local y así tanto realizar la consulta de los registros almacenados en la BD o a su vez actualizar los datos de la BD.

4.3.Diseño de Despliegue Formato de descriptor

En la metodología de Ingeniería de Software, el diseño de despliegue hace referencia:

“Los elementos del diseño del despliegue indican la forma en la que se acomodarán la funcionalidad del software y los subsistemas dentro del ambiente físico de la computación que lo apoyará” (Pressman, 2010).

La arquitectura de flujo de información, en el aspecto físico permite la trazabilidad del formato descriptor que se presenta en el Diagrama 4:

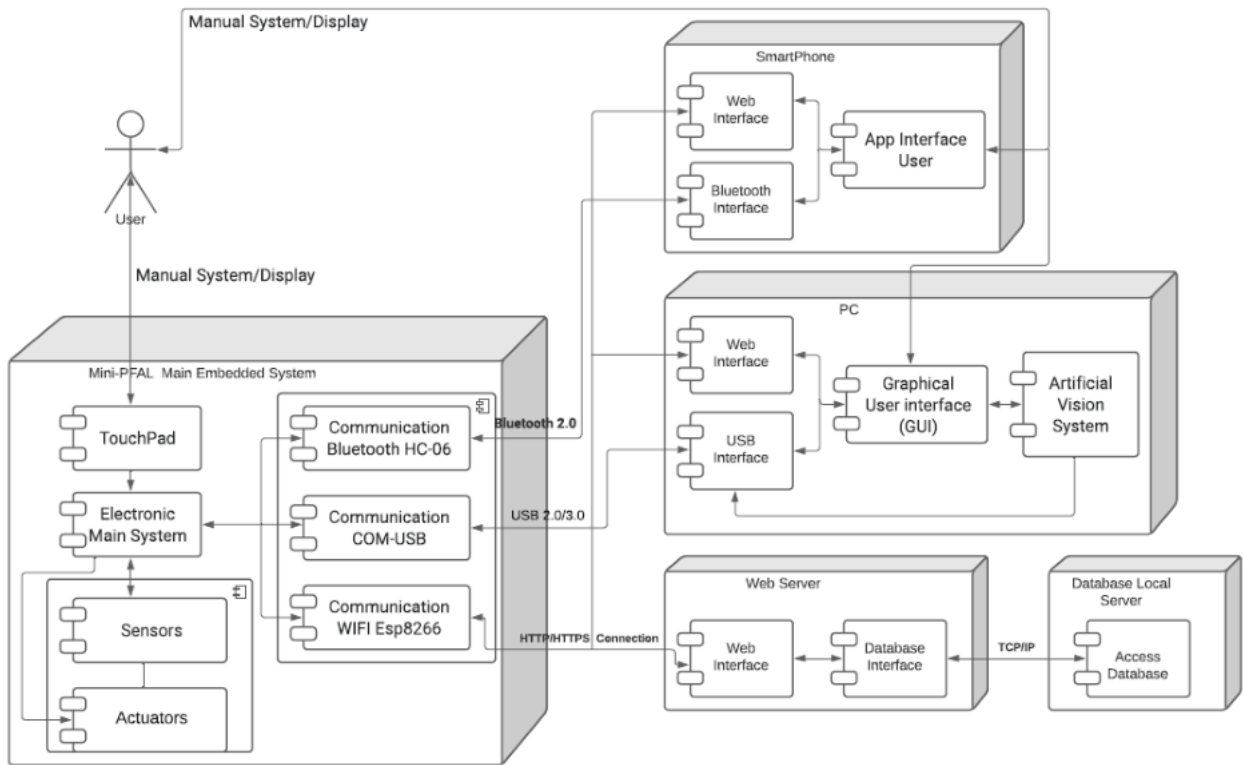


Diagrama 4. Diagrama de despliegue del formato descriptor del sistema de cultivos verticales Mini-PFAL (Autoría Propia)

Se puede observar que en su conjunto el sistema está integrado por 4 nodos, en donde se puede analizar la interconexión de los componentes-nodos en el flujo de información de las capas de procesamiento de la información alámbrica e inalámbrica.

4.4. Diseño de nivel de componentes del sistema embebido del Mini-PFAL

Implementando un proceso de lotificación al sistema embebido, se obtiene un diagrama estructurado que traza el comportamiento de flujo del programa como se muestra a continuación:

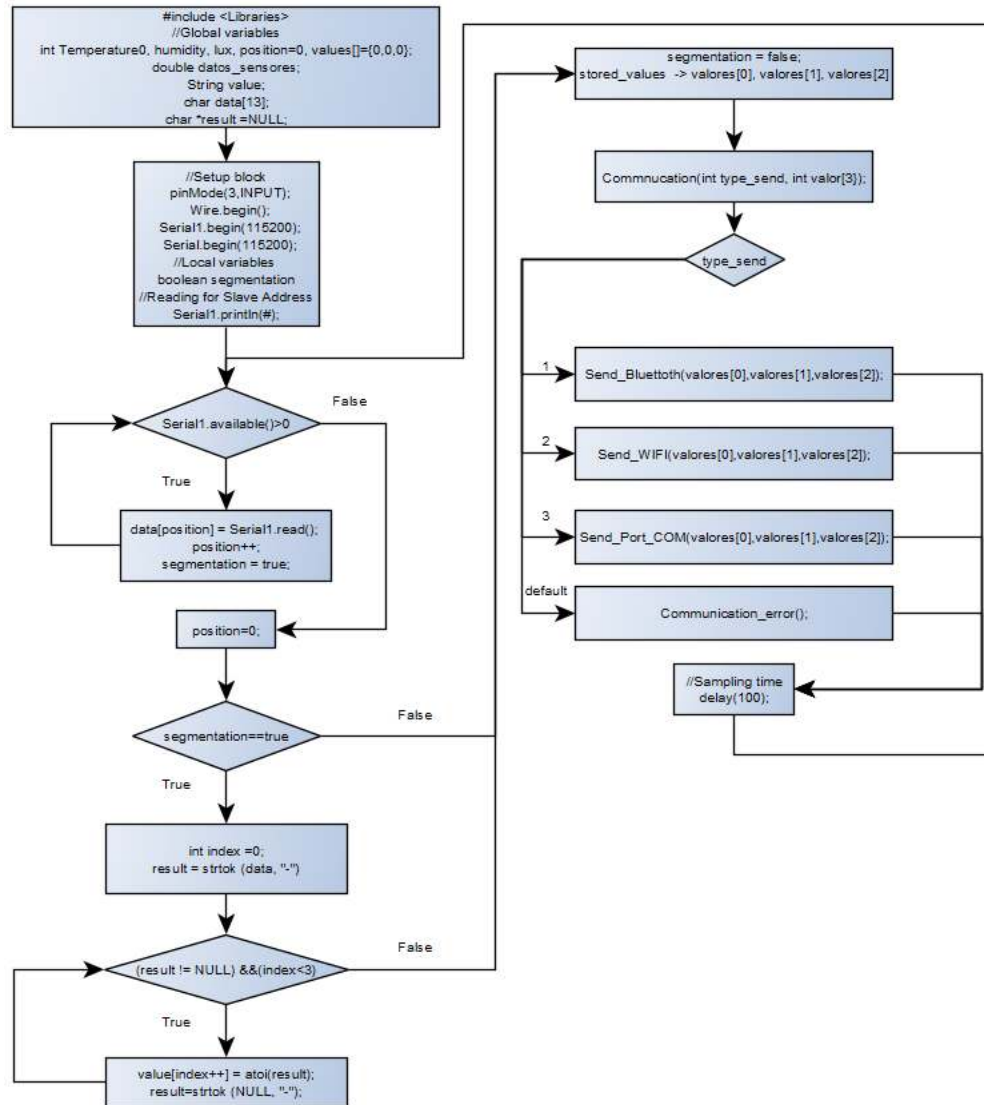


Diagrama 6. Diagrama de flujo de solicitud de datos de temperatura, humedad y luminosidad del Maestro-Esclavo (Autoría Propia)

La comunicación con los sensores se logra bajo protocolo RS-232, interconectados en una red de *topología tipo bus* en donde se interconectan 12 módulos en paralelo a las conexiones Vcc, GND, Tx y Rx, la petición de comunicación tiene como primera parte una cabecera de dirección para realizar la solicitud a los 12 módulos sensores interconectados en el sistema, la dirección de coincidencia permite realizar la solicitud de las variables de temperatura, humedad y luminosidad, para así el esclavo las retorne al maestro.

4.5.Diseño de nivel de componentes de los módulos sensores esclavos

La solicitud descrita en diagrama de flujo por parte de los módulos esclavos se puede observar en el siguiente el siguiente algoritmo de la programación de los esclavos:

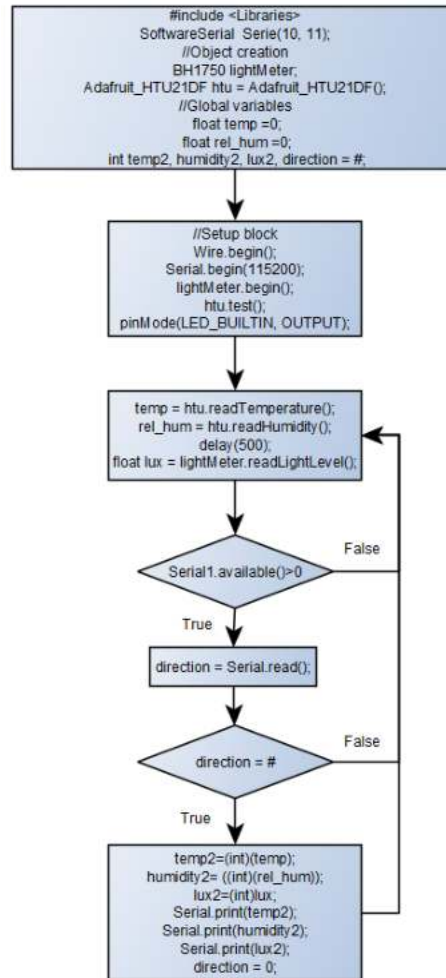


Diagrama 7. Diagrama de flujo de envío de datos de temperatura, humedad y luminosidad del Esclavo- Maestro (Autoría Propia)

Como se puede observar en el diagrama se revisa de forma iterativa con el primer condicional la presencia de paquetes en el buffer del puerto COM, en ese mismo instante todos los esclavos se ponen en alerta, por la naturaleza de la topología tipo bus, la información llega a todos los esclavos, pero tan solo uno de ellos contiene la dirección de petición que depura el segundo condicional, posteriormente, los datos se envían al maestro para ser gestionado por el algoritmo del diagrama 6, y enviar los datos vía USB, bluetooth o WIFI respectivamente con la implementación de los bloques de clases correspondientes.

5. Conclusiones

El estudio del presente artículo se enfoca en la aplicación de la metodología de Ingeniería de Software, siguiendo las etapas de creación de desde el

- Análisis de requerimientos
- Modelo de diseño
 - Diseño de datos
 - Diseño de arquitectura
 - Diseño de interfaz
 - Diseño de nivel de componentes (Mohapatra, 2010)

Las etapas en su conjunto conforman los módulos de software que interactúan en las capas de multilenguaje para implementar la solución, tanto hardware (diseño electrónico aplicado), programación de WebApps, gestión de Data WhereHouse, interconectividad inalámbrica IoT, gestión de BD locales y el hosting.

La explicación detallada de las capas de Hosting, Data Warehouse y GUI no se implementan minuciosamente para términos de la exposición de resultados, dejando esta labor en la continuación de la exposición de resultados de investigación. Los puntos importantes a desarrollar en la exposición de la presente, se basa en la interconectividad de datos, el análisis de requerimientos, el modelo del diseño, haciendo uso de los formatos de diagramas, se logró exponer las estrategias de programación empleadas para el diseño del sistema mini-PFAL.

La forma operativa de las capas de software en su conjunto de cohesión de funcionamiento dinámico se puede esbozar de mejor manera implementando la *Arquitectura de Capas del Sistema* como se muestra en el siguiente diagrama:

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

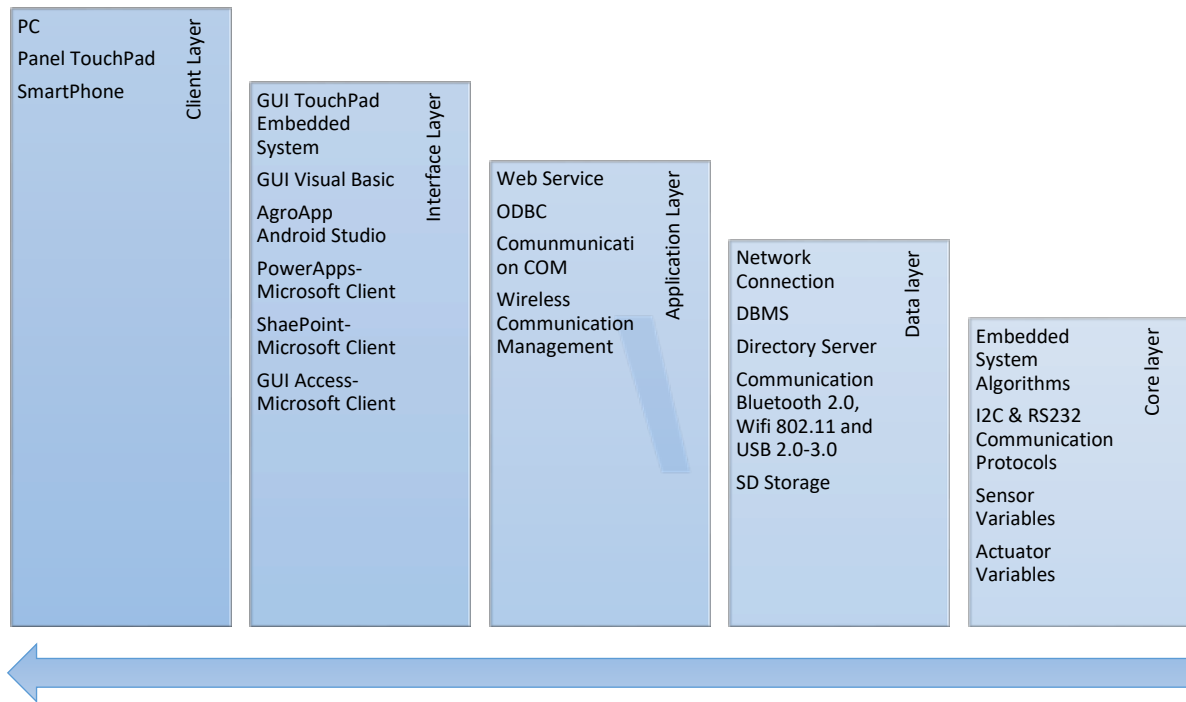


Diagrama 8. Diagrama de arquitectura de capas de sistema Mini PFAL con interconectividad IoT para gestión de datos inteligente (Autoría Propia)

La sinergia interrelacionada de las capas de software que interactúan en el sistema, permite la gestión ordenada del tráfico de datos, desde la obtención de las variables hasta el despliegue de información en un “Dashboard”, con información dinámica, gráfica y depurada, con una interacción flexible e inteligente para el usuario, dando una solución técnica de la agricultura moderna, donde el nuevo agricultor del siglo XXI, se convierte en un sujeto con conocimientos técnicos en la operatividad IoT con dispositivos de agricultura inteligente, que conforman conocimientos y habilidades en la gestión y uso del BigData, IA, RA, VA, Drones, IoT, etc.

El conjunto de todo el proyecto en su funcionabilidad es una exposición del modelo de resultados bastante ambicioso, dado que esta subdividido en 7 partes importantes:

1. Análisis técnico del sistema
2. Análisis de diseño mecánicos aplicado
3. Diseño de electrónico aplicado
4. Sistema computacional multiplataforma
5. Telecomunicaciones y gestión de tráfico de información
6. Algoritmos de visión artificial
7. Modelado matemático del sistema PFAL en modo operativo
8. Estudio de crecimiento de cultivos, evaluación de rendimientos, nutrimental, etc.

El conjunto explicativo y detallado requiere de una tesis más profunda para desglosar parte por parte cada uno de los componentes funcionales del sistema Mini PFAL IoT propuesto.

6. Agradecimientos

Los resultados forman parte de proyecto de Desarrollo y Transferencia de Tecnológica (DTT), impulsados por los programas de investigación del Departamento de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), así mismo a la línea de investigación de “Ciencia y tecnología aplicada en la agricultura 4.0 para el desarrollo rural” perteneciente al centro de investigación No. 82 CIISCINACYC de la UACH. Se agradece a la cooperativa Red Campesina Agroecológicos Tierras del Sur S C de P de R L de C V, la cual promueve los convenios de investigación para poder gestionar los recursos en el pro de la vanguardia del campo y así llevar a cabo la transferencia tecnológica para la modernización del campo mexicano.

7. Referencias

- Kozai Toyoki, Fujiwara Kazuhiro, Runkle Erik. (2016) LED Lighting for Urban Agriculture. Springer, Singapore.
- Kozai Toyoki, Niu Genhua, Takagaki Michiko (2015) Plant factory: an indoor vertical farming system for efficient quality food production. Academic. Springer, Singapore.
- IEEE. (15 de octubre de 2021). An Annotated Bibliography for ISO/IEC/IEEE 42010. Recuperado el 29 de junio del 2021 de <http://www.iso-architecture.org/ieee-1471/docs/bibliography-42010.pdf>
- MICROCHIP. (2021). ATmega2560. Recuperado el 20 de junio del 2021 de <https://www.microchip.com/en-us/product/ATmega2560>
- Chamberlain, Lisa. (30 de marzo del 2007). Skyfarming. NewYork Maganizine. Recuperado el 23 de junio del 2021 de <https://www.microchip.com/en-us/product/ATmega2560>
- Serna Montoya, Edgar (2010). Métodos formales e Ingeniería de Software. Revista Virtual Universidad Católica del Norte, (30),1-26.[fecha de Consulta 21 de Agosto de 2021]. ISSN: 0124-5821. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=194214476008>
- Pressman, R. (2010). Ingeniería del software: un enfoque práctico. Madrid: McGraw-Hill Interamericana.
- olimex. (20 de mayo de 2021). HC Information Technology Co., Ltd. Guangzhou. Recuperado el 23 de junio del 2021 de <https://www.olimex.com/Products/Components/RF/BLUETOOTH-SERIAL-HC-06/resources/hc06.pdf>
- IBM. (20 de mayo de 2021). ¿Qué es un Data Warehouse?. IBM Db2 Warehouse Edición Empresarial. Recuperado el día mes año de IBM Db2 Warehouse Edición Empresarial. Recuperado el 20 de junio del 2021 de <https://www.ibm.com/mx-es/analytics/data-warehouse>
- Apellido, A., Apellido, B., y Apellido, C. (20 de mayo de 2020). Título de la página web. Nombre de la página. Recuperado el día mes año de <https://url.com>
- Mohapatra, P.K.J. (2010). Software Engineering. California: New Age International.

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

Zielinski, K. y Szmuc, T. (2005). Software Engineering: Evolution and Emerging Technologies. California: IOS Press.

Kane, J. W. & M. M. Sternheim. [Física](#). 2ª ed. Editorial Reverté, 2004. ISBN: 8429143181. Pág. 336-337

Ramm E & W.A. Wall. Shell structures – a sensitive interrelation between physics and numerics. International Journal for Numerical Methods in Engineering 2004; 60: 381–427. [Wiley Online Library ADS Web of Science @ Google Scholar](#).

Economía Moral y Cuarta Transformación: Falacias De Alta Rentabilidad Política.

Jesús Loera Martínez³; Daniel Sepúlveda Jiménez⁴; Fátima Andrea Pedro Juárez⁵.

Resumen

Prometiendo una nueva política pública, aparentemente contraria al neoliberalismo, el presidente López Obrador ganó las elecciones en 2018 con más de 30 millones de votos. Esta investigación tiene por objetivo analizar su oferta política planteada en el libro “Hacia una economía moral”. Metodológicamente se discutió, primero, la validez del concepto de economía moral y, después, se analizó si es realidad la cuarta transformación del país. Se concluyó que “economía moral” es una confusión conceptual ya que, de acuerdo con Poincaré (1910, editado por CONACYT 1982), no puede haber moral científica, pero tampoco puede haber ciencia inmoral. Entonces, la economía como ciencia no puede ser moral o inmoral. Con este concepto sociólogos e historiadores (Thompson, 1971; Scott, 1976), se refirieron a las relaciones socioculturales de reciprocidad y subsistencia en sociedades rurales precapitalistas, amenazadas por la penetración del mercado. Se concibe como la conducta ética que asegura el bienestar colectivo y no individual. Pero se confunde el concepto de economía, con la actividad y estructura económica. No es a la economía a quien se debe moralizar, sino a los agentes económicos que la practican inmoralmente al anteponer su bienestar al de los demás. Similar conclusión obtuvo Campeán, *et al.*, (2012): “no es la economía la que requiere una corrección moral; es la sociedad, su concepción y sus valores”. Por otra parte, se concluyó que, a mitad del camino, la cuarta transformación no ha avanzado y sólo quedan tres años para presentar resultados, pero el presidente terminó prematuramente su sexenio al destapar anticipadamente a sus posibles sucesores.

Palabras clave: economía moral, cuarta transformación, políticas públicas.

Abstract

Promising a new public policy, apparently contrary to neoliberalism, President López Obrador won the elections in 2018 with more than 30 million votes. This research aims to analyze his political offer raised in the book "Towards a moral economy". Methodologically, the validity of the concept of moral economy was discussed, first, and then it was analyzed whether the fourth transformation of the country is a reality. It was concluded that "moral economics" is a conceptual confusion since, according to Poincaré (1910, edited by CONACYT 1982), there can be no scientific morality, but neither can there be immoral science. So economics as a science cannot be moral or immoral. With this concept sociologists and historians (Thompson, 1971; Scott, 1976), referred to the socio-cultural relations of reciprocity and subsistence in pre-capitalist rural societies, threatened by market penetration. It is conceived as the ethical conduct that ensures collective and not

³ Doctor en Ciencias en Economía Agrícola. Centro de Investigación en Economía y Matemáticas Aplicadas (CIEMA) de la Universidad Autónoma Chapingo. E-mail: jloeramtz2004@yahoo.com.mx

⁴ Doctor en física-matemáticas. Centro de Investigación en Economía y Matemáticas Aplicadas (CIEMA) de la Universidad Autónoma Chapingo. E-mail: sepjim@yahoo.com.mx

⁵ Pasante de la Ingeniería en Economía Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo. E-mail: andi.pedro.apj@gmail.com

individual well-being. But the concept of economy is confused with economic activity and structure. It is not the economy that should be moralized, but the economic agents who practice it immorally by putting their well-being before that of others. Compeán, et al., (2012) obtained a similar conclusion: "it is not the economy that requires moral correction; it is society, its conception and its values." On the other hand, it was concluded that, halfway through, the fourth transformation has not advanced and there are only three years left to present results, but the president prematurely ended his six-year term by uncovering his possible successors in advance.

Keywords: moral economy, fourth transformation, public policies.

1. Introducción

Con la lectura del libro "Hacia una economía moral", de Andrés Manuel López Obrador, quedan claras tres cosas. La primera, que se exhibe una confusión conceptual en el campo económico, por parte de quien se adjudica la autoría del libro; la segunda, que es claro que este libro fue escrito por varios autores, ya que cada capítulo ostenta un estilo diferente de redacción y en algunos se exhiben errores ortográficos que no se encuentran en los demás; la tercera, que se hace un buen diagnóstico del impacto social y económico de las políticas públicas del neoliberalismo.

Como conclusión general de su lectura, es perceptible que, a pesar de ese buen diagnóstico, las políticas que se bosquejan no implican un cambio real, tratándose entonces de "más de lo mismo", sin un rompimiento evidente con el neoliberalismo; el libro es una especie de compilación de las mismas políticas, gratinadas con los buenos deseos, sin sustento objetivo, de un mesías que, a base de un discurso esperanzador, convence a la gente de que desde el primer día de su mandato no existe más corrupción, como si ese lastre pudiera eliminarse por decreto presidencial.

En general, esto no debería preocuparnos, excepto porque exhibe, paradójicamente, un nivel ético bajo, al prometer un plan político que sabe de antemano que no podrá cumplir, porque no es cuestión de autodeclararse honesto para serlo, y también muestra un nivel profesional indigno de la investidura del primer mandatario de la quinceava potencia económica del planeta.

Un mandatario que sigue viviendo en el pasado, lamentando la conquista de México y la caída de Tenochtitlan por causa de los españoles, a quienes les exige que ofrezcan disculpas por los excesos y abusos cometidos; pero la caída del imperio mexica estuvo a cargo de los pueblos sometidos por éste. En tal sentido, la conquista de México fue indígena, mientras que la independencia, fue española. Por lo tanto, de lo que sí podemos responsabilizar a los españoles, a los nacidos en México, es de haber consumado la independencia de la Nueva España.

Pero el discurso del gobierno promueve el resentimiento y el deseo de venganza, culpando al pasado, desde la conquista hasta el neoliberalismo, de todos los males que aquejan a México, para ocultar el hecho de que la 4T no sabe gobernar, que le quedó grande el cargo a un presidente que se pasó 18 años en la oposición, haciendo campaña política y que, al

ganar las elecciones presidenciales, se dio cuenta que lo suyo es estar en campaña permanente, donde sólo se promete, pero no hay necesidad de ofrecer resultados.

Si de trabajar y de presentar resultados se trata, es claro que es un campo minado para López Obrador, en el cual no se siente cómodo. Por eso su afán permanente por desviar la atención, con distractores que formula y opera desde su púlpito mañanero, casi celestial, desde el cual embiste, denosta, juzga y condena a todo aquel o aquello que no está de acuerdo con lo errático y mediocre de su gobierno, el cual tiene un rechazo manifiesto a la ciencia y a la técnica.

Hablar de economía moral como esencia de una cuarta transformación, que no transforma, que exacerba los errores y torpezas de gobiernos pasados, es pretender que la corrupción se terminó por decreto presidencial y que se puede moralizar a la economía; ambas cosas son igualmente falsas. Pan y circo es el sello característico de la 4T. Desde palacio nacional, López Obrador vocifera regaños a propios y extraños, así como da instrucciones para materializar, como políticas públicas, sus ocurrencias y caprichos.

El inquilino de palacio nacional ordena y supervisa la compra de jabón y papel de baño, o de 500 pipas repartidoras de gasolina, que sólo él sabe dónde quedaron, o gira instrucciones para crear toda una infraestructura, improvisada, de más de 11 mil millones de pesos con cargo al presupuesto, muy deficitario ya, de Pemex, para repartir gas a la población que él seleccionó con sacrosantos e incorruptibles criterios. Ya que él, y sólo él, es poseedor de la más inmaculada moral e incuestionable ética profesional, porque así lo autoproclama, vendiendo muy cara su imagen, en su interminable campaña política, todo lo cual refrenda y enfatiza en el libro “Hacia una economía moral”, que parece más bien su primer intento de informe de labores.

Hay múltiples ejemplos de lo inmoral de la “economía moral” de la 4T, así como de su notoria incapacidad para generar soluciones y presentar resultados sostenibles, no efímeros, que conduzcan, de una vez por todas, al anhelado desarrollo económico y social de nuestro país, pues para eso se le eligió y se le paga como presidente.

Todavía le quedan tres años de gobierno, durante los cuales los mexicanos ya no queremos escuchar argucias de cómo no se puede, sino argumentos de cómo sí se puede, a pesar de toda la atroz herencia neoliberal.

En esta investigación se analiza el origen y pertinencia del concepto de economía moral presentado por el presidente en su libro y se analiza evidencia de la inmoralidad de la “economía moral” del gobierno autodenominado de la “cuarta transformación” en México. Se discuten también los resultados de su política pública “a mitad del camino”, su último libro que quizá analicemos en otra ocasión.

2. Materiales y métodos

Para cumplir con los objetivos de esta investigación, la metodología de trabajo consiste en analizar el contenido del libro “Hacia una economía moral”, del presidente Andrés Manuel López Obrador, con la finalidad de contribuir a la discusión de su valor científico, en virtud de que constituye la médula espinal de la política pública orquestada por el gobierno actual. Además del propio libro, se recurre al apoyo en fuentes bibliográficas para sustentar la discusión en torno a la pertinencia del concepto y enfoque de la denominada economía

moral; asimismo, se utiliza información estadística de fuentes oficiales, como evidencia empírica de las inmoralidades cometidas por el gobierno de la 4T, mismas que López Obrador critica en dicho libro a los gobiernos neoliberales y dice haberlas erradicado de raíz, con un supuesto cambio de paradigmas en la política pública de su gobierno.

3. Resultados

3.1. Origen del concepto y enfoque de la “economía moral”

Quintanar (2019), menciona que la economía moral es un conjunto de mecanismos que busca satisfacer las necesidades básicas de toda una comunidad a través de la solidaridad mutua, sustentado en relaciones sociales de reciprocidad, una serie de principios propios de las sociedades agrícolas tradicionales, precapitalistas, donde la economía moral se sustentaba en una cierta ética de la subsistencia, en la búsqueda del bienestar colectivo y no en el lucro personal.

Según este autor, el objetivo prioritario que articulaba tales sociedades tradicionales no era la acumulación material, sino la reproducción y el mantenimiento del sistema social. Este era un modelo basado en relaciones de parentesco, en el que el estatus social no era otorgado por la riqueza, y en el que los líderes políticos se legitimaban según su capacidad para garantizar las necesidades básicas de toda la comunidad.

De acuerdo con Flórez (1991), la economía moral tiene por objeto de estudio las sociedades rurales y precapitalistas, grupos campesinos, formadas por comunidades autosuficientes, o por lo menos con un importante nivel de autonomía. Estas comunidades se ven enfrentadas al dilema diario de la subsistencia y expresan criterios económicos a través de un contenido normativo moral. Entonces, la economía moral se concentra en el sistema de derechos y obligaciones que rodean las relaciones interpersonales e intraclase en sociedades rurales y examina los patrones de la normatividad compartida de lo que constituye un comportamiento apropiado.

El mismo autor considera que este concepto resalta las variables político-culturales que median entre la estructura económica y las formas de supervivencia en sociedades que son definidas como rurales y precapitalistas. Menciona también las limitaciones de su uso para entender las acciones de supervivencia de esas comunidades, una de cuyas características comunes ha sido su oposición y resistencia al avance del desarrollo capitalista, el cual ha sido percibido como una amenaza de las condiciones tradicionales de autonomía y organización social.

Polanyi (1944), citado por Larson (1992), analizó la experiencia de algunas tribus africanas en su transición al capitalismo a finales del siglo XIX y encontró que la penetración del mercado es devastadora y desintegra el contacto cultural, considerando el proceso como un etnocidio.

El sociólogo Moore (1973), interesado en las consecuencias de la transformación de la tierra y del trabajo en mercancías, en el caso de culturas tradicionales, estudió el impacto histórico de las élites agrarias y del campesinado en la creación de los regímenes políticos modernos. Mencionó que los valores morales del campesinado surgen de la experiencia colectiva de los riesgos que atentan contra la supervivencia y que es a través de ellos que se juzga el propio comportamiento y el de los demás.

De acuerdo con Flórez (*idem*), surgieron análisis de procesos históricos en los cuales fuerzas globales del desarrollo capitalista, especialmente el mercado y el estado, alteraron el tipo y alcance de los servicios y obligaciones con que las élites y los campesinos contribuían a la reproducción social de los grupos rurales.

El historiador Thompson (1971), retomó la interacción entre estructuras e ideología en grupos sociales tradicionales del campesinado inglés en el siglo XVIII; demostró que había una lógica y una disciplina para la acción que obedecía a un consenso moral dentro de la comunidad.

El politólogo e historiador James Scott (1976), fue quien acuñó el concepto de "economía moral", con base en el estudio de las sociedades campesinas de Vietnam y Burma al comenzar el siglo XX, y lo desarrolló como un marco que le permitía estudiar la rebelión o la no-rebelión campesinas. Scott perfeccionó el concepto elaborando una teoría sobre limitaciones y oportunidades de la economía campesina y los patrones normativos que gobiernan y legitiman el comportamiento campesino. El planteamiento destacado por Scott consistía en que los patrones de economía campesina se reflejaban en una "ética de subsistencia". Frente a las fluctuaciones del mercado mundial, los campesinos escogieron la "menos favorable" de las alternativas, la tradición, donde ellos podían controlar los costos de producción y asegurar los niveles mínimos de subsistencia.

En estos trabajos el mercado es el principal elemento que hace posible la expresión de la economía moral. Esto significa que, en sociedades amenazadas, que están en el proceso de transición al capitalismo, el modo de producción dominante no es la única alternativa percibida por el campesinado y es sólo en el contexto histórico donde es posible definir las tendencias y la imposición, la articulación o la desaparición de uno u otro modo de producción (Flórez, 1991). Sin embargo, para los economistas no es imprescindible el contexto histórico para visualizar el resultado de esas interacciones de intereses: las fuerzas del mercado son muy poderosas como para pasar desapercibidas y sustraerse a ellas; los campesinos también actúan de manera racional frente a las oportunidades que les brinda el mercado.

Como se mencionó más arriba, los dos principios morales que parecen ser más importantes para este tipo de análisis son la norma de reciprocidad y el derecho a la subsistencia. La reciprocidad sirve como una fórmula moral central para la conducta interpersonal. El derecho a la subsistencia en efecto define las necesidades mínimas que deben ser suplidas por los miembros de la comunidad dentro del contexto de la reciprocidad. Ambos principios corresponden a las necesidades vitales dentro de la "economía campesina".

Scott sugirió que los campesinos crean y mantienen ideologías intrínsecamente opuestas a la visión dominante del mundo, desarrollan sus propios conceptos de justicia para interpretar sus conflictos básicos con sus señores. Esta ideología popular está con frecuencia específicamente en reversa de la ideología de las élites.

Otras versiones de economía moral no asumen ni la solidaridad campesina ni la conciencia de clase como base para la ruptura de las sociedades campesinas con el capitalismo; puede haber revueltas violentas, pero nunca son efectivamente políticas.

Popkin (1979), criticó el uso del concepto de economía moral, enfatizando el papel del mercado y el papel "racional" de las decisiones campesinas para obtener beneficios al participar en los mercados capitalistas. Los campesinos toman una decisión racional aún con el riesgo de amenazar sus niveles de subsistencia y la sobrevivencia de sus familias.

De esta manera los mecanismos políticos, económicos y culturales que regularían la economía moral no funcionan aquí y los vestigios de la "tradición" son reemplazados por una decisión de aprovechar las oportunidades y asumir los riesgos del mercado. Es lo que Popkin llamó una "economía política del campesinado" referida a la concepción dominante de la economía, en la que el mercado se regula por sí mismo: "La natural operación de oferta y demanda en el mercado libre que puede maximizar la satisfacción de todas las partes y establecer el bien común".

Popkin criticó las teorías de la economía moral, porque consideró que éstas implican una romantización e idealización del campesinado. Argumentó que muchas de las instituciones que los economistas morales arguyen como promotoras de la redistribución de riquezas, realmente lo que hacen es acentuar la estratificación. Mostró cómo la comercialización de la economía bajo el capitalismo no amenazó la base de subsistencia campesina como una unidad; por el contrario, algunos campesinos se beneficiaron de la expansión capitalista encontrando alternativas a las formas locales de explotación.

Las instituciones campesinas tradicionales tales como el matrimonio y la herencia, los arreglos laborales, y las jerarquías rituales pueden contribuir a la explotación de los campesinos. Toda esta evidencia crea dudas acerca de la idea de una economía moral tradicional de derechos y deberes mutuos.

Todos los autores clásicos de la economía moral, quienes paradójicamente no eran economistas, concluyeron que tan pronto como las fuerzas del mercado penetran, los mercados precapitalistas y las estructuras de trabajo inevitablemente comienzan a desaparecer. Ellos mostraron el vínculo entre las sociedades rurales tradicionales, con modos de producción precapitalistas, que practicaron una "economía moral", referida a la subsistencia y reciprocidad, y las fuerzas de proletarianización que crecieron con el avance del modo de producción capitalista.

Flórez (*idem*), concluye que los elementos de análisis sugeridos por el uso literal del concepto de economía moral, pueden ser rotos muy fácilmente, puesto que los mercados capitalistas, y las vías para la proletarianización, son demasiado diversos y tienen diferentes formas de afectar la economía moral de las igualmente distintas sociedades rurales, en las cuales ellos intentan penetrar.

3.2. ¿Es posible que la economía sea moral o inmoral?

Quien haya cursado el nivel preparatoria en una institución educativa de buena calidad, sin duda tomó por lo menos un curso de Filosofía de la Ciencia. En él debió haber entendido que la ciencia, como tal, es neutra: no es ni moral, ni inmoral.

Por lo tanto, la economía, como ciencia, sólo tiene nombre, sin apellidos. No puede ser moral o inmoral, ni buena o mala, ni justa o injusta, ni individualista o solidaria; es simplemente economía, a secas.

Sin embargo, los teóricos que acuñaron el concepto de economía moral, quienes por cierto no eran economistas, la conciben como una generalización de la actividad y estructura económica que caracteriza a las comunidades agrícolas precapitalistas. Aquí radica su primer error teórico, pues confunden el concepto de economía, como ciencia, con el de la actividad y estructura económica de un modo de producción específico.

Para un economista, en cambio, es claro que los miembros de estas sociedades tradicionales y precapitalistas -empobrecidas por la baja productividad de sus recursos, notoriamente precarios en calidad y cantidad- no podrían subsistir, en tan adversas circunstancias, sin las relaciones de reciprocidad y solidaridad entre ellos. A esta situación, los economistas le llaman simplemente economía de subsistencia, o de autoconsumo, pero los sociólogos e historiadores le ponen apellidos y la denominan “economía campesina” o, más ampliamente, “economía moral”.

Ciertamente, es común observar que los grupos campesinos tradicionales poseen recursos muy limitados para la producción, tanto en calidad como en cantidad, razón por la cual sus óptimos de producción los alcanzan en niveles muy bajos, los cuales no les permiten salir de la pobreza. Esa baja productividad de sus limitados recursos es la causa de que la subsistencia no pueda garantizarse con base en las actividades individuales de producción; esto los obliga a depender de la solidaridad o reciprocidad colectiva para sobrevivir. Y hay muchos ejemplos de ello en México, como el “tequio” en las culturas tradicionales oaxaqueñas, además de otras formas de trabajo comunal y subsistencia en poblaciones rurales del país.

Sin embargo, los sociólogos e historiadores pregoneros de la “economía moral”, a la que deberían llamar correctamente “economía de subsistencia” o “economía de grupos vulnerables”, sugieren que esos vínculos político-culturales deben ser aplicados a todas las sociedades hoy en día, aunque éstas no sean ni rurales, ni precapitalistas, ni precarias en todo tipo de circunstancias.

Por lo expuesto, el adjetivo de “moral” o “inmoral”, sí puede usarse para describir, en cambio, una cualidad ética en la conducta de las personas o agentes económicos, quienes pueden utilizar los principios de la ciencia económica de una forma moral o inmoral; por ejemplo, se es inmoral si se busca el bien propio a toda costa, pasando inmoralmente por encima del bien común, sin respetar incluso el principio de coexistencia civilizada que señala: “el derecho y la libertad de un individuo, terminan donde empiezan los derechos y libertades de los demás”.

Por ejemplo, la economía plantea la maximización de la utilidad, que no es lo mismo que la maximización de la ganancia, como principio racional de la conducta humana. Cada persona, buscando la maximización de su utilidad o su bienestar, puede contribuir al bienestar general, siempre y cuando dicha maximización no implique abusar del derecho de los demás a conseguirlo. De hecho, la economía nunca sugiere siquiera que dicha maximización deba conseguirse atropellando el derecho de los demás. Sin embargo, en la práctica, es frecuente observar a empresarios que pagan poco y exigen mucho trabajo a sus empleados, a la vez que hay empleados que siempre pretenden trabajar poco y ganar mucho.

Pero ese antagonismo, que se manifiesta en la actividad y estructura económica, no es un problema de inmoralidad de la economía como ciencia, sino de la forma en que los agentes económicos aplican los principios de la economía para obtener beneficios fáciles e inmorales. Por lo tanto, es un problema que debe resolverse en los tribunales de justicia, al amparo de la legislación laboral aplicable al caso. En México, esas situaciones son materia de atención de la Junta Federal de Conciliación y Arbitraje, que tiene competencia legal para resolver esos asuntos.

Otro ejemplo para entender que la ciencia no es moral ni inmoral, es la medicina. Ésta, como ciencia, tampoco puede ser moral o inmoral, en tanto que tiene por objetivo investigar, desarrollar y generar soluciones científicas para resolver los problemas de salud de la humanidad. Pero si los beneficios de estos avances de la medicina tienen o no la cobertura y alcances universales, si son de un precio prohibitivo para ciertos estratos sociales o no, no es problema de la medicina como ciencia, sino de los médicos quienes la practican de forma inmoral, abusando del dolor humano; pero también sería un problema de inmoralidad y corrupción de las autoridades de salud del gobierno, quienes teniendo la obligación de garantizar a toda la sociedad el acceso a este derecho universal, no lo hacen.

3.2.1. La moral y la ciencia

Henri Poincaré, considerado el fundador de la Teoría del Caos, en una conferencia impartida en 1910⁶, afirmó que no hay ni habrá nunca moral científica, en el cabal sentido del vocablo. No puede haber moral científica, pero tampoco puede haber ciencia inmoral. Este apartado presenta una extracción libre de “La Filosofía de la Ciencia” de este autor, donde discute su postura al respecto.

Poincaré mencionó que en la última mitad del siglo XIX se pensaba frecuentemente en la creación de una moral científica, no bastaba alabar la virtud educadora de la ciencia, las ventajas del trato con la verdad contemplada cara a cara. Se confiaba en que la ciencia pondría las verdades morales fuera de toda discusión, como lo ha hecho con los teoremas matemáticos y las leyes enunciadas por los físicos.

Señaló también que las religiones pueden tener una gran autoridad sobre los espíritus creyentes, pero no todos son creyentes; la fe sólo se impone a algunos, pero la razón se impondría a todos. Entonces debemos dirigirnos a la razón, pues sólo el hombre de ciencia construye sólidamente; ha construido la astronomía, la física, la biología y muchas otras disciplinas.

Argumentó que cierta gente pensaba de la ciencia todo lo malo que le era posible; veía en ella una escuela de inmoralidad, porque no sólo concede demasiada importancia a la materia, sino que nos despoja del sentido del respeto, puesto que únicamente se respeta aquello que no se osa mirar. Las conclusiones científicas podrían significar la negación de la moral existente, es decir, la ciencia extingue las luces del cielo o, por lo menos, las priva de lo que poseen de misterioso, para reducirlas a la categoría de vulgares mecheros de gas. Tampoco revelará los trucos del Creador, quien perderá así algo de su prestigio. Consideraban esas personas que no es conveniente dejar que los niños indaguen, pues eso

⁶ Texto completo publicado por Conacyt en 1981.

podría inspirarles dudas sobre la existencia del cuco. Por lo tanto, concluían que si se deja actuar a los sabios, pronto desaparecería la moral.

Sin embargo, no puede haber moral científica, pero tampoco puede haber ciencia inmoral. Los principios de la ciencia y las verdades experimentales se expresan de modo indicativo. En la base de las ciencias no hay ni puede haber otra cosa. Por consiguiente, el dialéctico más sutil puede manejar como quiera estos principios, combinarlos, apoyar unos en otros; todo lo que deduzca estará en indicativo. Jamás obtendrá una proposición que diga: haga esto o no haga aquello; es decir, una proposición que conforme o contradiga la moral.

Pero los moralistas se esfuerzan por demostrar la ley moral. Quieren fundar en algo la moral, como si pudiera apoyarse sobre otra cosa que no sea ella misma. La ciencia nos muestra que el hombre se degrada viviendo de tal o cual manera; pero ¿y si me importa poco degradarme y denomino progreso a lo que llaman degradación? La metafísica nos incita a ajustarnos a la ley general del ser, que pretende haber descubierto; pero yo prefiero, podrá respondersele, obedecer a mi ley particular.

Tampoco podemos fundar, enfatiza Poincaré, una moral en el interés de la comunidad, ni en la idea de patria, ni en el altruismo; quedaría por demostrarse que, en caso necesario, uno debe sacrificarse por su país, o por la felicidad ajena. Pero ninguna lógica y ninguna ciencia puede suministrarnos esta demostración. Además, la moral del interés bien entendido, la misma del egoísmo, sería impotente, puesto que, después de todo, no es cierto que siempre convenga ser egoísta, y hay gente que no lo es.

Planteó que toda moral dogmática, toda moral demostrativa, están, pues, destinadas de antemano a un fracaso seguro. El motor moral, el que puede poner en movimiento toda la estructura social, no puede ser sino un sentimiento. No se nos puede demostrar que debemos sentir piedad por los desgraciados; pero si se nos pone en presencia de miserias y desgracias, experimentaremos un sentimiento de compasión o de indiferencia, según cada persona.

Consideró que hay una psicología profesional para cada oficio; los sentimientos del campesino no son los del financiero. El sabio tiene también su psicología particular y la refleja en parte sobre quien sólo ocasionalmente se interesa por la ciencia. ¿Para qué la piedad, si cuanto más se hace por los hombres más exigentes se vuelven y, en consecuencia, más descontentos están con su suerte? Importaría poco que la piedad sólo pudiera hacer ingratos, pero ¿y si no puede modelar más que almas amargadas? ¿Para qué el amor a la patria, si su grandeza no es frecuentemente sino una brillante miseria? ¿Para qué tratar de perfeccionarnos, si no viviremos más que un día?

Enfatizó que sólo se debe temer a la ciencia incompleta, la que se equivoca; aquella que nos embauca con vanas apariencias y nos induce así a destruir lo que quisiéramos reconstruir inmediatamente, cuando estamos mejor informados y ya es demasiado tarde. Hay personas que se aferran en una idea, no porque sea justa, sino porque es nueva, porque está de moda; eso son los temibles destructores. La verdadera ciencia teme las generalizaciones prematuras, las deducciones teóricas. Si el físico desconfía de ellas, aunque las que trata sean coherentes y sólidas, ¿qué debe hacer el moralista o el sociólogo, si las pretendidas teorías que encuentra a su paso se reducen a groseras comparaciones? Por lo contrario, la

ciencia no es ni puede ser más que experimental y la moral nada puede temer de una ciencia animada por un verdadero espíritu experimental.

El mejor remedio contra una ciencia a medias, es más ciencia. El naturalista estudia las sociedades de las hormigas y de las abejas, y lo hace con serenidad. Del mismo modo, el sabio trata de juzgar a los hombres como si no fuera un hombre; se coloca en el lugar de un imaginario lejano habitante, para quien las ciudades terrestres no serían más que hormigueros. Está en su derecho, es su oficio de sabio.

La ciencia de las costumbres será siempre puramente descriptiva; nos hará conocer las costumbres de los hombres y nos dirá lo que ellas son, sin hablarnos de lo que deberían ser. Después será comparativa; nos paseará por el espacio, para hacernos comparar las costumbres de los diferentes pueblos, las del salvaje y las del hombre civilizado; y también por el tiempo, para hacernos comparar las de ayer con las de hoy. Finalmente, tratará de volverse explicativa. He ahí la evolución natural de toda ciencia.

Los darwinistas intentarán explicarnos porqué todos los pueblos conocidos se someten a una ley moral, diciéndonos que la selección natural ha hecho desaparecer desde hace mucho tiempo a los que han sido bastante torpes como para tratar de substraerse a ella. Los psicólogos nos explicarán porqué las normas de la moral no están siempre de acuerdo con el interés colectivo. Nos dirán que el hombre, arrastrado por el torbellino de la vida, no tiene tiempo para reflexionar sobre todas las consecuencias de sus actos; que no puede obedecer sino a preceptos generales, que serán tanto menos discutidos cuanto más simples sean, y que es suficiente, para que su papel sea útil y para que, por consiguiente, la selección pueda crearlos, que concuerden lo más a menudo posible con el interés general. Los historiadores nos explicarán cómo las dos morales, la que subordina el individuo a la sociedad y la que tiene compasión por el individuo y nos propone como fin la felicidad ajena, la segunda es la que hace incesantes progresos a medida que las sociedades se vuelven más vastas, más complejas, y a la postre, menos expuestas a las catástrofes.

Esta ciencia de las costumbres no es una moral ni lo será nunca; no puede reemplazar a la moral, del mismo modo que un tratado de fisiología de la digestión no puede reemplazar a una buena comida.

La ciencia no es una moral, pero ¿puede ser útil o peligrosa para la moral? Unos dirán que explicar es siempre, en cierta medida, justificar, y eso puede sostenerse fácilmente; por lo contrario, otros afirmarán que es peligroso mostrarnos que la moral difiere según las razas y las latitudes; que eso puede enseñarnos a discutir lo que debería aceptarse ciegamente, habituarnos a advertir la contingencia donde conviene que no veamos sino la necesidad. Acaso tampoco estén completamente equivocados. Pero, francamente, ¿no es exagerar la influencia sobre los hombres, de teorías superficiales, de abstracciones que le serán siempre exteriores? Cuando las pasiones, unas generosas, otras bajas, se disputan nuestra conciencia, ¿con qué autoridad puede gravitar la distinción metafísica entre contingente y necesario, frente a adversarios tan poderosos?

3.2.2. Economía Moral y Empresa

Con base en Compeán y Belausteguigoitia (2012), la economía de mercado está dirigida principalmente a asignar con eficacia bienes y recursos, y es un modo de organización que exige la propiedad privada, la libre iniciativa de los sujetos y la coordinación por medio de instituciones y mecanismos del mercado.

Mencionan que históricamente, varias corrientes de pensamiento se han opuesto a la economía de mercado, acusándola, entre otras cosas de ser individualista, pues en la búsqueda del crecimiento económico, la economía se ha vuelto el eje articulador de toda la vida social, ha anulado la ética y ha dejado de ser un medio para volverse un fin.

A las empresas se les cuestiona, señalan, por crecer a través del incremento de su competitividad, fijándose metas ambiciosas y presionando a sus trabajadores, sustituyéndolos por máquinas o reduciendo los salarios para competir incluso de manera desleal, para asegurar la “utilidad”.

Estos autores plantean que varios sectores de la sociedad consideran que la pobreza, el escaso trabajo y mal remunerado, la desigualdad, la mala distribución del ingreso, la falta de buenos servicios de educación básica, financieros y de salud, sin contar con el acelerado deterioro ambiental, son las consecuencias del individualismo, siendo el hombre un ser social por naturaleza. Por lo tanto, la economía moral podría ser una solución a este deterioro, ya que integra el bien actuar con las funciones de producción, distribución y consumo.

Sin embargo, como se explicó en el apartado anterior, la economía como ciencia sólo tiene nombre, sin apellidos, pues no puede ser moral ni inmoral. Si nos remitimos a la definición de economía como “la ciencia social que estudia las leyes que rigen los procesos de producción, distribución, intercambio y consumo de bienes y servicios, para satisfacer las necesidades de la sociedad, en un tiempo determinado”, se observa que, como ciencia, al estudiar dichos procesos, nada tiene de moral o inmoral.

Por otra parte, el individualismo del hombre nada tiene de inmoral por sí mismo, siempre y cuando no se dañe el derecho ajeno y se respete el principio de “la libertad de una persona termina donde empieza la de los demás”. En todo caso, no es a la economía a quien hay que moralizar, sino a los agentes económicos que la practican (empresas y consumidores) y a los funcionarios públicos que regulan la actividad económica.

En el mismo sentido concluyen también Compeán y Belausteguigoitia (*idem*), al señalar que la economía no es una entidad a la que sólo le falta imprimirle valores éticos y morales para hacerla humana, sino que es un sistema emanado de una concepción filosófica humana que la precede. No es la economía la que requiere una corrección moral; es la sociedad, su concepción y sus valores los que requieren un replanteamiento profundo.

Por lo expuesto, hablar de economía moral es confundir el concepto de economía, como ciencia, con el de actividad y estructura económica. De esta manera, un sistema económico determinado, por ejemplo, el capitalismo como modo de producción dominante, puede ser visto como egoísta y deshumanizado, y por lo tanto inmoral, al fomentar el individualismo y la libre competencia. Por tal razón, si algunos sectores de la sociedad consideran esas características como causantes de todos los males de la humanidad, puede plantearse la

necesidad de construir un nuevo sistema económico, que acabe con la desigualdad y la injusticia y promueva la prosperidad de las personas y los pueblos.

Para finalizar, compartimos la opinión de los multicitados autores cuando afirman que la economía de mercado⁷ es un instrumento técnico cuya aplicación puede producir excelentes resultados, en términos de eficiencia. Pero diferimos cuando afirman que se atora, ya que no siempre ocurre así, en un sistema de ideas y valores que no responden a la verdad y fin del ser humano, el cual debería ser asegurar la dignidad de la persona, la atención al bien común y la solidaridad entre los hombres y los pueblos, que hagan posible que las sociedades avancen en la búsqueda de su bienestar.

Concluyen también que la “economía social”, que incluye conceptos como el de “empresa socialmente responsable”, son otras formas de hacer las cosas de manera más justa, humana y sustentable. Diferimos del planteamiento de “economía social”, porque se comete el mismo error conceptual que con “economía moral”, ya que se confunde la economía, como ciencia, con la actividad económica que realizan las empresas y su estructura económica.

3.3. La economía moral y la cuarta transformación. La evidencia a tres años de gobierno del presidente Andrés Manuel López Obrador

Una frase célebre de Mahatma Gandhi expresa que “el desacuerdo es muchas veces muestra de progreso”, lo cual significa que la democracia implica discrepancia, y ésta da pie a mejores y renovadas ideas y formas de actuar.

En tal contexto, este apartado discute el desacuerdo con el concepto de economía moral bajo el enfoque de la 4T, el cual se presenta en el libro “Hacia una economía moral” de Andrés Manuel López Obrador. Se contrastan sus planteamientos con los resultados de las políticas públicas puestas en marcha en su gobierno.

Con lo expuesto en apartados previos, queda claro que es incorrecto hablar de “economía moral” ya que refleja una confusión conceptual, por dos razones. En primer lugar, porque la economía como ciencia no puede ser moral ni inmoral, concepto que se confunde con el de actividad y estructura económica, donde la inmoralidad puede caracterizar a los agentes económicos que las practican y gobiernos que las regulan.

En segundo lugar, porque el concepto fue acuñado por historiadores y sociólogos para referirse a las estrategias de subsistencia de sociedades rurales precapitalistas, basadas en la solidaridad y reciprocidad, quienes reaccionaban contra la penetración del mercado, convirtiendo en mercancías la tierra y la mano de obra como sus principales medios de producción. Ese proceso de proletarianización, en opinión de esos investigadores, fueron verdaderos etnocidios. Ciertamente, la economía mexicana no es ni rural, ni precapitalista, ni es generalizado el problema de la baja productividad, por lo cual el uso de dicho concepto está fuera de lugar.

Sin embargo, al culpar del desastre económico y social a la economía inmoral del neoliberalismo, López Obrador plantea como alternativa la transformación del país, que incluye una economía moral orientada al bienestar. Pero el propio AMLO plantea que

⁷ Un caso particular de estructura económica que, entre otros, es objeto de estudio de la Economía como ciencia.

“nada ha dañado más a México que la deshonestidad de los gobernantes y la pequeña minoría que ha lucrado con el influyentismo... esa es la causa principal de la desigualdad económica y social... el plan del nuevo gobierno es acabar con la corrupción y con la impunidad” (Pág. 65). Con esto queda claro que no es a la economía a quien se debe moralizar, sino a los gobernantes y a quienes trafican con influencias.

El mérito del libro “Hacia una economía moral” consiste en hacer un profuso diagnóstico de las secuelas negativas que dejó en México el período neoliberal, en términos de corrupción, inseguridad, desigualdad y pobreza. López Obrador plantea la necesidad de dar un giro a la política pública. Sin embargo, al momento de formular las propuestas para la corrección del rumbo, no lo consigue, e incurre incluso en los mismos errores cometidos durante el período que critica. Y ha cometido otros peores en tres años de una larga curva de aprendizaje, que no parece tener fin, y que resulta muy costosa para los mexicanos quienes, con los impuestos, pagan los salarios de un gobierno cuyo tercer informe, a falta de resultados, se atreve a presumir, como un logro económico y político propio, el monto histórico alcanzado por las remesas en México.

Las elevadas expectativas generadas con el libro “Hacia una economía moral” de la pretendida cuarta transformación, distan mucho de haber sido alcanzadas. Los resultados de la política pública de la 4T, son realmente impresentables y no tienen nada de transformadores. Y es que, como lo dijo Albert Einstein: “si buscas resultados distintos, no hagas siempre lo mismo”.

En su libro, López Obrador menciona que “la corrupción fue por mucho tiempo el principal problema de México” (Pág. 25) ... Añade que “un pequeño grupo confiscó todos los poderes y mantuvo secuestradas las instituciones públicas para su exclusivo beneficio. El estado fue tomado y convertido en un mero comité al servicio de una minoría” (Pág. 33). En la página 68, escribe: “He dejado en claro que si mis seres queridos, mi esposa o mis hijos, cometen un delito, deberán ser juzgados como cualquier otro ciudadano. Solo respondo por mi hijo Jesús, por ser menor de edad... En consecuencia, les reitero: no acepto, bajo ninguna circunstancia, que miembros de mi familia hagan gestiones, trámites o lleven a cabo negocios con el Gobierno en su beneficio o a favor de sus recomendados... queremos convertir en hábito la consigna de nuestros liberales del siglo XIX: «Al margen de la ley, nada, y por encima de la ley, nadie»”.

AMLO habla de la corrupción en el pasado, pero no de la de su gobierno. Y es que la corrupción no puede eliminarse por decreto presidencial, ni basta con decir que el presidente es honesto, para que su gobierno lo sea. Prueba de ello son los escándalos de corrupción de miembros de su familia (sus hermanos recibiendo dinero en efectivo de un miembro del gabinete de la 4T y su prima haciendo millonarios negocios con Pemex) y la corrupción de miembros de su gabinete (Bartlett, Ebrard y Sheinbaum), así como también el hecho de que el 80% de las compras de gobierno se hacen por adjudicación directa, y no por licitación, porcentaje más elevado que en el neoliberalismo.

Cuestiona también que un pequeño grupo confiscó los poderes y secuestró las instituciones públicas. En la página 80, señala que “el Poder Ejecutivo no debe inmiscuirse de ninguna forma en las decisiones de los otros poderes, debe respetar las potestades de los niveles estatal y municipal de Gobierno y obedecer las decisiones de la Fiscalía General de la

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

República, el Banco de México, las autoridades electorales y la Comisión Nacional de los Derechos Humanos”. Ciertamente, este discurso fue letra muerta; Obrador resultó peor que los neoliberales, pues ha desaparecido todas las instituciones y fideicomisos que ha podido y concentró los poderes federales en su persona, Pero mientras concentra más poder, más demuestra no poder, porque no es todólogo. Casi por regla general, se sabe que: gobierno de una sola persona, mal de muchos gobernados.

En la página 53, menciona: “En cuanto a la política económica aplicada durante el periodo neoliberal, de 1983 a 2018, ha sido la más ineficiente en la historia moderna de México... En este lapso la economía creció en 2% anual, y ... se ha empobrecido a la mayoría de la población hasta llevarla a buscarse la vida en la informalidad, a emigrar masivamente del territorio nacional o a tomar el camino de las conductas antisociales”. Pero recordemos que la 4T no ha conseguido ni el mediocre crecimiento de 2% logrado por los gobiernos neoliberales. Loera, *et al.*, (2020), señala que durante los dos primeros años del actual gobierno, el PIB ha tenido una tasa de crecimiento negativa, es decir, la economía del país ha ido en retroceso; no hay crecimiento y, por lo tanto, tampoco desarrollo. Esto es contrario a la promesa de campaña del presidente López Obrador, de crecer un 4.0% anual en su gobierno.

Afirma también AMLO que los programas sociales de Solidaridad, Progresá, Oportunidades y Prospera, han sido meros paliativos para la pobreza y mecanismos perversos de control y manipulación con fines electorales, ya que, según el Banco Mundial, unos 52.4 millones de mexicanos son pobres.

Efectivamente, ese fue el número de pobres que el actual gobierno heredó del neoliberalismo. Sin embargo, México es visto a nivel mundial como el país que menos aplicó un plan de emergencia económica para enfrentar los efectos de la crisis, por lo cual no es raro que el número de pobres se haya incrementado en alrededor de 20 millones. Y es que, “por el bien de todos, primero los pobres”, es la frase favorita de campaña de López Obrador, y ahora los hechos dejan claro su lamentable significado: la 4T los quiere tanto, que los reproduce (Loera, *et al.*, 2020).

Otro elemento destacado en el libro, es que “durante todo el periodo neoliberal no hubo programas de desarrollo, sino reparto de despensas o migajas... Si bien el 3 de febrero de 1983 se estableció en la Constitución el derecho a la salud, han pasado más de tres décadas y todavía la mitad de la población no tiene acceso a la seguridad social”. Ciertamente, la desaparición del seguro popular en el gobierno de la 4T dejó a mucha gente pobre sin acceso a la salud. El gasto destinado a salud disminuyó un 1% en promedio en este gobierno, con respecto al gobierno de Peña Nieto (Loera, *et al.*, 2020).

En la página 58, menciona que la educación, en su estrategia, ha sido perniciosa para los mexicanos: mientras más ignorantes, más manipulables. Sin embargo, en educación se gastó más en términos porcentuales durante el periodo de EPN, en el cual el gasto promedio fue de 29.2%, frente a un 27.1% durante los dos primeros años del gobierno de AMLO (Loera, *et al.*, 2020).

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

Un gobierno que se autodenomina impulsor de la “4a Transformación de México”, debería implementar políticas coherentes con ese objetivo... Es decir, debería poner en marcha inversiones en infraestructura social y productiva, tales como escuelas y hospitales para coberturas universales en educación media y superior, así como en salud y la creación de empleos; pero en lugar de hacerlo, la 4T decide transitar también el sendero fácil, ya trillado por los gobiernos neoliberales, siendo impulsores de programas asistencialistas. Entonces, ¿dónde está el sustento de cambio en la política pública para la pretendida cuarta transformación? (Loera, et al., 2020).

Se menciona también que “... el Estado democrático distribuya con equidad el ingreso y la riqueza del país, siguiendo el criterio de que no puede haber trato igual entre desiguales y que la justicia consiste, en esencia, en darle más al que tiene menos” (Pág. 60). Ciertamente, no es equitativo darle más riqueza a alguien por el hecho de tener menos, sino fomentar la equidad en las oportunidades para que genere por sí mismo su bienestar. No puede ser jamás un acto de justicia social quitar a unos el fruto de su esfuerzo para regalárselo a otros que quizá no se han esforzado lo suficiente. Eso en lugar de socializar la riqueza, termina por socializar la pobreza.

Se muestra una evidente confusión al mencionar, en la página 140, que “El Estado no es gestor de oportunidades. Es y será, en cambio, garante de derechos. La diferencia entre unas y otros es clara: las oportunidades son circunstancias que pueden ser aprovechadas o no; los derechos son de cumplimiento obligatorio”. Es claro que todo esquema de derechos debería tener aparejado un esquema de obligaciones también.

Se señala que para solucionar de raíz el fenómeno migratorio (Pág. 99-100), “Se espera que los programas sociales sectoriales tengan una incidencia concreta en el corto y el mediano plazo en la mejoría de las condiciones de vida en las principales zonas expulsoras de mano de obra, y que los proyectos regionales de desarrollo actúen como «cortinas» para ...” En la página 109, se menciona que “... luego de la India y China, México es el país que más remesas recibe de los connacionales que viven y trabajan en Estados Unidos. Sin embargo, la emigración no debe ser la alternativa de México, sino el desarrollo del país que permita a los mexicanos trabajar, progresar y ser felices donde nacieron... Esto es posible si se acaba con la corrupción, si se gobierna con amor al pueblo”. Si se tiene esa claridad de ideas, entonces ¿por qué celebrar el monto histórico de remesas captadas por México y, sobre todo, por qué presumir el dato como un logro de su gobierno? Quizá fue porque no hay verdaderos logros qué presumir.

En el último apartado de su libro, página 172, Obrador plantea: “Mi propuesta es la república amorosa para lograr el renacimiento de México; tiene el propósito de hacer realidad el progreso con justicia y, al mismo tiempo, auspiciar una manera de vivir sustentada en el amor a la familia, al prójimo, a la naturaleza, a la patria y a la humanidad... *La importancia de no hacer nada*, de Oscar Wilde, sostiene que le parecían «abominables los pueblos que, por el culto de su bienestar material, olvidan el bienestar del alma, que aligera tanto los hombros humanos de la pesadumbre de la vida, y predispone gratamente al esfuerzo y al trabajo»”. Ciertamente, un planteamiento semejante sólo

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

podría corresponder a un mundo ideal, pues existen múltiples ejemplos de gente que se ha acostumbrado a vivir del presupuesto público y jamás muestran disposición al esfuerzo y mucho menos al trabajo, mientras haya un gobierno que declare abiertamente tener la obligación paternalista de cuidar a los ciudadanos desde su nacimiento hasta la tumba.

Por último, debe mencionarse que, a tres años de este gobierno, no ha habido cuarta transformación, de tal manera que al presidente Obrador le quedan otros tres años para ponerse a trabajar y presentar resultados; cosa que no parece fácil, porque el presidente se siente más cómodo estando en campaña permanente, al grado de que ya dio la lista de los posibles candidatos a sustituirlo ¡faltando aún tres años para concluir su mandato! Otra razón para suponer que no habrá transformación económica ni social, además de la miopía de las políticas públicas de la 4T, es que el gobierno no tendrá dinero para el 2022. El próximo año se recrudecerá la falta de ingresos para el gobierno y, si cae el precio del petróleo, entonces estaremos ante un gobierno en quiebra.

De acuerdo con Sánchez (2021), las tres mega obras del sexenio absorben más presupuesto que el destinado y han dejado sin recursos a innumerables programas, fideicomisos, apoyos a la generación de nuevos empleos y respaldo a Pymes. De igual manera, el fondeo a los programas de política social del gobierno se está incrementando exponencialmente a niveles peligrosos para 2024, año en que el aumento de las pensiones y del servicio de la deuda, así como el rescate de Pemex y CFE, serán de tal magnitud que el gobierno no tendrá recursos para subsanarlos. La contratación de deuda por parte del gobierno de López Obrador ya es superior a la que contrataron Calderón y Peña Nieto juntos, durante sus sexenios.

4. Conclusiones

En el libro “Hacia una economía moral” el presidente Andrés Manuel López Obrador presenta su visión de política pública basada en una “economía moral” para emprender la “cuarta transformación” del país. Se trata de una confusión conceptual ya que, de acuerdo con Poincaré (1910, editado por CONACYT 1982), no puede haber moral científica, pero tampoco puede haber ciencia inmoral. Por lo tanto, la economía como ciencia no puede ser moral o inmoral.

En el libro, López Obrador confunde el concepto de economía, con la actividad y estructura económica de un modo de producción determinado. En consecuencia, no es a la economía a quien se debe moralizar, sino a los agentes económicos que la practican inmoralmemente al anteponer su bienestar al de los demás. Igual conclusión obtuvo Compeán, *et al.*, (2012), al mencionar que no es

la economía la que requiere una corrección moral; es la sociedad, su concepción y sus valores los que requieren un replanteamiento profundo.

El concepto de economía moral fue acuñado, no por economistas, sino por sociólogos e historiadores (Thompson, 1971; Scott, 1976), para referirse a las relaciones socioculturales de reciprocidad y subsistencia en sociedades rurales precapitalistas, amenazadas por la penetración del mercado. Su aplicación a la economía tendría sentido en esas condiciones socioculturales concretas; la economía mexicana no es rural, ni precapitalista y mucho menos de subsistencia.

Aunque el libro de López Obrador parece identificar el concepto de economía moral como la conducta ética que asegura el bienestar colectivo y no individual, sugerirlo es pretender que la economía es la responsable de las calamidades que dejó el neoliberalismo, y no los funcionarios públicos y agentes económicos involucrados. Aún si se aceptara por economía moral la actividad y estructura económica libre de corrupción en una república amorosa, con ciudadanos y gobernantes repletos de valores éticos y maravillosos deseos de velar por el bien del prójimo, lo cual es la fuente única y verdadera de la felicidad, según López Obrador, es evidente que su gobierno practica una economía inmoral, igual o peor que en el neoliberalismo, como se evidencia con los escándalos de corrupción donde se han involucrado familiares cercanos del presidente, así como miembros de su gabinete.

Por otra parte, es evidente que, a mitad del camino, la cuarta transformación no ha avanzado y sólo quedan tres años para presentar resultados y que ésta se convierta en realidad; pero quizá no llegue a serlo, porque las políticas públicas implementadas no apuntan en esa dirección, además de que el presidente parece haber dado por terminado prematuramente su sexenio, al destapar anticipadamente a sus posibles sucesores, con lo cual todo parece indicar que continuará otros tres años en su eterna campaña política. Y entre más concentra poder, más demuestra no poder.

5. Literatura citada

Compeán & Belausteguigoitia. (2012). Economía Moral y Empresa. Recuperado el 20 de julio de 2021, de ITAM. Sitio web: <http://direccionestrategica.itam.mx/ES/economia-moral-y-empresa/>

Flórez, A. (1991). La escuela de la economía moral. Algunas de sus limitaciones para el análisis de lo político en lo campesino. En *Cuadernos de Agroindustria y Economía Rural*, vol. 26, pp. 133-150.

Larson, B. (1992). Explotación y economía moral en los Andes del sur: hacia una reconsideración crítica. Revista: *Historia Crítica*, vol. 06, pp. 75-97.

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

Loera et al., (2020). *Análisis del Gasto y las Políticas Públicas del Gobierno de la 4T: ¿el Neoliberalismo ya es Historia en México?* En: memorias del 9º Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas. Universidad Autónoma Chapingo, noviembre de 2020. México.

López, A. (2019). *Hacia una economía moral*. México: Editorial Planeta.

Moore, B. (1973). *Orígenes Sociales de la Dictadura y la Democracia*. Península, Barcelona.

Poincaré, H. (1910). *La moral y la ciencia*. En *Filosofía de la ciencia* (pp. 269-283). Publicado por CONACYT, México, 1982.

Popkin, S. (1979). *The Rational Peasant*. University of California Press, Berkeley.

Sánchez, A. (2021). Gobierno en quiebra para 2022. Recuperado el 14 de septiembre de 2021. Sitio web: <https://www.elfinanciero.com.mx/opinion/alejo-sanchez-cano/2021/09/13/gobierno-en-quiebra-para-el-2022/>

Scott, J. (1976). *The Moral Economy of the Peasant: Rebellion and Subsistence in Southeast Asia*. Yale University Press, New Haven.

Thompson, E. (1971). The Moral Economy of the English Crowd in the Eighteenth Century. Revista: *Past & present*, vol. 50, pp. 76-136.

Quintanar, J. (2019). ¿Qué es la economía moral de la que habla AMLO?. Recuperado el 16 de julio de 2021. Sitio web: <https://www.milenio.com/negocios/que-es-la-economia-moral-de-la-que-habla-amlo>

El Cultivo De Pitahaya (*Hylocereus spp.*), Una Alternativa Rentable Para El Campo Poblano.

Jesús Loera Martínez⁸; Fátima Andrea Pedro Juárez⁹; Daniel Sepúlveda Jiménez¹⁰.

Resumen

El fruto de pitahaya, conocido como “dragon fruit” actualmente es considerado como exótico en el mercado internacional, por lo que presenta una gran demanda, ya que sus propiedades nutricionales y variadas posibilidades de consumo lo hacen cada vez más popular. Con ello, los precios de este fruto son altos, alcanzando hasta 15 dólares el kilogramo en el mercado de Nueva York, unos 300 pesos mexicanos. La pitahaya se puede cultivar en zonas donde los agricultores buscan variantes rentables y apuestan por cultivos no tradicionales con la idea de diversificar riesgos, sumar valor agregado y ser más competitivos. El cultivo de pitahaya es todavía incipiente en México, su interés crece porque se registran precios atractivos y, además, porque su rusticidad permite que sea una alternativa en regiones no aptas para otros cultivos. donde las condiciones climáticas y edáficas no permiten que prosperen otros cultivos más exigentes. Puebla ocupa el tercer lugar en la producción de esta fruta exótica en el país, aunque esta actividad se practica predominantemente en traspato, razón por la cual en 2019 la superficie cultivada apenas llegó a 130.5 ha, con una producción de 407 toneladas y un valor de la producción de casi 6.5 millones de pesos. El objetivo de la investigación fue analizar las perspectivas del cultivo como alternativa rentable en el campo poblano, concluyendo que éstas consisten en integrar grupos de productores para acopiar la producción dispersa, comercializar el producto a través de un solo canal de comercialización, lo cual les permitirá obtener mejores precios y retener mayores márgenes de comercialización, acceder a los procesos de asistencia técnica y capacitación y posibilitar la diversificación de mercados a través de la agregación de valor al producto.

Palabras clave: pitahaya, rentabilidad, alternativa agrícola, Puebla.

Abstract

The fruit of pitahaya, known as "dragon fruit," is currently considered exotic in the international market, so it presents great demand, since its nutritional properties and varied possibilities of consumption make it increasingly popular. With this, the prices of this fruit are high, reaching up to 15 dollars per kilogram in the New York market, about 300

⁸ Doctor en Ciencias en Economía Agrícola. Centro de Investigación en Economía y Matemáticas Aplicadas (CIEMA) de la Universidad Autónoma Chapingo. E-mail: jloeramtz2004@yahoo.com.mx

⁹ Pasante de la Ingeniería en Economía Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo. E-mail: andi.pedro.apj@gmail.com

¹⁰ Doctor en física-matemáticas. Centro de Investigación en Economía y Matemáticas Aplicadas (CIEMA) de la Universidad Autónoma Chapingo. E-mail: sepjim@yahoo.com.mx

Mexican pesos. Pitahaya can be grown in areas where farmers are looking for profitable variants and bet on non-traditional crops with the idea of diversifying risks, adding added value and being more competitive. The cultivation of pitahaya is still incipient in Mexico, its interest grows because attractive prices are registered and, in addition, because its rusticity allows it to be an alternative in regions not suitable for other crops. where climatic and edaphic conditions do not allow other more demanding crops to thrive. Puebla occupies the third place in the production of this exotic fruit in the country, although this activity is practiced predominantly in backyard, which is why in 2019 the cultivated area barely reached 130.5 ha, with a production of 407 tons and a production value of almost 6.5 million pesos. The objective of the research was to analyze the prospects of cultivation as a profitable alternative in the Puebla countryside, concluding that these consist of integrating groups of producers to collect dispersed production, marketing the product through a single marketing channel, which will allow them to obtain better prices and retain higher marketing margins, access to technical assistance and training processes and enable the diversification of markets through the addition of value to the product.

Keywords: pitahaya, profitability, agricultural alternative, Puebla.

1. Introducción

Pocos cultivos pueden presentar simultáneamente características tan opuestas como rusticidad y aristocracia. La pitahaya es uno de ellos, ya que prospera en regiones donde las condiciones edáficas y climáticas no son adecuadas para cultivos más exigentes, a la vez que sus frutos son de un extraordinario colorido y llamativa forma, lo cual la ha hecho merecedora del nombre de “fruta del dragón” porque sus hojas externas parecen las escamas de un dragón. Y este nombre, aunado a las propiedades nutraceuticas, la hace más deseada en el mercado internacional, alcanzando precios elevados, lo cual hace de este cultivo una alternativa viable para elevar los ingresos y el nivel de bienestar de los productores rurales.

De esta manera, la rústica y aristocrática “fruta del dragón”, ha ido cobrando importancia en México, aunque todavía su cultivo es incipiente y requiere de una adecuada política de fomento para constituirse como bastión del desarrollo rural. El estado de Puebla ocupa el tercer lugar nacional en cuanto a superficie cultivada con pitahaya, principalmente en modalidad de traspatio, lo cual repercute en una oferta dispersa geográficamente y de gran variabilidad en cuanto a calidad y cantidad.

Esta investigación tiene por objetivo analizar las características del cultivo de pitahaya en el estado de Puebla para conocer su potencial como alternativa rentable para los productores agrícolas de la entidad.

2. Materiales y métodos

Para cumplir con los objetivos de esta investigación, la metodología de trabajo consta de tres fases: una de campo y dos de gabinete. La primera consistió en reunir información estadística y documental del cultivo en México y en el mundo, la segunda consistió en realizar trabajo de campo para reunir información empírica del cultivo mediante la

observación directa y con entrevistas a productores. Con lo anterior, se realizó una tercera fase, de gabinete, para la redacción del documento y la discusión de las estrategias que permitirían consolidar a la pitahaya como una alternativa rentable para el campo poblano.

3. Análisis y discusión de resultados

3.1. Aspectos generales del cultivo de pitahaya

La pitahaya (*Hylocereus spp.*), se puede consumir como fruta fresca o procesada en pulpa. Esta planta pertenece a la familia Cactaceae; el origen del género *Hylocereus* es incierto, ya que varios autores mencionan diferentes lugares, entre los que aparecen América Central, el Caribe, el norte de Sudamérica y México, en donde tiene una amplia distribución. Las pitahayas son consideradas especies con alto valor comercial en varios países del mundo.

Es un fruto con gran adaptabilidad a condiciones ambientales diversas, lo cual hace que el cultivo tenga una amplia distribución geográfica, se cultivan principalmente en Nicaragua, Colombia, Guatemala, Israel y México. Mizrahi y Nerd (1999), citados por Esquivel y Araya (2012), mencionan que algunas especies dentro del género de *Hylocereus* han alcanzado importancia económica a nivel mundial. *H. undatus* (con cáscara roja y pulpa blanca) ha sido ampliamente cultivada, mientras que otras especies, como *H. polyrhizus* (Weber) Britton & Rose (con cáscara roja y pulpa de color rojo violeta) e *H. costaricensis* (Weber) Britton & Rose (con cáscara roja y pulpa de color rojo) se cultivan en menor escala.

Existe amplia variación en las pitahayas aprovechadas o cultivadas en México; Ortiz (1999), citado por Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS, 2017), menciona que para pitahaya en México se reportan al menos tres especies del género *Hylocereus*, las cuales son: *H. undatus*, *H. purpussi* y *H. ocamponis*. Ortiz y Castillo (2012), citado por Osuna *et al.*, (2016), mencionan que el género *Hylocereus* tiene un potencial alto como ornamental y cultivo frutícola, puede ser una fuente de compuestos para uso industrial y su cultivo podría crear puestos de trabajo e ingresos al país.

El establecimiento del cultivo requiere preparar el terreno, lo cual consiste en el barbecho, el rastreo, el trazado y la apertura de cepas, tanto para la planta como para los tutores, actividades que se realizan en el periodo de noviembre a febrero. La plantación de la pitahaya se puede realizar desde enero hasta marzo, y en el mismo periodo se pueden fijar los tutores. El periodo de cosecha abarca los meses de mayo a septiembre.

3.1.1. Características morfológicas de la pitahaya

Es una planta perenne de carácter epífita o terrestre, de porte rastrero, con abundante ramificación, posee tallos verdes, largos y delgados; puede llegar a alcanzar de 0.5 a 2 metros de largo. La pitahaya no se puede sostener por sí misma por lo que crece comúnmente sobre árboles y piedras, a manera de soporte. A diferencia de los frutos de

otras cactáceas como la tuna, su fruto no presenta espinas. Puede reproducirse por semillas o por partes vegetativas, siendo la última la más usual debido a que las plantas procedentes de semilla sexual requieren riego adicional, pero cuando es excesiva la humedad se favorece el ataque de bacterias al tallo. Las plantas comienzan a producir sus primeros frutos al año o a los dos años del trasplante.

Rodríguez (2003), menciona que su vida productiva es muy prolongada, mayor a diez años, pues muchos de sus tallos producen raíces adventicias que llegan al suelo, con las que se renuevan o se convierten en nuevas plantas; sin embargo, al ser plantadas sobre tutores, su vida útil termina con la muerte o caída de éstos, a menos que oportunamente sean reemplazados.

Cáliz de Dios *et al.*, (2005), citado por Osuna *et al.*, (2016), menciona que las pitahayas son resistentes a la sequía y prosperan desde el nivel del mar y hasta 1850 m, requieren temperaturas de 18 a 26°C, con precipitaciones de 650 a 1500 mm anuales, y su mejor desarrollo se logra en climas cálidos subhúmedos. Este cultivo no tolera las bajas temperaturas y por otro lado las temperaturas superiores a los 38°C pueden ocasionar daños por quemaduras.

Las flores de la planta son aromáticas y se abren de noche, por lo que en algunas regiones es conocida como reina de la noche. Pushpakumara *et al.*, (2005), citado por Osuna *et al.*, (2016), menciona que las pitahayas florecen en verano durante el periodo de lluvias y pueden ocurrir entre cuatro y siete ciclos de floración en un periodo de 8 meses.

Los frutos de las pitahayas son llamativos, lo que la hace una fruta exótica por su tamaño, color y las brácteas foliáceas que presenta, con un sabor característico dulce y con gran contenido de agua. Nerd *et al.*, (1999), citado por Esquivel y Araya (2012), describen a *Hylocereus* como frutos no climatéricos, frutos que no pueden continuar el proceso de maduración después de separarse de la planta. Por lo tanto, el tiempo de cosecha tiene una gran influencia en la calidad de la fruta. Cuando se recolectan cerca de la coloración completa, los frutos conservan la calidad del mercado por lo menos dos semanas a 14°C y una semana a 20°C.

Por todo lo anterior, debido a las características adecuadas que reúne este fruto y a que se puede cultivar en zonas donde las condiciones climáticas no son adecuadas para los cultivos básicos, ha adquirido una gran importancia para varios países.

3.1.2. Valor nutricional de la pitahaya

Existen frutas que benefician al consumidor por el valor nutrimental que poseen, tal es el caso de la pitahaya. Dembitsky *et al.*, (2011), citado por Esquivel y Araya (2012), mencionan que el fruto se conoce por su riqueza en nutrientes y por sus beneficios para la salud, por lo que se ha considerado un potencial alimento nutraceutico, por lo que este fruto puede tener diversas oportunidades en el mercado.

Las propiedades del fruto son auxiliares en el mejoramiento de algunas enfermedades. El consumo regular de la pitahaya puede mejorar la salud humana. García y Quirós (2010), expresan que el beneficio de este fruto para los seres humanos es que actúa como antioxidante evitando la producción de radicales libres, que son sustancias que pueden favorecer la aparición de ciertos tipos de cáncer. Las semillas negras tienen una grasa

natural que mejora el funcionamiento del tracto digestivo y producen un efecto laxante, por lo que su consumo se aconseja cuando existen problemas de estreñimiento.

Corzo *et al.*, (2016), citado por Verona *et al.*, (2020), plantea que la pulpa de la pitahaya (*Hylocereus*) representa entre el 60-80% de su peso total, el cual varía en promedio de 200 a 570 gramos, según la especie. Rodríguez *et al.*, (2005) menciona que la pitahaya es un fruto de bajo valor calórico, ya que cuenta con pequeñas cantidades de hidratos de carbono (9.20 gramos por cada 100 gramos de pulpa comestible). Verona *et al.*, (2020), indica que en la composición de la pitahaya destaca el contenido de vitamina C, la cual interviene en la formación de colágeno, glóbulos rojos, huesos y dientes, además, favorece en la resistencia a las infecciones, absorción del hierro de los alimentos y tiene acción antioxidante. La variedad roja (*Hylocereus undatus*) resalta en su composición de vitamina C con relación a la variedad de color amarilla (*Hylocereus megalanthus*).

Como ya se había mencionado anteriormente, esta fruta no puede continuar el proceso de maduración después de separarse de la planta. Ochoa *et al.*, (2012), citado por Verona *et al.*, (2020), describe que el sabor de este fruto depende de la madurez durante su cosecha, factor importante para que la concentración de azúcares sea mayor y de esta manera aumente los sólidos solubles totales (SST) expresados en grados Brix, los SST que predominan en la pitahaya son la glucosa y fructosa.

3.1.3. Formas de consumo de la pitahaya

De acuerdo con Cálix de Dios *et al.*, (2001), la pulpa de la pitahaya puede someterse a procesos de congelamiento, concentración, deshidratación, fermentación, procesamiento térmico y preservación química, para lo cual existe tecnología disponible para los niveles casero, artesanal o industrial. Los concentrados de pulpa a su vez pueden someterse a otros procesos, como el de la congelación o liofilización. La pulpa también puede deshidratarse o secarse para convertirla en polvo, esto puede hacerse a partir de rebanadas: el inconveniente es su elevado contenido de agua. Las rebanadas de fruta pueden deshidratarse y venderse de esta manera. La pulpa puede utilizarse como sustrato de fermentación en la preparación de vinos y vinagres.

Los distintos productos obtenidos pueden destinarse a varios fines: preparación de refrescos, jarabes, mermeladas, helados, ensaladas de pulpa congelada, gelatinas, vinos, vinagres, yogurt, entre otros productos; la industrialización de la pitahaya ha presentado grandes avances, por el alto potencial del fruto y por sus diferentes presentaciones de consumo. Lo anterior ha traído como resultado que la demanda de la pitahaya haya ido creciendo en el mercado internacional,

Los tallos tiernos y las flores se consumen como verdura y medicina. Por otra parte, los tallos maduros se utilizan como forraje para el ganado. Esquivel y Araya (2012), plantean que el incremento en el rechazo de los colorantes artificiales ha estimulado la demanda de colorantes naturales, adquiriendo cada vez más importancia en el mercado mundial. La pitahaya una alternativa para el uso de colorantes artificiales en alimentos, por su alto contenido de betalainas y pigmentos.

De acuerdo con Ortiz (1999), citado por Esquivel y Araya (2012), plantea que la mayoría de las áreas cultivadas de *Hylocereus* están destinadas a la producción de pulpa, muy

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

demandadas por la industria alimentaria en los Estados Unidos y Europa, como un ingrediente alimentario y colorante natural, cosmético o farmacéutico, esto debido a las propiedades de la pulpa y al contenido de proteínas y ácidos grasos insaturados encontrado en las semillas.

3.2. Panorama mundial del cultivo

La demanda de la pitahaya es importante y creciente en los mercados regionales de las zonas en que se producen, pero su aceptación es cada vez mayor en el mercado internacional, donde ya es reconocida como una exquisita y exótica fruta tropical y se le conoce con el nombre de “dragon fruit”, el cual recibe porque las hojas externas de la fruta parecen las escamas de un dragón. Y este nombre la hace más deseada por su buen aspecto en su exterior, al ser de color rosado y con escamas parecidas a las de un dragón.

Como este fruto es muy apreciado, ha alcanzado precios atractivos y por ello se le considera una fuente importante de ingresos y empleos, por lo que constituye una alternativa productiva viable. Se ha posicionado y puede seguir teniendo diversas oportunidades en el mercado internacional.

3.2.1. Principales países exportadores

El principal país exportador de pitahaya en fresco en el año 2020 fue Canadá y el valor de las exportaciones fue de 417.68 M de dólares. En segundo lugar se encuentra Tailandia, lo cual se puede observar en el cuadro 1.

Cuadro 1. Principales países exportadores de pitahaya en el año 2020.

Lugar	País	Participación en el valor de las exportaciones	Valor de las exportaciones (USD)
1	Canadá	12.45%	\$417.68 M
2	Tailandia	7.02%	\$235.29 M
3	Polonia	6.55%	\$219.74 M
4	Chile	6.11%	\$204.88 M
5	Perú	5.68%	\$190.52 M
6	Estados Unidos de América	5.09%	\$170.82 M
7	Países Bajos	4.18%	\$140.33 M
8	México	3.97%	\$133.24 M
9	Serbia	3.59%	\$120.49 M
10	Malasia	3.24%	\$108.81 M

Fuente: elaboración propia con datos de TRIDGE, 2021.

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

Obsérvese que la participación de México en las exportaciones en el 2020 fue del 3.97% con un monto de exportación de 133.24 M de dólares, esto hace que se encuentre en el lugar número ocho de los diez principales países exportadores de la pitahaya en fresco.

Los tres principales países a los que México le exportó pitahaya en el 2020 fueron: Estados Unidos de América, Canadá y Australia, lo cual se puede observar en el cuadro 2.

Cuadro 2. Principales países a los que México exportó pitahaya en el año 2020

Socio comercial	Participación en las exportaciones	Valor de las exportaciones (USD)
Estados Unidos de América	70.88%	\$94.44 M
Canadá	10.71%	\$14.27 M
Australia	10.23%	\$13.63 M
Reino Unido	2.15%	\$2.86 M
Bélgica	1.68%	\$2.24 M
Países Bajos	1.10%	\$1.46 M
Polonia	0.81%	\$1.07 M
Alemania	0.49%	\$648.80 K
Finlandia	0.42%	\$559.92 K

Fuente: Elaboración propia con datos de TRIDGE, 2021.

3.2.3. Principales países importadores

El principal país importador de la fruta del dragón en fresco en el año 2020 fue Estados Unidos de América con un valor de 706.62 M de dólares; el segundo lugar lo ocupa China, lo cual se observa en el cuadro 3:

Cuadro 3. Principales países importadores de pitahaya en el año 2020

Lugar	País	Valor (M de USD)
1	Estados Unidos de América	\$706.62
2	China	\$387.36
3	Alemania	\$298.24
4	Francia	\$174.63
5	Países Bajos	\$164.10
6	Japón	\$156.66
7	Canadá	\$155.95
8	Australia	\$141.56
9	Polonia	\$127.03

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

10	Reino Unido	\$121.41
----	-------------	----------

Fuente: elaboración propia con datos de TRIDGE, 2021.

La participación de México en las importaciones en 2020 fue del 0.25%. El kilogramo de la pitahaya procedente de este país en el mercado el día 01 de septiembre de 2021 costaba 1.74 USD (TRIDGE, 2021).

3.2.4. Precios en el mercado mundial

Se toma como referencia los precios en los mercados de Estados Unidos, concretamente los que se tienen reportados en Terminal Market de Los Ángeles y de New York, dos de las ciudades importantes de este país; los precios que se presentan son del día 01 de septiembre de 2021.

3.2.4.1. Precio en Los Ángeles

El precio de la pitahaya de pulpa roja hace referencia a un paquete de 10 libras¹¹, lo cual equivale a 4.53592 kg. Por lo que el kilogramo de pitahaya procedente de Vietnam oscila entre 14.11 y 14.33 USD.

Cuadro 4. Precios de la pitahaya pulpa roja en Los Ángeles en el año 2021.

Location: LOS ANGELES		Commodity: DRAGON FRUIT	
Package: 10 lb cartons		Variety: Red Flesh	
Date	Low-High Price (USD)	Mostly Low-High Price (USD)	Origin
01/09/2021	64.00 - 65.00		VIETNAM

Fuente: elaboración propia con datos de USDA, 2021

Los precios para la pitahaya de pulpa blanca procedente de Ecuador, oscilan entre 7.72 y 8.16 USD, lo cual se puede observar en el cuadro 5.

Cuadro 5. Precios de la pitahaya pulpa blanca en Los Ángeles en el año 2021

Location: LOS ANGELES		Commodity: DRAGON FRUIT	
Package: 10 lb cartons		Variety: White Flesh	
Date	Low-High Price (USD)	Mostly Low-High Price (USD)	Origin
01/09/2021	35.00 - 37.00	36.00 - 36.00	ECUADOR

Fuente: elaboración propia con datos de USDA, 2021.

3.2.4.2. Precios en New York

¹¹ Una libra equivale a 453.592 gramos

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

En el cuadro 6, el precio que reporta la Terminal Market de New York, de la pitahaya de pulpa roja es el de una caja de 4.5 kg, por lo tanto, el kilogramo de pitahaya procedente de Vietnam fue de 15.11 USD.

Cuadro 6. Precio de la pitahaya pulpa roja en New York en el año 2021

Location: NEW YORK		Commodity: DRAGON FRUIT (RED PITAYA)	
Package: 4.5 kg cartons		Variety: RED FLESH	
Date	Low-High Price (USD)	Mostly Low-High Price (USD)	Origin
01/09/2021	68.00 - 68.00		VIETNAM

Fuente: elaboración propia con datos de USDA, 2021.

En el cuadro 7 se observa que el kilogramo de la pitahaya pulpa blanca originaria de Ecuador en la Terminal Market de New York tuvo un precio de 10.66 USD.

Cuadro 7. Precio de la pitahaya pulpa blanca en New York en el año 2021

Location: NEW YORK		Commodity: DRAGON FRUIT (RED PITAYA)	
Package: 4.5 kg cartons		Variety: WHITE FLESH	
Date	Low-High Price (USD)	Mostly Low-High Price (USD)	Origin
01/09/2021	48.00 - 48.00		ECUADOR

Fuente: elaboración propia con datos de USDA, 2021.

3.3. Panorama nacional del cultivo

En México las pitahayas se han aprovechado desde épocas remotas, a través de la recolección de sus frutos para el consumo humano y los tallos se han usado para la preparación de remedios caseros. En el cuadro 8, se observa que del año 2015 al 2019 la superficie cosechada, la producción y el valor de la comercialización del cultivo de pitahaya ha estado en constante crecimiento.

Cuadro 8. Producción de pitahaya en México durante 2015 a 2019.

Año	Superficie cosechada (ha)	Producción (ton)	Valor de producción (miles de pesos)
2015	706.89	3,236.19	37,993.71
2016	814.62	4,157.65	59,627.02
2017	936.89	5,530.42	77,571.73
2018	970.09	6,457.21	84,741.72
2019	1,495.71	9,029.14	172,323.79

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

Fuente: elaboración propia con datos de SIAP, 2021

Del año 2018 al año 2019 hubo un crecimiento del 54.18% en la superficie cosechada, la producción creció 39.83% y el valor de la producción creció 103.35%. El año 2019, fue un año productivo para este cultivo en los tres aspectos que se mencionan en el cuadro 8.

3.3.1. Principales estados productores

La pitahaya, crece bajo el intenso calor de las zonas tropicales de México. De acuerdo con datos del SIAP en el año 2019 se reportó una superficie sembrada de 1753.16 hectáreas, una superficie cosechada de 1495.71 hectáreas y una producción de 9,029.14 toneladas, por lo que el rendimiento del cultivo fue de 6.04 ton/ha. En el cuadro 9, se observa que los tres principales estados productores de este cultivo en el país en ese año fueron: Quintana Roo, Yucatán y Puebla

Cuadro 9. Principales estados productores de pitahaya en México, en el año 2019.

	Estado	Superficie sembrada (ha)	Superficie cosechada (ha)	Producción (ton)
1	Quintana Roo	1,201.00	1,008.00	4,409.86
2	Yucatán	361.16	344.71	4,002.23
3	Puebla	130.50	95.50	407.50
4	Aguascalientes	22.00	22.00	124.00
5	Tabasco	16.00	16.00	76.00
6	Guerrero	10.50	9.50	9.55
7	Guanajuato	6.00	0.00	0.00
8	Nuevo León	6.00	0.00	0.00
	Total	1,753.16	1,495.71	9,029.14

Fuente: elaboración propia con datos del SIAP, 2021.

En México el principal estado productor de pitahaya en el 2019 fue Quintana Roo con 4,409.86 toneladas, lo cual representa el 48.84% de la producción a nivel nacional, lo anterior se observa en el cuadro 10. El segundo lugar lo ocupó el estado de Yucatán con una producción de 4,002.33 toneladas y representa el 44.33% y en tercer lugar se encuentra el estado de Puebla con una producción de 407.5 hectáreas y representa el 4.51% de la producción nacional.

Cuadro 10. Principales estados productores de pitahaya en México en 2019

Estado	Producción (ton)	% de la producción a nivel nacional.
Quintana Roo	4,409.86	48.84

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

Yucatán	4,002.23	44.33
Puebla	407.5	4.51
Tabasco	124	1.37
Aguascalientes	76	0.84
Guerrero	9.55	0.11
Guanajuato	0	0.00
Nuevo León	0	0.00
TOTAL	9,029.14	100.00

Fuente: elaboración propia con datos de SIAP, 2021.

3.4. Panorama de la producción en el estado de Puebla.

En el estado de Puebla hay tres zonas productoras de pitahaya: la Cañada, el Valle de Tehuacán y la Mixteca; la producción es escalonada, de tal manera que esto garantiza disponibilidad continua de fruta en todo el periodo de su cosecha.

Zona de la cañada: esta zona comprende las localidades de San Diego Chalma, San Pablo Tepetzingo, Altepexi, Ajalpan, San Gabriel Chilac, San Sebastián Zinacatepec, y Calipan, hasta llegar a los municipios de Teotitlán y San Martín Tepexpalan, del estado de Oaxaca. En la zona se encuentran altitudes de entre 600 y 1200 msnm. La temperatura promedio oscila entre 14 y 22.4°C y la precipitación promedio anual oscila entre 104 y 535 mm.

Zona de la mixteca: esta zona comprende las localidades de Tecamachalco, Tepeyahualco, Huitziltepec, Tepexi de Rodríguez, San Juan Ixcaquixtla y Zapotitlán Salinas, entre otras. Se ubica entre 1750 y 2340 msnm. Su temperatura promedio anual se ubica entre 17.1 y 22.1°C y tiene precipitaciones entre 619 y 791 mm anuales.

Zona del Valle de Tehuacán: comprende el municipio de Tehuacán y sus alrededores, como Miahuatlán y Cuapa. En Tehuacán la altitud es de 1676 msnm, la temperatura promedio anual es de 18.6°C y la precipitación es de 480 mm anuales.

En las tres zonas se cultivan principalmente la pitahaya roja de pulpa blanca; en algunas localidades también existe pitahaya roja de pulpa roja o solferina, pero se trata de un material muy escaso, ya que sus flores tienen severos problemas de polinización natural.

La época de cosecha comienza a partir del mes de mayo hasta el mes de octubre, pero con la característica importante de que la producción se da de manera alternada entre las tres zonas. Sin embargo, presenta diversas desventajas ya que su producción proviene de huertos familiares, presenta dispersión, es escaso el manejo técnico y está sujeta a fluctuaciones climáticas que hacen que la producción varíe considerablemente año con año.

En el cuadro 11 se muestra la producción del cultivo de pitahaya en el estado de Puebla, en este estado la fruta del dragón ha tomado gran importancia debido a que los productores lo ven como una alternativa para el desarrollo económico, la superficie sembrada durante 2016 a 2019 presenta crecimiento constante. De acuerdo con los datos del SIAP, se muestra que en el año 2018 se registró la mayor producción y fue de 467.68 toneladas.

Cuadro 11. Cultivo de pitahaya en el estado de Puebla, de 2015 a 2019.

Año	Superficie sembrada (ha)	Superficie cosechada (ha)	Producción (ton)	Valor de la producción (miles de pesos)
2015	-	-	-	-
2016	101.7	84.2	403.85	5,607.70
2017	112.9	91.4	442.67	7,003.65
2018	117.0	96.5	467.68	6,927.55
2019	130.5	95.5	407.50	6,462.78

Fuente: elaboración propia con datos del SIAP, 2021

3.4.1. Principales municipios productores de pitahaya en el estado de Puebla

En el estado de Puebla los municipios con mayor antigüedad en la producción de pitahaya son Huitziltepec, Tepeyahualco de Cuauhtémoc y Xochitlán Todos Santos. Con base en la información de SIAP 2019, se tiene el registro de 18 municipios productores de pitahaya en este estado. Los diez principales municipios productores se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 12. Principales municipios productores de pitahaya en Puebla en el año 2019.

	Municipio	Producción (ton)
1	Caltepec	154.86
2	Tepexi de Rodríguez	42.64
3	Huehuetlán El Chico	40
4	Huitziltepec	38.94
5	San José Miahuatlán	17
6	Xochitlán Todos Santos	16.85
7	Yehualtepec	14.45
8	San Gabriel Chilac	13.2
9	Tehuacán	11.61
10	Altepexi	10.6
	Resto	47.35

Fuente: elaboración propia con datos del SIAP, 2021.

3.4.2. Precio del producto por temporada en el estado de Puebla

La venta de la fruta se realiza en dos formas: 1) directa (del productor al consumidor final) en la ciudad o a orillas de carretera, y 2) por medio de acaparadores (personas que compran

la fruta de los huertos familiares y lo revenden en la central de abasto), encareciéndose así el precio. El producto se comercializa empacado en cajas con capacidad de hasta 10 kg, o por pieza y alcanzando su máximo precio al inicio y al final de la temporada de cosecha.

De acuerdo con entrevistas directas realizadas a productores de Santa Clara Huitziltepec, los productores comentan que el precio de la pitahaya en el año 2020 disminuyó en un 50% en comparación con el año 2019, esto derivado de la pandemia, la demanda bajó ya que la gente prefería comprar los productos de la canasta básica que esta fruta, situación que los llevó a darla más barata para que no se les echará a perder y así poder recuperar un poco de los recursos invertidos en la siembra.

En el año 2019 la pitahaya se vendió desde 60 y hasta 70 pesos el kilogramo, y en el año 2020 su precio fue de 30 pesos en la central de abasto, mientras que en el municipio de Tehuacán se estuvo vendiendo en 15 pesos. En Santa Clara Huitziltepec, la mayoría de sus habitantes son músicos, la gente trabaja muy poco en la actividad primaria (la agricultura) por la escasez de agua, sin embargo, la pitahaya como ya se mencionó antes, es un fruto que crece aun en las peores condiciones de sequía; un productor perteneciente a la sociedad de producción rural Nochtli comenta que lleva cerca de 20 años dedicándose a la cosecha de la fruta del dragón, antes de convertirse en una fuente de ingreso, la sembraban en sus traspatios y la utilizaban para consumo local. Los productores vieron en la pitahaya una oportunidad para aumentar las fuentes de empleo de la comunidad. De camino a Santa Clara Huitziltepec, se pueden encontrar puestos a la orilla de la carretera que ofrecen esta fruta hasta en 60 pesos el kilo, muchas de las veces las obtienen de forma ilegal, les roban la fruta a los productores. Por otra parte, están los acaparadores, los cuales compran la fruta muy barata y la venden cara, los productores aceptan con tal de que la mercancía no se les eche a perder. En Walmart el precio de la pitahaya es de \$84.00/kg, por lo que podemos observar que es un precio bastante elevado, en comparación con el precio a nivel de los productores del estado de Puebla.

3.5. Productividad y rentabilidad del cultivo en el estado de Puebla

Al establecer en un terreno el cultivo de pitahaya, debemos tener en cuenta que los costos del primer año son mayores, comparados con los siguientes ciclos. Esto es debido a que en el primer año se lleva a cabo la inversión para el establecimiento de la plantación, en tanto que para los siguientes años los costos de operación van descendiendo poco a poco a medida que la producción se va estabilizando.

De acuerdo con Flores (2011), la producción de pitahaya en el municipio de San Juan Ixcaquixtla, Puebla; es rentable. Esta comunidad presenta las condiciones adecuadas para la producción de pitahaya bajo un sistema especializado que permita una alternativa de cultivo rentable, debido a que éste es generador de empleo y contribuye a la diversificación productiva y económica de los agricultores, así como de las regiones en las que se establece.

Los parámetros de rentabilidad calculados en ese estudio, se muestran en el cuadro 13.

Cuadro 13. Indicadores financieros

Indicador financiero	Valor
----------------------	-------

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

Valor Actual Neto (VAN)	1,875,811.65
Relación B/C	7.42
Relación Beneficio Inversión-Neta (N/K)	37.83
Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)	223.34

Fuente: Flores, 2011.

La interpretación de estos indicadores es la siguiente:

Valor Actual Neto (VAN): Durante la vida útil del proyecto y con una tasa de actualización del 7%, se va a obtener una utilidad neta de \$1,875,811.65. Por lo tanto, el proyecto es rentable, ya que, de acuerdo con este indicador, se aceptan todos los proyectos independientes cuya VAN sean mayor o igual que cero.

Relación Beneficio Costo (BS/C). Los beneficios obtenidos por cada peso total invertido durante la vida útil del proyecto serán de \$7.42. Por lo tanto, se acepta el proyecto, ya que cumple el indicador en cuyo S/C se menciona que este deberá ser mayor o igual que uno.

Relación Beneficio - Inversión Neta (N/k). Durante la vida útil del proyecto, los beneficios netos obtenidos por cada peso invertido inicialmente serán de \$37.83. Por lo tanto, el proyecto es rentable, ya que de acuerdo con el indicador N/k se aceptan todos aquellos cuyo valor sea mayor o igual que Tasa Interna de Retorno (TIR). Durante la vida útil del proyecto, se recuperarán los costos de inversión y operación, y se obtiene una tasa de interés de 223.34 %. Por lo tanto, se acepta el proyecto porque tiene una TIR mayor o igual que la tasa de actualización.

Por otra parte, Morales y Macías (2017), argumentan que en el cultivo de pitahaya se identifican dos sistemas de producción, uno corresponde al sistema con riego y otro al sistema de temporal. La diferencia en el costo de producción entre estas modalidades es de \$11,950.00 es decir, de 8.92% en el costo de producción para la tecnología con riego. Esta diferencia en costo se compensa con una mayor producción de dicho sistema. El sistema de producción con riego tiene una producción media de 14 ton/ha y un precio de venta de \$20.00 por kilogramo, lo que genera un ingreso anual de \$288,000.00, lo cual arroja una relación beneficio/costo de 2.15. Para el sistema en temporal, la producción disminuye hasta en un 50%, es decir, tiene un rendimiento de 7 ton/ha, el precio del fruto es de \$20.00 por kilogramo, y genera una relación beneficio/costo de 1.14. Para 2014 la tasa de inflación para insumos fue del 7% y para maquinarias del 8%, pero el precio sólo se incrementó un 4%. La relación beneficio/costo para el sistema de producción de temporal refleja la rentabilidad del cultivo.

La rentabilidad del producto permite la reinversión de las ganancias para incrementar y mejorar la producción, así como el tratamiento postcosecha y el desarrollo de su posicionamiento comercial, incrementando el ingreso de los productores.

Las características que reúne la pitahaya, su diversidad de colores, su adaptabilidad a los diversos climas, su creciente demanda en el mercado internacional, rentabilidad y la necesidad de encontrar un producto sustituto a los cultivos tradicionales de escaso margen

de utilidad, hacen que este fruto sea una excelente opción para el desarrollo de la sociedad rural mexicana que habita en zonas de producción marginal.

3.6. Retos y perspectivas del cultivo de pitahaya en el estado de Puebla

Los cultivos no tradicionales han adquirido gran importancia para el país como alternativa rentable para sustituir, en algunas zonas, a los granos básicos; la agricultura busca variantes rentables y con ese objetivo apuesta por zonas y cultivos no tradicionales con la idea de diversificar riesgos, sumar valor agregado y ser más competitivos. En el estado de Puebla se han promovido la capacitación para el adecuado manejo y apoyos para impulsar los proyectos de pitahaya.

Por tal motivo, en el año 2017 el Instituto Nacional de la Economía Social (INAES), apoyó a un grupo de productores del municipio de Caltepec, Puebla, el cual estaba conformado principalmente por mujeres, se organizaron dentro de la Economía Social bajo el nombre “Grupo Flor de Julio”. El instituto les apoyó con 250 mil pesos, para instalar tutores, adquirir plántula, herramientas, capacitación e insumos.

Morales y Macías (2017), plantean que la pitahaya como cultivo no tradicional se considera una alternativa para la agricultura en cuanto a generación de beneficios económicos a productores rurales en el estado de Puebla, principalmente en la región de la Mixteca, pero se han ido incrementando los municipios que cultiva esta especie, los cuales tienen características similares en el aspecto climatológico. En el 2003 existían tres municipios que sembraban pitahaya y en 2014 la cifra aumentó a 13. Esta tendencia obedece al valor económico que genera una hectárea de este cultivo respecto al valor económico que generan los granos básicos como el maíz o frijol. En cuanto a la comercialización y las alternativas de agregación de valor, el fruto se puede seguir embarcando al extranjero, la problemática es la falta de cámaras de frío para poder conservar el producto, e instalaciones y equipo para su clasificado. Los productores buscan agregar valor al producto con la certificación orgánica de producción de todas las áreas productoras del estado de Puebla. Otra alternativa de agregación de valor inmediata es la industrialización del fruto, para el cual ya se han iniciado en la elaboración de mermeladas, helados, dulces, refrescos y jarabes.

La perspectiva para la producción es establecer huertos certificados, lo cual implica alta tecnología con respecto al medio ambiente y el uso eficiente del agua como elemento para incrementar la productividad y la competitividad.

Respecto a la agregación de valor, se tienen que seguir realizando estudios para determinar qué más se puede obtener de este fruto, la capacitación para la transformación de los productos con base en tecnologías modernas es importante, así se podrán generar etiquetados de marcas, algunos productores ya lo han empezado a implementar, en otro caso es necesario constituir asociaciones para que en conjunto puedan trabajar y progresar.

El cultivo de pitahaya es una alternativa para mitigar algunos problemas de la agricultura mexicana, como la abundancia de suelos pobres y delgados y la escasez de sistemas de riego en zonas con escasa precipitación (las cactáceas crecen en ambientes con poca agua). Además, la creciente demanda de frutas exóticas en el mercado globalizado convierte a las pitahayas en un cultivo de importancia económica. Los productores deben enfocar su

interés en el fruto por la posible demanda; pero esto no es sencillo, es complicado poder organizarse ya sea por costumbres, problemas internos en sus localidades o la falta de interés de poder crear alguna asociación que les respalde el pago justo por sus productos.

Para comercializar fuera de las zonas locales, los productos requieren auxiliarse de la publicidad que es necesaria para dar a conocer y promocionar el fruto. La manera en la que se puede promocionar el fruto es dando a conocer las ventajas que tiene la pitahaya, los consumidores se darán cuenta de los importantes beneficios que se tiene al consumir esta fruta, así ellos podrán controlar los problemas de salud que día con día crecen dentro de la población. La pitahaya en la industrialización requiere de una empresa u organización de productores que cuente con un acopio de la materia prima, una planta agroindustrial con infraestructura y equipo adecuado, así como mercado y canales de comercialización. Es necesario la organización de los productores y el establecimiento de contactos comerciales

4. Conclusiones

El cultivo de pitahaya es todavía incipiente en México, su interés crece porque representa una alternativa en regiones donde las condiciones climáticas y edáficas no permiten que prosperen otros cultivos más exigentes, además de que hay una creciente demanda y buen precio en los mercados internacionales, donde se conoce como fruta del dragón.

El Estado de Puebla ocupa el tercer lugar en la producción de esta fruta exótica en el país, aunque esta actividad se practica predominantemente en traspatio, razón por la cual, pese a que la superficie cultivada en la entidad ha ido en aumento, en 2019 apenas llegó a 130.5 ha, con una producción de 407 toneladas y un valor de la producción de casi 6.5 millones de pesos.

El cultivo ofrece un potencial importante para impulsar el desarrollo agrícola y mejorar el nivel de ingreso de los productores en el estado de Puebla. Sus perspectivas consisten en integrar grupos de productores para acopiar la producción dispersa, comercializar el producto a través de un solo canal de comercialización, lo cual les permitirá obtener mejores precios y retener mayores márgenes de comercialización, acceder a los procesos de asistencia técnica y capacitación y posibilitar la diversificación de mercados a través de la agregación de valor al producto.

Algunas instituciones de fomento como INAES han apoyado con recursos financieros algunos proyectos relacionados con este cultivo, pero ha sido ocasionalmente, razón por la cual se podría implementar un programa de fomento de mayor cobertura e impacto, ya que diversos estudios muestran que este cultivo ofrece una alta tasa de rentabilidad.

5. Literatura citada

Cáliz de Dios et al., (2001). *El Cultivo de la Pitahaya en el Trópico*. Villahermosa, Tabasco: Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco.

Esquivel & Araya. (2012). Características del fruto de la pitahaya (*Hylocereus sp.*) y su potencial de uso en la industria alimentaria. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, vol. 03, pp.113-129.

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

Flores, M. (2011). *Indicadores de rentabilidad en la producción de pitahaya (Hylocereus undatus) en San Juan Ixcaquixtla, Puebla*. [Tesis de maestría.] COLPOS. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

García & Quirós. (2009). Análisis del comportamiento de mercado de la pitahaya (*Hylocereus undatus*) en Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, vol. 23, pp. 14-24.

Morales y Macías. (2017). *Análisis de la producción y rentabilidad económica de cactáceas y blueberry en el estado de Puebla*. En Oportunidades estratégicas para el desarrollo del sector agropecuario en Puebla. (359-394). México: EnRed-Arte.

Osuna et al., (2016). Fenología reproductiva, rendimiento y calidad del fruto de pitahaya (*Hylocereus undatus* (How.) Britton and Rose) en el Valle de Culiacán, Sinaloa, México. En revista: *Agrociencia*, vol. 50, pp. 61-78. Colegio de Postgraduados. Texcoco, México.

Rodríguez, A. (2003). Pitahaya (*Hylocereus undatus* y *Selenicereus megalanthus*). Producción y comercialización en el mundo y en México. En Pitayas y Pitahayas (pp. 63-93). Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Edo. de México. PROGRAMA NOPAL/CIESTAAM.

Rodríguez *et al.* (2005). Efecto de dos índices de madurez y dos temperaturas de almacenamiento sobre el comportamiento en postcosecha de la Pitahaya Amarilla (*Selenicereus megalanthus* Haw). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, vol. 58, pp. 2837-2857.

SIAP. (2021). Consultado el 05 de agosto de 2021. Sitio web: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

SNICS. (2017). *Pitahaya (Hylocereus spp)*. Recuperado el 10 de agosto de 2021, de SNICS Sitio web: <https://www.gob.mx/snics/acciones-y-programas/pitahaya-hylocereus>

TRIDGE. (2021). Consultado el 05 de septiembre de 2021. Sitio web: <https://www.tridge.com/es/>

USDA. (2021). Consultado el 04 de septiembre de 2021. Sitio web: <https://www.portalfruticola.com/precios-frutas/precios-usda/>

Verona *et al.*, (2020). *Pitahaya (Hylocereus spp.): Cultivo, características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos*. Recuperado el 03 de septiembre de 2021, de Scientia Agropecuaria. Sitio web: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077-99172020000300439&script=sci_arttext

Impacto Ambiental en las Comunidades de Estudiantes de Propedéutico, UACH. México

Martha Castillo Beltrán¹

Profesor investigador UACH, Preparatoria Agrícola, México. Casbel4@hotmail.com

RESUMEN

El presente trabajo consistió en un *Diagnóstico de Impacto Ambiental* (DIA) de 22 comunidades rurales en donde residen los estudiantes de propedéutico de la Universidad Autónoma Chapingo, México. Se empleó el método cualitativo y exploratorio, con el propósito de observar, promover y estimular la conciencia ambiental del estudiante para el cuidado y preservación en su comunidad, con acciones de aprendizaje-servicio. El material esencial utilizado radicó en guías de aprendizaje sobre problemas ambientales (cambio climático, energía, efecto invernadero e impacto ambiental) y 2 grupos focales para el efectuar el DIA. Los resultados mostraron que el uso de plásticos, exceso de uso de transporte y electrodomésticos, los desechos orgánicos, los pesticidas y fertilizantes usados para la floricultura, “cuetes” para fiestas, quema de basura y no reciclarla, generan y repercuten en el cambio climático, así, como los desastres ambientales que han observado en sus comunidades contaminación por basura, socavones, contaminación por camiones de contrucción, desechos tóxicos, tala, exceso de incendios, inundaciones, sequías, agua contaminada. Sin embargo, en algunas casas emplean ecotecnologías como son los calentadores solares, huertos caseros, biodigestores, baños secos, recolecta de agua de lluvia, fotoceldas, etc. En general, la mayoría de los estudiantes cree que todos los seres vivos del planeta sufren las consecuencias del impacto ambiental depende del nivel socioeconómico, ubicación geográfica, sobrepoblación, producción de tierra y turismo. Finalmente, se pueden mitigar los problemas ambientales promoviendo la participación con acciones ambientales en el desarrollo de una sociedad sustentable inclusiva, siendo solidarios, vista la educación ambiental como un proceso de concientización y promoción social.

Palabras clave: Impacto ambiental, cambio climático, aprendizaje-servicio.

An Environmental Impact in communities by propaedeutic students from the Autonomous University Chapingo, Mexico.

An Environmental Impact Diagnosis (DIA) was realized in 22 rural communities by propaedeutic students from the Autonomous University Chapingo, Mexico. Qualitative and exploratory methods were used to observe, promote, and stimulate the student's environmental awareness, supported by service-learning actions to care, preserve, and conserve their community environment. The material used were the learning guides on

environmental problems (climate change, energy, greenhouse effect and environmental impact) and 2 focus groups for carrying out the DIA. The results show that the use of plastics, excess use of transport and home appliances, organic waste, pesticides and fertilizers used in floriculture, "cuetes" in parties, burning garbage and not recycling it, generate and impact in climate change, as well as environmental disasters that have observed in their communities, pollution by garbage, sinkholes, pollution by construction trucks, toxic waste, logging, excess fires, floods, droughts, and contaminated water. However, in some houses they use ecotechnologies such as solar heaters, home gardens, biodigesters, dry baths, rainwater collection, photocells, etc. In general, most students consider that all living things on the planet suffer the consequences of environmental impact depend on socioeconomic status, geographical location, overpopulation, land production and tourism. Finally, environment problems can be mitigated by promoting participation with environmental actions in the development of an inclusive sustainable society, being supportive, using environmental education as a process of awareness and social promotion.

Keywords: environmental impact, climate change, service-learning.

INTRODUCCIÓN

La educación ambiental (EA) incluye a la naturaleza y a la sociedad en el contexto mundial, formando un sistema participativo de relaciones socio-ambientales que promueva mejorar su calidad de vida y en consecuencia, actuar a través de una participación comunitaria cada vez más intensa, en las causas de los problemas ambientales (Durán, 2012).

En 2014, la Organización de las Naciones Unidas para la educación en Ciencias y la Cultura, señaló que la EA en México, es pobre, los estudiantes no crecerán con el desarrollo adecuado para afrontar un futuro con la presencia del cambio climático, la pobreza extrema y sus derivados. Se requieren propuestas transformadoras y sostenibles, actos comunitarios fuertes, personas conscientes de que nuestro planeta es finito, pero las posibilidades humanas no (Hombre naturaleza, 2019).

La Conferencia Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo, efectuada en Río de Janeiro en 1992, promovió el reconocimiento formal del derecho de las generaciones futuras a disfrutar de un medio ambiente (MA) adecuado, y por lo tanto de las obligaciones presentes de los Estados de protegerlo (Luaces, 2010).

Los estudiantes de Propedéutico de la Universidad Autónoma Chapingo (internado), provienen en su mayoría de zonas rurales de la República Mexicana con diferentes culturas, costumbres, valores y formas de pensar, la universidad les ofrece alimentación, habitación, servicios asistenciales mínimos, debido a su situación económica social y cultural en que viven, el 32.3% provienen de Chiapas, Guerrero y Oaxaca, donde el grado de marginación es muy alto y el 32.4% de entidades con grado de marginación alto son de San Luis Potosí, Hidalgo, Michoacán, Puebla, Veracruz, Campeche, Tabasco y Yucatán (Pérez S. M., Livera M. R. y Carranza A. E. , 2010), se encuentran en considerable desigualdad en los niveles de desarrollo entre los estados, es evidente el

nivel de carencias en que viven sus habitantes en cuanto a falta de acceso a la educación, habitan en viviendas inadecuadas, perciben ingresos insuficientes, desigualdad de oportunidades y participación en el proceso de desarrollo, se encuentran en situación de desventaja social a proporciones significativas de sus habitantes (CONAPO, 2010).

Hace más de 25 años las Naciones Unidas invita que se incluya la EA en los currículums escolares, primordialmente para la educación básica, ya que es la solución de la crisis ambiental de las generaciones futuras (Anzolín, 2014). Sin embargo, la EA debe ser para todos los ámbitos y edades, debe formar profesionales con conciencia ambiental, de inclusión en la comunidad implique campañas de difusión para la conservación de los recursos, sostenibilidad del agua, aire, suelo, flora, fauna de hábitos y concientización con proyectos educativos institucionales y el compromiso de la escuela con lo social y comunitario. Para este fin, el estudiante de Propedéutico observará las situaciones de deterioro en su comunidad, podrá tomar decisiones y acciones para proteger la calidad del ambiente, ajuntándose con aspectos económicos, sociales, de desarrollo y sustentables en el proceso social continuo, de transmisión de elementos culturales, valores, costumbres, formas de pensar, conocimientos, información, contenidos y prácticas educativas en relación con las formas en que se vinculan con el ambiente, simultáneamente con un proceso de análisis, crítica y reconstrucción de los mismos, a fin de generar nuevos discursos, conocimientos, posturas, entendimientos, lecturas acciones, et., que brinden nuevas posibilidades de futuro y relación entre los seres humanos y medio ambiente Ortega (2014 citado en Fernández, 2014).

Desde este punto de vista, la investigación de trabajar con las comunidades donde viven los estudiantes surge por la actual situación que estamos viviendo en el mundo con la continuidad de la pandemia ocasionada por el virus SARS cov2 y las condiciones de estudio a distancia, el curso de Introducción a la Física Ambiental, que se imparte en propedéutico en el octavo semestre de la Universidad Autónoma Chapingo, los estudiantes manifiestan su vida cotidiana bajo múltiples expresiones: costumbres, rituales, creencias, imágenes y prácticas, que éste asume con relación a la institución, tanto en lo relacionado con la vida institucional, como con su misión profesional fuera de ella. con el objetivo de *observar, promover y estimular la conciencia ambiental del estudiante para el cuidado y preservación en su comunidad, con acciones de aprendizaje-servicio* que es una metodología educativa que promueve la solidaridad como contenido curricular y la realización de experiencias de aprendizaje que a partir de la escuela se proyectan hacia la demanda social de las comunidades, a partir de esta conceptualización la educación ambiental enfoca problemas ambientales de las comunidades y, por lo tanto, estimula la aplicación de la misma, permitiendo que el estudiante aprenda mejor con la integración de los contenidos educativos con las acciones solidarias que se realizan en la comunidad, frente a la necesidad real de la sociedad (Durán, 2018).

Materiales y métodos

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

La investigación exploratoria, utilizando el método cualitativo, la metodología es definida por Sampieri, 2003 se inicia exploratorios y descriptivos pero se plantean como correlacionales (sin consideración estadística) o de asociación y explicativos. Taylor y Bogdan, 2000, “se utilizan datos descriptivos (propias palabras de las personas, habladas o escritas) y la conducta observable”. Utilizamos algunos conceptos para la investigación, las observaciones directas y las propias palabras de los estudiantes se recolectó la información con el objetivo planteado.

Los estudiantes elegidos cursan la materia de Introducción a la Física Ambiental, de Propedéutico de la Universidad Autónoma Chapingo, del 8^o, Semestre de Preparatoria Agrícola 2020-2021, con un total a 28 estudiantes, que ingresarán a las diferentes especialidades Agronómicas de la Universidad.

El material básico de aprendizaje utilizado, consistió en guías de aprendizaje, que consta de un cuestionario de conocimientos sobre temas ambientales: cambio climático, energía, efecto invernadero e impacto ambiental, relacionados con los puntos más relevantes de los paradigmas que han afectado las formas de organizar las actividades de la vida en torno a la energía y la forma de percibir la realidad, herramientas del progreso, la crisis energética, los efectos del mundo invernadero y la conexión con las Leyes de la termodinámica de Rifkin, 1990 y Rifkin, 2011.

Se llevaron a cabo las siguientes actividades:

1. Se les pidió a los estudiantes previamente las lecturas, aplicando las guías de aprendizaje y realizaron un cuadro sinóptico de los principales conceptos de aprendizaje cambio climático, energía, efecto invernadero e impacto ambiental, entregado por tareas de la plataforma TEMS.
2. Se realizó el taller correspondiente a la temática del punto 1, por medio de la plataforma TEMS y la experiencia de este espacio socio-educativo, donde se diseñó un cuadro sinóptico general, se recapituló lo visto a través de las reflexiones del mapa conceptual individual y sus puntos de vista, relacionándolo con la vida cotidiana de su entorno rural.
3. Posteriormente, se conformó un grupo de trabajo (focal 1) con 7 estudiantes (uno de cada zona) donde residen los estudiantes de propedéutico de la Universidad Autónoma de Chapingo de los Estados: Estado de México **13** (Acambay, Atenco, Chiconcuac, Chimalhuacan, Ixtlahuaca de Rayón, la Purificación, San Diego, San Luis Huexotla, San Vicente, Tequexquináhuac, Texcoco, Valle de Chalco, Villa Guerrero), Puebla **3** (Sierra negra, Huejutla de Reyes, Coyomeapan), Morelos **1**, Tlaxcala **1**, Chiapas **1**, Hidalgo **2** (Tulancingo), Veracruz **1**.
4. Se llevó a cabo la entrevista grupal en la plataforma TEMS por el profesor, a través de un guión de temas sobre desastre ambiental ocurrido en su comunidad o región, alguna eco-tecnología aplicada en su hogar, actividades que realizan diariamente que tienen repercusiones en el cambio climático, si creen que todas las personas del mundo sufren las mismas consecuencias del impacto ambiental, algunas soluciones para afrontar el cambio climático en su comunidad (Fernández, 2018).
5. Posteriormente, los estudiantes del grupo focal, pusieron en práctica algunos hábitos (reducir, reutilizar, reciclar, desconectar aparatos eléctricos, duchas cortas, etc.) y en su comunidad (poner bolsas de basura, colecta de ropa, clasificar basura, etc.) para la preservación en su entorno aprendizaje-servicio, por 6 semanas.

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

6. Se empleo, la la observación directa del estudiante en su comunidad e Impacto Ambiental, la realidad natural y compleja que se estudio será fácil de comprender y tratar.
7. Finalmente, se formo otro grupo focal 2, terminando las 6 semanas de cambió de hábitos conscientes en su comunidad, actividades para enfrentar el cambio climático, realizaron experiencias de aprendizaje-servicio aludiendo a los problemas ambientales en lo natural y social, incluyendo sus acciones factibles, visibles, divertidas, etc., se realizó una reflexión grupal interesante.

RESULTADOS

La Guía de Aprendizaje fue fundamental como recurso didáctico para orientar al estudiante alcanzar los resultados de aprendizaje esperado (RAE), principalmente con las lecturas previas, la construcción del mapa conceptual y la realización del taller correspondiente a la temática, se diseño el mapa conceptual general (figura 1), a través de TEAMS, donde se recapituló conceptos centrales y sus supuestos, algunas de las reflexiones importantes de los estudiantes fueron las siguientes: el impacto de los cambios científicos y tecnológicos en la economía, la fuerza de trabajo, la sociedad y el medio ambiente que amenazan romper con el equilibrio ecológico del planeta, a partir de esto, surge la sustentabilidad como nueva forma de crear el desarrollo, bienestar y progreso para mejorar las condiciones de vida y el impacto ambiental, estableciendo los sistemas de los recursos renovables, se empieza a pensar globalmente para actuar localmente, se establecen nuevas medidas para el ahorro energético y se exploran las energías alternativas para la obtención de energías, reciclaje, educación, agricultura y sistemas de vida alternativos, reconocen la deficiente formación ambiental del arquitecto en el diseño de edificios energéticamente eficiente, las altas emisiones de dióxido de carbono obligaron a los países desarrollados a comprometerse a bajar la producción de este mismo, mediante protocolos firmados en diferentes cumbre internacionales, el cambio climático, la desertificación, la deforestación son algunos de los efectos invernadero que está aumentando la temperatura a nivel mundial, la energía renovables depende de la transición y nivel de conciencia, la huella ecológica de cada persona, la energía como contaminación relaciona la naturaleza y la sociedad, en general los problemas económicos mundiales.

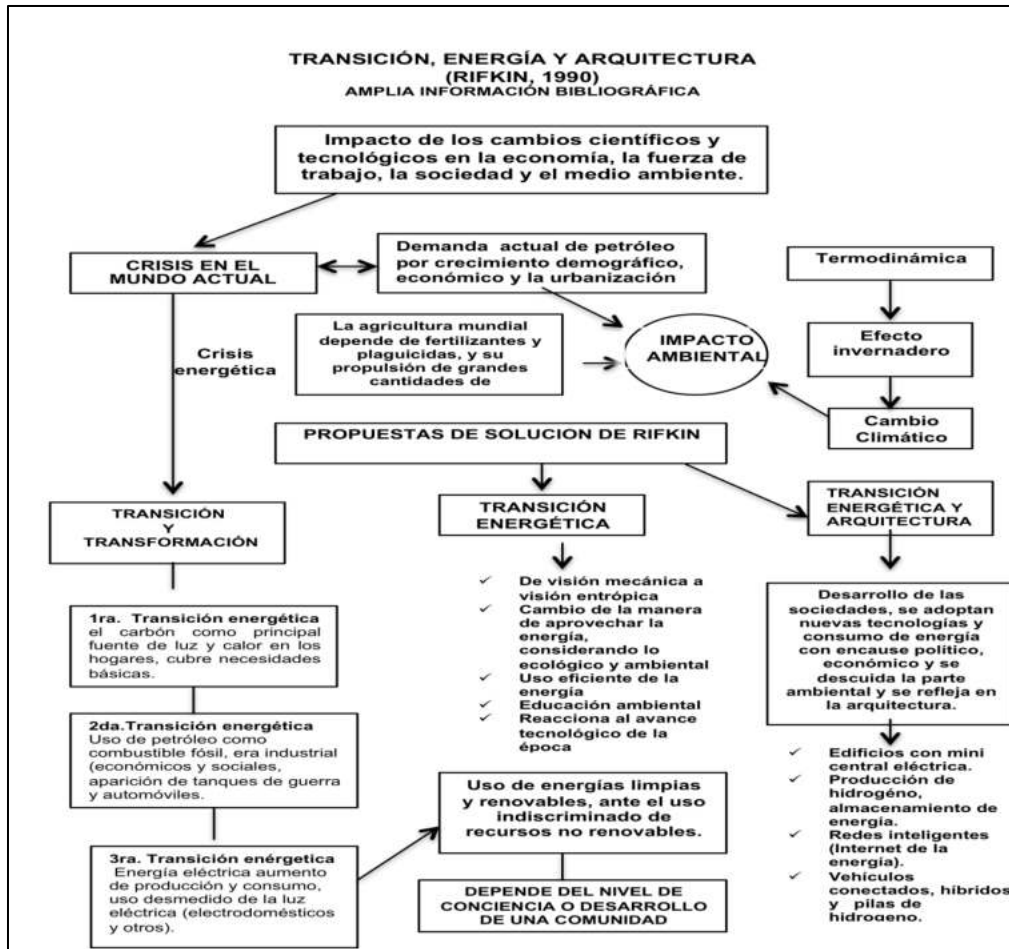


Figura 1. Mapa conceptual de conceptos centrales, supuestos y reflexiones de lecturas de Rifkin, 1990 y Rifkin, 2011, (autoría grupal).

El cuidado del planeta involucra a todos los seres vivos, la contextualización de la conciencia es de reflexión, la apropiación del conocimiento, la aplicación de las guías de aprendizaje en el curso de grupo genero conocimientos medioambientales en los estudiantes, infiriendo en la metodología empleada acerca de la información a los estudiantes generando conocimiento, actitudes favorables y tomar conciencia, no basta enseñar desde la naturaleza, educar para el medio ambiente, cabe mencionar que estas guías no pretenden lograr en los estudiantes un conocimiento acabado de los temas (cambio climático, energía, efecto invernadero e impacto ambiental), ya que son temas complejos y de largo alcance, posible de lograr si se continúa trabajando sistemáticamente en el aula la educación ambiental, así como el conocimiento de sus propios problemáticas ambientales locales.

El grupo focal 1 como técnica de recolección de datos y la guía de aprendizaje permitió percibir al estudiante y reflexionar, acerca cuál es la realidad del impacto ambiental en su comunidad, (Tabla 1), el DIA, se definido, como una alteración o cambio generado en los ecosistemas, que deteriora la calidad de vida de las poblaciones que en él se desarrollan (Fernández, 2018), lo que expresan los estudiantes y de forma colectiva

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

en la entrevista, pudieron identificar de manera directa el desastre ambiental como son los problemas de basura, socavon, desechos tóxicos en algunas zonas y lo que provoca el abrir caminos, algunos han sufrido sequías y el agua contaminada, en algunos casos la quema de bosques, piensan también que han sido provocados por la misma comunidad como resultado de sus necesidades humanas o por la propia naturaleza pero, ¿cómo se puede modificar la realidad, de cómo vivir?, los estudiantes sienten que deben de tomar responsabilidad, la teoría la asocian a contenidos de temas ambientales, los juicios que se hacen y la toma de conciencia, las actitudes hay que ponerlas en práctica, lo que implica, la realidad que les toca vivir es compleja, necesitan y disposición hacia el cuidado del planeta, preservación en su entorno escuela-comunidad, aprendizaje-servicio, creen que el tema de la energía es un tema que los involucra a todos en general, todos estamos involucrados en el bienestar del planeta, empezando por ellos y su comunidad, a demás se observaron que en su comunidad utilizan algunas ecotecnologías, principalmente recolecta de agua de lluvia, huertos caseros y calentadores solares porque tienen problemas de energía eléctrica.

Tabla 1. Resultados de la entrevista grupo focal 1. Autoria propia.

IDENTIFICACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL EN LAS COMUNIDADES	
Nombra un ejemplo de alguna ecotecnología en tu comunidad	• Calentador solar • Huertos caseros • Biodigestores • Baños secos (composta). • Recolecta de agua de lluvia • Cactador de aguas grises • Separación de desechos de la basura.
¿Cuál es el peor desastre ambiental ocurrido en tu comunidad?	▪ Basura (veracruz) ▪ Socavon (cuernavaca) ▪ Contaminación por hacer caminos (Tequexquahuac) ▪ Desechos tóxicos (Hidalgo) ▪ Sequias (canales de agua, no agua potable) ▪ Agua sucia (Valle de chalco) ▪ Quema de bosques (Siberia)
¿Alguna de las actividades que realizas diariamente tienen repercusiones en el cambio climático?	○ Uso diario de electrodomésticos ○ Uso de plástico ○ Vehículos, transporte ○ Estar en clase en línea ○ Alimentación ○ Desechos orgánicos ○ Vestimenta ○ Floricultura (fertilizantes químicos y pesticidas) ○ Combustible, fiestas, ferias y cohetes. ○ Quema de basura
¿Crees que todas las personas del mundo sufren las mismas consecuencias del impacto ambiental?	❖ Tiene que ver el nivel socioeconómico ❖ Ubicación geográfica ❖ La sobrepoblación ❖ donde hay producción de tierra, etc. ❖ Turismo

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

En grupo focal 2, después de aplicar algunos hábitos en su comunidad por 6 semanas, (Tabla 2), se observó la percepción del aprendizaje propio y cada estudiante, las actitudes y conocimientos de los estudiantes, como resultado del análisis de la entrevista del grupo focal 1, indicaron que se pueden producir cambios pertinentes en sus vidas cotidianas, en cuanto al consumo en general de electricidad, disminución y mejorar el gasto de recursos naturales bajo el prototipo del “cuidado del planeta”, apagar luces que no ocupó, clasificar la basura, cerrar las goteras de agua, intento ahorrar agua (tomando duchas rápidas), indican que su nivel socioeconómico (alto y altamente marginados) de sus familias les sirvió por que tratan de consumir lo que siembran y consumir lo de sus poblados, un estudiante en su comunidad puso bolsas de basura en la zona donde juegan fútbol, otro se encargó de juntar ropa que no utilizan y reutilizarla para las familias más pobres, empezando a tomar conciencia, si es posible inferir que hay una relación vinculada, el cambio de actitudes en forma individual y colectiva, estas actividades nos ayudaron a alcanzar un nivel más alto de conciencia sobre el mundo en que vivimos y la manera como cuidarlo y hacerse cargo de sus residuos sólidos y evitar que se aglutinen sobre como cuidar el agua, la energía y la luz, preservación en su aprendizaje-servicio, figura 3.

Tabla 2. Resultados del grupo focal 2, después de 6 semanas (autoría propia).

PROPUESTAS	
¿Como se puede enfrentar el cambio climático en tu comunidad?	¿Cómo persona que hábitos adquiriste para tu conciencia?
✓ Educación ambiental ✓ Promoviendo energías alternativas ✓ Importancia que tiene la biodiversidad y ecosistemas para la sociedad ✓ Dejar de ser una sociedad consumista ✓ Exigir a los representantes de las comunidades cambios rápidos y eficaces. ✓ Mediante acuerdos comunales ✓ Reducir los gases del efecto invernadero que afectan y contribuyen a la temperatura global ✓ Reducir la generación de basura ✓ Controlar la población humana mundial. ✓ Utilizar transporte público ✓ Reducir y reutilizar, informar y educar a los demás. ✓ Los procesos térmicos, la mayoría son irreversibles, lo mejor que podemos hacer es cambiar nuestro estilo de vida mundial. ✓ Promover la energía sustentable y renovable ✓ Disminuyendo el uso de energías fósiles sustituyendo por nuevas y mejores ✓ Cuidar arrecifes y manglares son parte importante de la cadena de gases, cuidado de zonas marinas y costeras de gran importancia ✓ Reforestación, limpieza y cuidados constantes. ✓ Alteraciones del ciclo del agua	✓ Cuidar el agua ✓ Clasificar la basura ✓ Utilizar bicicleta o caminar ✓ Ahorrar energía eléctrica (desconectar aparatos eléctricos cuando no se usen). ✓ Reducir el tiempo en la ducha ✓ Reducir y reutilizar ✓ Utilizar bombillas LED o de bajo consumo ✓ Comprar productos locales y de temporada ✓ Llevar bolsas reutilizables a las compras ✓ Reciclar productos usados: papel, plástico, vidrio y aluminio. ✓ Reducir la huella hídrica y la basura. ✓ Tener una verdadera intención ✓ Informar y educar a las generaciones, reducir y reutilizar el agua ✓ No quemar basura ✓ Cuidar y restaurar los bosques y selvas ✓ Utilizar energías renovables ✓ Evitar productos plásticos

Décimo Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas y Agronómicas
Universidad Autónoma Chapingo, México, 21 y 22 de octubre de 2021
Chapingo, México

✓ Agotamiento de recursos naturales necesarios para la vida humana ✓ Muerte, migración y extinción de algunas especies ✓ Acidificación y contaminación del agua ✓ Fenómenos meteorológicos ✓ Se requieren acciones, compromisos internacionales sobre todo los países con mayores emisiones sin alterar su calidad de vida, cuidado y constante, el individuo tome en serio el cuidado de nuestro ambiente y mantenerlo. ✓ Fomentar el cuidado del medio ambiente en jóvenes y niños, conservación de áreas naturales	
---	--

Las actividades de los estudiantes originaron cambios en su comunidad y en ellos mismos pudieron proponer algunas actividades para enfrentar los cambios climáticos en su comunidad y adquirieron hábitos concientes como resultado de su experiencia, se consiguió a estudiantes capaces de establecer acciones y actividades factibles, visibles, divertidas y creativas para mitigar el deterioro ambiental preservación en su entorno con aprendizaje-servicio, igualmente, son capaces para obtener información de forma directa e indirecta, diseñar programas y proyectos ecológicos, ampliar habilidades, actitudes, competencias y compromisos para solucionar y mitigar problemas de su entorno. Los hizo reflexionar que su comunidad puede estar en desventaja y sufrir consecuencias del impacto ambiental depende de su nivel socioeconómico, su ubicación geográfica, la sobrepoblación, y principalmente donde hay producción de tierra y turismo.

CONCLUSIÓN

En su contexto el estudiante, vinculó los conocimientos previos de su aprendizaje, a través de las guías de aprendizaje y los grupos focales con el fin de obtener respuestas individuales y colectivas, de interés y apertura por la problemática ambiental, con recursos didácticos y herramientas tecnológicas de apoyo a la enseñanza con el observación directa, desarrollando un pensamiento crítico y capaz de resolver problemas con planificación e implementación en el aula virtual y promoviendo la participación con acciones ambientales en el desarrollo de una sociedad sustentable e inclusiva en su comunidad, con proyectos de aprendizaje-servicio en la educación ambiental en sus comunidades, siendo solidarios, vista la educación ambiental como un proceso de concientización y promoción social para la resolución de problemas ambientales en pos de la sustentabilidad, dirigido a todos los sectores de la comunidad, sistema educativo formal, el no formal y la comunidad.

BLIBLIOGRAFIA

Anzolin, A. (2006). *Lazos verdes: nuestra relación con la naturaleza*. Ed. Maipue. Buenos Aires, Argentina, 320 pp.

Durán, D. (2018). *Proyectos ambientales y sustentabilidad*. Ed. Lugar. Buenos Aires, 286 pp.

Educación ambiental en México ° Hombre Naturaleza
<https://hombrenaturaleza.org.mx>

Fernández, G. D. (2018). *Ecología y medio ambiente*. Pearson. México, 154 pp.

Hernández, J. L. (2013), *Informe del departamento de Preparatoria Agrícola de la UACH*. México, Universidad Autónoma Chapingo, 55 pp.

Luaces, M., P. (2010). *Educación medioambiental*. Ed. De la U, Bogotá, Colombia, 109 pp.

Pérez, S. M., Levera, M. R. & Carranza, A. E. (2010). *Perfil de Ingreso 2010*. 1ª. Ed. 2017. México, Universidad Autónoma Chapingo. 164 pp.

PRIMERA PARTE:

HABITAR EL DESIERTO – PRIMERA PARTE/ TRANSICIÓN, ENERGÍA Y ARQUITECTURA... 34
[RIFKIN, 1990] Entropía: Hacia el mundo invernadero. Ed. Urano. Barcelona.

<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6112/02CAPITULO1A.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
(PDF).

Rifkin, Jeremy, La Tercera Revolución Industrial – SciELO....por JM Lastra Lastra 2017
mencionado por 12 – Para Rifkin, los pilares de la Tercera Tevolución Industrial son: mayor... y
transición del uso de hidrógeno como elemento de....

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0041-86332017000301457

Sampieri, H. R. (2003). *Metodología de Investigación*. 3ra. edición. Mcgraw-Hill/interamericana editores, s.a. de c.v. México. 705 pp.

Taylor, S. J. & Bogdan, R. (2000). *Introducción a los Métodos Cualitativos*. Ediciones Paidós, 3ra. edición, México, 301 pp