

# Matemáticas Aplicadas

Una aproximación a las Ciencias Sociales y Naturales

## *Handbook T-I*

SEPÚLVEDA-JIMÉNEZ, Daniel  
PÉREZ-SOTO, Francisco  
SEPÚLVEDA-ROBLES, Daniel Eduardo  
FIGUEROA-HERNÁNDEZ, Esther  
SALAZAR-MORENO, Raquel  
GODÍNEZ-MONTOYA, Lucila

*Directores*



## **ECORFAN Matemáticas Aplicadas**

---

El Handbook ofrecerá los volúmenes de contribuciones seleccionadas de investigadores que contribuyan a la actividad de difusión científica de ECORFAN en su área de investigación en Matemáticas Aplicadas. Además de tener una evaluación total, en las manos de los editores de la Universidad Autónoma Chapingo que colaboraron con calidad y puntualidad en sus capítulos, cada contribución individual fue arbitrada a estándares internacionales (RENIECYT-LATINDEX-DIALNET-ResearchGate-DULCINEA-CLASE- Sudoc- HISPANA-SHERPA-UNIVERSIA-eREVISTAS-ScholarGoogle-DOI-REBID-Mendeley), el Handbook propone así a la comunidad académica, los informes recientes sobre los nuevos progresos en las áreas más interesantes y prometedoras de investigación en Matemáticas Aplicadas.

**Ramos-Escamilla, María**

Editor

# **Matemáticas Aplicadas**

Universidad Autónoma Chapingo. Julio, 2016.

# ECORFAN®

## *Directores*

Sepúlveda-Jiménez, Daniel  
Pérez-Soto, Francisco  
Sepúlveda-Robles, Daniel Eduardo  
Figueroa-Hernández, Esther  
Salazar-Moreno, Raquel  
Godínez-Montoya, Lucila

Universidad Autónoma Chapingo

ISBN: 978-607-8324-67-5

Sello Editorial ECORFAN: 607-8324

Número de Control HMAE: 2016-01

Clasificación HMAE (2016): 100816-0101

## **©ECORFAN-México, S.C.**

Ninguna parte de este escrito amparado por la Ley Federal de Derechos de Autor, podrá ser reproducida, transmitida o utilizada en cualquier forma o medio, ya sea gráfico, electrónico o mecánico, incluyendo, pero sin limitarse a lo siguiente: Citas en artículos y comentarios bibliográficos, de compilación de datos periodísticos radiofónicos o electrónicos. Para los efectos de los artículos 13, 162, 163 fracción I, 164 fracción I, 168, 169, 209 fracción III y demás relativos de la Ley Federal de Derechos de Autor. Violaciones: Ser obligado al procesamiento bajo ley de copyright mexicana. El uso de nombres descriptivos generales, de nombres registrados, de marcas registradas, en esta publicación no implican, uniformemente en ausencia de una declaración específica, que tales nombres son exentos del protector relevante en leyes y regulaciones de México y por lo tanto libre para el uso general de la comunidad científica internacional. HMA es parte de los medios de ECORFAN-México, S.C., E:94-443.F:008-([www.ecorfan.org](http://www.ecorfan.org))

## Prefacio

Una de las líneas estratégicas de la misión y visión universitaria ha sido la de impulsar una política de ciencia, tecnología e innovación que contribuya al crecimiento económico, a la competitividad, al desarrollo sustentable y al bienestar de la población, así como impulsar una mayor divulgación en beneficio del índice de desarrollo humano, a través de distintos medios y espacios, así como la consolidación de redes de innovación de la investigación, ciencia y tecnología en México.

La Universidad Autónoma Chapingo visualiza la necesidad de promover el proceso de la investigación, proporcionando un espacio de discusión y análisis de los trabajos realizados fomentando el conocimiento entre ellos y la formación y consolidación de redes que permitan una labor investigativa más eficaz y un incremento sustancial en la difusión de los nuevos conocimientos. Este volumen I contiene 14 capítulos arbitrados que se ocupan de estos asuntos en Matemáticas Aplicadas, elegidos de entre las contribuciones, reunimos algunos investigadores y estudiantes.

*Montalban, I. Vázquez, R. Guillen, E. Fitz* presentan una síntesis y análisis del mecanismo principal de una máquina limpiadora de semillas pequeñas; *Sepúlveda, Sepúlveda y Figueroa*, acotan sobre la generalización del modelo eMICA para medir el grado de implementación del comercio electrónico en el sector agroindustrial mexicano; *Sepúlveda, Loera y Sepúlveda* se refieren a modelos microscópicos y macroscópicos para captura de agua y nutrientes por la raíz de la planta; *Rodríguez, López, Salazar y Ramírez*, indican la modelación del patrón de crecimiento del cultivo de jitomate de invernadero con lógica difusa; *Solis, Lugo y Zarco* plantean una plataforma de software libre para automatizar la geolocalización de productores de invernadero, *Escalante, Rodríguez y Escalante* esbozan su artículo sobre modelos empíricos que estiman la biomasa en función de la radiación interceptada y el índice de área foliar en girasol; *Flores y Rojano* presentan su investigación sobre estimación de costos para refrigeración emergente en invernadero para cultivar tomate (*Solanum lycopersicum*), *López, Valiente, Solís y Fitz*, acotan sobre el mecanismo dosificador para el empaque de tuna: Síntesis y análisis; *Gómez*, plantean su evaluación sobre el prototipo de máquina vibradora para clasificar ajo, *Bedoya, Salazar, Pérez y Portillo*, indican sobre la simulación de la producción de café (*Coffea*) en Brasil con Redes Neuronales (RNA); *Mercado, Guido y Ojeda* presentan su investigación sobre análisis probabilístico de datos de escurrimientos estacionales. Casos: Ríos Conchos y San Pedro, *Salazar, López, Fitz y Rojano*, tienen su artículo en inglés titulado: Layered digital dynamic network for prediction purposes, *Rojano y Salazar* esbozan sobre la geometría proyectiva para el caso de identificación de árboles, *Márquez, Ordoñez, Zena y Fitz*, presentan un diseño de un mecanismo anudador de bolsas para el empaque de frutos secos.

Quisiéramos agradecer a los revisores anónimos por sus informes y muchos otros que contribuyeron enormemente para la publicación en éstos procedimientos repasando los manuscritos que fueron sometidos. Finalmente, deseamos expresar nuestra gratitud a la Universidad Autónoma Chapingo en el proceso de preparar esta edición del volumen.

*Sepúlveda-Jiménez, Daniel*  
*Pérez-Soto, Francisco*  
*Sepúlveda-Robles, Daniel Eduardo*  
*Figuroa-Hernández, Esther*  
*Salazar-Moreno, Raquel*  
*Godínez-Montoya, Lucila*

Texcoco de Mora- México. Julio, 2016.

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
<b>1 Síntesis y análisis del mecanismo principal de una máquina limpiadora de semillas pequeñas</b> <i>MONTALBAN-GIL, Carlos Alan, VÁZQUEZ-MENDOZA, Iván, GUILLEN-DOMÍNGUEZ, Ramón Alberto, FITZ-RODRÍGUEZ, Efrén</i>	1-9
<b>2 Generalización del modelo eMICA para medir el grado de Implementación del comercio electrónico en el sector agroindustrial mexicano</b> <i>SEPÚLVEDA-ROBLES, Daniel Eduardo, SEPÚLVEDA-JIMÉNEZ, Daniel y FIGUEROA-HERNÁNDEZ, Esther</i>	10-21
<b>3 Modelos microscópicos y macroscópicos para captura de agua y nutrientes por la raíz de la planta</b> <i>SEPÚLVEDA-JIMÉNEZ, Daniel, LOERA-MARTÍNEZ, Jesús y SEPÚLVEDA-ROBLES, Daniel Eduardo</i>	22-33
<b>4 Modelación del patrón de crecimiento del cultivo de jitomate de invernadero con lógica difusa</b> <i>FITZ-RODRÍGUEZ, Efrén, LÓPEZ-CRUZ, Irineo L., SALAZAR-MORENO, Raquel y RAMÍREZ-ARIAS, Armando</i>	34-41
<b>5 Plataforma de software libre para automatizar la geolocalización de productores de invernadero</b> <i>SOLIS-CIELO, Enrique, LUGO-ESPINOSA, Oziel y ZARCO-HIDALGO, Alfonso</i>	42-52
<b>6 Modelos empíricos que estiman la biomasa en función de la radiación interceptada y el índice de área foliar en girasol</b> <i>ESCALANTE-ESTRADA, José Alberto Salvador, RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, María Teresa y ESCALANTE-ESTRADA, Yolanda Isabel</i>	53-58
<b>7 Estimación de costos para refrigeración emergente en invernadero para cultivar tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>)</b> <i>FLORES-VELAZQUEZ, Jorge y ROJANO-AGUILAR, Abraham</i>	59-70
<b>8 Mecanismo dosificador para el empaque de Tuna: Síntesis y análisis</b> <i>LÓPEZ-DELGADO Juan Manuel, VALIENTE-GONZALES, Javier y SOLÍS-DE LA CRUZ, Flavio y FITZ-RODRÍGUEZ, Efrén</i>	71-76
<b>9 Prototipo de máquina vibradora para clasificar ajo</b> <i>GÓMEZ-ÁGUILA, María Victoria</i>	77-89
<b>10 Simulación de la producción de café (<i>Coffea</i>) en Brasil con redes neuronales (RNA)</b> <i>BEDOYA-CARDOSO, Marlio, SALAZAR, Raquel, PÉREZ, Francisco y PORTILLO, Marcos</i>	90-99



<b>11 Análisis probabilístico de datos de escurrimientos estacionales. Casos: Ríos Conchos y San Pedro</b>	100-109
<i>MERCADO-ESCALANTE, José Roberto, GUIDO-ALDANA, Pedro, OJEDA-BUSTAMANTE, Waldo</i>	
<b>12 A Layered digital dynamic network for prediction purposes</b>	110-118
<i>SALAZAR-MORENO, Raquel; LÓPEZ-CRUZ, Irineo; FITZ-RODRÍGUEZ, Efrén y ROJANO-AGUILAR, Abraham</i>	
<b>13 Geometría proyectiva para el caso de identificación de arboles</b>	119-122
<i>ROJANO-AGUILAR Abraham y SALAZAR-MORENO Raquel</i>	
<b>14 Diseño de un mecanismo anudador de bolsas para el empaque de frutos secos</b>	123-130
<i>MÁRQUEZ-RODRÍGUEZ, Víctor, ORDOÑEZ-MENDOZA, Aldo, ZENA-HERNÁNDEZ, Mario Jared y FITZ-RODRÍGUEZ, Efrén</i>	
Apéndice A. Consejo Editor Universidad Autónoma Chapingo	131
Apéndice B. Consejo Editor ECORFAN	132-134
Apéndice C. Consejo Arbitral ECORFAN	135

## **Síntesis y análisis del mecanismo principal de una máquina limpiadora de semillas pequeñas**

MONTALBAN-GIL, Carlos Alan, VÁZQUEZ-MENDOZA, Iván, GUILLEN-DOMÍNGUEZ, Ramón Alberto, FITZ-RODRÍGUEZ, Efrén

C. Montalban, I. Vázquez, R. Guillen, E. Fitz

Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, km 38.5 carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México, C.P. 56230, México.  
efitzr@gmail.com

D. Sepúlveda, F. Rérez, D. Sepúlveda, E. Figueroa, R. Salazar, L. Godínez (eds.) Matemáticas Aplicadas. Handbook T-I. -©ECORFAN, Texcoco de Mora-México, 2016.

## Abstract

Cleaning of small seeds, such as chia or amaranth is a problem for small growers, since it is a task carried out manually. Furthermore, acquiring a machine for doing such task is not economically feasible, due to the low production volumes. For this reason, a design of a small seed cleaning machine for small growers is proposed. For designing this machine, an analytical synthesis of a four-bar linkage with rocker output was performed, achieving the required movement on the sieve for cleaning of the seeds. The main task of the design was the synthesis and analysis of the four-bar mechanism applying the vector loop representation of linkages for calculating the position, speed, acceleration and jerk of the output link. SOLIDWORKS and Matlab<sup>TM</sup> software were used in the design process. The resulting mechanism provided the movement and jerking required for cleaning the small seeds adequately.

## 1 Introducción

La producción de semillas pequeñas, tales como la chíá (*Salvia hispanica L.*) y el amaranto (*Amaranthus spp.*), ocupa un lugar importante en el sector productivo agrícola en México, estimándose una superficie de más de 3100 hectáreas de producción de amaranto y 2720 hectáreas de chíá (COFUPRO-Fundación produce Tlaxcala, 2013). La producción es en superficies menores a 5 hectáreas y en promedio se siembran 2.52 ha en la zona de Puebla, Morelos y Tlaxcala lo que caracteriza a los productores como minifundistas, estos productores difícilmente son sujetos a crédito por parte de las instituciones financieras, por ello difícilmente están en condiciones de adquirir maquinaria en el mercado y que se adapte a sus volúmenes de producción (Ayala *et al.*, 2014).

En las diversas zonas donde se cultiva amaranto, la tecnología utilizada es tradicional, lo cual implica el uso limitado o nulo de maquinaria e insumos que permitan explotar el potencial del cultivo y poder incrementar la producción por unidad de área, debido básicamente a que en general es un cultivo de temporal con un manejo laborioso; además de que el empleo de mano de obra es elevado (Parra *et al.*, 2012; Ayala *et al.*, 2012).

El proceso de limpieza de las semillas es un factor determinante en el precio de venta. Ésta labor se realiza comúnmente de manera manual y requiere de mucho tiempo, energía y el resultado no siempre es efectivo. Esto aplica principalmente a productores pequeños, que no cuentan con la tecnología adecuada para realizar el proceso con una mayor eficiencia.

Las características físico-mecánicas de las semillas pequeñas, como el peso y el tamaño de las semillas, complican el proceso de separación de la semilla de otros materiales residuales, dado que éstas resultan ser muy volátiles y guardan gran cantidad de polvo y otros residuos al momento de la cosecha e incluso durante su limpieza, lo que ocasiona que esta última labor, resulte complicada e ineficiente. Esto tiene repercusión en la economía de los productores, ya que la semilla sale a la venta aun con residuos y provoca una caída en su precio.

Este proyecto surge como respuesta a satisfacer las necesidades de un usuario en particular, en este caso, el Departamento de Agroecología de la Universidad Autónoma Chapingo, el cual realiza año con año la siembra de Chía y Amaranto. El volumen de producción es de aproximadamente 150 kg de chía y amaranto con lo que se obtiene una cantidad de semilla considerable. La limpieza de las semillas, se realiza tradicionalmente de forma manual.

El proceso de limpia de la chía consiste en desvarar la planta y “tallarla” a mano, posteriormente se pasa todo por una criba lo que la separa de las varas más grandes provocando que la chía quede con polvo más fino y otros residuos. La limpieza culmina soplando para retirar el polvo, lo que no sólo provoca una gran pérdida de semilla sino también resulta en riesgos para el trabajador, causando molestias en ojos y garganta. De manera similar la semilla de amaranto sólo se pasa por la criba en varias ocasiones. Con estos procesos de limpia, es inevitable la pérdida de semilla, por lo que al final de la limpieza se han perdido varios kilos. Dada esta problemática, se vuelve necesario mejorar la eficiencia en la limpia de chía y amaranto, con el objetivo tener una mejor calidad y presentación en las semillas. Además de facilitar la tarea y ofrecer mejores condiciones de salud a los operadores.

Como proyecto del curso de la asignatura Análisis y Síntesis de Mecanismos de la Carrera de Ingeniería Mecánica Agrícola de la UACH, se planteó proponer una solución al problema de limpieza de semillas pequeñas al diseñar una máquina que se adecúe al volumen de producción de los pequeños productores.

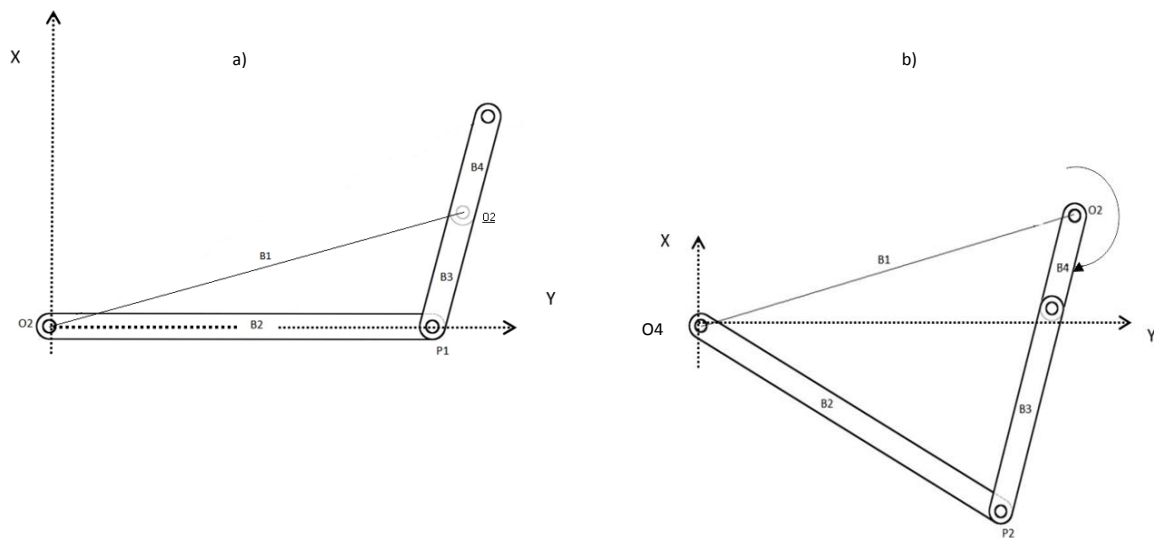
## 1.1 Materiales y métodos

Para el diseño del mecanismo principal de la máquina limpiadora de semillas pequeñas se implementó la síntesis analítica de dos posiciones para un mecanismo de cuatro barras con salida de balancín de acuerdo a la metodología propuesta por Norton (2012). Con esta metodología se determinaron las dimensiones de cada uno de los eslabones del mecanismo, con lo cual se obtuvo el movimiento requerido en la criba donde se deposita el material a limpiar.

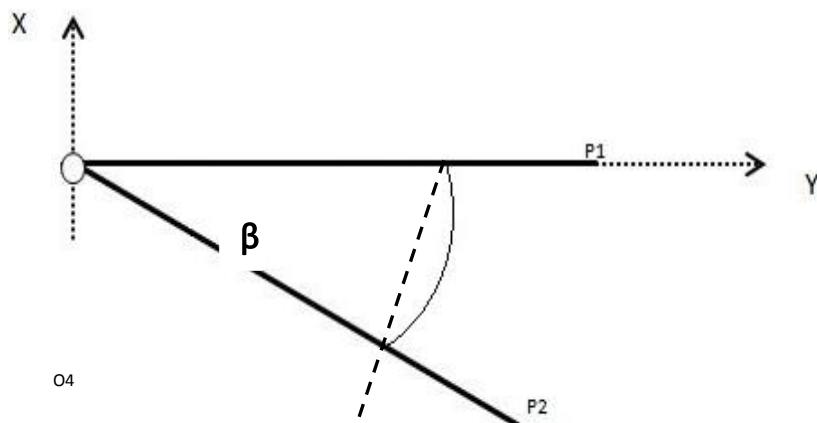
En el esquema del mecanismo de cuatro barras con salida de balancín (Figura 1), se muestra la configuración de los eslabones B1, B2, B3, B4 correspondientes al eslabón fijo, de salida, acoplador y motriz, respectivamente. El eslabón motriz y de salida, ambos tienen centro de rotación en O2 y O4, respectivamente.

El movimiento requerido de la criba (acoplada a B2), representado por la distancia del punto  $P1-P2$  (Figura 2), determina directamente la dimensión del eslabón B4, el cual representa la mitad del recorrido  $P1-P2$ . El eslabón B2 con movimiento angular  $\beta$  (Figura 1.1), produce el movimiento necesario para “sacudir” la criba y lograr la limpieza de la semilla. La malla de la criba deja pasar la semilla, dejando el rastrojo en la parte superior para después ser enviado a un componente donde quedan todos los residuos.

**Figura 1** Mecanismos de cuatro barras con salida de balancín (eslabón B2) en la posición: a) colineal cruzada y b) colineal abierta, de los eslabones motriz (B4) y acoplador (B3)



**Figura 1.1** Movimiento angular del eslabón de salida (B2), donde se acopla la criba de limpieza



Para imitar el movimiento manual de sacudir la criba de limpieza se seleccionó un mecanismo que produjera una salida de balancín. El mecanismo más simple es uno de cuatro barras con proporción de eslabones que cumplan la condición Grashof y donde el eslabón fijo (B1) es uno de los adyacentes al eslabón más corto (B4), esto resulta en un mecanismo manivela-balancín.

Una vez que se sintetizó el mecanismo, se desarrolló el análisis de posición, velocidad, aceleración y sacudimiento, para cada uno de los eslabones del mecanismo. Para el análisis analítico se implementó el método de lazo vectorial (Figura 1.2).

Para el análisis cinemático del mecanismo se plantea el método analítico basado en la descomposición por diadas del mecanismo y su representación en lazo vectorial (Figura 1.2).

Las ecuaciones del modelo analítico se derivan a partir de la suma de vectores (que representan a cada uno de los eslabones) y por el método de lazo vectorial, resultando:

$$R1+R2-R3-R4 = 0$$

Usando la notación de Euler para cada vector y derivado respecto al tiempo, se obtienen las siguientes ecuaciones para posición, velocidad, aceleración y sacudimiento, respectivamente.

$$ae^{j\theta_1} + be^{j\theta_2} - ce^{j\theta_3} - de^{j\theta_4} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{d}{dt}[ae^{j\theta_1} + be^{j\theta_2} - ce^{j\theta_3} - de^{j\theta_4}] = 0 \quad (1.1)$$

$$\frac{d}{dt}[bje^{j\theta_2}\omega_2 - cje^{j\theta_3}\omega_3 - dje^{j\theta_4}\omega_4] = 0 \quad (1.2)$$

$$\frac{d}{dt}[bje^{j\theta_2}\alpha_2 - be^{j\theta_2}\omega_2^2 - cje^{j\theta_3}\alpha_3 + ce^{j\theta_3}\omega_3^2 - dje^{j\theta_4}\alpha_4 + de^{j\theta_4}\omega_4^2] = 0 \quad (1.3)$$

donde:

$a = B1$ ,  $b = B2$ ,  $c = B3$ ,  $d = B4$ ,  $\theta_1$ ,  $\omega_1$ ,  $\alpha_1$  Son las longitudes de cada eslabón, posición angular, velocidad angular, aceleración angular y sacudimiento angular respectivamente. Los cuales son datos de entrada, adicionalmente se usara  $\varphi_2$  después de desarrollar la ecuación de sacudimientos.

Al desarrollar las ecuaciones anteriores se pueden obtener distintas variables como:

$$\theta_2, \theta_3, \theta_4, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4 \quad (1.4)$$

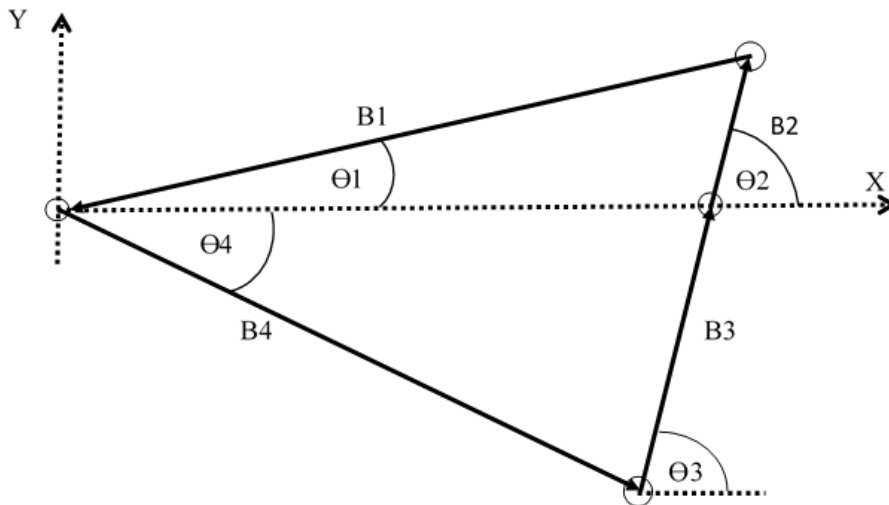
Que representan la posición angular, la velocidad angular, la aceleración angular y sacudimientos de cada uno de los eslabones (donde el subíndice indica el número de eslabón). Al mismo tiempo se puede obtener la posición, velocidad, aceleración y sacudimientos lineales en los eslabones.

Las ecuaciones del modelo analítico se implementaron en un algoritmo de Matlab para analizar la cinemática del mecanismo en función del desplazamiento angular ( $\omega_4$ ) del eslabón motriz (B4). Con esto se logró poder analizar el comportamiento cinemático del mecanismo al reajustar cualquiera de las longitudes de los eslabones. Cabe mencionar, que B1 y  $\theta_1$  siempre son constantes, los demás parámetros B2, B3, B4, se pueden variar, y  $\theta_2$ ,  $\theta_3$ ,  $\theta_4$  dependerán de la posición del mecanismo.

Una vez determinado las longitudes de los eslabones del mecanismo que garantizaba el movimiento deseado, se implementó el diseño en el software de diseño paramétrico-3D, SOLIDWORKS (Figura 1.3), con el cual también se diseñaron el resto de los componentes de la máquina limpiadora.

Una vez definida la síntesis de tipo del mecanismo a utilizar, se analizaron los posibles diseños de la máquina, para poner a funcionar el mecanismo, se concluyó que la opción más viable sería usar una caja con planos inclinados en la cual la semilla pasara por una cribadora que realiza un movimiento tipo de vaivén, accionada por el mecanismo, en esta se filtra, separando así las partículas de rastrojo más grandes, posteriormente las semillas caerían en el plano inclinado donde aún quedan partículas finas no deseadas, las cuales son separadas con ayuda de un flujo de aire provisto por un ventilador, el cual termina el proceso de limpieza de la semilla.

**Figura 1.2** Representación vectorial del diagrama cinemático del mecanismo de cuatro barras

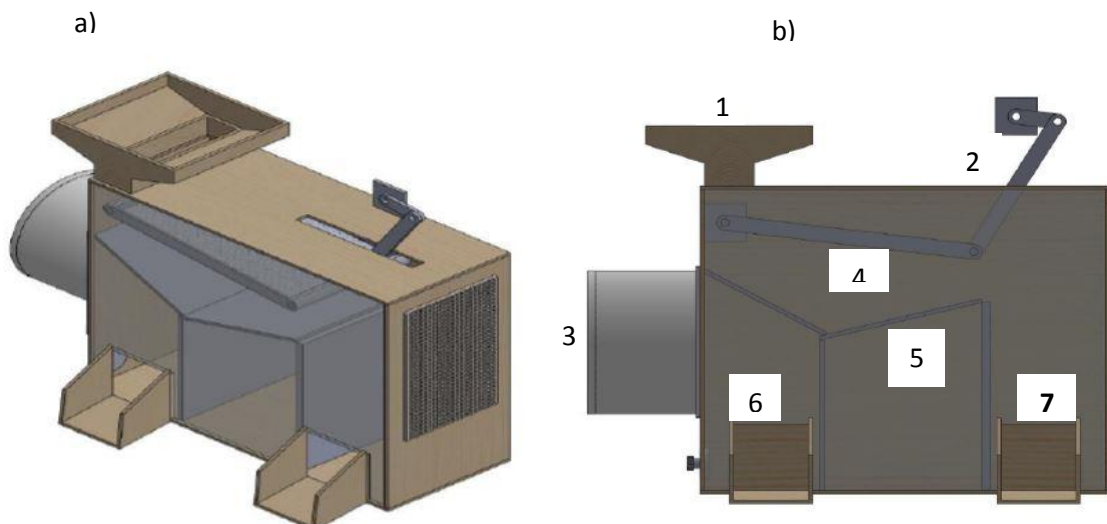


**Figura 1.3** Diseño paramétrico-3D de componentes del mecanismo de la máquina



Las dimensiones del resto de los componentes de la máquina (Figura 1.4) se establecieron en relación a la cantidad de semillas que la máquina debía limpiar, al no ser una gran producción, se decidió no exceder de 50cm (largo) x 20cm (ancho) x 40cm (altura), ya que entre más grande fuera la máquina, mayores serían los costos de los materiales y del motor requerido para accionarla.

**Figura 1.4** Prototipo de la máquina limpiadora. a) Vista isométrica y b) listado de componentes de la máquina: 1) Tolva de entrada de semillas, 2) Mecanismo, 3) Ventilador para flujo de aire, 4) Cribadora, 5) Plano inclinado, 6) Depósito de semilla limpia y 7) Depósito de rastrojo (basura)



## 1.2 Análisis y discusión de resultados

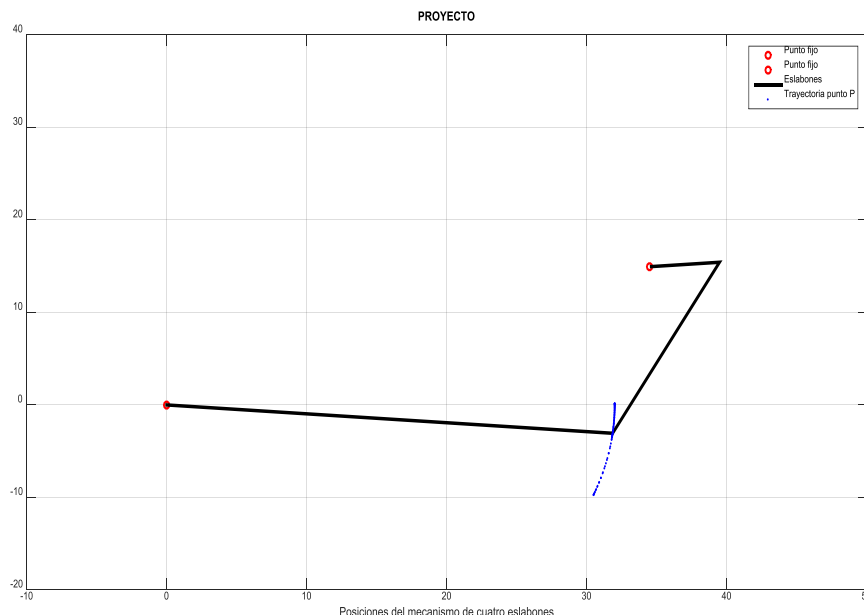
El análisis de la cinemática del mecanismo se centró principalmente en el punto P, en el rango de movilidad en sus posiciones límite P1-P2. Al igual que el eslabón de salida (B2).

Del resultado del análisis cinemático se observa la posición, la velocidad, la aceleración y el sacudimiento del eslabón (B2) y punto de interés (P), para cada instante de operación del mecanismo durante un ciclo completo (Figura 1.6). Se observa que no hay discontinuidades o cambios bruscos durante un ciclo de operación. Al no presentarse picos demasiado prolongados, significa que el mecanismo no tiene problemas de sacudimientos (cambios bruscos de aceleraciones).

Al observar la gráfica de posición del mecanismo (Figura 1.5) se puede constatar que cumple con los requerimientos establecidos dándonos una trayectoria específica con salida de balancín, en el segundo grupo de graficas (Figura 1.6) se puede observar que las gráficas del punto de interés (Punto P) son estables a lo largo de los ciclos lo que asegura que la maquina va a estar trabajando a un régimen constante sin cambios repentinos que afecten su desempeño y el sistema en general, sin embargo la maquina presenta también aceleraciones y sacudimientos discontinuos dentro del ciclo lo que consecuentemente podría afectar la aceleración del mecanismo sin embargo en los sacudimientos cumplen con la condición de inestabilidad necesaria para llevar a cabo su trabajo.

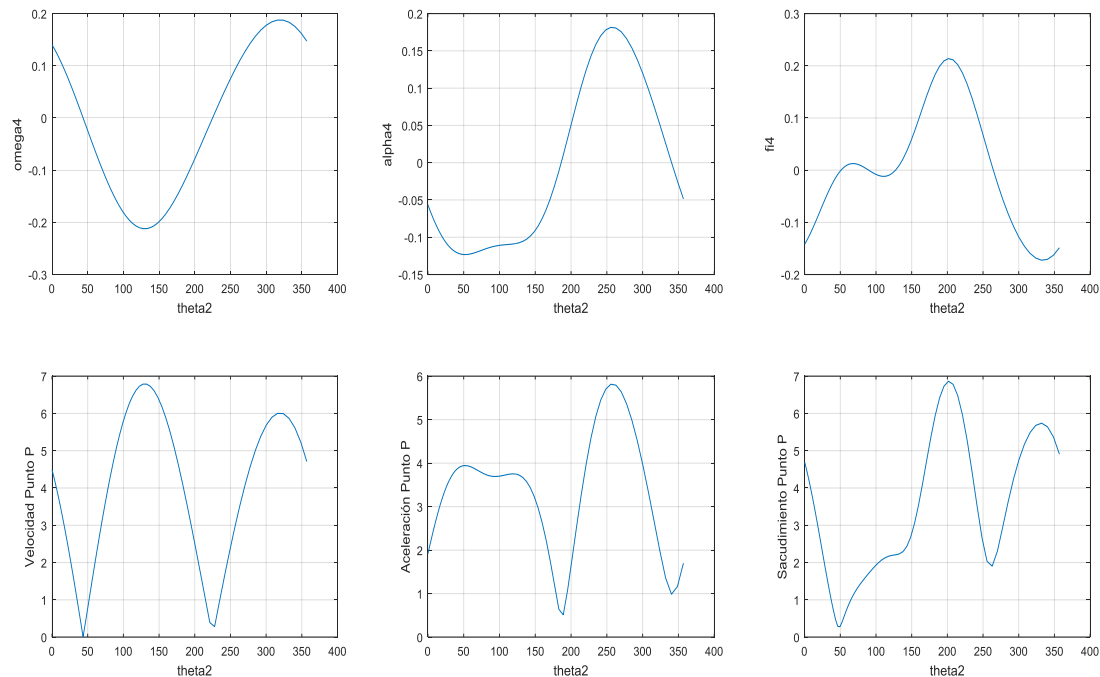
Existen aspectos que pueden ser mejorados en la maquina con la finalidad aumentar su rendimiento, especialmente en la criba y en el flujo de viento mismo que no fue estudiado y se requiere para determinar la potencia necesaria para realizar una limpieza correcta de las semillas de acuerdo con las características de ambas.

**Figura 1.5** Trayectoria definida por el punto de interés P, en el rango de movilidad





**Figura 1.6** Diagramas de velocidad, aceleración y sacudimiento, angulares del eslabón de salida (B4) y sus respectivas velocidades, aceleraciones y sacudimientos lineales del punto de acoplamiento (P), en función del ángulo de rotación ( $\theta_2$ ) del eslabón de entrada (B2)



### 1.3 Conclusiones

Como resultado de la síntesis y análisis del mecanismo propuesto, se obtuvo un prototipo parcialmente funcional de la máquina. Dado la etapa preliminar del diseño de la máquina y el bajo presupuesto para el desarrollo del prototipo, se utilizaron materiales reciclados y de baja calidad, incluyendo componentes no adecuados. Esto resultó en desgaste rápido y atascamiento. Sin embargo se probó el concepto y en el corto tiempo un prototipo funcional.

### 1.4 Referencias

Ayala, G., A. V., P. Rivas-Vargas, L. Cotes-Espinoza, M. O., O., D. Escobedo-López, E. Espitia-Rangel. 2014. La rentabilidad del cultivo de amaranto (*Amaranthus* spp.) en la región centro de México. *Ciencia Ergo Sum* 21(1): 47-54.

Ayala, G. A. V., D. Escobedo L. L. Cortés E. y E. Espitia-Rangel. 2012. El cultivo de amaranto en México, descripción de la cadena, implicaciones y retos, en E. Espitia-Rangel (ed.), *Amaranto: ciencia y tecnología* (pp. 315-330). Libro científico. Núm. 2. México: inifap/sinarefi.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, *Biodiversidad mexicana, Amaranto*. <http://www.biodiversidad.gob.mx/ usos/ alimentacion/ amaranto.html> , [Consultado el día 10 de junio de 2015].

Coordinadora Nacional de Fundaciones Produce (COFUPRO). 2013. “Agenda de innovación tecnológica Tlaxcala”.

[http://siproduce.sifupro.org.mx/seguimiento/archivero/29/2013/agenda\\_innovacion\\_tecnologica/agenda\\_29-46-2013-05-1.pdf](http://siproduce.sifupro.org.mx/seguimiento/archivero/29/2013/agenda_innovacion_tecnologica/agenda_29-46-2013-05-1.pdf) [Consultado el día 10 de junio de 2015].

Norton R. L. 2009. Diseño de maquinaria: Síntesis y análisis de máquinas y mecanismos, 4ª ed. McGraw-Hill /interamericana editores, S.A. de C.V. México D.F. 752 p.

Parra, C. F. I. y J. P. Délano F. 2012. Uso de batearías promotoras de crecimiento vegetal para aumentar la productividad de amaranto de grano, en E. Espitia-Rangel (ed.), Amaranto: ciencia y tecnología (pp. 113-127). Libro científico. Núm. 2. México: inifap/sinarefi.

Reyes C. L. 2014. “La chía, un cultivo rentable”, Panorama agropecuario. <http://panorama-agro.com/?p=5292> [Consultado el día 10 de junio de 2015].

## **Generalización del modelo eMICA para medir el grado de implementación del comercio electrónico en el sector agroindustrial mexicano**

SEPÚLVEDA-ROBLES, Daniel Eduardo, SEPÚLVEDA-JIMÉNEZ, Daniel y FIGUEROA-HERNÁNDEZ, Esther

D. Sepúlveda´, D. Sepúlveda´ y E. Figueroa´´´

´ División de Ciencias Económico Administrativas de la UACh.

´´ Área de Matemáticas. Universidad Autónoma de Chapingo.

´´´ Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Universitario UAEM Texcoco.  
hbky2d@yahoo.com.mx

E. Figueroa, L. Godínez, F. Pérez (eds.) Ciencias de la Biología y Agronomía. Handbook T-I. -©ECORFAN, Texcoco de Mora-México, 2015.

## Abstract

En este trabajo se propone una generalización al modelo extendido para la implementación del comercio electrónico eMICA, dicha generalización fue usada para medir el grado de implementación del comercio electrónico en empresas del sector agroindustrial mexicano; para llevar a cabo este estudio, primero se realizó una base de datos para capturar a las empresas, cabe señalar que en este caso se usaron los datos proporcionados por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y la Secretaría de Economía (SE), posteriormente se hizo un muestreo aleatorio para obtener una muestra de trescientas empresas, las cuales fueron sometidas a este estudio. La actualización propuesta consiste en que las empresas hagan uso de las posibilidades que brindan hoy día las redes sociales para cumplir con la primera etapa (Promoción) del modelo eMICA; adicionalmente se realizó un estudio para medir el grado de uso que le dan las empresas a este tipo de plataformas en la red.

## 2 Introducción

El fenómeno de la globalización ha provocado que las telecomunicaciones se hayan convertido en un factor importante en países de todas las regiones del planeta, permitiendo que el número de personas que se conectan a internet sea cada vez mayor. Esto ha provocado que los negocios internacionales sean cada día más dinámicos, por lo que las empresas están cambiando la forma de hacer negocios utilizando los últimos avances en tecnología. La combinación de Internet con los dispositivos móviles como teléfonos inteligentes y tabletas ha permitido llegar a clientes potenciales en todo el mundo (Carazo, 2013).

El crecimiento que ha experimentado Internet en los últimos años ha sido mucho más rápido que cualquier otra tecnología, convirtiéndola en una poderosa herramienta de trabajo para la empresa, ya que con el uso adecuado de la misma, se puede lograr disminuir los costos de comunicación, mostrar más rápidamente los productos y servicios a ofrecer, reducir los costos de transporte y distribución y permitir alianzas comerciales más amplias entre otras cosas. A medida que Internet avanza, las organizaciones pueden aprovechar para innovar y mejorar la calidad en sus servicios (Apolinario, 2012).

Gracias a este avance en Internet, es que se ha desarrollado el concepto de comercio electrónico, con el cual mediante el uso de la red se puede realizar un nexo entre cliente y vendedor sin necesidad de salir de casa, esto consiste en una tienda online donde se puede navegar y visualizar un catálogo virtual, realizar distintas consultas de precios y posteriormente pasar a comprar un producto y/o servicio, esta modalidad de compra está cada vez incorporándose a más plataformas web, contando con la comodidad de poder gestionar el medio de pago; o bien, realizando un pago automático mediante el uso de tarjetas de crédito, y en los últimos tiempos se ha dado importancia también a la utilización de sistemas de dinero virtual como lo es el caso de aquellas compañías que pagan por la utilización de publicidades web, siendo seguramente el más conocido de todos el de PayPal o bien DineroMail (Anónimo, 2013).

Es por este crecimiento de las transacciones vía comercio electrónico que se hace importante el contar con una herramienta para saber que tan bien se están aprovechando las tecnologías; en este contexto, Burges propuso el modelo eMICA para medir el grado de implementación del comercio electrónico de una organización (Burges y Cooper, 2000), sin embargo, y con el paso del tiempo y la explosión en el uso de las redes sociales en el ámbito de la comunicación en la red, se cree pertinente hacer una adaptación a dicho modelo, en donde se logre plasmar el posible uso por parte de las empresas de estas nuevas formas de comunicación con las que se cuentan hoy día.

Además de proveer de una herramienta para que en sectores económicos como el agroindustrial en México se pueda medir y saber el grado de implementación que tienen en esta forma de negocio; es por esta razón, que en este trabajo se propone una generalización al modelo de Burges, para actualizarlo a los momentos actuales.

## **2.1 Materiales y métodos**

La organización de este trabajo se desarrolla de la siguiente manera: En primera instancia se aborda de manera breve la relación que tiene el comercio electrónico en las redes sociales, posteriormente se muestra el contenido general del modelo eMICA, a continuación se explican los cambios propuestos a dicho modelo y finalmente se muestran los resultados obtenidos de un estudio exploratorio a empresas del sector agroindustrial mexicano, para lo cual se explican tanto la definición de la población en estudio, como la manera en que se estableció el tamaño de muestra; donde, entre otras cosas, se realizó la evaluación de sitios web y la presencia de las empresas de la muestra en las redes sociales.

## **2.2 Análisis y Resultados**

### **Comercio electrónico en las redes sociales**

Las redes sociales han dejado de ser simples medios de comunicación e interacción entre las personas para convertirse en enormes plataformas para realizar comercio electrónico, toda vez que existen millones de potenciales consumidores que diariamente acceden y comparten su interés. Es un hecho que cada vez más compañías están enfocando sus estrategias de marketing hacia las redes sociales como Facebook, Twitter, Google plus, LinkedIn o Pinterest, que gracias al uso de las plataformas y cuentas móviles suponen una gran oportunidad para las empresas (Anónimo, 2012).

Hoy día, sitios como Pinterest se han convertido en grandes depósitos de ideas para las compras, recomendaciones, listas de deseos, y todo aquello que pueda ser de interés para los usuarios y potenciales compradores. También hay que decir que los consumidores móviles en la actualidad ya se han acostumbrado a las compras en línea, por lo que la mayoría suelen considerar a sus teléfonos inteligentes como su principal herramienta comercial (Anónimo, 2012).

### **Social commerce**

Debido a la explosión en el uso de las redes sociales con fines comerciales es que surge el concepto de social commerce, el cual es considerado como una rama del comercio electrónico que conlleva el uso de las redes sociales para ayudar en la compra y venta en línea de productos y servicios. Consiste en la colaboración e intercambio de opiniones, así como en la toma de decisiones conjunta a la hora de realizar una compra entre individuos, las redes sociales son “lugares” donde poder compartir impresiones sobre determinados productos e intercambiar opiniones que pueden ser claves en la decisión de compra de un determinado producto o servicio (ICM, 2015).

### **Beneficios del Social Commerce**

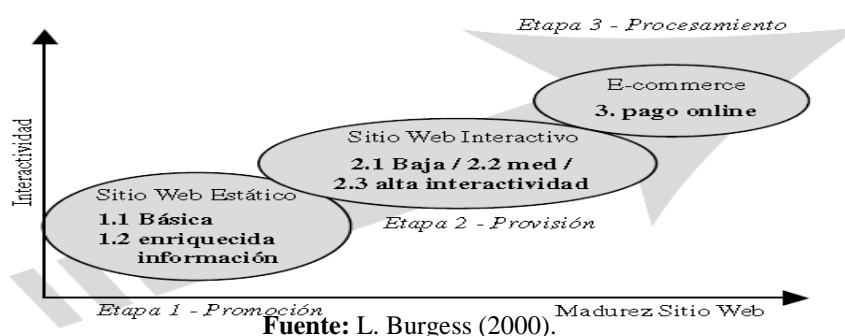
En los últimos dos años se ha producido un fuerte crecimiento en el volumen de negocio que mueve el comercio electrónico ‘e-commerce’ a nivel nacional e internacional, las redes sociales y otras plataformas de social media juegan un rol clave en las empresas, por ejemplo según datos del Barómetro de España acerca del Social Commerce en el 2014:

- 1 de cada 5 empresas ofrece sus productos mediante estrategias de social commerce.
- Facebook, Twitter y Pinterest se asientan como las redes sociales seleccionadas por los usuarios a la hora de decidirse por un producto a través de comercio electrónico.
- El 64% de las empresas consideran que las redes sociales aportan una ventaja competitiva en la ampliación de canales de venta online.
- El 24,6% de las empresas que vende por internet utilizan facebook para la venta directa.
- Los sectores más orientados al cliente (hostelería, turismo, educación y servicios) integran en mayor medida las redes sociales dentro de su estrategia comercial.
- El 43% de las empresas que usan las redes sociales, pero que no tienen venta online, consideran facebook como un canal de ventas en un futuro.
- El 66% de los negocios que no usan las redes sociales en su empresa, consideran que estas les ayudarán en un futuro próximo aportando un valor añadido en la estrategia de venta online de sus productos (Barómetro social de España, 2014).

### Modelo de implementación del comercio electrónico MICA

El modelo de implementación del comercio electrónico MICA, fue desarrollado originalmente para un estudio en la industria australiana para la fabricación de metal, considerando algunos modelos para evaluar sitios web de varios autores, este modelo propone que al crear sitios comerciales, las organizaciones comienzan estableciendo una presencia en la web y posteriormente desarrollan funciones que aumenta su experiencia en el uso de la Internet. Este modelo propone 3 etapas, que son: Promoción, Provisión y Procesamiento, en la primera etapa considera 2 niveles, los cuales contienen la información básica de la compañía, dirección, información de contacto e información de carácter general sobre los productos y los servicios que se ofrecen; en la segunda etapa, se consideran 3 niveles, los que contienen la organización para establecer el comercio electrónico, estos niveles contienen un catálogo básico de servicios, formularios de consulta, un catálogo de alto nivel de los productos, ayuda al cliente, buscadores, características de la región, características multimedia y el email para clientes entre otros aspectos; la tercera etapa, contiene las transacciones y la interacción con el servidor, (L. Burgess y J. Cooper, 2000). Posteriormente se le hizo una ampliación a este modelo, con lo cual se dio origen al modelo extendido de adopción de comercio en internet eMICA, que se muestra en la figura 1.

**Figura 2** Modelo eMICA.



El modelo MICA extendido (eMICA), se compone de tres etapas con sus respectivos niveles; el proceso de promoción es la etapa inicial de desarrollo, consiste en información estática que sirve principalmente para promover y publicar las ofertas del negocio; dentro de esta etapa, un primer nivel se presenta normalmente con la información básica sobre la compañía, su dirección, información de contacto e información de carácter general sobre productos y servicios ofrecidos, un segundo nivel presenta un grado más enriquecido de información, entre los que se consideran el e-mail de contacto y la información sobre actividades de la organización.

La segunda etapa del modelo eMICA, hace referencia a un sitio web que evoluciona a un sistema de información dinámico, dentro de esta etapa se identifican tres niveles: uno de baja interactividad, caracterizado por catálogos en línea, links a información detallada; uno de media interactividad con catálogos más complejos del producto o servicio, ayuda en línea para los usuarios, así como valor agregado y un nivel de alta interactividad del sitio que incluye chat, foros de discusión, multimedia y boletines por e-mail por consentimiento del usuario (Cerpa, 2007).

La tercera etapa, se alcanza toda vez que el sitio web tiene ya una madurez funcional que le permita realizar transacciones en línea, esto requiere la identificación del usuario y un grado más alto de seguridad que en las etapas anteriores, en esta etapa los usuarios podrán comprar productos y servicios a través de la web y mantener un perfil personal, tal cual ocurre en sitios como Amazon, Ebay o Mercado Libre (Cerpa, 2007).

Si bien el modelo eMICA es uno de los más recomendados tanto por su versatilidad, como por los elementos que abarca; cabe destacar que se decidió hacerle una actualización para que pudiera aplicarse a los tiempos actuales, con lo que se propone que en la primera etapa del modelo, la de Promoción, las empresas pudieran cumplir con todos esos atributos; haciéndose promoción tanto en redes sociales como en los diversos sitios del sector, sin la necesidad de contar con un sitio web como tal, por lo que al poner el nombre de la empresa en cualquier buscador (google chrome, internet explorer, etc), los datos de esta aparezcan, en este trabajo, el sector elegido para ser sometido a estudio fue el sector agroindustrial mexicano.

## **2.3 Generalización del modelo eMICA**

### **Etapa 1: Promoción**

#### **Nivel 1: Información básica**

- Nombre de la empresa: corresponde al nombre (persona física o moral) de la empresa.
- Dirección física: dirección física de la empresa y en caso de tener, también de sus sucursales.
- Detalles contacto: teléfono y/o fax.
- Área de negocios: descripción del tipo de actividades que se desarrollan en la empresa, en este caso se siguió una clasificación sugerida por la SAGARPA, que son: Campo, Empaque, Producción Primaria (productos de origen animal), Otros (fertilizantes, administrativos, control de plagas, etc).

En la etapa 1, nivel 1 y nivel 2; no se considera obligatorio el que las empresas ya cuenten con un sitio web, pero si es indispensable que se promocionen en algún sitio específico, en este caso sitios del sector agroindustrial mexicano, y sobre todo hacer un uso adecuado de las redes sociales para medio de publicidad, en donde las empresas muestren su información de contacto e información complementaria sobre las mismas.

#### **Nivel 2: Información Avanzada**

- E-mail de contacto: dirección de correo electrónico para poder comunicarse con la empresa o bien con su representante o encargado de área.
- Catálogo básico de servicios: presentación de los productos y/o servicios que ofrece la empresa.

Al igual que en el nivel anterior, los datos de este nivel, pueden ser proporcionados tanto en sitios web del sector, como en las redes sociales, y de preferencia las empresas deben de poner un link del sitio web propio para que los clientes y posibles clientes puedan ver más a fondo la oferta de las mismas, dicho sitio web debe de tener un nivel de sofisticación más avanzado como lo marcan los niveles posteriores.

## **Etapa 2: Provisión**

### **Nivel 1: Nivel bajo de interactividad**

- Dirección del sitio web: Espacio propio en la www, donde la empresa puede publicitarse o incluso ya comenzar a llevar a cabo transacciones comerciales (e-commerce).

En la etapa 2, nivel 1, se agregó un nuevo atributo, el cual es el de la dirección del sitio web, y se eliminó el formulario de consulta, este último se recomienda integrarlo al nivel 2 (nivel medio de interactividad); se considera que a partir de este nivel la empresa comenzará a tener un sitio web propio, pero con un nivel más elevado de operatividad.

### **Nivel 2: Nivel medio de interactividad**

- Formulario de consulta: un formulario en línea para realizar cualquier tipo de consulta o duda sobre la empresa.
- Catálogo de alto nivel: páginas por productos y/o servicios.
- Ayuda al cliente: en la forma de preguntas frecuentes y mapa del sitio.
- Buscadores: dentro de la página de la empresa (personas, documentos, links, etc.).
- Hipervínculos: información adicional como: google, yahoo, facebook, etc.
- Valor agregado: cosas que no están directamente relacionadas con el sector agroindustrial como una bolsa de trabajo, cifras económicas, número de empleados, etc.
- Mapas y rutas: mapas que permiten llegar al lugar donde se encuentra ubicada la empresa.

### **Nivel 3: Nivel alto de interactividad**

- Foro: herramienta de internet que permite a los usuarios expresar sus opiniones, respondiendo a una pregunta o escribiendo sus comentarios, los cuales podrán ser leídos por cualquier otro usuario de la red.
- Multimedia: material digitalizado que combina textos, gráficos, imagen fija y en movimiento, así como sonido.
- Noticias vía mail: noticias de carácter institucional que son enviadas a la cuenta de correo electrónico de clientes o posibles clientes (con su respectivo consentimiento).
- Opciones de lenguaje: permite que la página se vea y se pueda navegar en ella en otros idiomas.

Se eliminaron tanto el atributo e-mail para clientes, como el de chat de la empresa, ya que una empresa privada no tiene la obligación de proporcionar una dirección de e-mail a un cliente, y si se cuenta ya con un foro, el chat se hace prescindible, además de que con un buen uso de las redes sociales, se puede brindar información vía chat/inbox a los clientes.



### Etapa 3: Procesamiento

- Transacciones financieras: son los pagos en línea de los productos y/o servicios, así como la expedición de facturas y/o comprobantes de compra.
- Rastreo de la orden: si la orden cambia de estado, es decir si el pedido está en trámite, en camino, entregado/evaluado, también puede darse el caso de que la empresa o el cliente decidan adquirir el servicio de algún intermediario (estafeta, multipack, dhl, etc).
- Interacción con el servidor de la empresa: corresponde a transacciones de consulta, esto es acceso a base de datos (cuenta de usuario, id, contraseña, historial de compras, etc).

Se cambió Estado de la orden, por rastreo de la orden, se considera que esta última tiene un nombre más fácil de identificar para cualquier análisis. En la tabla 1 se muestra la generalización propuesta al modelo eMICA.

**Tabla 2** Adaptación propuesta al modelo eMICA.

Etapa	Nivel	Atributos
Promoción	Nivel 1	Nombre de la Empresa
		Dirección Física
		Detalles de Contacto
		Área de Negocios
	Nivel 2	E-mail de Contacto
		Catálogo básico de servicios
Provisión	Nivel 1	Dirección del Sitio Web
	Nivel 2	Formulario de consulta
		Catálogo de alto nivel
		Ayuda al cliente
		Buscadores
		Hiperlinks
		Valor agregado
		Mapas y rutas
	Nivel 3	Foro
		Multimedia
		Noticias vía mail.
Opciones de lenguaje		
Procesamiento	Nivel 1	Transacciones Financieras
		Rastreo de la orden
		Interacción con el servidor de la empresa

Fuente: Elaboración propia (2015)

## Definición de población en estudio

La población estuvo conformada por las empresas registradas en la página del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) el cual pertenece a la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), por empresas registradas en la Secretaría de Economía (SE), y del directorio de empresas agroindustriales del estado de Chihuahua. El total de la población fue de 1500 empresas, clasificadas en cuatro actividades: Campo (415), Empaque (517), Producción Primaria (230) y Otros (508), cabe mencionar que algunas empresas desarrollan dos o más actividades.

## Cálculo para el tamaño de la muestra del modelo eMICA generalizado

En el modelo para medir el grado de Implementación del comercio electrónico en el sector agroindustrial mexicano, eMICA generalizado, se incluyen proporciones, como estas son un caso particular de estimación de una media, fue conveniente establecer una fórmula para el tamaño de la muestra, para ello se necesitó alguna estimación de la desviación estándar, ya que no se disponía de ninguna información previa sobre la población de estudio, la propuesta fue encontrar el valor máximo posible de S, la desviación estándar poblacional. Con este valor máximo de S se pudo asegurar que los resultados satisficieron la condición de error con alguna confianza específica.

Al aplicar el modelo eMICA generalizado, se tiene que las respuestas a cada una de las preguntas es de 1 si cuenta con la característica y de 0 en caso contrario. Si se quiere estimar la proporción de las unidades en la población que tengan cierta característica; llamemos a esta proporción p. Se define  $y_i$  como 1 si la unidad (empresa) tiene la característica y 0 en caso contrario, entonces  $p = \sum_{i=1}^N y_i / N = \bar{y}_i$  y estimamos p como  $\hat{p} = \bar{y}$ , en consecuencia,  $\hat{p}$  es un estimador insesgado de p. Para la respuesta  $y_i$ , que asume los valores 0 o 1, se tiene para la población:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - p)^2}{N - 1} = \frac{\sum_{i=1}^N y_i^2 - 2p \sum_{i=1}^N y_i + Np^2}{N - 1} = \frac{N}{N - 1} p(1 - p) \quad (2)$$

Y para una muestra de tamaño n:

$$s^2 = \frac{1}{n - 1} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{p})^2 = \frac{n}{n - 1} \hat{p} (1 - \hat{p}) \quad (2.1)$$

La ecuación que relaciona la precisión y el tamaño de la muestra para una muestra aleatoria simple es (Lohr, 2000):

$$e = Z_{\alpha/2} \sqrt{\left(1 - \frac{n}{N}\right) \frac{S}{\sqrt{n}}} \quad (2.2)$$

Donde e es el margen de error y  $1 - \alpha$  es la precisión (confianza).

Al despejar n, se tiene (Lohr, 2000):

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 S^2}{e^2 + \frac{Z_{\alpha/2}^2 S^2}{N}} \quad (2.3)$$

Como  $S^2 = \frac{N}{N-1} p (1-p)$ , tiene un máximo cuando  $p = \frac{1}{2}$ , entonces:

$$S_{max}^2 = \frac{N}{N-1} \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2}\right) = \frac{N}{4(N-1)} \quad (2.4)$$

Si N es grande  $S_{max}^2 \cong \frac{1}{4}$ . El tamaño de muestra para un de error  $e = 0.05$  y una confianza del 95% es:

$$n = \frac{(1.96)^2 * \frac{1}{4}}{(0.05)^2 + \frac{(1.96)^2 * \frac{1}{4}}{1500}} = \frac{0.9605}{0.0025 + \frac{0.9605}{1500}} \cong \frac{0.9605}{0.0025 + 0.0006} \cong 300 \quad (2.5)$$

Que fue el número de empresas analizadas, en el siguiente punto se muestran los resultados encontrados.

### Presencia de las empresas de la muestra en las redes sociales

Como se mencionó anteriormente, la propuesta realizada al modelo eMICA consiste en que no es necesario contar desde el principio con un sitio web, sino que la parte de publicidad se puede realizar anunciándose en sitios del sector y sobre todo haciendo un buen uso de las redes sociales, a continuación en la tabla 2, se muestran los resultados del estudio de las empresas en cuanto a su forma de utilizar las redes sociales.

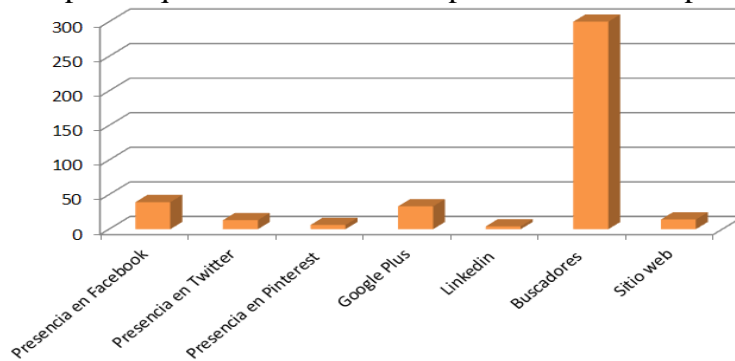
**Tabla 2.1** Análisis exploratorio del uso de las redes sociales y otros medios web de las empresas del sector agroindustrial mexicano

	TOTAL	PROMEDIO	PORCENTAJE
Presencia en Facebook	39	0.13	13
Presencia en Twitter	13	0.04333333	4.333333333
Presencia en Pinterest	6	0.02	2
Google Plus	33	0.11	11
Linkedin	4	0.01333333	1.333333333
Buscadores	300	1	100
Sitio web	14	0.04666667	4.666666667

Fuente: Elaboración propia (2015)

Como se puede observar, todas las empresas aparecen en los distintos navegadores (chrome, firefox, explorer), se pueden localizar ya sea en sitios de la SE o de la SAGARPA, o bien en algún otro sitio como Quiminet, México Red, entre otros. Se puede observar que Facebook es la red social que más se está utilizando, sin embargo el porcentaje de uso de esta red es muy pobre aún (13%), lo que sugiere que las empresas no han sido capaces de explotar este sitio y en general los sitios de redes sociales como medio para hacerse publicidad y llegar a clientes potenciales, en la figura 2 se muestran los totales del uso de cada medio por parte de las empresas estudiadas.

**Figura 2.1** Total de empresas que usan las distintas opciones en la web para hacerse publicidad



**Fuente:** Elaboración propia (2015)

Se aprecia que todas las empresas aparecen en los navegadores, la red social mayormente elegida fue la de Facebook, pero solo cuenta con 39 empresas, lo que sugiere una subutilización de esta y en general de los sitios de redes sociales, adicionalmente solo 14 empresas cuentan con sitios web propios.

### 2.4 Análisis de los resultados con el modelo eMICA generalizado

Para el análisis de los resultados, se elaboró una matriz de datos en Excel, en donde fueron analizadas cada una de las etapas, niveles y atributos contenidos en el modelo eMICA adaptado.

La figura 3, muestra el análisis exploratorio aplicando el modelo eMICA generalizado a una muestra aleatoria (300 empresas) de la población.

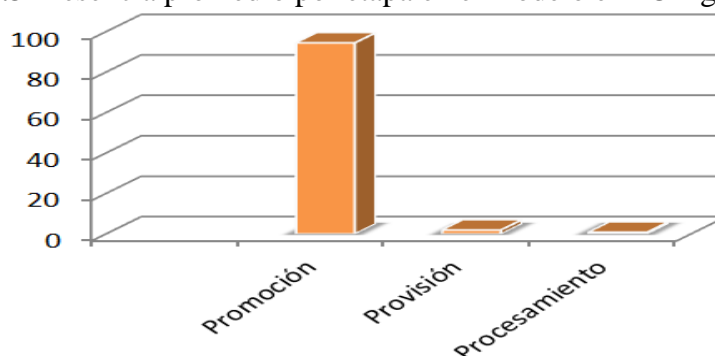
**Figura 2.2** Análisis exploratorio a empresas del sector agroindustrial mexicano, usando la generalización propuesta el modelo eMICA.

Etapas	Nivel	Atributos	TOTAL	PROMEDIO	PORCENTAJE
Promoción	Nivel 1	Nombre de la Empresa	300	1	100
		Dirección Física	300	1	100
		Detalles de Contacto	288	0.96	96
		Área de Negocios	300	1	100
	Nivel 2	E-mail de Contacto	211	0.703333333	70.33333333
Provisión	Nivel 2	Catálogo básico de servicios	300	1	100
		Dirección del Sitio Web	14	0.046666667	4.66666667
		Formulario de consulta	7	0.023333333	2.333333333
		Catálogo de alto nivel	9	0.03	3
		Ayuda al cliente	3	0.01	1
		Buscadores	1	0.003333333	0.333333333
		Hiperlinks	3	0.01	1
		Valor agregado	6	0.02	2
		Mapas y rutas	6	0.02	2
		Foro	0	0	0
		Multimedia	9	0.03	3
		Noticias vía mail.	9	0.03	3
		Opciones de lenguaje	2	0.006666667	0.666666667
	Procesamiento	Nivel 3	Transacciones	2	0.006666667
Estado de Orden			2	0.006666667	0.666666667
Interacción con el servidor			3	0.01	1

**Fuente:** L. Burges (2000), elaboración propia con uso de Excel 2010 (2015).

Se puede observar que prácticamente todas las empresas cubren perfectamente la etapa uno, nivel uno del modelo; sin embargo como se mostró anteriormente no se están usando las redes sociales para hacerse publicidad, además cuando se comienza a especializar el modelo, las empresas comienzan a tener problemas para cubrir el resto de atributos propuestos, lo que desencadena en la nula actividad de estas vía comercio electrónico.

La figura, muestra la presencia promedio en el estudio exploratorio de la población.

**Figura 2.3** Presencia promedio por etapa en el modelo eMICA generalizado

Fuente: L. Burges (2000), elaboración propia con uso de Excel 2010 (2015).

De la figura anterior, se puede apreciar que, de las tres etapas que consta el modelo eMICA; Promoción, Provisión y Procesamiento, la mayoría de las empresas actualmente solo cumplen con la primera etapa (Promoción), caso contrario cuando se analiza a fondo las siguientes dos etapas (Provisión y Procesamiento), lo que nos indica que la mayoría de las empresas están aún muy lejos de lograr la Implementación por completo del comercio electrónico.

## 2.5 Conclusiones

El uso de las tecnologías de información y comunicación con fines comerciales no es algo de reciente interés por parte de las empresas, de ahí que se tienen ejemplos como los modelos MICA y eMICA para lograr la adopción e implementación del comercio electrónico como modelo de negocio; no obstante, hay que tener en cuenta que este último data de hace quince años, por lo que se consideraba necesario hacerle una adaptación que reflejará la situación actual en sectores como el económico, tecnológico y social; es por esa razón que se considera de vital importancia que las empresas agroindustriales mexicanas comiencen a hacer de las redes sociales como estrategia de mercado para lograr conseguir más clientes.

Acorde a la definición dada por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), se tiene que el comercio electrónico es definido como “el proceso de compra, venta o intercambio de bienes, servicios e información a través de las redes de comunicación” (OCDE, 2015), y si bien hay autores que consideran que las redes sociales son plataformas para realizar comercio electrónico, una opinión personal, es que estas aún están lejos de ser sitios de confianza para la realización de operaciones comerciales de este tipo, principalmente por las cuestiones de seguridad que entre otras las dan el uso de empresas como Paypal para la realización de todo tipo de transacciones comerciales (procesos de compra-venta) en la web, sin embargo, un uso adecuado de estos sitios puede ayudar a las compañías a lograr un mejor posicionamiento en el mercado, al tener una mayor exposición ante clientes potenciales y lograr una mejor promoción dentro de la red.

El estudio exploratorio demuestra que por un lado si bien las compañías logran cubrir en su totalidad la primer etapa del modelo eMICA generalizado, lo hacen logrando la promoción en sitios referentes al sector agroindustrial a los cuales se puede acceder mediante búsquedas en la red en los navegadores actuales; pero hacen un subempleo de las redes sociales, por lo que están desperdiciando estas herramientas, adicionalmente solo pocas cuentan con sitios web listos para llevar a cabo transacciones en línea, por lo que las estrategias que deberían de seguir las empresas en un futuro deben ir encaminadas a mejorar la posición en redes sociales y a contar con una mejor oferta y plataforma para lograr implementar al comercio electrónico dentro de las actividades comerciales de la organización.

## 2.6 Referencias

Anónimo, (2012), "Redes sociales como plataforma de comercio electrónico", <http://espaciob2b.com/>

Anónimo, (2013), "Importancia del Comercio Electrónico", <http://www.importancia.org>

Apolinario Charly, Palomino Piero, Ruiz David y Sáez Santiago, (2012), "Importancia de Internet en el Comercio", Instituto de Comercio Exterior de la Asociación de Exportadores de Perú.

Barómetro social de España, (2014), <http://www.socialtocommerce.com/2500/barometro-sobre-el-social-commerce-en-espana-en-2014/>

Burges y Cooper, (2000). "MICA: Model of Internet Commerce Adoption". S. Rhaman and y M Raisinghani. Electronic Commerce: Opportunities and Challenges. Idea Group Publishing, USA.

Carazo León Jennifer, (2013), "Importancia de las telecomunicaciones en el comercio internacional", <http://www.gestiopolis.com/>

Cerpa Narciso, (2007), "Evaluación del nivel de adopción de internet en las universidades chilenas en base al modelo eMICA", Revista chilena de ingeniería, vol. 15 N° 3, pp. 270-282.

ICM, (2015), "Redes Sociales y Comercio Electrónico Obligados a entenderse", <http://icmempresas.com/redes-sociales-y-comercio-electronico-obligados-a-entenderse/>

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, (2015), "Definición de comercio electrónico", <http://www.oecd.org/centrodemexico/laocde/>

## **Modelos microscópicos y macroscópicos para captura de agua y nutrientes por la raíz de la planta**

SEPÚLVEDA-JIMÉNEZ, Daniel, LOERA-MARTÍNEZ, Jesús y SEPÚLVEDA-ROBLES, Daniel Eduardo

D. Sepúlveda´, J. Loera´´ y D. Sepúlveda´´

´ Centro de Investigación en Economía y Matemáticas Aplicadas de la Uach.

´´ División de Ciencias Económico-Administrativas.

sepjim700@yahoo.com.mx

E D. Sepúlveda, F. Rérez, D. Sepúlveda, E. Figueroa, R. Salazar, L. Godínez (eds.) Matemáticas Aplicadas. Handbook T-I. -©ECORFAN, Texcoco de Mora-México, 2016.

## Abstract

La captura de agua y nutrientes es uno de los procesos más importantes que se llevan a cabo en la parte sub-superficial de la tierra. La absorción de agua y nutrientes se puede evaluar por medio de una ecuación diferencial para el transporte y difusión en suelos, acoplada con cinética de absorción por las raíces, estos son los modelos mecanicistas o microscópicos. En los modelos macroscópicos, se calcula el flujo de agua hacia las raíces por medio de la solución de la ecuación no lineal de Richar's incluyendo un termino de captura de agua por las raíces, si se quiere evaluar la absorción de nutrientes es necesario acoplar a la ecuación de Richar's una ecuación para el transporte de solutos, la cual también presenta una función sumidero para la captura de nutrientes por la raíz. En este trabajo se analiza el modelo microscópico de Barber y Cushman, los supuestos y los parámetros y su comparación con una generalización del mismo a fronteras móviles. También se analizan brevemente el sistema de ecuaciones diferenciales con los términos sumidero para el agua y los nutrientes. En la literatura científica se encuentran que hay muchas funciones de extracción usadas en los modelos macroscópicos pero no hay mucha diferencia entre el uso de estos dentro del modelo.

## 3 Introducción

Los modelos matemáticos para captura de agua y nutrientes por las raíces de las plantas se dividen en general en dos grandes categorías: modelos "microscópicos" y modelos macroscópicos. En los primeros se modela la raíz como un cilindro de longitud infinita de radio uniforme, con propiedades de absorción de agua y nutrientes. La razón de captura de un nutriente depende de la concentración de este nutriente en la solución del suelo en la superficie de la raíz. La relación entre la concentración y la razón de captura se describe cuantitativamente por medio de cinética de Michaelis-Menten. El transporte de nutrientes desde el suelo a las raíces de las plantas es por flujo másico y por difusión, uno de los trabajos pioneros en este tipo de modelos es el de Gardner (Gardner, 1960). La importancia de la heterogeneidad del suelo, la morfología y plasticidad fisiológica de la raíz considerando un modelo microscópico, son tomadas en cuenta en el trabajo de Jackson y Caldwell, (Jackson. R. B. y Caldwell. M. M. 1996), un trabajo más reciente de captura de agua por las raíces de las plantas donde se describe la geometría del sistema de raíces, es el debido a Raats, (Raats, P. A. C. 2007), también T. Roose y Fowler analizan la captura de agua y nutrientes considerando la geometría de las raíces de las plantas, (Roose. T. y Fowler. A. C., 2004). Un estudio más reciente se debe a Manoj K. T. y colaboradores (Manoj. K. T. Kashyap. D. y Gairola. A., 2013) quienes proponen un modelo microscópico basado en principios físicos para transporte y difusión de humedad y posterior captura por las raíces de las plantas.

Los modelos macroscópicos para modelar el transporte y la absorción de agua usan la ecuación de Richar's con un término adicional, "un sumidero"; se acopla con esta ecuación para el transporte de los solutos, una ecuación de convección difusión (dispersión), y el proceso de captura de nutrientes por las raíces, se cuantifica también a través de un sumidero.

Los modelos macroscópicos, como el de Hillel (Hillel D, 1980), describen el flujo del agua del suelo a través de las fronteras de un volumen unitario del suelo.



Los cambios en el volumen se atribuyen a la captura del agua por todas las raíces en dicho volumen por medio de un término sumidero. Steve R. Green y col., (Steve. R. G., Kirkham. M. B. y Clothier B. E. 2006), presentan un modelo macroscópico para captura de agua, transpiración y riego sostenible; un caso de estudio para transporte simultáneo de agua y solutos bajo condiciones de flujo no estacionario en suelos no saturados fue presentado por Purandara B. K. y col., (Purandara. B. K., Varadarajan. N. y Venkatesh. B. 2008). Simunek y Hopmans, (Simunek. J. y Hopmans. J. W. 2008), analizaron un modelo macroscópico compensatorio para captura de agua y nutrientes por la raíz.

Ninguno de los modelos que aparecen en la literatura tanto microscópicos como macroscópicos son de validez suficiente para determinar los parámetros necesarios para especificar un cultivo sobre un suelo en particular y usar estos parámetros para predicciones de captura de agua y nutrientes en otros cultivos y en otros tipos de suelos y en otras épocas del año. Estas severas limitaciones hacen necesario en primer lugar, el análisis y sistematización de los modelos matemáticos tanto microscópicos como macroscópicos para captura de agua y nutrientes por las raíces de las plantas y en segundo lugar la extensión de los modelos existentes. También es necesario el análisis de los procesos físicos y químicos que se llevan a cabo en esta captura y que deberán de ser considerados en los modelos matemáticos propuestos.

La extracción de agua y nutrientes por las raíces de las plantas involucran procesos de transporte en la interacción suelo-planta en diferentes escalas espaciales y temporales y hay necesidad de enlazar estos procesos de una manera formal. Específicamente, la arquitectura y características fisiológicas del sistema radical, también como la heterogeneidad del suelo se han tomado muy pobremente en cuenta en los estudios de captura de agua y nutrientes por las raíces de las plantas, por lo que es conveniente llevar a cabo trabajos con la finalidad de analizar esta captura y sus mecanismos en la escala de una sola raíz y en la escala donde se considera la arquitectura de la raíz, las propiedades hidráulicas del suelo y la variación de la reducción de nutrientes y agua alrededor de las raíces.

En este trabajo se analiza el modelo microscópico mecanicista de Barber y Cushman (Barber y Cushman, 1981 y Barber, 1984) y su extensión usando fronteras móviles basadas en los trabajos de Reginato J. C. y col. (Reginato J. C., Palumbo. M. C., Moreno. I. S., Bernardo. I. Ch. y Tarzi. D. A., 2000), también se presentan las ecuaciones matemáticas que se usan en los modelos macroscópicos de la literatura científica.

### **3.1 Materiales y Métodos**

En la primera parte de este trabajo se presenta el modelo de Barber y Cushman que es un modelo microscópico de transporte de nutrientes hacia la raíz de una planta y posterior captura. Este modelo considera que el transporte de los nutrientes es por flujo másico y difusión, también se toma en cuenta el principio de conservación de solutos. Posteriormente se analiza la generalización del modelo de Barber y Cushman a fronteras móviles, se presentan los supuestos de estos modelos y las ecuaciones matemáticas que tienen que ser resueltas para encontrar el total de nutrientes absorbidos por la raíz. Con datos de la literatura se muestran los resultados obtenidos para tres variedades de maíz. Por lo altamente no lineal de los modelos es necesario de métodos numéricos en la solución de estos. En la parte final se presenta brevemente el sistema de ecuaciones diferenciales parciales para el agua, solutos y químicos y que en general usan los modelos macroscópicos. Cabe destacar en estos modelos la inclusión de un término “sumidero” en la ecuación de transporte de agua y también un término sumidero en la ecuación de transporte de solutos y químicos.

Existen muchas formas funcionales del término sumidero para captura de agua, los parámetros que aparecen en estas propuestas, se pueden determinar a partir de datos de evapotranspiración.

### Movimiento de nutrientes hacia la raíz y captura

Movimiento de nutrientes hacia la raíz. Para que se produzca la absorción de nutrientes, el ion del nutriente debe estar en posición adyacente a la raíz. Este proceso de posicionamiento se produce a través de tres formas básicas.

Intercepción directa por la raíz. A medida que la raíz crece, se ubica en estratos de suelo en los que encuentra a los nutrientes disponibles para la planta. La cantidad de nutrientes que intercepta en forma directa la raíz se encuentra relacionada con la cantidad de nutrientes disponibles en el suelo ocupado por la raíz y el porcentaje de suelo explorado por la raíz. En general solo una pequeña cantidad del total de nutrientes absorbido por la raíz llega por esta vía.

Movimiento por difusión y flujo másico de los nutrientes. El mayor porcentaje de los nutrientes se mueve desde el suelo antes de ser absorbido por la raíz. Los mecanismos de transporte involucrados en el movimiento de los nutrientes en el suelo hasta su llegada a la superficie de la raíz son la difusión y el flujo másico.

El flujo másico es el movimiento de agua y de los nutrientes que se encuentra disuelto en la masa líquida que llega hasta la raíz como resultado del proceso de transpiración de la planta, la cantidad de nutrientes que llega por este movimiento está relacionado con la concentración del mismo en la solución del suelo y con el volumen de agua que absorbe la planta, los nutrientes como el nitrato, calcio y azufre llegan a la raíz por este mecanismo. En la Tabla 1 se puede observar la cantidad de cada nutriente que llega a la superficie de la raíz por los distintos mecanismos.

La difusión se presenta cuando la raíz absorbe nutrientes y se crea un gradiente de concentración de nutrientes entre el suelo y la raíz, el resultado de este gradiente es un movimiento de nutrientes hacia las cercanías de la raíz por difusión. La cantidad de nutrientes transportadas por este mecanismo está relacionado con el gradiente de concentración y con el coeficiente de difusión del nutriente, el cual varía con el tipo de suelo y la movilidad del nutriente en el suelo, los nutrientes como el fósforo y el potasio son absorbidos fuertemente por el suelo y solamente pequeñas cantidades en la solución del suelo se mueven a la raíz por difusión. En la tabla 2 se muestran los coeficientes de difusión para diferentes iones y distintos tipos de suelos.

**Tabla 3** Porcentaje de nutrientes que llegan hasta la cercanía de la raíz en un cultivo de maíz por los distintos mecanismos

Nutriente	Intercepción directa	Flujo másico	Difusión
nitrógeno	1	80	19
fósforo	2	5	93
potasio	2	18	80
calcio	29	71	0
magnesio	13	87	0
azufre	2	98	0

Elaboración propia con datos de Barber, S.A. 1984. Soil Nutrient Bioavailability. Wiley, New York.

**Tabla 3.1** Valores para el coeficiente de difusión ( $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ) de diferentes iones para distintos suelos

Ion	Coefficiente de difusión
$\text{NO}_3^-$	$1.0 \times 10^{-10}$
$\text{K}^+$	$1.0 - 28.0 \times 10^{-12}$
$\text{Cl}^-$	$2.0 - 29.0 \times 10^{-10}$
$\text{H}_2\text{PO}_4^-$	$0.3 - 3.3 \times 10^{-13}$
$\text{SO}_4$	$1.0 - 2.0 \times 10^{-10}$

Elaboración propia con datos de Clarkson, D.T. 1981. Nutrient interception and transport by roots system. In: "Physiological factors limiting plant productivity. C.B: Johnson (ed). Butterworths, London, pp: 307-314.

**Captura de nutrientes.** Una vez que el agua se toma para apoyar la transpiración, los nutrientes se pueden mover hacia la superficie de la raíz a través de flujo másico, pero estos no pueden entrar directamente dentro de la raíz, la membrana plasmática del endodermo bloquea el movimiento de los iones al interior de la raíz. En este punto es necesario un proceso de captura activo, el cual requiere energía que se usa para mover los nutrientes al interior de la raíz y el xilema para el transporte a los tejidos en crecimiento. Una proteína transportadora específica se utiliza para enlazar con un ion de nutrientes y llevarlo a través de la membrana.

Este proceso de captura es un proceso selectivo, la raíz discrimina y sólo gasta energía para absorber los nutrientes que necesita. Por lo tanto la absorción de nutrientes no es proporcional a las relaciones de los nutrientes en la solución del suelo. Así que iones en gran cantidad en la solución del suelo, tales como el calcio y el azufre, se pueden acumular cerca de la raíz

Una implicación importante de la capacidad de escoger y elegir los nutrientes de la solución del suelo es la poca importancia relativa de la proporción de los nutrientes en la solución del suelo. Mientras un determinado nutriente se suministra a la superficie de la raíz a una concentración suficientemente alta como para satisfacer las demandas de la absorción de nutrientes, normalmente se cumplirán las exigencias de crecimiento y desarrollo. Por ejemplo, la relación de calcio y magnesio en los sitios de intercambio catiónico del suelo y en la solución del suelo tiene poco efecto sobre la relación de estos nutrientes en la planta. La planta selecciona los iones que necesita, y permite que los restantes se acumulen en la solución del suelo en la superficie de la raíz.

El concepto de concentraciones críticas, en general, ha demostrado ser más eficiente que la alteración de suelo para proporcionar proporciones de nutrientes equivalentes a las proporciones a la que los nutrientes se encuentran en las plantas.

## 3.2 Resultados y análisis

### Modelos microscópicos

**Modelo de Barber y Cushman, (Barber y Cushman, 1981).** Los modelos mecánicos para absorción de nutrientes por la raíz consideran difusión y flujo másico actuando simultáneamente para suministro de nutrientes hacia la superficie de la raíz. Los parámetros de las plantas que determinan absorción de nutrientes incluyen aquellos que describen cambios en la geometría de la raíz debido a su crecimiento y otros que describen la cinética del proceso de absorción de los nutrientes. Los modelos mecánicos generalmente suponen que la captura de nutrientes se produce de manera uniforme a lo largo de la raíz que esta uniformemente distribuida en suelos homogéneos e isotrópicos. Uno de los principales modelos mecánicos es debido a Barber y Cushman y en este apartado se describirá brevemente.

Los supuestos del modelo de Barber y Cushman son los siguientes:

- El suelo es homogéneo e isotrópico.
- Las condiciones del agua del suelo se mantienen esencialmente constantes. No hay un gradiente de agua del suelo apreciable perpendicular a la raíz.
- La absorción de nutrientes se produce sólo de nutrientes de la solución en la superficie de la raíz.
- Los exudados de la raíz o actividad microbiana sobre la superficie de la raíz no influyen en el flujo de los nutrientes.
- Los nutrientes se mueven hacia la raíz por una combinación de flujo másico y difusión.
- La relación entre el influjo neto y la concentración se puede describir por cinética de Michaelis-Menten.
- Las raíces se supone que son cilindros lisos y sin pelos radiculares o micorrizas
- De y b se suponen independientes de la concentración.
- Las características de la afluencia no cambian por la edad de la raíz o por la edad de la planta.
- La afluencia es independiente de la tasa de absorción de agua.

Si se considera que la difusión y el flujo másico actúan simultáneamente para el suministro de nutrientes hacia la superficie de la raíz y la conservación de soluto, se puede plantear la siguiente ecuación:

$$\frac{\partial C_1}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r D_e \frac{\partial C_1}{\partial r} + \frac{r_0 v_0 C_1}{b} \right) \quad (3)$$

Para integrar esta ecuación se plantean las siguientes condiciones iniciales y de frontera:

$$t = 0, \quad r > r_0, \quad C_1 = C_0 \quad (3.1)$$

$$t > 0, \quad r = r_0, \quad D_e b \frac{\partial C_1}{\partial r} + v_0 C_1 = J_r \quad (3.2)$$

$$t > 0, \quad r = r_1, \quad D_e b \frac{\partial C_1}{\partial r} + \frac{r_0}{r_1} v_0 C_1 = 0 \quad (3.3)$$

Donde  $D_e$  es el coeficiente de difusión efectivo en suelo,  $r$  es la distancia radial desde el eje de la raíz,  $C_1$  es la concentración de iones del nutriente en la solución del suelo,  $r_0$  es el radio de la raíz,  $r_1$  es la distancia media entre las raíces,  $v_0$  es el flujo de agua hacia la raíz,  $b$  es la capacidad de amortiguación del suelo y  $t$  es el tiempo. El primer término dentro del paréntesis corresponde a la difusión y el segundo representa el flujo másico.

Una vez que la concentración del nutriente en la raíz ha sido determinada, la absorción (captura) del nutriente se calcula con la cinética de Michaelis-Menten:

$$J_r = \frac{I_{max}(C_1 - C_{min})}{K_m + (C_1 - C_{min})} \quad (3.4)$$

Donde  $C_1$  es la concentración de nutrientes en la superficie de la raíz,  $J_r$  es el flujo de nutrientes neto hacia la raíz,  $I_{\max}$  es la máxima afluencia de iones dentro de la raíz,  $C_{\min}$  es la concentración de la solución donde la absorción neta de la solución es cero y  $K_m$  es la concentración de la solución donde la afluencia es igual a  $0.5I_{\max}$ . La absorción de nutrientes neta se calcula entonces basada en la absorción de nutrientes local para ambas raíces nuevas y existentes.

$$T = 2\pi r_0 L_0 \int_0^{t_m} J_r(r_0, S) dS + 2\pi r_0 \int_0^{t_m} \frac{df}{dt} \int_0^{t_m-t} J_r(r_0, S) dS dt \quad (3.5)$$

Donde  $T$  es la captura neta total de nutrientes en el tiempo  $t_m$ ,  $L_0$  es la longitud inicial de la raíz,  $df/dt$  es la razón de crecimiento de la raíz y  $J_r(r_0, S)$  es la captura neta de nutrientes para un área de diámetro y superficie de la raíz dada.

**Modelo de fronteras Móviles, (Reginato y Col, 2000).** Este es un modelo unidimensional, se considera que se tiene una sola raíz cilíndrica en el suelo donde se supone que las condiciones de la mezcla, luz y temperatura son controladas. Con estos supuestos, se plantea un modelo de fronteras móviles para la absorción de nutrientes, se considera una sola fase y coordenadas cilíndricas. Las ecuaciones que gobiernan el sistema son las siguientes:

$$D \frac{\partial^2 C}{\partial r^2} + D(1 + \varepsilon_0) \frac{1}{r} \frac{\partial C}{\partial r} = \frac{\partial C}{\partial t}$$

$$s_0 < r < R(t); \quad 0 < t < T \quad (3.6)$$

$$C(r, 0) = \varphi(r); \quad s_0 \leq r \leq R_0 \quad (3.7)$$

$$-Db \frac{\partial}{\partial r} C(R(t), t) + v_0 C(R(t), t) = 0; \quad 0 < t < T \quad (3.8)$$

$$Db \frac{\partial}{\partial r} C(s_0, t) + v_0 C(s_0, t) = \frac{K_a [C(s_0, t) - C_u]}{1 + \frac{K_a [C(s_0, t) - C_u]}{J_m}} \quad (3.9)$$

$$R(t) = R_0 \sqrt{\frac{l_0}{l(t)}}; \quad 0 < t < T \quad (3.10)$$

Donde  $r$  es la distancia radial desde el eje de la raíz (m),  $t$  es el tiempo (s);  $T$  es el máximo tiempo para el cual el sistema tiene solución (s);  $C_u$  es la concentración para la cual la afluencia neta es nula ( $\text{mol cm}^{-1}$ );  $v_0$  es la velocidad media efectiva de la solución en el suelo en la superficie de la raíz [ $\text{m s}^{-1}$ ];  $b$  es la potencia del amortiguamiento,  $D$  es el coeficiente de difusión efectivo [ $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ];  $k_a (=J_m/K_m)$  es la potencia de absorción del nutriente [ $\text{m s}^{-1}$ ];  $J_m$  es la máxima afluencia en infinito de la concentración [ $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ];  $K_m$  es la concentración en la cual la afluencia es  $J_m/2$  [ $\text{mol m}^{-3}$ ];  $R(t)$  es la variable a la mitad de la distancia del eje de la raíz al tiempo  $t$ (m),  $\varphi(r)$  es la concentración inicial definida en [ $s_0, R(t)$ ] ( $\text{mol cm}^{-1}$ ),  $R_0$  es la mitad de la distancia inicial entre el eje de la raíz (m),  $s_0$  es el radio de la raíz (m),  $l(t)$  es la longitud de la raíz al tiempo (m), y  $l_0$  es la longitud inicial de la raíz (m). El parámetro  $\varepsilon_0$  es ( $=v_0 s_0 / Db$ ) (sin dimensiones). En este modelo todos los coeficientes se suponen constantes.

La ecuación (4) representa el transporte de iones en el suelo. La condición (5) corresponde a la concentración inicial, la condición (6) es la condición de frontera y representa el flujo nulo en la frontera móvil  $R(t)$  que es a priori una función desconocida del tiempo. La condición (7) representa el balance de masa en la superficie de la raíz donde llegan los iones incorporándose a través de una cinética de absorción. La ecuación (8) da el movimiento de  $R(t)$  como una función de la longitud instantánea  $l(t)$ , la cual es conocida a priori. Esta expresión se obtiene suponiendo un volumen fijo de suelo y relacionando  $R(t)$  con la longitud instantánea de la raíz, la cual es una función especial de acuerdo al método usado para estimar la longitud de la raíz; lineal, exponencial, sigmoidea, etc. La ecuación (8) caracteriza la aproximación de fronteras móviles. La absorción total de nutrientes se puede obtener a partir de la siguiente fórmula (Reginato y col):

$$U = 2\pi s_0 l_0 \int_0^{t_{max}} J_c(t) dt + 2\pi s_0 \int_0^{t_{max}} \left[ \int_t^{t_{max}} J_c(t) dt \right] i(t) dt \quad (3.11)$$

$$J_c(t) = \frac{K_a [C(s_0, t) - C_u]}{1 + \frac{K_a [C(s_0, t) - C_u]}{J_m}} \quad (3.12)$$

**Tabla 3.2** Parámetros de suelo y planta usados en el modelo de fronteras móviles para tres híbridos de maíz

Híbridos			
Parámetros	Capitan Ciba	DeKalb 762	Tikara Funks
$k$ ( $s^{-1}$ )	$1.066 \times 10^{-6}$	$9.63 \times 10^{-7}$	$8.59 \times 10^{-7}$
$v_0$ ( $m s^{-1}$ )	$1.26 \times 10^{-8}$	$2.24 \times 10^{-8}$	$1.15 \times 10^{-8}$
$s_0$ (m)	$5 \times 10^{-4}$	$3.8 \times 10^{-4}$	$3.4 \times 10^{-4}$
$l_0$ (m)	1.8	2.41	2.05
$R_0$ (m)	$1.27 \times 10^{-2}$	$1.14 \times 10^{-2}$	$1.24 \times 10^{-2}$
$b$ (a dimensional)	11.6	11.6	11.6
$D$ ( $m^2 s^{-1}$ )	$6.827 \times 10^{-12}$	$6.827 \times 10^{-12}$	$6.827 \times 10^{-12}$
$J_m$ ( $mol m^{-2} s^{-1}$ )	$1.316 \times 10^{-6}$	$6.752 \times 10^{-6}$	$4.744 \times 10^{-6}$
$k_a$ ( $s^{-1}$ )	$1 \times 10^{-6}$	$3.57 \times 10^{-6}$	$2.584 \times 10^{-6}$
$C_u$ ( $mol m^{-3}$ )	$2.183 \times 10^{-2}$	$1.5 \times 10^{-3}$	$9.9 \times 10^{-4}$
$C_R$ ( $mol m^{-3}$ )	8.4	8.4	8.4

Elaboración propia con datos de Reginato J. C. y col. Modeling nutrient uptake using a moving boundary approach: Comparison with the Barber Cushman model., Soil Sci. Soc. Am. J. 64:1363-1367 (2000).

**Tabla 3.3** Captura de potasio por tres híbridos de maíz: observado contra calculado con el modelo de fronteras móviles ( $mmol pot^{-1}$ )

Híbridos	Observado	Calculado
Dekalb 762	0.1685	0.213
Tikara Funks	0.293	0.325
Capitán Ciba	0.304	0.287

Elaboración propia con datos de Reginato J. C. y col. Modeling nutrient uptake using a moving boundary approach: Comparison with the Barber Cushman model., Soil Sci. Soc. Am. J. 64:1363-1367 (2000).

**Tabla 3.4** Absorción de Magnesio, potasio y fósforo por la raíz de plántulas de pino: Observada contra calculada por los modelos de Barber-Cushman y fronteras móviles ( $mmol pot^{-1}$ )

Nutriente	Absorción observada	Modelo de Barber-Cushman, calculada	Modelo de fronteras móviles, calculada
Mg	1.617	0.625	0.680
K	6.663	6.285	6.653
P	1.332	1.185	1.302

Elaboración propia con datos de Kelly, J. M. y col. Modeling magnesium, phosphorus, and potassium uptake by loblolly pine seedling using a Barber-Cushman approach. Plant and Soil 218:139-209. (1992).

## Modelos macroscópicos para el flujo de agua, químicos y solutos en la zona no saturada del suelo

**Ecuación de flujo de agua.** La ecuación de Richard describe el flujo de humedad en suelos no saturados. Se agrega un término de sumidero volumétrico en la ecuación de Richard para tomar en cuenta la captura de humedad por las raíces. Para flujo vertical unidimensional en suelos cultivados, la forma mezclada de la ecuación de Richard con un término de sumidero está dada por:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ K(h) \frac{\partial h}{\partial z} \right] + \frac{\partial K(h)}{\partial z} + S(z, t) \quad (3.13)$$

Donde  $h$  es la carga de presión,  $\theta$  es el contenido de humedad volumétrico,  $K$  la conductividad hidráulica,  $S(z,t)$  la captura (absorción) de agua por las raíces expresada como volumen de agua por unidad de volumen de suelo por unidad de tiempo,  $t$  es el tiempo y  $z$  es la distancia vertical medida positiva hacia arriba. La ecuación (i) es altamente no lineal, ya que  $K$  y  $\theta$  son funciones no lineales de la variable dependiente  $h$ .

Para resolver la ecuación de Richard en cualquiera de sus formas es necesario conocer relaciones constitutivas entre el contenido volumétrico del agua  $\theta$ , la recarga hidráulica  $h$  y la conductividad  $K$ , estas están dadas por funciones experimentales que describen las propiedades del suelo. Tres tipos usuales de relaciones constitutivas,  $K=K(h)$  y  $\theta=\theta(h)$ , pueden ser utilizadas para caracterizar diferentes suelos. El primer y segundo tipo fueron utilizados por Haverkamp y col. (1977) para arena y para el suelo Yolo Light Clay, mientras que el tercer tipo ha sido utilizado por Van Genuchten (1980) para el suelo Glendale Clay Loam.

*Tipo 1*

$$K(h) = K_s \frac{A}{A + |h|^\phi}; \quad \theta(h) = \frac{\lambda(\theta_s - \theta_r)}{\lambda + |h|^\psi} + \theta_r \quad (3.14)$$

*Tipo 2*

$$K(h) = K_s \frac{A}{A + |h|^\phi}; \quad \theta(h) = \frac{\lambda(\theta_s - \theta_r)}{\lambda + (\ln h)^\psi} + \theta_r \quad (3.15)$$

*Tipo 3*

$$K(S_e) = K_s S_e^{1/2} \left[ 1 - (1 - S_e^{1/\mu}) \right]^2; \quad \theta(S_e) = S_e (\theta_s - \theta_r) + \theta_r \quad (3.16)$$

Donde:

$$S_e(h) = \left[ 1 + (\rho h)^\eta \right]^{-\mu}; \quad \mu = 1 - \eta^{-1} \quad (3.17)$$

Donde  $A$ ,  $\phi$ ,  $\lambda$ ,  $\psi$ ,  $\eta$ ,  $\mu$  son parámetros adimensionales,  $\rho$  [ $L^{-1}$ ] es una medida de la función de densidad del tamaño del poro,  $\theta_r$  [ $L^3/L^3$ ] es el contenido de humedad residual, y  $S_e$  es la saturación efectiva.

Para la función de extracción para representar o calcular la absorción de agua por las raíces de las plantas no es nueva, sin embargo, todas las diversas funciones de extracción propuestas en la literatura son más o menos empíricas.

La diferencia más importante entre los diferentes modelos de extracción del agua por la raíz, es la distribución del patrón seleccionado para la absorción para la función de extracción. A continuación se muestran algunas de las funciones de extracción usadas por diversos investigadores. Los símbolos empleados se corresponden con las referencias originales. Algunas de las notaciones que son utilizadas en estos modelos y son comunes son:  $K$  es la conductividad hidráulica no saturada,  $L$  la longitud de raíces por unidad de volumen de suelo,  $T$  la tasa de transpiración por unidad de área de superficie del suelo,  $t$  el tiempo,  $z$  la profundidad debajo de la superficie del suelo,  $z_r$  la profundidad de la raíz,  $v$  la profundidad de la zona de la raíz,  $\theta$  la humedad contenida por el suelo,  $\theta_s$  o  $\theta_{sat}$  el contenido de humedad de saturación,  $\psi$  la carga de presión,  $T_p$  la tasa de transpiración de la planta,  $f(h)$  o  $\alpha(h)$  es una función de la humedad del suelo y de la carga de presión,  $S_{max}$  es la tasa máxima de extracción de agua por la raíz y  $E_{pl}$  es la transpiración real. Dos de los modelos encontrados en la literatura científica son:

Ojha y Rai (1996).  $S_{max} = \alpha \left[ 1 - \left( \frac{z}{z_{rj}} \right) \right]^\beta$   $0 \leq z \leq z_{rj}$  donde:  $\alpha$  está dada por:  
 $\alpha = \frac{T_j(\beta+1)}{z_{rj}}$   $S(h) = f(h)S_{max}$  donde  $\alpha$  y  $\beta$  son parámetros del modelo y  $z_{rj}$  es la profundidad de la raíz en el  $j$ -ésimo día.

Kang y colaboradores (2001).  $S(z,t) = f(\theta)T_p(t) \frac{1.8e^{-1.8z/z_r}}{(1-e^{-1.8})z_r}$ , donde:  $f(\theta)$  es un término sin dimensiones que varía entre 0 y 1, como una función del contenido de agua del suelo,  $T_p(t)$  es la razón del potencial de transpiración,  $z_r$  es la profundidad en la zona efectiva de la raíz.

### Ecuaciones para el transporte de solutos y de químicos, (CHEMFLO™, 2000)

La ecuación que gobierna el transporte de sustancias químicas considerando movimiento y degradación de químicos es la ecuación de convección-dispersión siguiente:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\theta c + \rho s) = \frac{\partial}{\partial x}(\theta D \frac{\partial c}{\partial x} - qc) - \alpha \theta c - \rho \beta s + \gamma \theta - r_n(\theta, c) \quad (3.18)$$

Donde:

$C = C(x,t)$  es la concentración de químicos en la fase líquida.

$S = S(x,t)$  es la concentración de químicos en la fase sólida.

$D = D(x,t)$  es el coeficiente de dispersión

$\theta = \theta(x,t)$  es el contenido de agua.

$q = q(x,t)$  es el flujo de agua.

$\rho = \rho(x)$  es la densidad de cuerpo sólido.

$\alpha = \alpha(x)$  es la razón constante de degradación de primer orden en la fase líquida.

$\beta = \beta(x)$  es la razón constante de degradación de primer orden en la fase sólida.

$\gamma = \gamma(x)$  es la razón constante de producción de orden cero en la fase líquida.

$r_n = r_n(\theta, c)$  representa la captura de nutrientes por parte de las raíces de las plantas.

Si se supone que:

$$s(x,t) = k(x)c(x,t)$$



Donde  $k(x)$  se conoce como coeficiente de partición entonces, la ecuación de convección-dispersión se transforma en:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\theta Rc) = \frac{\partial}{\partial x}(\theta D \frac{\partial c}{\partial x} - qc) - (\alpha \theta - \rho \beta k) + \gamma \theta - r_n(\theta, c) \quad (3.19)$$

Donde R es un factor de retardo para los químicos en el suelo y está dado por:  $R = 1 + \frac{\rho k}{\theta}$

Para analizar el movimiento de agua y sustancias químicas en la dirección horizontal o en la dirección vertical se deberá de resolver la ecuación diferencial de Richard's, acoplada con la ecuación de convección-dispersión ecuación (17) con las respectivas condiciones iniciales y de frontera para el agua y para el químico.

### 3.3 Conclusiones

En este trabajo se analizan modelos matemáticos para absorción de agua y nutrientes por las raíces de las plantas. Estos modelos están divididos en dos grandes grupos: modelos microscópicos y modelos macroscópicos. Se analiza el modelo de Barber y Cushman para captura de nutrientes, el modelo comienza con una descripción del flujo de nutrientes hacia la raíz. La primera ecuación incluye la difusión y el flujo másico de nutrientes hacia la superficie de la raíz. Una vez que se ha determinado la concentración de nutrientes, la captura o absorción de nutrientes se calcula por medio de cinética de Michael-Menten, ecuación (2), finalmente se calcula la captura total de nutrientes por medio de la ecuación (3). Se analiza también una generalización del modelo de Barber y Cushman debida a Reigato y colaboradores, donde se incluyen fronteras móviles. En la Tabla 3 se muestran los 11 parámetros de suelo y planta usados en el modelo de fronteras móviles para tres híbridos de maíz. En la tabla 4 se presentan los resultados que se obtienen para la captura de potasio por tres híbridos de maíz: observado contra calculado con el modelo de fronteras móviles. En la tabla 5, se muestra la absorción de Magnesio, potasio y fósforo por la raíz de plántulas de pino, observada contra calculada por los modelos de Barber-Cushman y fronteras móviles, todavía se encuentran diferencias significativas entre los dos modelos y contra los resultados experimentales.

Finalmente se presenta brevemente el sistema de ecuaciones diferenciales parciales para el agua, solutos y químicos y que en general usan los modelos macroscópicos. Estas ecuaciones incluyen un término sumidero en la ecuación de transporte de agua y también un término similar en la ecuación de transporte de solutos y químicos. Por la no linealidad que presenta este sistema de ecuaciones es necesario el uso de relaciones constitutivas. En la literatura científica existen muchas formas funcionales del término sumidero para captura de agua. Los parámetros que aparecen en estas propuestas, se pueden determinar a partir de datos de evapotranspiración.

### 3.4 Referencias

Barber. S. A. (1984). Soil Nutrient Bioavailability. A Mechanistic Approach. A Wiley-Interscience Publication, New York.

Barber, S. A. y Cushman, J. H. (1981). Nitrogen uptake model for agronomic crops. Modeling Waste Water Renovation- Land Treatment (ed. I. K. Iksander), Wiley-Interscience, New York. pp. 382-409.

Gardner, W.R., (1960). Dynamic aspects of water availability to plants. Soil Science, 89, pp. 63-73.

CHEMFLO, (2000). Interactive Software for Simulating Water and Chemical Movement in Unsaturated Soils by D.L. Nofziger and Jinqun Wu, Department of Plant and Soil Sciences, Oklahoma State University, Stillwater, OK 74078

Hillel, D. (1980). Applications of Soil Physics. Academic Press, New York. pp. 385

Jackson, R. B. y Caldwell, M. M., (1996). Integrating resource heterogeneity and plant plasticity: modeling nitrate and phosphate uptake in a patchy soil environment. *Journal of Ecology*, 84, pp. 891-903.

Kang, S., Zhang, F., and Zhang, J., (2001). A simulation model of water dynamics in winter wheat field and its application in a semiarid region. *Agricultural Water Management*, 49, pp. 115–129.

Manoj, K. T., Deepak, K. y Gariola, A., (2013). A Physical Based Microscopic Model of Root-Water Uptake., *Journal of Agricultural Engineering and Biotechnology*, Vol, 1, pp. 54-67.

Ojha, C.S.P., and Rai, A.K., (1996). Nonlinear root water uptake model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 122, pp. 198–202.

Purandara, B. K., Varandarajan, N. y Venkatesh, B. (2008). Simultaneous transport of water and solutes under transient unsaturated flow conditions- A case study., *J. Earth Sys. Sci.* 117., pp. 477-487.

Simunek, J. y Hopmans, J. W. (2008). Modelling compensated root water and nutrient uptake. *Ecological Modelling*.

Steve, R. G., Kirkham, M. B. y Clothier B. E. (2006). Root uptake and transpiration: From measurements and models to sustainable irrigation. *Agricultural water management*, 86.,pp. 165-176.

Raats, P. A. C., (2007). Uptake of water from soils by plant roots. *Transp Porous Med*, 68, pp. 5-28.

Reginato, J. C., Palumbo, M. C., Moreno, I. S., Bernardo, I. Ch. y Tarzia, D. A. (2000). Modelling nutrient uptake using a moving boundary approach: Comparison with the Barber-Cushman model. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64. pp. 1363-1367.

Roose, T. y Fowler, A. C., (2003). A mathematical model for water and nutrient uptake by plant root systems. *Journal of theoretical Biology*, 228, pp. 173-184.

## **Modelación del patrón de crecimiento del cultivo de jitomate de invernadero con lógica difusa**

FITZ-RODRÍGUEZ, Efrén, LÓPEZ-CRUZ, Irineo L., SALAZAR-MORENO, Raquel y RAMÍREZ-ARIAS, Armando

E. Rodríguez<sup>1</sup>, I. López<sup>2</sup>, R. Salazar<sup>3</sup> y A. Ramírez<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, km 38.5 carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México, C.P. 56230, México.

<sup>2</sup> Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua, UACH.

<sup>3</sup> Programa de Horticultura Protegida, UACH.

efitzr@gmail.com

D. Sepúlveda, F. Rérez, D. Sepúlveda, E. Figueroa, R. Salazar, L. Godínez (eds.) Matemáticas Aplicadas. Handbook T-I. -©ECORFAN, Texcoco de Mora-México, 2016.

## Abstract

Greenhouse tomato crops experience a growth pattern going from a vegetative to a reproductive mode, as a result of crop, climate and irrigation management. Despite the technological advances on the controlled environment production systems, the decisions on the management of the crop-greenhouse biosystem are based on the direct observations of the grower. These observations are subjective and depend on the experience of the grower, to assess the current status of the crop. Based on these observations, he makes the decisions for driving the crop to a desired state. In order to reduce the subjectivity of the observations of the crop, it is proposed to model the growth pattern of the crop with fuzzy logic, taking as input parameters the stem diameter (Sd) and the distance to the first flowering (Th), from a plant sample of an experimental array with conditions conducing to different growth patterns. The fuzzy inference system proposed discriminated reasonably different growth patterns during a whole production cycle of a greenhouse crop.

## 4 Introducción

En la producción de jitomates de invernadero, normalmente se utilizan variedades indeterminadas, con lo cual se pueden tener ciclos de producción prolongados. Sin embargo, el desarrollo y crecimiento de las plantas muestran un tipo de crecimiento que oscila entre un patrón de crecimiento vegetativo a uno regenerativo. Los agricultores experimentados evalúan el patrón de crecimiento y toman decisiones en cuanto al manejo del cultivo y del control del clima del invernadero, para lograr un patrón de crecimiento balanceado. Es decir, aquel que tenga la proporción adecuada de masa foliar (fuentes) que soporte la carga de frutos actual y, una proporción de carga de frutos (sumideros) que logren mantener la calidad y los rendimientos adecuados en el largo plazo.

La evaluación del cultivo se basa en parámetros morfológicos de las plantas, los cuales pueden ser cuantitativos (longitud de hojas, diámetros de tallo, tasas de elongación, etc.) y cualitativos (forma, color, textura) (Jensen, 2004; Portree, 1996).

No obstante de los grandes avances tecnológicos en la automatización del manejo del clima, fertirriego y muchos otros procesos, la evaluación del estado del cultivo es subjetiva, dado que se realiza por inspección visual y depende de la experiencia del agricultor.

Con el propósito de desarrollar sistemas que puedan tomar información cuantitativa y cualitativa y poder cuantificar el patrón de crecimiento del cultivo de jitomate de invernadero, se propone modelar el patrón de crecimiento con sistemas difusos.

### 4.1 Materiales y métodos

Para la caracterización de los patrones de crecimiento del cultivo de jitomate en invernadero y para derivar el sistema de inferencia difuso, se utilizaron registros del cultivo y datos climáticos de un invernadero experimental donde se establecieron las condiciones para inducir cada uno de los patrones de crecimiento. Se utilizó un variedad de jitomate tipo "Beefsteak" cv. Rapsodie, la cual fue cultivada en condiciones controladas en el Centro de Agricultura de Ambientes Controlados, en la Universidad de Arizona.

El patrón de crecimiento de un cultivo de jitomate de invernadero se evaluó en cada estado del ciclo de producción, dado que éste es un indicador de la fortaleza de las fuentes-sumideros del cultivo y que define el rendimiento obtenido del cultivo. Éste parámetro se designa de manera cualitativa y se describe mejor con los patrones de crecimiento no deseados y extremos, es decir, patrón de crecimiento vegetativo o reproductivo.

Un patrón de crecimiento balanceado es aquel donde las plantas muestran características con valores que están en medio de los dos extremos no deseados.

La lógica difusa es una generalización de la lógica binaria, cuando se tiene una situación de razonamiento con incertidumbre (Zadeh, 1965). Ésta implementa conjuntos difusos, los cuales son conjuntos con fronteras no muy bien definidas y, donde la noción de pertenencia a un conjunto se convierte en un grado de pertenencia. La lógica difusa tiene la ventaja de poder evaluar datos imprecisos, dado que permite implementar conocimientos generales (por ejemplo, la experiencia del agricultor) al usar un lenguaje natural (variables lingüísticas) a través de sistemas de inferencias. Estos sistemas son capaces de manejar incertidumbre y los parámetros cuantitativos y cualitativos pueden combinarse para modelar sistemas complejos. Los modelos difusos basados en reglas se han aplicado en sistemas de control, en toma de decisiones y reconocimiento de patrones, entre muchos otros.

En los sistemas de agricultura controlada se ha aplicado la lógica difusa para modelar (Lanfang et al., 2000; Salgado and Cunha, 2005) y controlar (Castaneda-Miranda et al., 2006; Ehrlich et al., 1996) el clima del invernadero; así como también para modelar algunos procesos de las plantas, tales como la fotosíntesis (Center and Verma, 1997) y el crecimiento (Weiping and Hanqin, 1988) en cultivos de jitomate.

En este trabajo se investigó la caracterización del patrón de crecimiento usando modelación con lógica difusa, al implementar un sistema de inferencia difuso (FIS). Este sistema de inferencia mapea algunas características morfológicas cuantificables de las plantas en patrones o modos de crecimiento. El modo de crecimiento es una característica cualitativa expresada con una variable lingüística, la cual incluye un término descriptivo y un valor numérico que representa el grado de pertenencia a un conjunto difuso.

La gran mayoría de las características morfológicas son cualitativas y es difícil llevar un registro de estas y, poder tomar decisiones calculadas con estas. Sin embargo los agricultores experimentados hacen inferencias con estas para ajustar la operación del sistema completo.

Dos de las características morfológicas cuantificables que más se utilizan en operaciones comerciales son: 1) diámetro de tallo ( $S_d$ ) y 2) distancia del ápice a la primera floración ( $T_h$ ), los cuales fueron utilizados para derivar el sistema de inferencia difuso (FIS, por sus siglas en inglés). El patrón de crecimiento se caracteriza por ser reproductivo, balanceado o vegetativo, los cuales fueron modelados en función de los dos parámetros antes mencionados ( $S_d$ ,  $T_h$ ).

Basado en los experimentos que se realizaron para inducir el crecimiento y desarrollo de las plantas a cada uno de los patrones de crecimiento se construyeron las funciones de densidad de probabilidad normal para cada uno de los parámetros utilizados (Figura 4).

El universo de posibilidades ( $X$ ) y la distribución de probabilidades (Figura 4) definió a cada una de las funciones miembro (Figura 2a y 2b) de los conjuntos difusos de los parámetros de entrada del sistema de inferencia. Se implementó un FIS tipo Mandani, donde la salida (Patrón de crecimiento) también se define como un conjunto difuso.

El universo de posibilidades para el patrón de crecimiento se definió en el rango de 0 a 10, donde el prefijo “muy” se aplicó a ambas patrones de crecimiento, vegetativo y reproductivo; resultando en cinco patrones de crecimiento (figura 2c). El patrón de crecimiento “muy reproductivo” se representa como VR, “reproductivo” como R, “muy vegetativo” como VV, “vegetativo” como V, y balanceado como B.

Un conjunto difuso  $A$  definido en un universo de posibilidades  $X$ , cuyos elementos se denotan como  $x$ , se define como un conjunto de pares ordenados.

$$A = \{ x, \mu_A(x) | x \in X \}$$

Donde  $\mu_A(x)$  es la función miembro (MF) de  $x$ , en  $A$ , mapeando cada elemento en un valor de membresía en el rango de 0 a 1. Las funciones miembro implementadas son de tipo Gausiana simétrica y funciones miembro dobles combinadas en los valores extremos (Figura 4.1).

El sistema de inferencia (Figura 4.2) se definió con reglas if-then (Tabla 4), mapeando las variables de entrada con la variable nueva de salida y que define el patrón de crecimiento.

La integración de los conjuntos difusos que representan a la salida en cada una de las reglas if-then se agregó con el operador “*máximo*”, resultando en un conjunto difuso que describe el modo de crecimiento. Por último, el valor numérico que representa el grado del patrón de crecimiento (en una escala numérica del 0 al 10) se calculó al defusificar el conjunto difuso obtenido en el proceso de agregación con el método de centroides. El sistema de inferencia para caracterizar el patrón de crecimiento se implementó usando la interface gráfica del software Fuzzy Logic Toolbox™ Ver. 2.2.6 of Matlab ® 7.5 (The MathWorks, Inc., Boston, MA, USA).

## 4.2 Análisis y discusión de resultados

Con la modelación del patrón de crecimiento de las plantas de un cultivo de jitomate de invernadero con lógica difusa se pudo discriminar patrones de crecimiento, los cuales fueron inducidos de manera experimental y controlada.

El resultado de la caracterización del patrón de crecimiento del cultivo se monitoreó durante la duración del experimento (Figura 4), donde se aplicaron las condiciones para inducir los tres patrones de crecimiento (reproductivo, balanceado y vegetativo). Las plantas donde se indujo un crecimiento vegetativo (con una conductividad eléctrica  $EC = 2.5 \text{ dS cm}^{-2}$  y un déficit de presión de vapor bajo,  $VPD = \text{low}$ ) las plantas no alcanzaron un verdadero crecimiento vegetativo y a lo mucho se observó un crecimiento balanceado. Sin embargo, el patrón de crecimiento reproductivo si se logró con los tratamientos más severos ( $EC = 8.0 \text{ dS cm}^{-2}$  y  $VPD = \text{high}$ ) y, estos últimos si se diferenciaron claramente con el modelo difuso.

En términos generales el factor ambiental de VPD fue más sensitivo al tratamiento de conductividad eléctrica ( $EC = 8.0 \text{ dS cm}^{-2}$ ) y reflejó un cambio del patrón de crecimiento de balanceado a reproductivo cuando se cambió el tratamiento de VPD de “bajo” a “alto” y, viceversa de reproductivo a balanceado cuando se cambió el tratamiento de VPD de “alto” a “bajo”. El modelo difuso permite ver el desarrollo del patrón de crecimiento a través del ciclo de producción.

Las características morfológicas entre los diferentes cultivares son diferentes, sin embargo, los patrones del modo de crecimiento son correspondientes con el ambiente que ha inducido ese patrón de crecimiento, lo cual indica que es una técnica que puede ser útil para muchos tipos de jitomate.

Las ventajas de modelar el patrón de crecimiento con lógica difusa incluye: 1) la posibilidad de implementarlo en cultivos establecidos, dado que se derivó de datos experimentales. 2) la capacidad de combinar características cualitativas y cuantitativas y, 3) los resultados de la caracterización del patrón de crecimiento incluye componentes cualitativos y cuantitativos, dados por la variable difusa y el valor numérico del grado de membresía.

### 4.3 Conclusiones

El patrón de crecimiento de las plantas de un cultivo de jitomate de invernadero se modeló con lógica difusa en función de los dos parámetros morfológicos más utilizados en la determinación del vigor del cultivo de jitomate. A pesar del gran desarrollo tecnológico, los ajustes en el biosistema planta-invernadero se realizan basados en observaciones subjetivas del estado de las plantas. Aun cuando los patrones de crecimiento de diversas variedades son diferentes, la modelación difusa permite el manejo de datos imprecisos, lo cual lo hace una herramienta viable para incluir variables cualitativas que capturan la experiencia de los agricultores y que es difícil llevar un registro de estas y sobre todo poder hacer cálculos con ellas. Como futuros desarrollos se pueden integrar sistemas de visión artificial, que cuantifiquen y registren características morfológicas del cultivo, tanto cualitativas como cuantitativas y que suministren esta información a un sistema de inferencia. En su momento con esta información establecer medidas correctivas para dirigir el patrón de crecimiento deseado de acuerdo al estado actual del cultivo y a los requerimientos del mercado.

### 4.4 Referencias

- Adams, S.R., 2002. Predicting the weekly fluctuations in glasshouse tomato yields. *Acta Hort. (ISHS)*, 593: 19-23.
- Blum, E.K. and Li, L.K., 1991. Approximation theory and feedforward networks. *Neural Networks*, 4(4): 511-515.
- Buckley, J.J. and Eslami, E., 2002. An introduction to fuzzy logic and fuzzy sets. *Physica-Verlag*, 286 pp.
- Castaneda-Miranda, R., J. Ventura-Ramos, Eusebio, R. del Rocio Peniche-Vera, and G. Herrera-Ruiz. 2006. Fuzzy Greenhouse Climate Control System based on a Field Programmable Gate Array. *Biosystems Engineering*. 94: 165-177.
- Center, B. and Verma, B.P., 1997. A fuzzy photosynthesis model for tomato. *Transactions of the ASAE*, 40(3): 815-821.
- Costa, P., 2007. A quantified approach to tomato plant growth status for greenhouse production in a semi arid climate. Ph.D Thesis, University of Arizona, Tucson, AZ, 231 pp.
- Ehrlich, H., Kühne, M. and Jäkel, J., 1996. Development of a fuzzy control system for greenhouses. *Acta Hort. (ISHS)*, 406.

Jensen, M.H., 2004. Steering your tomatoes towards profit, Greenhouse Crop Production and Engineering Design Short Course. CEAC/UofA, Tucson, AZ, pp. 3.

Lanfang, P., W. Wanliang, and W. Qidi. 2000. Application of adaptive fuzzy logic system to model for greenhouse climate. Intelligent Control and Automation, 2000. Proceedings of the 3rd World Congress on. p. 1687-1691 vol.1683.

Lafont, F. and Balmat, J.-F., 2002. Optimized fuzzy control of a greenhouse. Fuzzy Sets and Systems, 128(1): 47-59.

Piegat, A., 2001. Fuzzy modeling and control. Studies in fuzziness and soft computing ; vol. 69. Physica-Verlag, Heidelberg ; New York, xiv, 728 pp.

Portree, J., 1996. Greenhouse vegetable production guide. British Columbia Ministre of Agriculture, Fisheries and Food. British Columbia Ministre of Agriculture, Fisheries and Food, Abbotsford, British Columbia, 117 pp.

Salgado, P. and Cunha, J.B., 2005. Greenhouse climate hierarchical fuzzy modeling. Control Engineering Practice, 13(5): 613-628.

Tien, B.-T., 1997. Neural-fuzzy approach for system identification. Ph.D. Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, 155 pp.

Weiping, J. and T. Hanqin. 1988. Fuzzy modeling on crop growth control systems. Acta Hort. (ISHS). 230: 241-244.

Yen, J. and Langari, R., 1999. Fuzzy logic, intelligence, control, and information. Prentice Hall, 548 pp.

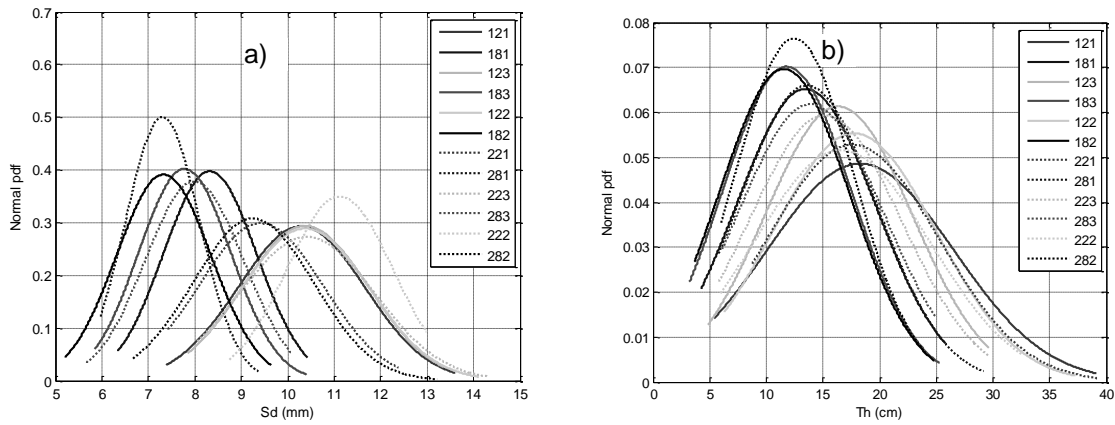
Zadeh, L.A. 1965. Fuzzy sets. Information and Control. 8: 338-353.

**Tabla 4** Reglas difusas “if-then” para definir el FIS en la caracterización del patrón de crecimiento

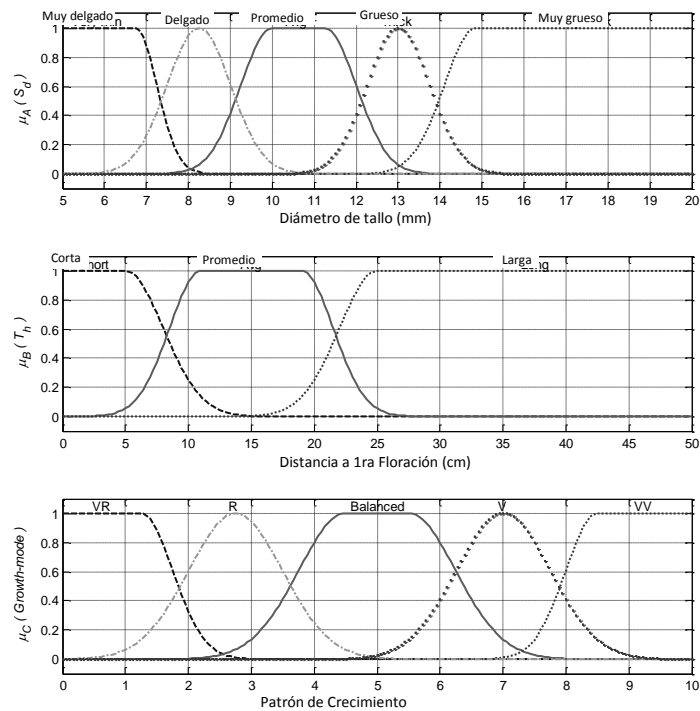
Rule No.	Antecedent	Consequent	Rule Weight
1	If (Sd is MuyDelgado)	then (Patrón de Crecimiento is VR)	1
2	If (Sd is Delgado)	then (Patrón de Crecimiento is R)	1
3	If (Sd is Promedio)	then (Patrón de Crecimiento is Balanced)	1
4	If (Sd is Grueso)	then (Patrón de Crecimiento is V)	1
5	If (Sd is MuyGrueso)	then (Patrón de Crecimiento is VV)	1
6	If (Th is Corto)	then (Patrón de Crecimiento is R)	1
7	If (Th is Promedio)	then (Patrón de Crecimiento is Balanced)	1
8	If (Th is Largo)	then (Patrón de Crecimiento is V)	1

**Figura 4** Funciones de densidad de probabilidad normal para: a) diámetro de tallo ( $S_d$ ) y b) la longitud del ápice a la primera floración ( $T_h$ ), obtenidas de la muestras de cada tratamiento experimental. Los dígitos representan a cada uno de los tratamientos, los cuales son una combinación de conductividad eléctrica (EC, segundo dígito, 2=2.5 y 8 = 8.0 dS cm<sup>-2</sup>), déficit de presión de vapor (VPD, tercer dígito, 1=bajo, 2=alto y 3=control) y dos fases experimentales (primer dígito). El factor VPD se intercambió en tratamientos de un nivel alto a bajo, y viceversa

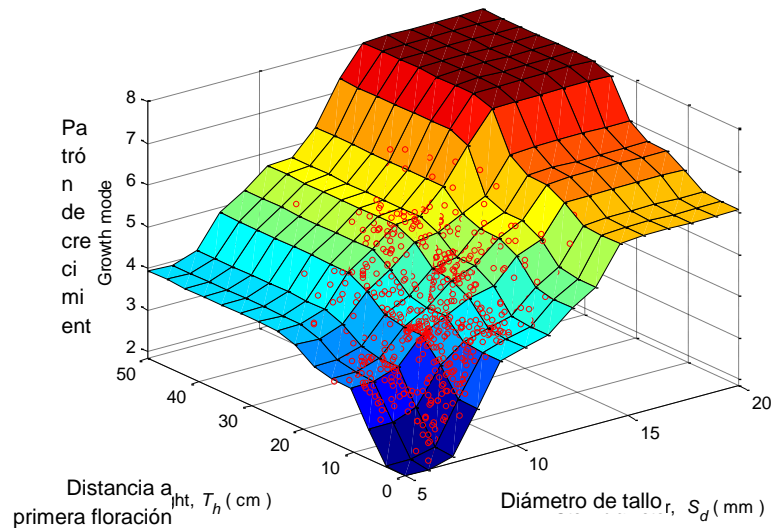




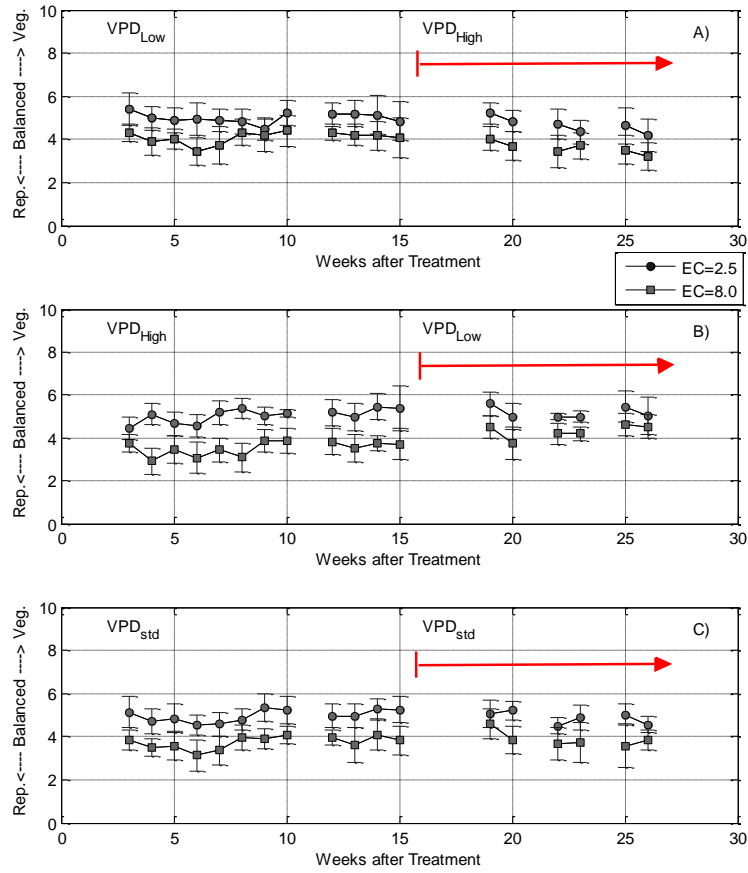
**Figura 4.1** Funciones miembro para los parámetros de entrada y salida del Sistema de inferencia difuso



**Figura 4.2** Función de inferencia (FIS) para la modelación del patrón de crecimiento



**Figura 4.3** Caracterización del patrón de crecimiento de plantas de jitomate durante un ciclo de producción. En las configuraciones experimentales se indujeron patrones A) vegetativos, B) reproductivos y C) balanceados durante la mitad del ciclo y, después de la semana 16 se intercambió a condiciones que condujeran a un modo de crecimiento opuesto



## **Plataforma de software libre para automatizar la geolocalización de productores de invernadero**

SOLIS-CIELO, Enrique, LUGO-ESPINOSA, Oziel y ZARCO-HIDALGO, Alfonso

E. Solis, O. Lugo y A. Zarco

Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Universitario UAEM Texcoco, Maestría en Ciencias de la Computación, Av. Jardín Zumpango s/n Fracc. El Tejocote, Texcoco, Estado de México.  
e.solis92@hotmail.com

D. Sepúlveda, F. Rérez, D. Sepúlveda, E. Figueroa, R. Salazar, L. Godínez (eds.) Matemáticas Aplicadas. Handbook T-I. -©ECORFAN, Texcoco de Mora-México, 2016.

## Abstract

A technological platform is presented based on free software consisting of three main parts, the first is a mobile application to capture information about crops and infrastructure producers on greenhouse in association; the second is the geographical map generation and finally, the visualization of data on the internet. With the geographical location of points of each producer on the association, we can establish optimal trade routes, potential business partners, strategic points of sales and alternative markets for commercialization for their products. The finality of the platform is generate competitive advantages that favor economic growth of the association through the use of information technologies.

## 5 Introducción

En la actualidad el cambio climático afecta considerablemente diferentes regiones del mundo entero. En consecuencia, se creó la necesidad de usar diversas técnicas, herramientas, materiales, tecnologías y estructuras de construcción con la finalidad de obtener un mejor rendimiento y una mayor calidad de los productos agrícolas. Una de estas técnicas es conocida como agricultura protegida. La agricultura protegida se realiza bajo estructuras construidas con la finalidad de evitar las restricciones que el medio ambiente impone al desarrollo de las plantas (Juárez, Bugarín, Castro, & Ana Luisa Sánchez-Monteón, 2011).

En este trabajo se propone el desarrollo de un software para dispositivos móviles para obtener información sobre el tipo de cultivo e infraestructura que posee cada productor de invernadero. Las preguntas que se realizan al productor, fueron extraídas de un formato de registro de invernaderos que proporciona SAGARPA para la recolección de datos a nivel nacional.

A los datos capturados con la aplicación móvil, se le agregó la posibilidad de ubicar a cada productor en un mapa geográfico, para analizar la información y ofrecer a la asociación de productores, ventajas competitivas de mercado, ya que es posible trazar rutas óptimas de comercio, puntos estratégicos de ventas, socios comerciales en la cercanía y mercados alternativos para la comercialización de sus productos.

Por último, toda la información recopilada, así como los mapas y una galería de fotografías de las estructuras de cultivo fueron montadas en una plataforma web con la finalidad de facilitar tanto el acceso como la interpretación de todos los datos obtenidos durante el desarrollo del proyecto.

### 5.1 Sistemas de información geográfica

Los sistemas de información geográfica son una herramienta que permite almacenar, procesar y analizar información de puntos establecidos en alguna zona geográfica de interés. En 1990, el National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA) de USA define a los SIG como “Un sistema hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados”. Se compone de una serie de capas de información espacial en formato digital que representa diversas variables u objetos de una base de datos enlazada (LLopis, 2006).

Un SIG tiene un gran número de diferentes aplicaciones en la vida real, entre las más utilizadas podemos encontrar (Pérez Navarro, 2011):

- Científicas: Ciencias medioambientales, desarrollo de modelos empíricos, modelización cartográfica, modelos dinámicos y teledetección. (LLopis, 2006).
- Gestión: Cartografía automática, información pública, catastro, planificación física y urbana, estudios de impacto ambiental, evaluación de recursos y seguimiento de actuaciones.
- Empresarial: Marketing, estrategias de distribución, planificación de transporte y localización óptima.

## **Aplicaciones móviles**

Aunque el tema de las aplicaciones móviles parezca ser un tema de actualidad que ha tenido auge en los últimos años, la verdad es que las aplicaciones móviles han estado con nosotros desde hace más tiempo del que pensamos. Los dispositivos móviles de antaño a pesar de contar con pantallas reducidas y sin tecnologías tan avanzadas como las pantallas táctiles ya contaban con una diversa serie de herramientas que tenían como finalidad llevar a cabo alguna tarea en específico que permitiera al usuario facilitarle alguna actividad de su vida diaria.

Para entender un poco mejor el concepto, podemos decir que las aplicaciones son para los móviles lo que los programas son para los ordenadores de escritorio (Javier Cuello, José Vittone, 2013).

Las aplicaciones móviles permiten procesar información, dotando a los usuarios de portabilidad y validación de los datos en la captura de información (Arroyo & Sainz, 2007).

## **5.2 Metodología**

Para desarrollar la aplicación para dispositivos móviles se utilizó una plataforma en línea conocida con el nombre de App Inventor. Esta plataforma permite diseñar y codificar aplicaciones para dispositivos móviles con Sistema Operativo Android de manera gratuita únicamente registrándose con una cuenta de correo electrónico de Google (David Wolber, 2015).

Se utilizó esta plataforma debido a que su interfaz de desarrollo además de ser muy completa e intuitiva permite codificar las aplicaciones por medio de programación por bloques, es decir, App Inventor nos muestra una serie de bloques que simulan ser piezas de un rompecabezas que pueden ensamblarse unas con otras para facilitar la codificación de estructuras de programación complejas y sin la necesidad de conocimientos extensos en programación,

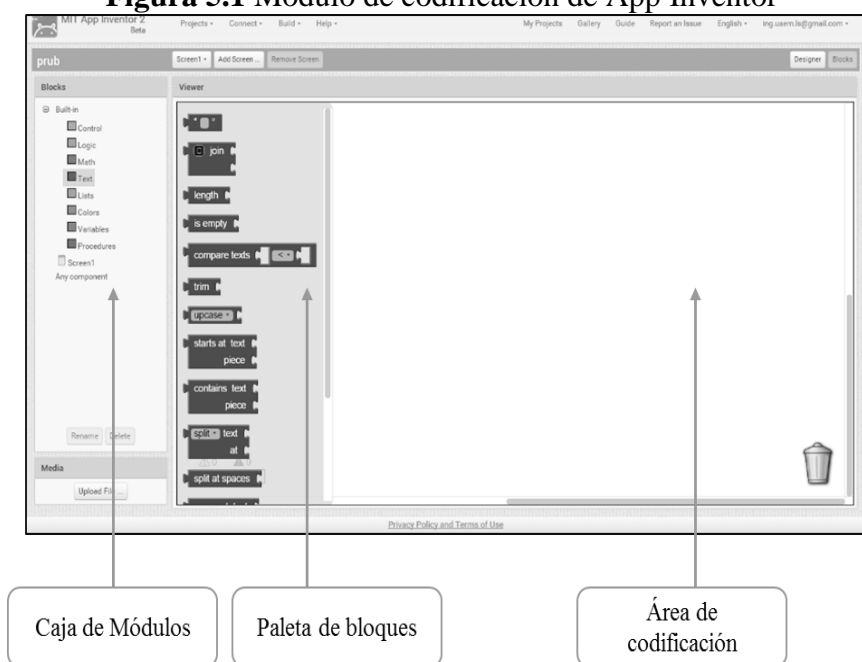
A continuación se muestra en la figura 1 el entorno de desarrollo de App Inventor y las secciones que lo componen:

**Figura 5** Entorno de desarrollo de App Inventor



App Inventor cuenta con un módulo de codificación que permite realizar el código necesario para cada aplicación por medio de ensamblaje de bloques. Este entorno de trabajo se muestra a continuación en la figura 5.1:

**Figura 5.1** Módulo de codificación de App Inventor



Para el diseño y desarrollo de la plataforma web se usó una metodología de desarrollo de software conocida como “Metodología IWeb”, la cual consiste en las siguientes etapas (Nievas del Valle Rodríguez, 2009):

- Formulación: Se identificarán las metas y objetivos del software a desarrollar (procesar y mostrar la información referente a los invernaderos bajo el uso de un sistema de información geográfica en una plataforma web).

- Planificación: Se estiman costos y riesgos del proyecto. (El proyecto se desarrolla en su mayoría con herramientas de software libre y fue sometido a diferentes pruebas de funcionalidad).
- Análisis: En esta etapa se establecen los requisitos técnicos y de diseño y se identifican los elementos del contenido a incorporar (Los mapas y la información recopilada por la aplicación móvil).
- Modelización: En esta etapa se diseña todo el contenido tanto gráfico como de texto que se incorporara en el sitio web (Se analizó toda la información obtenida por el cuestionario de registro de invernaderos para seleccionar solo la más representativa).
- Generación de las páginas: Haciendo uso de diferentes herramientas de software se construyen y enlazan las diferentes páginas que componen el sitio web.
- Test: En esta etapa se intenta descubrir los errores e inconvenientes que muestre el sitio, con el fin de asegurar que cada página y elemento funcione de manera correcta.
- Evaluación: Por último se solicita una revisión a detalle de cada sección del sitio por parte de desarrolladores de software así como personas sin conocimientos extensos en el tema de la computación, con el fin de asegurar un correcto funcionamiento del sitio que permita que el público en general pueda hacer uso de él.

A continuación, en la Figura 5.2 se indican las secciones contempladas por el formato de registro de invernaderos que se tomó como base:

**Figura 5.2** Secciones correspondientes al formato de registro de invernaderos

El diagrama muestra un formulario de registro de invernaderos del Sistema Nacional de Información de Agricultura Protegida (SIAPRO) 2011. El formulario está dividido en varias secciones, cada una etiquetada con un recuadro verde y una línea que apunta a la parte correspondiente del formulario:

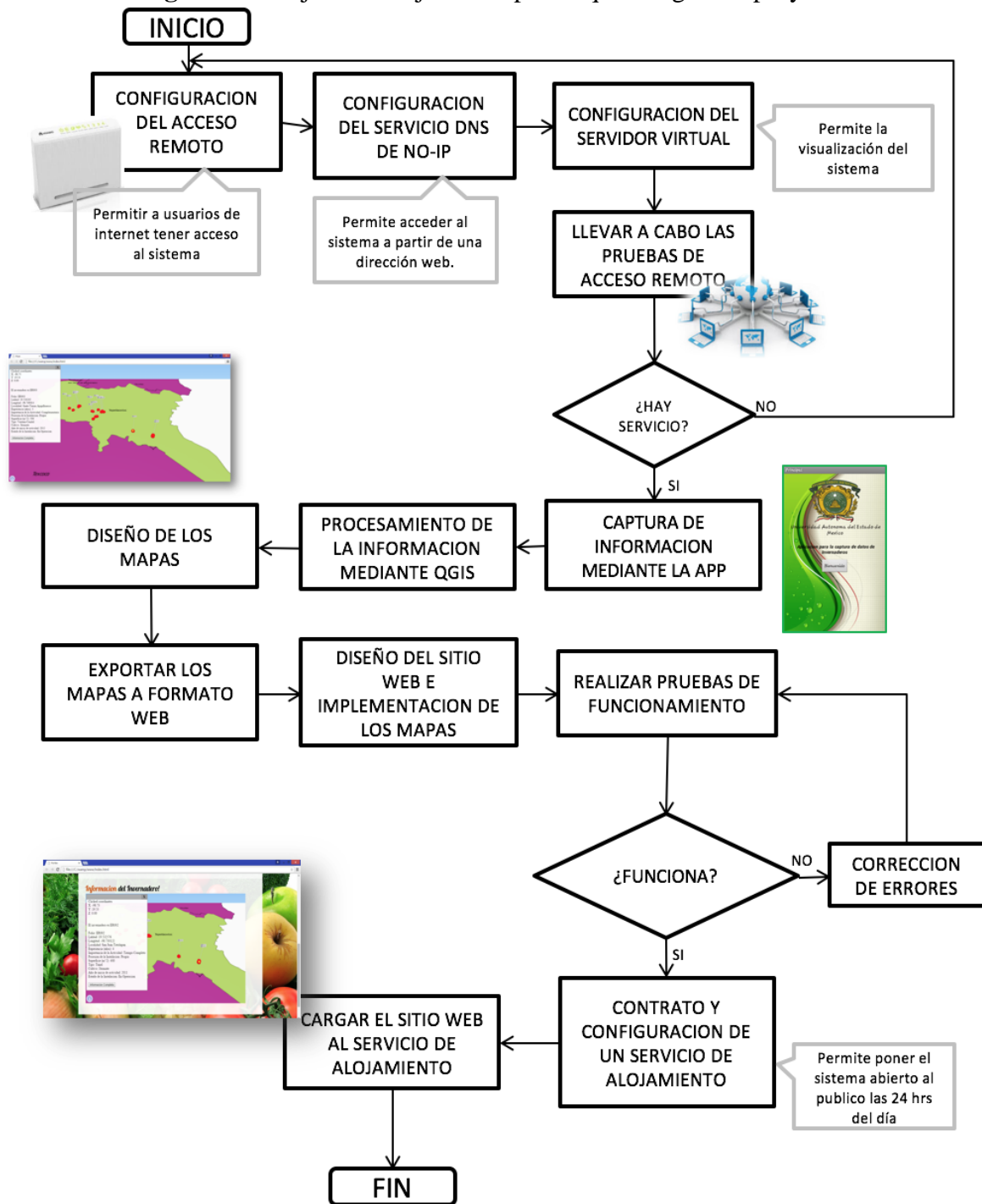
- Datos del Productor:** Incluye un recuadro que apunta a la sección de 'IDENTIFICACIÓN' del formulario, que contiene campos como 'ESTADO', 'MUNICIPIO', 'LOCALIDAD', 'AÑO DE LEVANTAMIENTO', 'Número de Instalación' y 'Clase de Invernadero'.
- Manejo, comercialización y apoyos:** Incluye un recuadro que apunta a la sección de 'PARTES DEL DATOS DEL PRODUCTOR' del formulario, que contiene campos para 'Persona física' (Nombre(s), Apellido Paterno, Apellido Materno, Domicilio, Domicilio, Fecha de nacimiento, Sexo) y 'Persona moral' (Razón Social, Número del Registro Público, RFC, Fecha de creación, Número de integrantes, Nombre, Sexo, Dirección, Localidad, Municipio, Teléfono, Correo electrónico).
- Uso de la Propiedad:** Incluye un recuadro que apunta a la sección de 'PARTES DEL DATOS DEL PRODUCTOR' del formulario, que contiene campos para 'Persona física' (Nombre(s), Apellido Paterno, Apellido Materno, Domicilio, Domicilio, Fecha de nacimiento, Sexo) y 'Persona moral' (Razón Social, Número del Registro Público, RFC, Fecha de creación, Número de integrantes, Nombre, Sexo, Dirección, Localidad, Municipio, Teléfono, Correo electrónico).
- Características de la Instalación:** Incluye un recuadro que apunta a la sección de 'PARTES DEL DATOS DEL PRODUCTOR' del formulario, que contiene campos para 'Persona física' (Nombre(s), Apellido Paterno, Apellido Materno, Domicilio, Domicilio, Fecha de nacimiento, Sexo) y 'Persona moral' (Razón Social, Número del Registro Público, RFC, Fecha de creación, Número de integrantes, Nombre, Sexo, Dirección, Localidad, Municipio, Teléfono, Correo electrónico).
- Información de control:** Incluye un recuadro que apunta a la sección de 'PARTES DEL DATOS DEL PRODUCTOR' del formulario, que contiene campos para 'Persona física' (Nombre(s), Apellido Paterno, Apellido Materno, Domicilio, Domicilio, Fecha de nacimiento, Sexo) y 'Persona moral' (Razón Social, Número del Registro Público, RFC, Fecha de creación, Número de integrantes, Nombre, Sexo, Dirección, Localidad, Municipio, Teléfono, Correo electrónico).

Fuente: Sistema Nacional de Información de Agricultura Protegida, SIAPRO

### 5.3 Resultados

A continuación la Figura 5.3, representa la secuencia en el flujo de trabajo para integrar las partes que conforman la propuesta.

**Figura 5.3** Flujo de trabajo de las partes que integran el proyecto



## Aplicación móvil

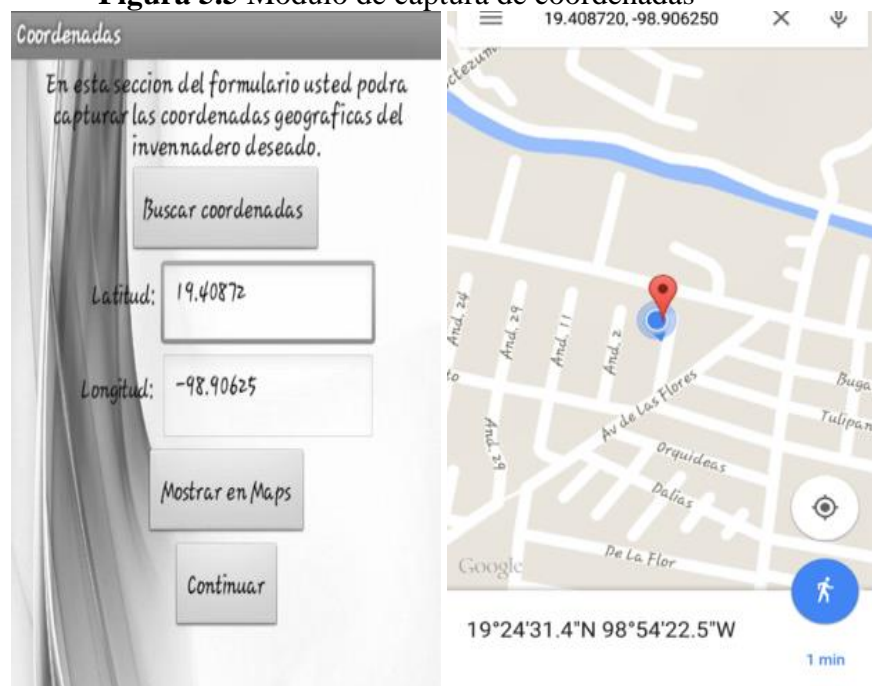
La aplicación móvil que se diseñó, la cual se muestra en las Figuras 5-8 incluye varios módulos de utilidad al registrar los datos de cada invernadero, entre estos módulos podemos encontrar un módulo para la captura de coordenadas geográficas que trabaja con el dispositivo GPS que trae ya habilitado nuestro teléfono inteligente, un módulo para la captura de imágenes (fotografías) y un módulo de captura de datos dividido en cuatro secciones: Información básica del productor y características del invernadero, equitación del invernadero, técnicas y métodos de control de calidad que se implementan para el cuidado de los cultivos y manejo, comercialización y apoyos otorgados a los productores por alguna institución gubernamental o privada.



**Figura 5.4** Menú principal



**Figura 5.5** Modulo de captura de coordenadas



**Figura 5.6** Modulo de captura de información básica

**Información Básica**  
 Sección para la captura de información básica productor/Invernadero

Localidad:

Edad (Productor):

Experiencia (Años):

Importancia de la Actividad: **TIEMPO COMPLETO**

Poseción de la Instalación: **PROPIA**

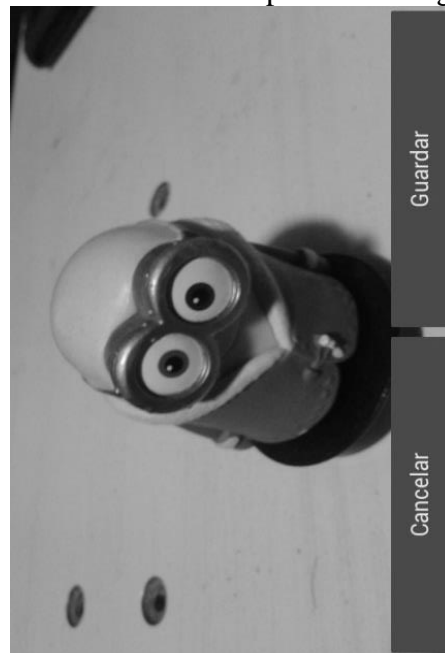
Superficie (mts):

Tipo de Invernadero: **VENTANA CENITAL**

Tipo de Cultivo:

Variedad:

Rendimiento anual (Ton):

**Figura 5.7** Modulo de captura de Fotografías

### Aplicación WEB

Una vez diseñado el sitio, montados los mapas, cargadas las galerías y llevadas a cabo las pruebas pertinentes, el sistema fue subido a la web mediante una cuenta de hosting (almacenamiento en la nube) para ponerlo en línea las 24 horas del día. A diferencia del uso de un servidor local en el cual para dar servicio al sitio nuestro equipo de cómputo debe estar configurado y encendido todo el tiempo, contratando un servicio de hosting únicamente nos encargamos de subir el sitio ya terminado y llevar a cabo las actualizaciones pertinentes cuando se considere necesario.

El sistema se muestra en las Figuras 9-11:

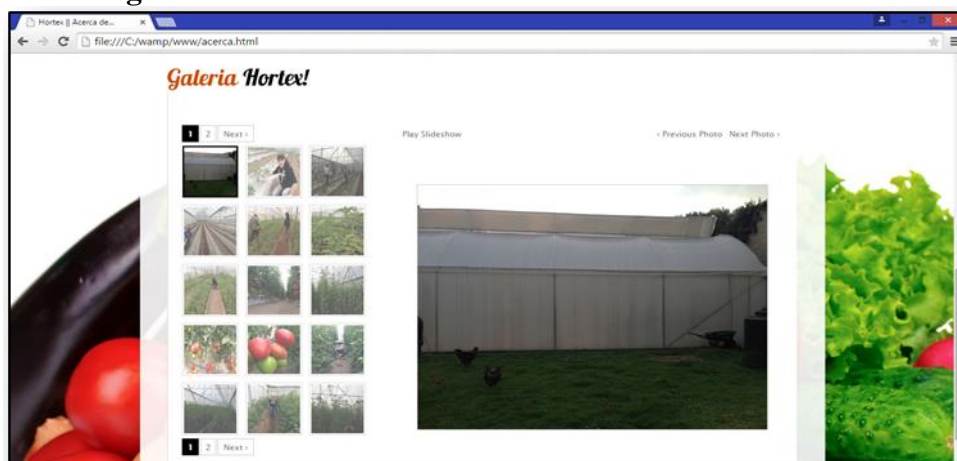
**Figura 5.8** Pantalla de bienvenida



**Figura 5.9:** Información geográfica sobre un punto en el mapa

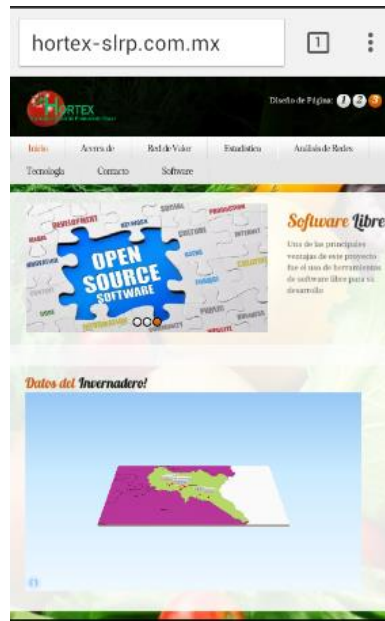


**Figura 5.10** Galería sobre la infraestructura de la asociación

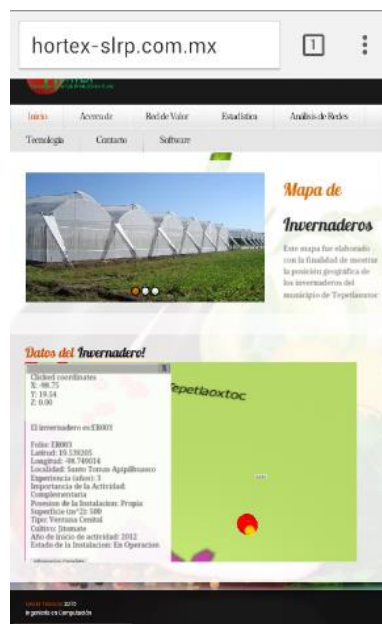


El sitio también permite su visualización y manejo mediante el uso de dispositivos móviles como Tablets y Smartphones como se muestra a continuación en la Figura 5.11 y 5.12:

**Figura 5.11** Mapa principal



**Figura 5.12** Infraestructura



## 5.4 Conclusiones

El análisis de la información es la clave para llevar a cabo los objetivos de cualquier empresa, sin embargo, los datos se deben recopilar, estructurar y procesar para ofrecer resultados que ayuden a cumplir los objetivos de la misma. La utilización de herramientas de software, ayudan a disminuir los errores en la captura de información y a disminuir el tiempo de proceso para obtener información que sirve como análisis y soporte para la toma de decisiones.

Existen importantes retos que afectan a la producción agrícola de la región, sin embargo, se pueden establecer directrices para el desarrollo de estrategias que permitan a los productores mejorar su competitividad a través del uso de herramientas tecnológicas.

El desarrollo de sistemas SIG son costosos y requieren de expertos en el tema, sin embargo, existe software libre que permite generar herramientas robustas para la captura de información, generación de mapas y presentación de los datos. La plataforma que se propone en este trabajo, permite una integración de tecnologías (móvil, software de escritorio y tecnología web) para generar análisis geográficos que pueden aplicarse a cualquier asociación de productores agrícolas.

## 5.5 Referencias

Arroyo, L., & Sainz, A. M. (2007). *Movil: Empresa y Sociedad*. España: Fundacion EOI.

David Wolber, Hal Abelson, Ellen Spertus & Liz Looney (2015). *App Inventor 2, Create Your Own Android Apps*. California, Estados Unidos: O'Reily Media, Inc.

Javier Cuello, José Vittone (2013). *Diseñando apps para móviles*. Barcelona, España:

Juárez, P., Bugarín, R., Castro, R., & Ana Luisa Sánchez-Monteón, E. C.-C. (2011). Estructuras utilizadas en la agricultura protegida. *Revista Fuente*, 21-27.

LLopis, J. P. (2006). Sistemas de información geográfica aplicados a la gestión del territorio. En J. P. Llopis, *Sistemas de información geográfica aplicados a la gestión del territorio* (págs. 3-6). Alicante: Editorial Club Universitario.

Nieves del Valle Rodríguez, Ana (2009). *Metodologías de diseño usadas en ingeniería web, su vinculación con las NTICS*. Ciudad de La Plata, Argentina: Universidad Nacional de la Plata.

Pérez Navarro, Antoni (2011). *Introducción a los Sistemas de Información Geográfica y geotelemática*. Barcelona, España: Editorial UOC

## **Modelos empíricos que estiman la biomasa en función de la radiación interceptada y el índice de área foliar en girasol**

ESCALANTE-ESTRADA, José Alberto Salvador, RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, María Teresa y ESCALANTE-ESTRADA, Yolanda Isabel

J. Escalante, M. Rodríguez y Y. Escalante

D. Sepúlveda, F. Rérez, D. Sepúlveda, E. Figueroa, R. Salazar, L. Godínez (eds.) Matemáticas Aplicadas. Handbook T-I. -©ECORFAN, Texcoco de Mora-México, 2016.

## Abstract

The objectives of this study were to determine in sunflower, empirical models that relate: a) the radiation intercepted (RI) with the leaf area index (LAI); b) dry matter (DM) with the RI; c) the distribution of solar radiation in the canopy (DRC); and d) if the measures of RI with the linear sensor of quantum (LSQ) and the meter stick (MS) presented a high ratio. The sunflower cv. "Victoria Mejorado" was sown on 8 May, to 5.7 plants m<sup>-2</sup>, under rainfall conditions at Montecillo Méx., Mexico of temperate climate. Every 20 days recorded the LAI, the DM (g m<sup>-2</sup>), the RI with the LSQ and MS. To 65 days of planting the DRC with the SLQ. With a 98% confidence, the RI can be estimated through the LAI; and the DM with the RI and the LAI. The measure of RI with the MS is high reliability. The exponential model was the better adjustment for such relationship and for DRC.

## 6 Introducción

En un cultivo agrícola, la producción de materia seca (MS) está determinada por la radiación interceptada (RI), la eficiencia del uso de la radiación y el área foliar o maquinaria fotosintética (Escalante *et al.*, 2015). El área foliar (que se refiere a la superficie de una cara de la lámina foliar), se puede expresar por planta o por metro cuadrado de área sembrada, el cual se conoce como índice de área foliar (IAF; Escalante y Kohashi, 2015; Girardin y Tollenaar, 1994). El IAF óptimo se refiere a aquel que intercepta el máximo de radiación solar que activa la fotosíntesis (RAF). Por otra parte, el ángulo de inserción foliar, la distribución y orientación de las hojas, es determinante para que la RAF llegue a todas las hojas del dosel y ocurra la fotosíntesis. La eficiencia con lo que los diferentes estratos del dosel absorben la RAF se puede medir mediante el coeficiente de extinción o atenuación de luz (Monsi y Saeki, 1953). El patrón de hojas verticales en la parte superior y más horizontales en la parte inferior del dosel permite que las hojas superiores dejen pasar más RAF hacia las hojas inferiores, logrando que la radiación sea distribuida más equitativamente sobre el total del área foliar (Loomis y Williams, 1969). Así, en un cultivo, hojas erectas pueden presentar tasas de producción de MS más altas, debido a una mayor penetración de luz en el dosel (Williams *et al.*, 1968). Así, el ángulo de la hoja podría ser una característica a considerar en un programa de mejoramiento (Whigham y Woolley, 1974). También debido a un menor autosombreado, esto podría permitir el uso de densidades de población más altas.

El coeficiente de extinción o atenuación de luz (k), es un parámetro que indica la magnitud de reducción de la radiación que atraviesa un dosel vegetal, el cual está en función del IAF y que finalmente es determinante para estimar la cantidad de RI por el cultivo. Este coeficiente se basa en la ley de Beer-Lambert ( $F=1-\exp(-k \text{ IAF})$ ). Así, el valor de k está en función de la especie vegetal y de los cultivares de la misma. En maíz un  $k=0.7$ , lo que indica que solo un 30% de la radiación llega al estrato inferior del cultivo (Camacho *et al.*, 1995). Bange *et al.* (1997), para girasol encontró el modelo  $RI=0.93 (\pm 0.02) [1-e^{-0.88 (\pm 0.06) \text{ IAF}}]$ , donde RI es la radiación interceptada (%), -0.88 es K e IAF es el índice del área foliar. Confalone *et al.* (2011), en haba (*Vicia faba* L.) encontraron una relación entre la RI y el IAF que respondió al modelo  $Y=1-\text{Exp}(0.75 X)$ , con  $R^2=0.95$ , donde 0.75 es el K promedio durante el estudio; X es el IAF; Y es la RI. Por otra parte, dada la importancia que representa la RI para la producción de MS de un cultivo ésta es determinante para el rendimiento de grano (Escalante, 1999), se han generado y propuesto modelos que estiman la MS con base en RI y el IAF (Escalante, 1999; Escalante *et al.*, 2015).

La mayoría de los estudios reportan para la medida del área foliar y de la RI, instrumentación cuyo costo no está al alcance de la mayoría de los investigadores, por lo que la búsqueda de metodología para tal fin que sea más económica, podría derivar en mayor número de estudios. Los objetivos de este trabajo fueron determinar en girasol (*Helianthus annuus* L.) los modelos empíricos que relacionan: a) la radiación interceptada con el índice de área foliar; b) la producción de materia seca con la radiación interceptada; c) el perfil de distribución de radiación solar en el dosel vegetal; y d) la relación entre las medidas de radiación interceptada con el sensor y con las de la regla graduada de madera.

## 6.1 Materiales y métodos

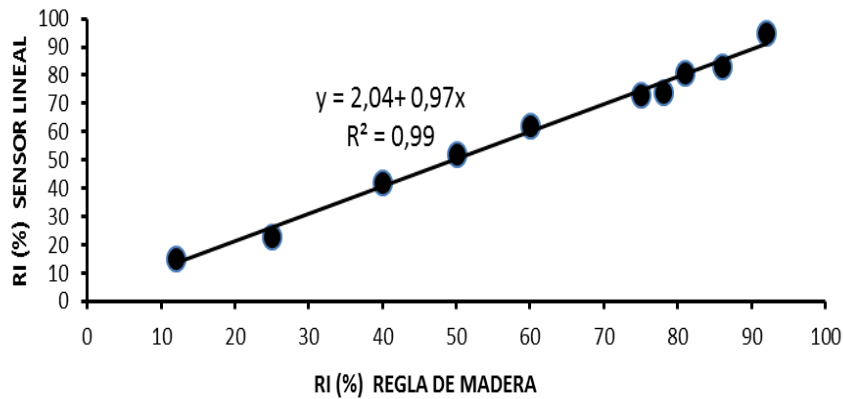
El estudio se realizó en Montecillo Méx., México (19°29' N, 98° 45' W, 2,250 m de altitud) de clima templado (García, 2004) con girasol (*Helianthus annuus* L.) cv. Victoria Mejorado cultivado bajo condiciones de lluvia. La siembra fue el 8 de mayo de 2012, a la densidad de 5.7 plantas m<sup>-2</sup> en surcos de 0.80 m de separación. Durante el desarrollo del cultivo se realizaron muestreos de cuatro plantas cada 20 días (seis muestreos en total) para registrar el área foliar (mediante un integrador de área), el índice de área foliar y la producción de materia seca por m<sup>-2</sup>. La RI por el dosel se calculó con un SLQ, mediante el planteamiento  $RI = [1 - (\text{radiación incidente en la base del dosel} / \text{radiación incidente arriba del dosel})] * 100$  y con el método de la regla graduada de madera (RGM) con  $RI = (\text{cm sombreados por el cultivo en la regla} / \text{distancia (cm) entre hileras o surcos en el cultivo}) * 100$  (Adams y Arkin, 1977). Para determinar el perfil de transmisión de radiación, a los 65 días de la siembra (etapa R5 del girasol, Schneither y Miller, 1981), se realizaron medidas con el SLQ, a partir de la parte superior del dosel, cada 30 cm hacia la base del dosel. Mediante el paquete estadístico Excel y Curve Expert 3.1 se buscaron los mejores modelos de ajuste para determinar la relación entre las variables en estudio.

## 6.2 Resultados y discusión

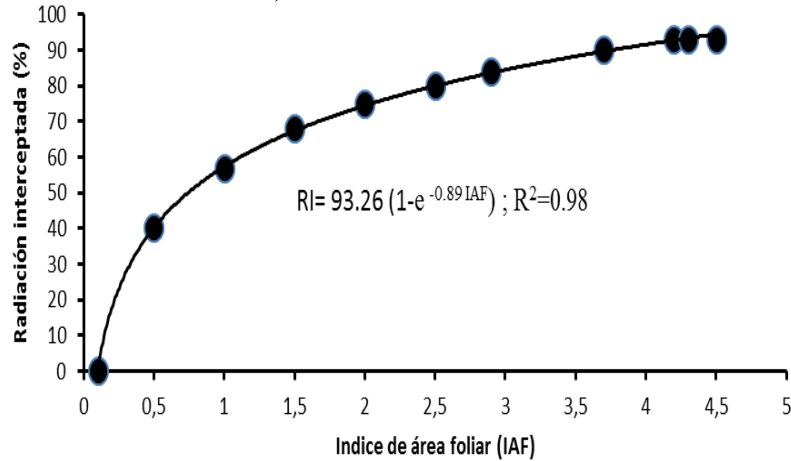
La Figura 1, muestra la relación alta ( $R^2=0.99$ ) entre las medidas del SLQ con las de la RGM, lo que indica que éste último es confiable y más económico para determinar la RI por un cultivo. Así mismo, la Figura 2, indica que la RI está determinada en un 98% por los cambios en el IAF y que dicha relación responde a un modelo exponencial, donde se observa que para el cv. Victoria Mejorado, sembrado en Montecillo, bajo condiciones de régimen de lluvia, la más alta RI se logra con un IAF entre 4 y 4.5 con un coeficiente de extinción  $k=-0.89$ . Modelos semejantes han sido reportados para otros genotipos de girasol y otras condiciones climáticas, con valores cercanos de  $k$  al encontrado en el presente estudio por Bange *et al.* (1997). También en haba se ha reportado tendencia similar pero con valores de  $k$  más bajos (Confalone *et al.*, 2011). Por otra parte, debido a que el IAF es una medida de la maquinaria fotosintética (Escalante y Kohashi, 2015), es de esperarse una relación alta con la producción de MS como se observa en la Figura 3, donde dicha relación se ajusta a un modelo exponencial con  $R^2=0.98$ . Por otra parte, en la Figura 4 que presenta la relación entre MS y RI, indica que dicho comportamiento también se ajusta un modelo exponencial con un  $R^2=0.97$ . Coeficientes de determinación ( $R^2$ ) semejantes, han sido reportados para híbridos de girasol bajo condiciones de humedad residual por Escalante (1999). Esto indica que dada la dificultad de instrumentación e inversión para determinar el IAF y utilizarlo para estimar la producción de MS, la RI medida por métodos más sencillos y económicos es un indicador apropiado para estimar la producción de MS en girasol cv. Victoria Mejorado cultivado bajo las condiciones en que se condujo el presente estudio. Así mismo, en la Figura 5 se presenta el perfil de transmisión de radiación en la planta de girasol, en el cual se observa que a partir del estrato superior (150 cm), la radiación disminuye en 33, 66, 82, 89 y 94% para el estrato 120,90,60,30 y 0 cm de altura, respectivamente.



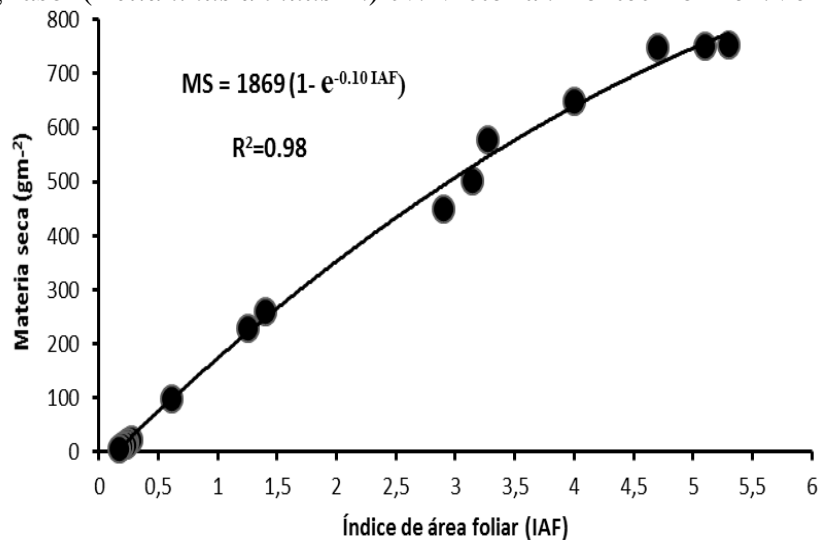
**Figura 6** Relación entre las medidas de radiación interceptada mediante el sensor lineal de quantum y medidas con la regla de madera en girasol (*Helianthus annuus* L.) cv Victoria. Montecillo Méx. Verano



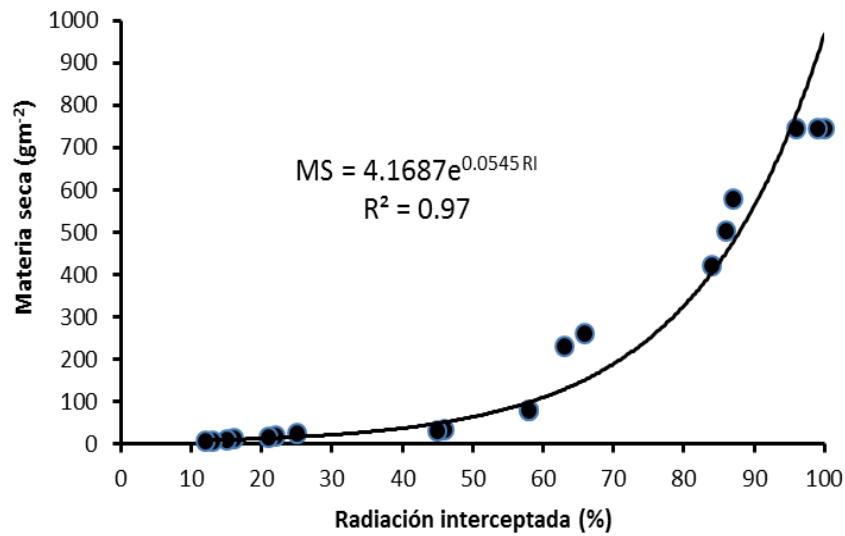
**Figura 6.1** Relación entre la radiación interceptada (%) y el índice de área foliar en girasol (*Helianthus annuus* L.) cv. Victoria. Montecillo Méx. Verano



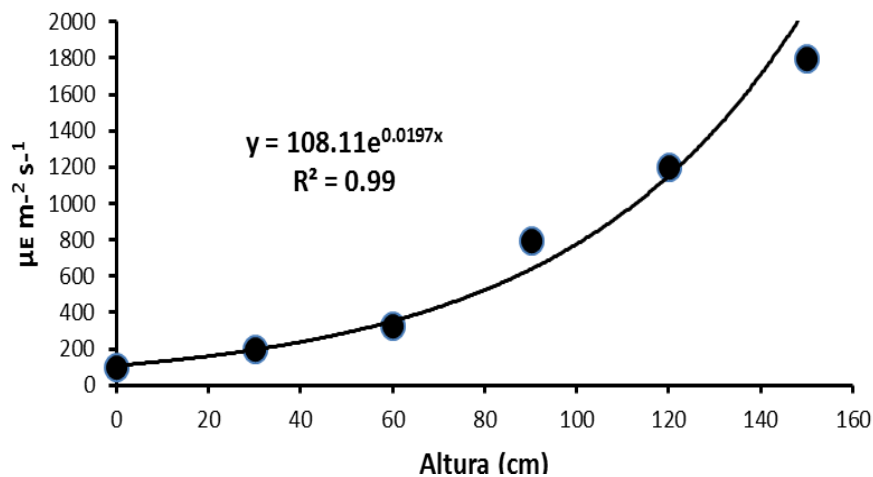
**Figura 6.2** Relación entre la producción de materia seca ( $gm^{-2}$ ) y el índice de área foliar (IAF) en girasol (*Helianthus annuus* L.) cv. Victoria. Montecillo Méx. Verano



**Figura 6.3** Relación entre la producción de materia seca ( $\text{gm}^{-2}$ ) y la radiación interceptada (RI, %) en girasol (*Helianthus annuus* L.) cv. Victoria .Montecillo Méx. Verano



**Figura 6.4** Perfil de transmisión de radiación solar a los 65 días de la siembra en girasol (*Helianthus annuus* L.) cv.Victoria. Montecillo Méx. Verano.



### 6.3 Conclusión

En el presente estudio, el modelo de ajuste que relaciona la radiación interceptada con el índice de área foliar, la producción de materia seca con el índice de área foliar y con la radiación interceptada fue del tipo exponencial con coeficiente de determinación ( $R^2$ ) superior al 0.96. La radiación interceptada puede estimarse mediante el índice de área foliar. La producción de materia seca mediante la radiación interceptada y el índice de área foliar con un 97 y 98% de confianza de que la estimación es apropiada. La medida de radiación interceptada mediante la regla de madera graduada es de alta confiabilidad. El perfil de transmisión de radiación del dosel vegetal del girasol Victoria Mejorado se ajusta a un modelo de tipo exponencial.

### 6.4 Referencias

Adams J.E. and G.F.Arkin.(1977). A light interception method for measuring row crop ground cover. Soil Sci.soc.A.J.41:789-792.

- Bange M.P., Hammer G.L., Rickert K. G. (1997). Effect of radiation environment on radiation use efficiency and growth of sunflower. *Crop Sci.* 37: 1208-1214.
- Camacho R.G., Garrido O., Lima R.G. (1995). Caracterización de nueve genotipos de maíz (*Zea mays* L.) en relación al área foliar y coeficiente de extinción de luz. *Sci. Agric. Piracicaba* 52 (2):294-298.
- Confalone A., Navarro M., Vilatte C., Barufaldi M., Aguas L., Ponce G. (2011). Crecimiento, captura de luz y componentes del rendimiento del haba cv. Alameda creciendo en Azul, provincia de Buenos Aires. *Rev. FCA UNCUYO.* 2013. 45(1): 105-116.
- Escalante Estrada, J. Alberto. (1999). Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. *Revista Terra* 17(2):149-157.
- Escalante Estrada J. Alberto , Kohashi Shibata J.(2015). El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para toma de datos. Colegio de Postgraduados. Montecillo. Mpio. De Texcoco Méx. 84 pág.
- Escalante-Estrada J. Alberto S., Rodríguez-González M.T., Escalante-Estrada Y. I. (2015). Nitrógeno, distancia entre surcos, rendimiento y productividad del agua en dos cultivares de frijol. *Bioagro* 27 (2): 75-82.
- García E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Cuarta edición. U.N.A.M., México, DF.
- Girardin P. , Tollenaar. M.(1994). Effects of interference on maize leaf azimuth. *Crop Science* 34: 151-155.
- Loomis R.S., Williams. W.A. (1969). Productivity and the morphology of crop stands: patterns and leaves. En Eastin JD, Haskins FA, Sullivan CY, Van Bavel CHM (eds), pp 28-45. *Physiological aspects of crop yield.* CSSA and ASA. Madison, WI.
- Monsi, M. , Saeki. T. (1953). Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. *Japanese Journal of Botany.* 14: 22-52.
- Schneiter, A. , Miller, J.F. (1981). Description of sunflower growth stages. *Crop Sci.* 21: 901-903.
- Whigham D.K., Woolley. D.G. (1974). Effect of leaf orientation, leaf area, and plant densities on corn production. *Agron. J.* 66:466-482.
- Williams W.A., Loomis R.S., Duncan W.G., Dovrat A. , Nuñez. F. (1968). Canopy architecture at various population densities and growth and grain yield of corn. *Crop Sci.* 8:303-308.

## **Estimación de costos para refrigeración emergente en invernadero para cultivar tomate (*Solanum lycopersicum*)**

FLORES-VELAZQUEZ, Jorge y ROJANO-AGUILAR, Abraham

J. Flores' y A. Rojano''

´ Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col. Progreso 62550. Jiutepec, Morelos.

'' Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carr Mex-Tex. Chapingo Mex.

jorge\_flores@tlaloc.imta.mx

. Sepúlveda, F. Rérez, D. Sepúlveda, E. Figueroa, R. Salazar, L. Godínez (eds.) Matemáticas Aplicadas. Handbook T-I. -©ECORFAN, Texcoco de Mora-México, 2016.

## Abstract

It was developed a numerical model using computational fluid dynamics (ANSYS 14.5) and once validated, it was used to generate the profiles that describe the movement of air and distribution of temperature gradients that allowed the characterization of the microclimate in a typical zenithal greenhouse of three ships under local climatic conditions in the town of Soledad de Graciano Sanchez, San Luis Potosi and whose analysis allowed alternative management improvement in the performance and operability thereof. Numerical simulations showed that CFD is a suitable tool for the study and improvement of natural ventilation in greenhouses and also that a validated model can generate alternatives and assumptions that manage climate inside the greenhouse by controlling environmental factors in order to increase crop production.

## 7 Introducción

La producción en los invernaderos mexicanos se caracteriza mayormente por la aplicación de conocimientos empíricos en la mayoría de los procesos de producción. Es innegable que aplicando conocimientos científicos no solo se pueden mejorar muchos aspectos del cultivo sino también obtener un producto de la mejor calidad con relativamente menor costo para el agricultor y que le permita cumplir los estándares que el mercado nacional e internacional exige. La producción de hortalizas puede hacerse de tal forma que el control del clima en el invernadero permita optimizar la producción, es decir, obtener la más alta productividad, pero minimizando los costos de operación del invernadero y del cultivo. Como ha sido mostrado recientemente, una opción para la producción en condiciones de invernadero es la aplicación de la teoría de control óptimo en la operación y manejo del ambiente. Sin embargo, la aplicación de cualquier estrategia de control, la optimización y la generación de estrategias de manejo del sistema invernadero requiere de modelos matemáticos. La generación de un modelo matemático requiere la síntesis del conocimiento existente y generación de conocimientos nuevos sobre un proceso o sistema.

En cultivos en invernadero, una herramienta numérica que se ha extendido para el análisis de los sistemas de ventilación es aquella que utiliza las ecuaciones básicas del movimiento del aire (fluidos) para explicar su comportamiento, y con ello mostrar las variaciones en las propiedades físicas de ese aire; esta técnica es lo que se conoce como dinámica de fluidos computacional o CFD, el cual pretende, mediante el planteamiento de condiciones de frontera predecir la distribución del flujo del aire en el interior del invernadero.

### Dinámica de Fluidos Computacional (CFD)

La ventaja que ofrece la técnica de CFD, es la oportunidad de sustituir los valores de las variables dependientes como incógnitas primarias en un número finito de lugares, luego entonces se derivan las actuaciones algebraicas a partir de las ecuaciones fundamentales aplicadas al dominio y son resueltas mediante algoritmos preestablecidos. Tres principios físicos fundamentales soportan las conocidas ecuaciones de Navier-Stokes: conservación de masa, momento y energía. Estas se obtienen a partir de un balance de energía de un volumen de control. La ecuación de conservación generalizada es:

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho\bar{u}\phi) = \nabla \cdot (\Gamma\nabla\phi) + S \quad (7)$$

Donde los cuatro términos son conocidos como transitorios, convección, difusión y fuente respectivamente. La variable  $\phi$  representa cualquier variable dependiente como masa, velocidad, especie química o temperatura que describen las características de un flujo en todos los lugares en un tiempo determinado ( $\phi = \phi(x,y,z,t)$ ), en un sistema cartesiano bajo una descripción de flujo de Euler. Los estudios computacionales del flujo y transferencia de calor se basan principalmente en la solución de estas ecuaciones, junto con las condiciones iniciales particulares y de frontera que complementan el problema. En el inicio de esta herramienta, se desarrollaron programas comerciales de dinámica de fluidos computacional bajo un esquema todo en pantalla, que le da el aspecto más amigable para el usuario, con el cual se resolvieron problemas tipo (benchmarks) para minimizar la posibilidad de especificar erróneamente la configuración del modelo numérico (Allen et al, 1998). No obstante, de las primeras versiones se han reescrito códigos, de tal suerte de hacer el funcionamiento eficiente en la solución de las ecuaciones (Flores-Velázquez et al., 2008), pero, sobre todo, la facilidad para interactuar con el programa y que el usuario pueda programar sus propias rutinas.

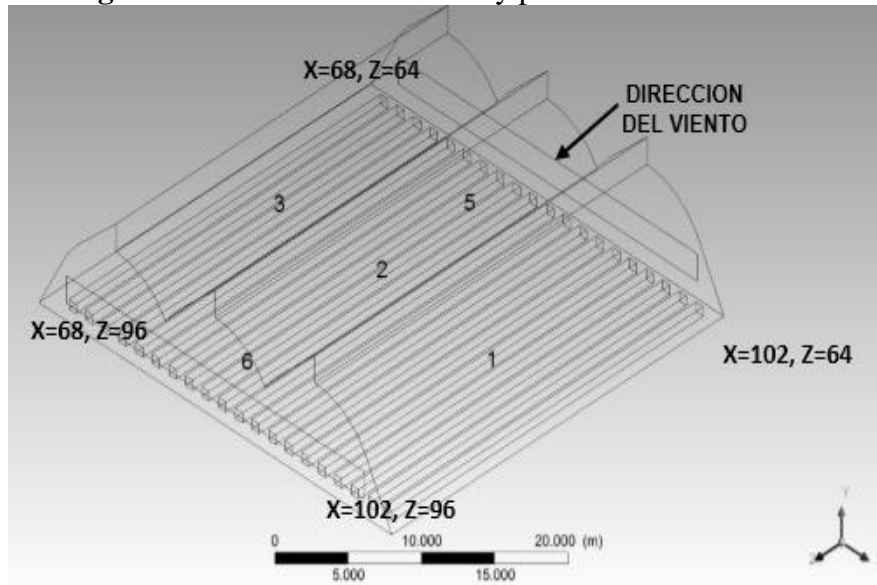
Con el uso de CFD, se optimizaron el tamaño del invernadero, su área de ventilación, localización, tipo de ventanas, así como diferentes en efecto de diferentes mallas anti-insectos, sobre la ventilación natural en invernaderos tipo Almería, mediante Dinámica de Fluidos computacional se han estudiado el efecto del tamaño de las ventanas laterales y cenitales sobre las tasas de ventilación natural de invernaderos. Asimismo, se ha aplicado dinámica de fluidos computacional para estudiar la ventilación natural de un invernadero en el centro de México y encontró que los tamaños de ventanas laterales y cenitales tienen un papel crítico sobre la temperatura del invernadero. Evaluó el efecto que las mallas anti-insectos sobre la velocidad del viento, empleando un túnel de viento para caracterizar las propiedades aerodinámicas de las mallas. Ventilación mecánica y la combinación de ventilación mecánica y natural son incipientes (Flores-Velazquez, 2008) sin embargo donde se ha aplicado se observa buena concordancia y los resultados indican un incremento en la tasa de ventilación cuando se combina la ventilación cenital natural con la mecánica.

## 7.1 Materiales y métodos

### Descripción del sitio experimental

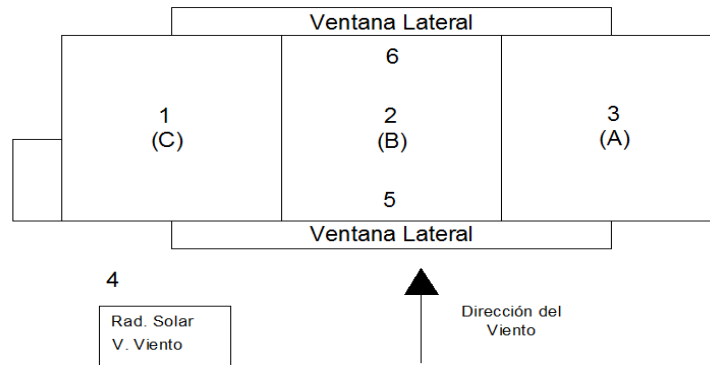
El experimento se desarrolló en un invernadero de 1000 m<sup>2</sup>, sus dimensiones son 34 metros de largo, 32 de ancho y una altura desde el suelo a la cubierta cenital es de 7.3 metros (Figura 1). Está cubierto de polietileno translucido y cuenta con cortinas retractables de cada lado, así como en cada ventana cenital, como sistema de ventilación natural. Para la caracterización del ambiente del invernadero se colocaron una estación climática en el exterior. En el interior se colocaron sensores de temperatura (°C), humedad (%), y radiación (W m<sup>2</sup>) en 5 puntos distribuidos en el área del invernadero. En el exterior además se colocó un anemómetro para medir dirección y velocidad del viento (m s<sup>-1</sup>). Para modelar el clima se usó la técnica de Dinámica de Fluidos Computacional (DFC) específicamente ANSYS Fluent. Para validar el modelo se usaron datos experimentales como condición de frontera (T= 295.7 K y VV=2.6 m s<sup>-1</sup>).

**Figura 7** Invernadero de estudio y posición de los sensores



Como instrumental de medición, se contó con tres sondas colocadas en el centro de cada capilla o nave. La sonda 1 en la capilla que está cerca de la cabina de controles (C). La sonda 2 en la capilla central (B) y una más colocada en la capilla opuesta (A). En el centro del invernadero se colocan dos sensores cerca de las paredes laterales (5 y 6) y uno más fuera del invernadero (4), como se observa en la *Figura 2*.

**Figura 7.1** Ubicación del instrumental de medición climática (Vega, 2015)



Dentro del invernadero, se trabajó con el tomate rojo (*Solanum lycopersicum*) tipo bola sembrado a tres bolillo, con una densidad de población: 4.4 plantas /m<sup>2</sup>, 60 cm de camellón de cultivo (20 camas; 7 camas en dos de las naves y 6 camas en la otra nave) y 1.8 m de pasillo (de mitad de cama a mitad de cama; a partir de la cintilla usada como sistema de riego) con 1.2 m de espacio libre entre camellones

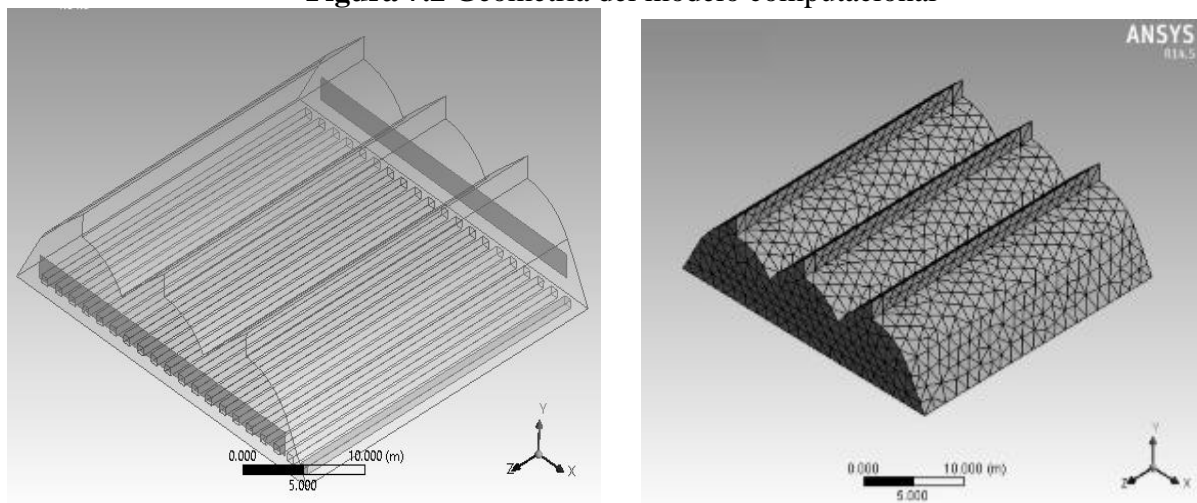
Para medir temperatura, el invernadero está equipado con seis sondas, cinco de estas, registraron la temperatura y la humedad relativa dentro del Invernadero (Sondas 1, 2, 3, 5 y 6). La sonda de velocidad y dirección de viento (4), al igual que la de radiación solar están colocadas en el mástil afuera del invernadero, a 8 metros de altura. Esta registró la temperatura y la humedad relativa fuera del Invernadero.

Para la realización del proceso de validación, se utilizó el registro de lecturas ambientales, obtenidas del instrumental instalado en el invernadero. Estas lecturas fueron registradas y almacenadas desde las 6:16 am del día 21 de junio del 2014, hasta las 14:52 del 19 de julio del 2014. Las lecturas de estos datos fueron de temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y radiación tanto en el interior del invernadero, como en el exterior.

La información almacenada fue descargada y posteriormente procesada en el Paquete Office de Microsoft®; Excel®, en donde a partir de los datos correspondientes se realizó un enfoque a dos intervalos de tiempo específicos considerados; de las 12:30 a las 13:30 como periodo cálido del día, y de las 4:30 am a las 5:30 am como el periodo frío. Se obtuvieron los promedios totales de temperatura, radiación, humedad relativa, velocidad del viento para cada sonda, los cuales se utilizaron para determinar las condiciones iniciales del modelo.

Para el desarrollo y simulación numérica del modelo CFD, se utilizó el software ANSYS® Fluent® V.15. Como fase previa (pre proceso) se generó la geometría y malla del modelo en la que se definieron las condiciones de frontera. En este trabajo, el análisis de la ventilación se realizó en 3 dimensiones. La geometría del modelo se elaboró totalmente en ANSYS® *Workbench*, haciendo uso correspondiente de las herramientas *Design Modeler* y *Meshing* para el trazo de la geometría del invernadero y el dominio y el mallado de los mismos respectivamente.

**Figura 7.2** Geometría del modelo computacional



**Tabla 7** Dimensiones de la geometría del modelo computacional

Dimensiones del Invernadero	Dimensiones del dominio exterior	Dimensiones de la zona de cultivo
34x32x4.75	170x192x22.35	31x30x0.7

Dentro de la fase de proceso, se da solución a las ecuaciones de transporte, las cuales, para su solución son discretizadas en ecuaciones algebraicas y calculadas mediante métodos numéricos. El invernadero experimental fue simulado mediante el modelo CFD, en donde se diseñaron las ventanas como entradas y salidas del flujo de aire basadas en los valores de velocidad del aire previamente medidos mediante los sensores en el invernadero. El espacio ocupado por el cultivo fue simulado, al cual se le asignaron propiedades de medio poroso.



Se establecieron las hipótesis correspondientes respecto a la configuración de la simulación considerando las condiciones del modelo y de las variables que intervienen para conseguir la solución; todo esto resumido en el *Tabla 7.1*.

**Tabla 7.1** Hipótesis de simulación, características de contorno y propiedades físicas usadas como parámetros en la solución del modelo

<b>Hipótesis de Simulación</b>				
	Segregado			
<b>Solver (Solución)</b>	3-D Simulación			
	Formulación implícita			
	Velocidad Absoluta			
<b>Condición de Tiempo</b>	Estacionario (Segundo orden)			
	Estándar k-ε (2 ecuaciones)			
<b>Modelo de viscosidad</b>	Efecto de flotación activado			
	Tratamiento estándar en las paredes			
<b>Ecuación de energía</b>	Activada			
<b>Formulación de poros</b>	Velocidad superficial			
<b>Opción de los gradientes</b>	Basado en la celda			
<b>Características de Contorno</b>				
	Velocidad de entrada CONSTANTE			
<b>Dominio de entrada</b>	<i>Momentum</i> , ortogonal a la frontera			
	Turbulencia, intensidad e incremento en la viscosidad			
<b>Dominio de salida</b>	Presión de salida ( <i>Pressure outlet</i> ) CONSTANTE			
	Presión cero y misma condición de turbulencia			
<b>Velocidad del viento</b>	Perfil constante ( $\text{m s}^{-1}$ )			
	Malla: <i>Porous jump</i>			
<b>Tratamiento de medios porosos</b>	Cultivo: <i>Porous Zone</i>			
<b>Fuente de calor</b>	Constante desde el suelo, hipótesis de Boussinesq			
<b>Propiedades Físicas de los Materiales</b>				
<b>Propiedad(unidades)</b>	Aire (295.7 K)	Aire (288.04 K)	Suelo	Polietileno
<b>Densidad(<math>\text{kgm}^{-3}</math>)</b>	1.225	1.224	1400	925.5
<b>Calor específico(<math>\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}</math>)</b>	1006.43	1004.52	1738	1900
<b>Conductividad térmica (<math>\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}</math>)</b>	0.0242	0.0240	1.5	0.3
<b>Coefficiente de expansión térmica (<math>^{\circ}\text{K}^{-1}</math>)</b>	0.003389	0.003278		

Los escenarios simulados consistieron en el invernadero en cuestión, usando un sistema de ventilación natural en el que se describió el comportamiento de la temperatura, la velocidad del viento y su efecto sobre la tasa de ventilación en el ambiente generado al interior del invernadero. Se planteó y se describió una alternativa para el manejo de altas temperaturas usando ventilación natural con ventilación mecánica (combinada) y se evaluó su uso en base al costo y tiempo de operación en el día.

**Tabla 7.2** Escenario de simulación del modelo. Ventilación natural

Zona	Momento	Turbulencia	Temperatura
Velocidad de entrada	Método de especificación de velocidad: Magnitud, normal a frontera	Método: k-ε	295.7 K
	Marco de referencia: Absoluto	Energía cinética turbulenta: 10 m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	
	Velocidad del viento: 2.41 m/s (cálido) y 1.67 (frío)	Tasa de disipación turbulenta: 5 m <sup>2</sup> /s <sup>3</sup>	
Presión a la salida	Dirección de flujo: normal a frontera	Método: k-ε	

**Tabla 7.3** Escenario de simulación del modelo. Ventilación combinada

Variable	Valor
Temperatura exterior (K)	Constante 295.7
Velocidad del viento exterior (m s <sup>-1</sup> )	Constante 2.41
Fuente de calor (W m <sup>2</sup> )	Constante desde el suelo 200
Potencia del ventilador	Constante 10 Pa ( <i>carga vs caudal</i> )

## 7.2 Resultados y Discusión

### Validación del modelo

La validación del modelo se determinó en base a los datos obtenidos experimentalmente mediante los sensores dentro y fuera del invernadero y con los datos simulados en Fluent®. La comparación se realizó para los dos periodos; cálido y frío, en un escenario de ventilación natural, tomando como factores principales a la temperatura (° C) y la velocidad del viento (m s<sup>-1</sup>). Con base en la posición de los sensores dentro del invernadero se elaboraron los perfiles longitudinales y transversales dentro del invernadero.

Para concluir estadísticamente si es o no válido el modelo, se usó el estimador S<sup>2</sup>p, relacionando los parámetros de los datos experimentales (X) y los datos simulados (Y) como son sus medias ( $\bar{X}$ ,  $\bar{Y}$ ), las varianzas (Sx<sup>2</sup>, Sy<sup>2</sup>) y los tamaños respectivos de las muestras (m y n), se determinó la aceptación o rechazo de las pruebas de hipótesis, conduciendo a la validación o rechazo del modelo.

$$S^2p = \frac{(n-1)Sx^2 + (m-1)Sy^2}{n+m-2} \quad (7.1)$$

Donde:

$$Sx^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=0}^n (Xi - \bar{X})^2 \quad (7.2)$$

Y

$$Sy^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=0}^m (Yi - \bar{Y})^2 \quad (7.3)$$

El estimador  $S^2_p$  puede usarse para obtener una estadística  $t_o$  para probar hipótesis sobre la diferencia de las medias de los datos experimentales y simulados ( $\delta=\mu_x-\mu_y$ ). En efecto, la estadística:

$$t_o = \frac{(\bar{X} - \bar{Y}) - \delta_o}{\sqrt{\frac{S^2_p}{n} + \frac{S^2_p}{m}}} \sim t_{(m+n-2)} \quad (7.4)$$

Se calcularon los parámetros anteriormente descritos y las correspondientes estadísticas de prueba además de intervalos de confianza.

$$\underline{L} = \bar{X} - \bar{Y} - \sqrt{S^2_p \left( \frac{1}{n} + \frac{1}{m} \right)} t_{\alpha/2(n+m-2)} \quad (7.5)$$

$$\bar{L} = \bar{X} - \bar{Y} + \sqrt{S^2_p \left( \frac{1}{n} + \frac{1}{m} \right)} t_{\alpha/2(n+m-2)} \quad (7.6)$$

**Tabla 7.4** Datos de Temperatura (°C) simulados y experimentales

Sensor	Experimentales	Simulados (Fluent)	Error
1	25.50	24.63	0.87
2	25.68	25.31	0.37
3	28.54	24.85	3.69
5	26.34	23.65	2.69
6	25.71	26.43	-0.72

Los datos comparados presentan una similitud que es más clara en la segunda parte del invernadero; en la zona inmediata a la pared de entrada, existe una menor correlación, lo cual puede ser debido a los flujos turbulentos que ocurren debido a la caída de presión, producto de la pared porosa.

**Tabla 7.5** Estadística de prueba para el modelo

	Experimentales	Simuladas
Media	26.35	24.97
Varianza	1.278	0.824
Desviación Estándar	1.130	0.907
n	5	
m	5	
Juego de hipótesis	Ho: $\delta=0$ vs Ha: $\delta \neq 0$	Ho: $\mu_x=\mu_y$ vs Ha: $\mu_x \neq \mu_y$
Sp2	1.051	
$t_o$	2.127	
$\alpha=0.05$	Grados libertad	8
$\alpha/2$	0.025	
De tablas t 0.025 (8)=	2.306	
Regla de rechazo	Rechazar Ho si $t_o \geq t_{\alpha/2} (n+m-2)$ o $t_o \leq - t_{\alpha/2} (n+m-2)$	

Puesto que  $t_0 = 2.127$  es menor a  $t_{0.025}(8) = 2.306$  se acepta  $H_0$  con  $\alpha = 0.05$

**Tabla 7.6** Intervalos de confianza en el modelo en periodo cálido

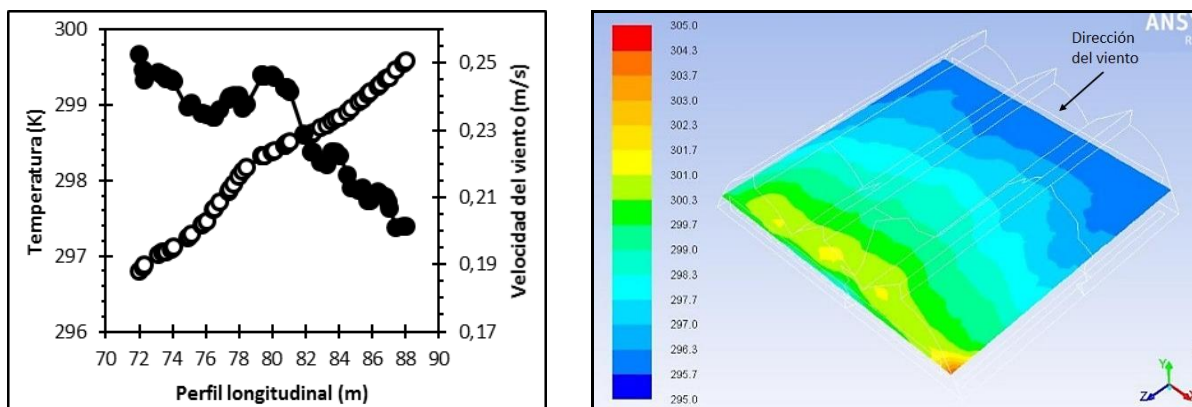
Intervalos de confianza	
El intervalo con nivel de confianza $1-\alpha$ para $\mu_x - \mu_y$ tiene límites	
L inferior	-0.116
L superior	2.874
Por lo tanto, los límites del intervalo de confianza al 95% para $\delta = \mu_x - \mu_y$	
(-0.116, 2.874)	
Se concluye que las medias son estadísticamente iguales y se acepta el modelo simulado	

### Simulación del Ambiente del Invernadero

Una vez validado el modelo, se describió el comportamiento de las velocidades del viento en el interior del invernadero y la distribución espacial de los gradientes de temperatura en los escenarios simulados, sobre los perfiles longitudinales y transversales con planos generados al interior del invernadero a una altura de 0.7 (a nivel de cultivo) y 2.5 metros sobre el suelo (a nivel de los sensores). Se calcularon las tasas de ventilación y se realizó un análisis basado en la interacción de los factores climáticos del ambiente exterior en la generación de un ambiente al interior del invernadero. Se discutieron las condiciones ambientales para el desarrollo del cultivo de tomate y para el manejo de los factores de temperatura y velocidad del viento, se propusieron alternativas de mejora en cuanto a la ventilación del invernadero usando ventilación combinada.

La figura 7.3 muestra los resultados de la simulación del ambiente del invernadero cuando en el exterior existen 295.7 K de temperatura y la dirección del viento es perpendicular a la ventana de entrada con  $2.4 \text{ m s}^{-1}$ . La figura 4A muestra que al ingresar el aire por la ventana lateral debido a las mallas anti insecto hay una caída de presión y en consecuencia una reducción de velocidad del 90 %, siendo  $0.24 \text{ m s}^{-1}$ , la cual disminuye hacia la salida del invernadero hasta  $0.2 \text{ m s}^{-1}$ , debido al cultivo. Consecuentemente la temperatura se incrementa de los 295.7 K ambientales se observa un gradiente de 4 K (Figura 7.3B). Dado los 34 m que tiene el invernadero 4 K pueden ser significativos en periodos críticos de alta insolación.

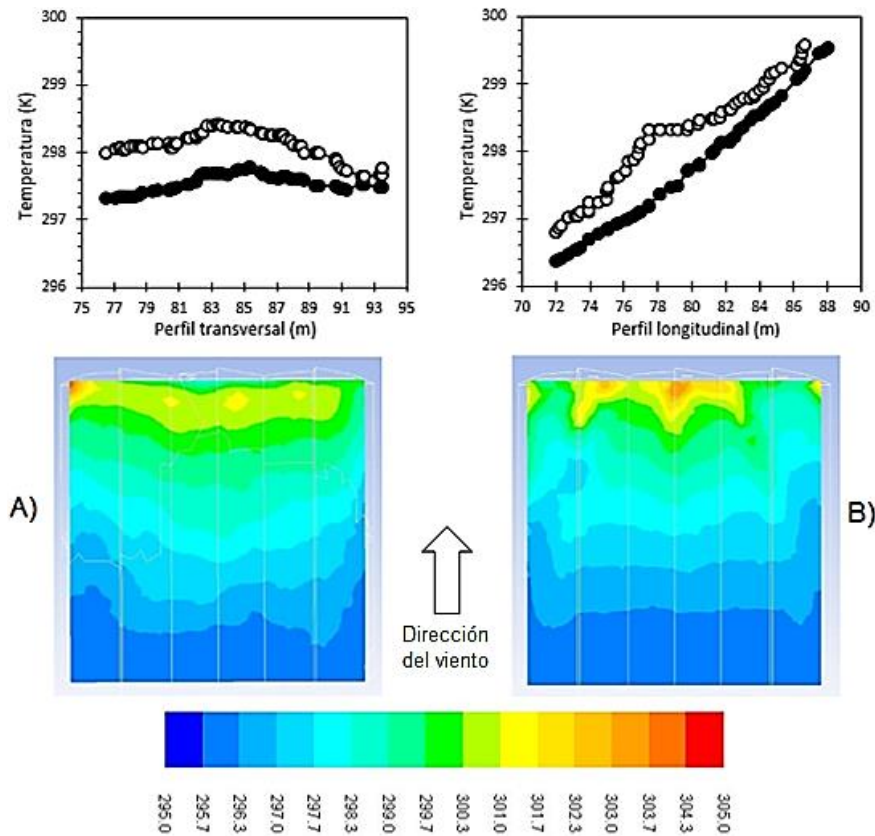
**Figura 7.3** A) Perfil longitudinal de temperatura ( $\circ$ ) y velocidad del viento ( $\bullet$ ) con datos simulados y B) vista en planta de la distribución de temperatura A 2.5 m.



### Alternativa de manejo de altas temperaturas: ventilación combinada

Se colocaron tres motores en el modelo; uno en cada una de las naves a una altura sobre el suelo de 2.5 metros en el modelo computacional con dimensiones de 1 metro por un metro obtenidos en base al modelo EX 36"-0,5 del catálogo de sistemas de extracción de aire *Exafan*.

**Figura 7.4** Gradientes de temperatura (K) medidos a 2.5 m del suelo. Ventilación combinada (●) y ventilación natural (○). A) Ventilación natural B) Ventilación combinada (Vega, 2015)



El análisis se enfocó en la distribución de los gradientes de temperatura dentro del invernadero a 2.5 metros sobre el suelo, haciendo una comparación entre el sistema de ventilación natural y el combinado bajo las mismas condiciones de frontera del periodo cálido (temperatura de 295.7 K y velocidad del viento de  $2.41 \text{ m s}^{-1}$ ) más 10 Pa de potencia en los motores.

El perfil transversal de la Figura 9 muestra que los gradientes de temperatura para ambos tipos de ventilación son muy similares entre sí (aproximadamente 0.4 K), y la distribución de esa temperatura de igual modo, se ve incrementada en el centro del invernadero, mientras que en los pasillos existe una reducción de la temperatura. Aunque la temperatura se va incrementando para ambos escenarios de ventilación, el incremento para el caso combinado está por debajo de los niveles térmicos presentados en la ventilación natural. El efecto de succión de los ventiladores influye directamente en el flujo del aire al interior del invernadero, disminuyendo ligeramente los niveles térmicos (Figura 9B). La ventilación combinada permite una homogenización del microclima al interior del invernadero, con un movimiento del aire que diversifica la temperatura en niveles más frescos, entendiéndose que no se tiene más aire al interior del que se puede contener dentro del invernadero.

**Tabla 7.7** Tasas de ventilación medidas con CFD. Ventilación combinada

Ventilación Combinada				
Frontera	Rango de flujo de masa	Valor (kg s <sup>-1</sup> )	Caudal (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	Tasa N (h <sup>-1</sup> )
Fan (Ventilador)	Ventilador 1 ( <i>Fan1</i> )	3.46	10168.2	1.9
	Ventilador 2 ( <i>Fan2</i> )	2.82	8287.3	1.6
	Ventilador 3 ( <i>Fan3</i> )	3.04	8933.9	1.7
	Ventana lateral de entrada	-62.12	-182556.7	-35.1
	Ventanas cenitales	52.8	155167.4	29.8
	<b>Total</b>		<b>0.0</b>	<b>0.0</b>

Aunado al incremento de la tasa de ventilación con respecto a la ventilación natural, el Cuadro 12 muestra que la ventilación cenital produce una mejor mezcla del aire interior, lo que implica una ligera variación en el gradiente de temperatura a lo largo del invernadero.

### Análisis económico de la ventilación mecánica

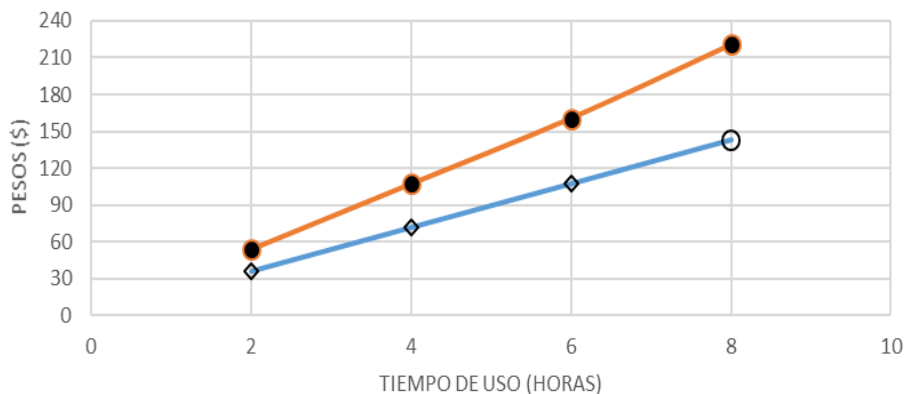
Con el fin de mostrar las implicaciones del uso de un motor en este tipo de sistemas, se realiza un análisis del costo implicado en el control del microclima del invernadero; para tal caso se usó la tarifa agrícola 9-N y la tarifa doméstica. Si la necesidad de usar ventiladores es variable o solo se requieren durante un tiempo en específico, los costos serían los siguientes:

**Tabla 7.8** Costo de uso de ventiladores. Tarifa agrícola

Costo total por tiempo de uso de los 3 ventiladores (\$)				
Tarifa	2 horas	4 horas	6 horas	8 horas
9 N (Agrícola)	35.70	71.41	107.11	142.82

**Tabla 7.9** Costo de uso de ventiladores. Tarifa domestica

Costo total por tiempo de uso de los 3 ventiladores		
Tiempo de uso (hr)	KWh consumidos	Costo de uso (\$)
2	22.04	53.49
4	44.08	106.98
6	66.12	160.47
8	88.16	220.56

**Figura 7.10** Costo de ventilación mecánica. Tarifa agrícola (●) y tarifa doméstica (○).

La Figura 10 muestra que, a mayor tiempo de uso, se tiene un mayor costo con el entendimiento de que durante el día, el sistema es de ventilación, mientras que, durante la noche, si es necesario, el sistema será de calefacción. El tiempo de uso de la ventilación mecánica o calefacción, está en función de las características climáticas exteriores locales y por consiguiente del comportamiento del clima al interior del invernadero.

Ante esta situación se propone la introducción de un sistema mecánico de extracción de aire basado en un extractor de aire modelo EX 36"-0,5. Se simula con estas modificaciones y los resultados se muestran en la figura 5. A pesar que la reducción de temperatura es de 0.5 K, lo importante es que el sistema auxiliar mantiene por abajo la temperatura de la condición natural. Este motor tiene un consumo de 0.38 Kw, por lo que de acuerdo a datos de la CFE cuesta el costo energético de este sistema oscila los 220 pesos por mes.

### 7.3 Conclusiones

La tasa de ventilación estimada con el modelo indica un favorable intercambio de aire, que favorece velocidad de viento y temperatura dentro de los óptimos para cultivar tomate. Cuando los límites de temperatura son excedidos de manera puntual en específicos periodos del día o del año, la colocación de un sistema mecanizado de ventilación es útil, y en función del tiempo de operación, valores que no impacten sobre el costo de producción y si puedan mantener la calidad de la cosecha. Para un mayor ajuste del clima, se recomienda la incorporación al modelo de elementos como el cultivo, por su intervención en el balance de energía y de humedad del invernadero, modelos de radiación solar que permitan simular esta al interior del invernadero y diferentes materiales de cubierta son retos de esta herramienta.

### 7.4 Referencias

Castilla P., N. 2007. Invernaderos De Plástico. Tecnología Y Manejo. (Ed.) Mundi-Prensa. 2a Ed.

García M., C., S. Balasch F., M. Alcon A., Z. Fernández. 2010. Characterization of technological levels in Mediterranean horticultural greenhouses. Spanish Journal of Agricultural Research 8(3): 509-525.

Allen R.G., Pereira, L. S., Raes, D. y Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irr. and drain. paper 56. Roma, Italia.

Flores-Velazquez, J., W. Ojeda., I. Lopez, A. Rojano y I, Salazar. 2007. Requerimientos de riego de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) bajo condiciones de invernadero mediante lisímetro y medidores de flujo de savia. TERRA Latinoamericana, 25,2, 127-134.

Flores-Velazquez, J., and J.I. Montero. 2008. Computational fluid Dynamics (CFD) Stud of Large Scale Greenhouses. Acta Horticulturae. 797. 117-122.

## **Mecanismo dosificador para el empaque de tuna: síntesis y análisis**

LÓPEZ-DELGADO Juan Manuel, VALIENTE-GONZALES, Javier y SOLÍS-DE LA CRUZ, Flavio y FITZ-RODRÍGUEZ, Efrén

J. López, J. Valiente, F. Solís y E. Fitz

Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, km 38.5 carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México, C.P. 56230, México.  
efitzr@gmail.com

D. Sepúlveda, F. Rérez, D. Sepúlveda, E. Figueroa, R. Salazar, L. Godínez (eds.) Matemáticas Aplicadas. Handbook T-I. -©ECORFAN, Texcoco de Mora-México, 2016.



## Abstract

Even though postharvest processes (scrubbing, sorting and classification) of prickly pear are mechanized, dosing in the packing process is still done manually. Usually on the market it is required three different packing containers, including cases of 20, 25 and 30 kg. To solve this problem, it is proposed to design a machine that allows for an accurate dosing of the prickly pear while packing, accordingly to the weight selected. The main mechanism of the proposed device is a simple four-bar linkage with a crank-shaft movement. In order to build the preliminary prototype, economic materials were used, such as wood, to prove the concept and functionality. The design was done with analytical synthesis and then an analytical analysis was done to assess the kinematic performance of the dosing mechanism. The resulting prototype had an adequate performance, simplifying the dosing process and obtaining a more uniform weight on each of the containers.

## 8 Introducción

La producción de tuna representa una actividad económica importante en México, dado que participan alrededor de 20 mil productores. Los cuales ocupan una superficie aproximada de 65 mil hectáreas y, se concentra principalmente en tres regiones: Puebla (Acatzingo y Quecholac), Valle de México (Estado de México e Hidalgo) y el Altiplano Potosino-Zacatecano (Aguascalientes, Jalisco, Guanajuato, San Luis Potosí y Zacatecas) (Méndez Gallegos y García Herrera, 2006). Una de las ventajas de este cultivo es que se puede producir sin ningún problema en condiciones desérticas y semidesérticas; además de lograr una rápida recuperación de la inversión.

Para la distribución y comercialización de este producto se requiere una fruta de buena presentación y calidad; por lo que es necesario que tenga un proceso de post-cosecha denominado “barrido”, en el que con una máquina que tiene un mecanismo de rodillos con cerdas se le quitan las espinas, antes de que se empaquete y estibe.

El llenado de cajas, como parte del proceso de barrido y empaque de tunas, representa un problema, dado que el peso de las cajas no es homogéneo. Esto resulta debido a que los llenadores carecen de un sistema que les permita cuantificar el peso exacto durante el proceso de llenado. Obteniendo cajas con una sub y sobre estimación del peso solicitado por el cliente. Esto genera la necesidad de pesar las cajas antes de estibarlas y, con esto agregar o remover tunas para que se obtenga el peso adecuado. Esto trae pérdidas de tiempo e incluso entorpece todo el proceso de barrido, provocando que en ocasiones se detenga completamente el proceso, debido al flujo lento en el llenado y el estibado.

Para resolver este problema se propone diseñar un mecanismo sencillo que permita hacer eficiente y consistente el proceso de llenado de cajas de tuna, reduciendo tiempos y optimizando recursos al no haber interrupciones en el proceso de post-cosecha. También se busca que el mecanismo sea lo más simple posible para que en caso de requerir mantenimiento, cualquier trabajador lo pueda realizar, además de que los costos sean mínimos, tanto en la fabricación como en la operación y su mantenimiento.

### 8.1 Materiales y métodos

El dispositivo propuesto para la dosificación de tuna, consiste en un mecanismo simple de cuatro barras del tipo manivela-corredora (Figura 1). Este mecanismo fue sintetizado y analizado siguiendo la metodología de lazo vectorial propuesta por Norton (2013).

Como primer paso se determinaron las dimensiones de la estructura general, definida por la altura y ancho de una mesa de rodillos. Esta mesa funciona como banda transportadora, una vez que se logra el peso requerido en cada una de las cajas. En esta mesa se acopló el mecanismo dosificador.

Cuando empieza el proceso de llenado de las cajas, el mecanismo se encuentra en el punto muerto superior. Conforme se va llenando la caja, los resortes donde está situada la base de apoyo de las cajas, se comprimen hasta que alcanzan el peso predefinido. Una vez comprimidos se activa un interruptor que acciona el moto-reductor que genera el movimiento de  $180^\circ$  y el mecanismo manivela-corredera produce el movimiento vertical de la base. Una vez que se alcanza el punto muerto inferior, las cajas de tuna quedan al nivel de la mesa de rodillos con lo cual se pueden desplazar y comenzar nuevamente el proceso de llenado.

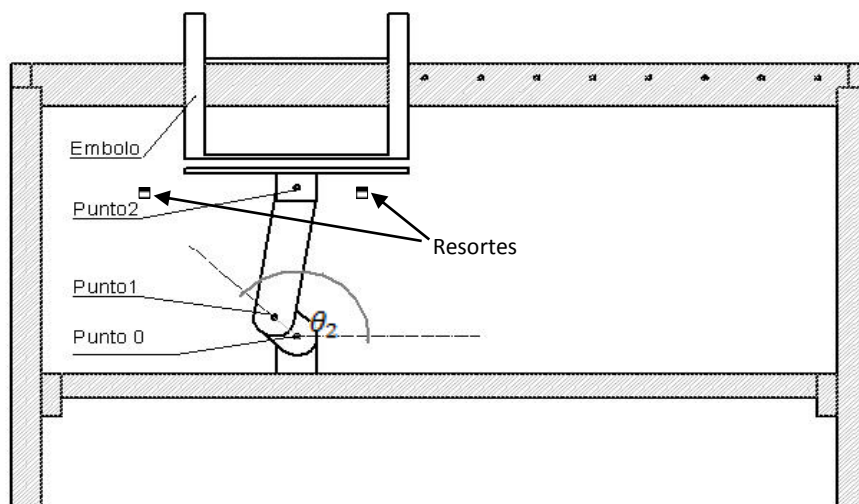
En el mecanismo manivela-corredera se requiere que tenga dos detenimientos: 1) Cuando empieza el proceso de llenado y hasta que se logra el peso requerido, cuando se activa el interruptor y 2) Cuando se alcanza el punto muerto inferior y se requiere de un tiempo para retirar la caja llena y poner una nueva. Por lo tanto un moto-reductor (con un rango de giro de  $0$  a  $180^\circ$ ) proporciona el movimiento requerido en el eslabón motriz.

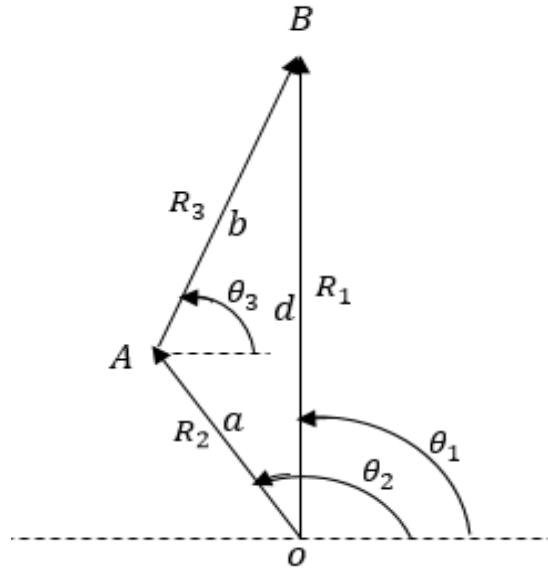
Para probar el concepto y funcionalidad del prototipo se utilizaron materiales económicos, como madera, en su fabricación y componentes reciclados como por ejemplo el moto-reductor de un parabrisas de 9 watts, los resortes e interruptores.

### **Análisis de posición, velocidad y aceleración del mecanismo manivela-corredera**

Analizando el mecanismo con el método de lazo vectorial (Figura 2), para estudiar su comportamiento cinemático, en donde lo principal son los puntos de unión del mecanismo (A y B). Se parte de la ecuación de suma de vectores (Ecuación 1) que definen la posición del punto B (que es la distancia del eje de rotación del motor al punto de acoplamiento de la base de apoyo a las cajas,  $d$ ).

**Figura 8** Diagrama esquemático del prototipo, donde se indican los componentes y puntos de acoplamiento del mecanismo principal.  $O$  es el punto de acoplamiento del rotor con la manivela.  $A$  es el punto de acoplamiento de la manivela con el eslabón acoplador.  $B$  es la unión del eslabón acoplador con el eslabón de salida (soporte de las cajas)



**Figura 8.1** Representación en lazo vectorial del mecanismo manivela-corredera

$$R_2 + R_3 - R_1 = 0, \quad (8)$$

Donde  $R_2$ ,  $R_3$  y  $R_1$  son los vectores que representan a los eslabones de entrada, acoplador y de salida respectivamente. Reescribiendo esta ecuación en notación de Euler:

$$ae^{j\theta_2} + be^{j\theta_3} - de^{j\theta_1} = 0, \quad (8.1)$$

Donde  $a$ ,  $b$  y  $c$  representan las longitudes de los eslabones. Expandiendo esta ecuación a notación compleja.

$$a(\cos\theta_2 + j\text{sen}\theta_2) + b(\cos\theta_3 + j\text{sen}\theta_3) - d(\cos\theta_1 + j\text{sen}\theta_1) = 0 \quad (8.2)$$

Sabiendo que  $\theta_1 = 90^\circ$  y separando la parte real e imaginaria resultan las dos siguientes ecuaciones que representan las componentes en  $x$  y en  $y$ , respectivamente:

$$a \cdot \cos\theta_2 + b \cdot \cos\theta_3 = 0 \quad (8.3)$$

$$a \cdot \text{sen}\theta_2 + b \cdot \text{sen}\theta_3 - d = 0 \quad (8.4)$$

Despejando y resolviendo simultáneamente se encuentran las variables de interés,  $\theta_3$  y  $d$ .

$$\theta_3 = \cos^{-1}\left(\frac{a \cdot \cos\theta_2}{b}\right) \quad (8.5)$$

$$d = a \cdot \text{sen}\theta_2 - b \cdot \text{sen}\theta_3 \quad (8.6)$$

Derivando con respecto al tiempo la ecuación de posición (Ecuación 2) y despejando para obtener las variables de interés  $\omega_3$  (velocidad angular del eslabón acoplador) y  $\dot{d}$  (velocidad lineal del eslabón de salida), resultan las siguientes ecuaciones:

$$\omega_3 = \frac{a \cdot \cos\theta_2}{b \cdot \cos\theta_3} \omega_2 \quad (8.7)$$

$$\dot{d} = -a\omega_2 \text{sen}\theta_2 + b\omega_3 \text{sen}\theta_3 \quad (8.8)$$

De la misma manera se aplica la segunda derivada la Ecuación 2 para obtener las aceleraciones angulares y lineales de los mismos puntos, resultando en:

Con estas ecuaciones de despejan  $\alpha_3$  y  $\ddot{d}$ .

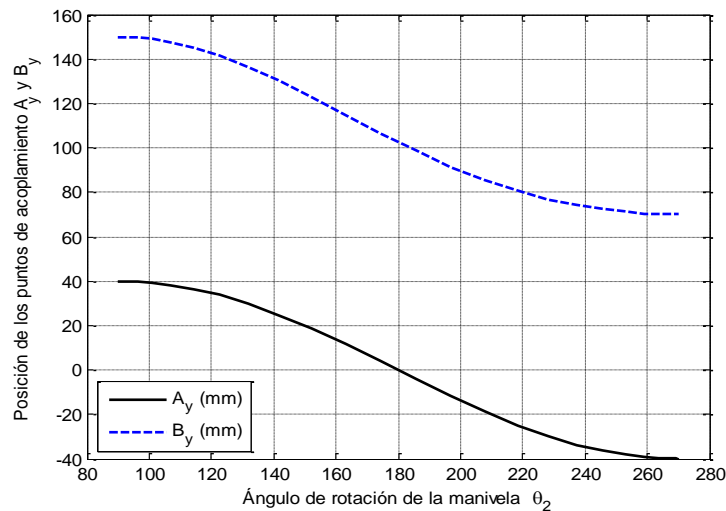
$$\alpha_3 = \frac{a\alpha_2 \cos\theta_2 - a\omega_2^2 \text{sen}\theta_2 + b\omega_3^2 \text{sen}\theta_3}{b \cos\theta_3} \quad (8.9)$$

$$\ddot{d} = -a\alpha_2 \sin\theta_2 - a\omega_2^2 \cos\theta_2 + b\alpha_3 \sin\theta_3 + b\omega_3^2 \cos\theta_3 \quad (8.10)$$

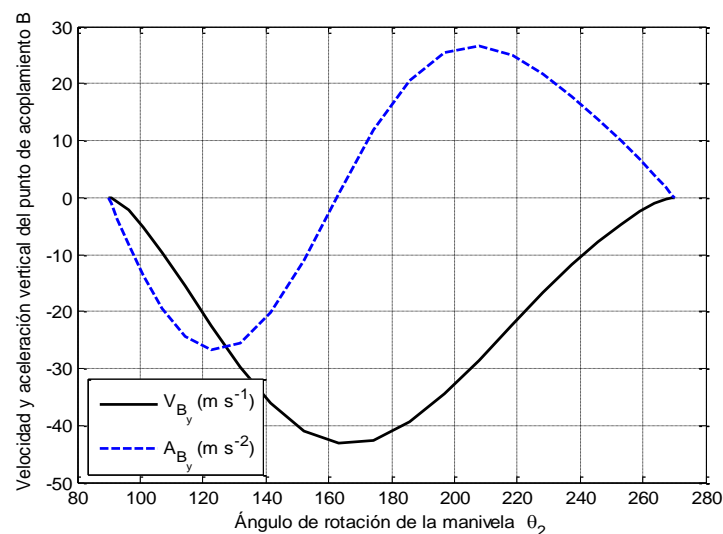
## 8.2 Análisis y discusión de resultados

Las ecuaciones analíticas para el análisis de posición se implementaron en un algoritmo programado en Matlab™, con el cual se obtuvo un análisis completo de posición (Figura 3), velocidad y aceleración (Figura 4), en función del ángulo de rotación ( $\theta_2$ ) del eslabón motriz ( $R_2$ ).

**Figura 8.2** Posición vertical de los pares cinemáticos A (articulación entre la manivela y eslabón acoplador) y B (articulación entre el eslabón acoplador y el eslabón de salida) en función del ángulo de rotación ( $\theta_2$ ) de la manivela.



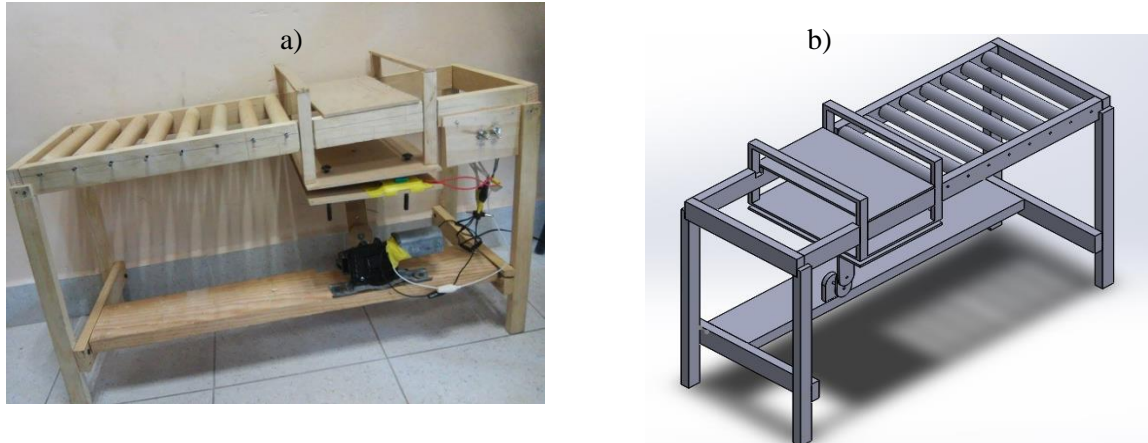
**Figura 8.3** Velocidad y aceleración del punto B (articulación entre el eslabón acoplador y el eslabón de salida). Que representa el movimiento vertical del soporte de las cajas de tuna. El desplazamiento hacia abajo se considera negativo, por lo tanto la velocidad y aceleración en el mismo sentido también son negativas



La velocidad angular del moto-reductor tiene un comportamiento senoidal, el cual se ve reflejado en el mismo comportamiento del punto de unión B, que empieza y termina su movimiento con una velocidad lineal igual a cero (Figura 4). Por otro lado, la aceleración que sufre el mismo punto de interés, experimenta una desaceleración y aceleración en el mismo rango de movimiento (Figura 4).

Después del análisis de posición, velocidad y aceleración, con el cual se corroboró el funcionamiento adecuado del mecanismo se procedió a la fabricación del prototipo. Primero se realizó un ensamble 3D en SOLIDWORKS (Figura 5a) y finalmente su manufactura (Figura 5b).

**Figura 8.4** Prototipo del mecanismo dosificador para el empaque de tuna. a) Ensamble 3D en SOLIDWORKS y b) Prototipo preliminar



### 8.3 Conclusiones

Con los métodos analíticos de síntesis y análisis se logró proponer un mecanismo sencillo, de cuatro barras del tipo manivela-corredera, que simplificara el proceso de llenado de cajas de tunas logrando consistencia en el peso de las cajas. Por la simplicidad del mecanismo se obtiene un dispositivo de bajo costo y de fácil manufactura y mantenimiento. Dado que es un prototipo preliminar, los materiales utilizados no fueron los más adecuados, sin embargo, permitió probar el concepto y el diseño. Para implementar este prototipo en un sistema de producción a mediana y gran escala se recomienda la fabricación del prototipo utilizando materiales más adecuados como acero.

### 8.4 Referencias

Méndez Gallegos, S.J, y J. García Herrera. 2006. La tuna: Producción y diversidad. CONABIO. Biodiversitas 68:2-3

Norton, R.L. 2013. Diseño de maquinaria: síntesis y análisis de máquinas y mecanismos. Quinta edición. McGraw-Hill. 601 Pp.

## **Prototipo de máquina vibradora para clasificar ajo**

GÓMEZ-ÁGUILA, María Victoria

M. Gómez

Universidad Autónoma Chapingo  
mvaguila@hotmail.com

D. Sepúlveda, F. Rérez, D. Sepúlveda, E. Figueroa, R. Salazar, L. Godínez (eds.) Matemáticas Aplicadas. Handbook T-I. -©ECORFAN, Texcoco de Mora-México, 2016.

## Abstract

The Garlic production is an important activity, its classification is used for its entry to market, and the selection is essential for the seed production, where is demonstrated that the bulb's size used as seeds is reflected in the crop's yield. In this work is presented a design for a prototype machine for garlic's classification. The principal parametres for the design are determinated, whereof the operating principle is generated by the exitation of forced vibration. The machine consist of a battery composed by 4 sieves with different diameters on 8 helicoidal supports subject to an axial load, with a rigidity of 7,294.11 N/m; and an imbalance of mass 424.646 g, with a spin frecuency of 600 min<sup>-1</sup>. The selected motor gives 0.7hp. The estimated cost of fabrication is 50,000.00 MXN

## 9 Introducción

El ajo (*Allium Sativum*), es una planta perenne con hojas planas y delgadas, de hasta 30 cm de longitud. Las raíces alcanzan fácilmente profundidades de alrededor de 50 cm o más. El bulbo, de piel blanca, forma una "cabeza" dividida en gajos que comúnmente son llamados "dientes". Cada cabeza puede contener de 6 a 12 dientes, cada uno de los cuales se encuentra envuelto en una delgada capa de color blanco o rojizo. Cada uno de los dientes puede dar origen a una nueva planta de ajo, ya que poseen en su base una yema terminal que es capaz de germinar incluso sin necesidad de plantarse previamente. Este brote comienza aparecer luego de los tres meses de cosechado, dependiendo de la variedad y condiciones de conservación. Las flores son blancas, y en algunas especies el tallo también produce pequeños bulbos o hijuelos. Un par de semanas antes de que el ajo esté dispuesto para ser cosechado, brota un vástago redondo que tiende a enroscarse que le llaman porrino

La producción de ajo es significativamente importante en lo social por la cantidad de empleos que genera y en lo económico por los ingresos que le aporta a los principales productores. De acuerdo con la Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2010), se estima que para el proceso de producción el cultivo ocupa 225 jornales por hectárea, que representan alrededor de 1 millón 350 mil jornales para las casi 6,000 ha que se cultiva en promedio a nivel nacional y generando una derrama económica de hasta \$1, 241, 773, 000.00 (Mil doscientos cuarenta y un millones setecientos setenta y tres mil pesos 00/100 M. N.). En el V congreso técnico empresarial de la Asociación Mexicana de Horticultura Protegida (AMHPAC) Fernando Arias expuso que México es uno de los principales exportadores a nivel mundial, ocupando la séptimo posición, lugar considerable para los productores mexicanos, (SAGARPA, 2012), entre los que se destaca el Estado de Zacatecas como el principal productor de ajo. Esta hortaliza es considerada como uno de los cultivos de mayor importancia en la entidad.

Los productores de ajo buscan mejores condiciones productivas, de beneficio, comercialización y rentabilidad, traducidas en mayores ingresos y mejores condiciones de vida (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura – Coordinadora de las Fundaciones Produce, (IICA-COFUPRO, 2010)). Gerardo L. (1998), menciona que la política nacional para la diversificación de mercados y el incremento de la competitividad de México en el exterior genera mejores posibilidades para los productores. Sin embargo, la clasificación de ajo no solo se emplea para el ingreso del producto al mercado, este proceso es indispensable dentro de la selección de bulbos para producción de semilla donde se ha demostrado que el tamaño de los dientes (consecuentemente los bulbos) utilizados para siembra se ve reflejado directamente en el rendimiento del cultivo.

El proceso de clasificación, es una operación que no está referida específicamente a seleccionar el ajo cualitativamente (que está ligado con todo el proceso de producción del ajo), sino se refiere a aquella acción de darle diferentes categorías de acuerdo con su tamaño ecuatorial, que también es parte fundamental de la calidad final. La implementación de tecnologías avanzadas y la inversión de capital que esto requiere, son factores frecuentes en producciones en gran escala, sin embargo estas opciones no son muy factibles para los productores a pequeña escala. En su lugar, se pueden adoptar tecnologías simples y de bajo costo, que son adecuadas para pequeños volúmenes, operaciones comerciales de recursos limitados y productores involucrados en el mercadeo directo, así como exportadores en países en desarrollo. Food And Agricultural Organization, (FAO, 1993).

La selección del tamaño de los dientes se realiza por lo general de forma manual, todo lo cual implica excesiva horas de trabajo, posición de los trabajadores no ergonómicas; además de que, con ello no se garantiza, la uniformidad en tamaño, lo cual implica sea una labor fatigosa e improductiva, además de que las máquinas con características similares en el mercado internacional se encuentra por encima de los 35 mil dólares y la que se diseñó en el trabajo tiene un costo de fabricación de alrededor de los dos mil dólares, más económica que la que se comercializan en el país e internacionalmente, de fácil traslado entre las comunidades, accesible al mantenimiento y reparación en comparación con las más robustas existentes en el mercado internacional.

En el presente trabajo, se realiza el diseño de una máquina clasificadora de ajos, cuyo principio de funcionamiento es a través de las vibraciones mecánicas forzadas. En él se desarrollan 9 secciones.

En la sección 1 se realiza el diseño conceptual a partir de la lluvia de ideas y de la posibilidad constructiva de la propuesta de diseño y construcción futura. En la sección 2, se determinación de las dimensiones de la tolva considerando las exigencias del cliente. En la sección 3, se analiza el sistema de clasificación de los gajos de ajo. En la sección 4, se define las cribas y ángulo de inclinación de las mismas. En la 5, se define el principio de funcionamiento del sistema vibratorio que es el encargado de inducir la oscilación de la máquina para que los dientes de ajo se trasladen por las diferentes cribas en dependencia del tamaño. En la sección 6 se establece las dimensiones de la estructura, donde se ubican los resortes que garantizarán la rigidez de la misma. En la 7 se calcula las dimensiones de las vigas transversales de la estructura a partir de la condición mecánica para el diseño de metales. En la sección 8 se establece el sistema de recolección y desalojos del material clasificado para evitar que se atasque y finalmente en la sección 9 se realiza el análisis de los costos de fabricación de la máquina

## **9.1 Metodología**

La metodología del diseño que se utilizó es la que comúnmente se emplea en el diseño mecánico de máquinas y sus partes, se realiza la lluvia de ideas para analizar la mejor de las variantes a proponer en el diseño conceptual, se selecciona la variante económica para disminuir costos, se seleccionan los componentes principales, se procede a realizar los cálculos. Y además; se estudia la forma para generar las vibraciones forzadas para las amplitudes de vibración recomendada por los catálogos

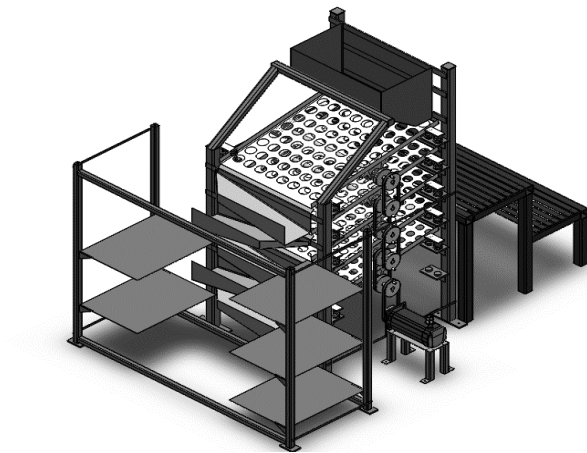


## 9.2 Resultados

### Diseño conceptual

El diseño conceptual (figura 9), consta de una estructura de acero AISI 302 calibre 14, con 5 placas perforadas (1) (de acuerdo a los diámetros normados) montadas una sobre otra paralelamente (2) a una distancia no mayor a 20 cm inclinadas en el sentido del flujo del material, con un área superficial calculada para satisfacer la productividad, que estarán accionadas por un sistema de poleas con masa excéntrica que generará una vibración forzada sobre cada placa y que a su vez obliga al producto a mantenerse en movimiento continuo aumentando la probabilidad de ser clasificado, se selecciona una transmisión flexible polea-correa accionada por el moto-reductor (3). Los bulbos se depositan en la tolva (4) las que caen hacia las diferentes placas (tamices). La disposición geométrica de la tolva debe ser tal que, tomando en consideración el ángulo de caída, asegure que todo el producto vertido dentro de ella llegue a la salida para el posterior sistema.

**Figura 9** Diseño conceptual- máquina clasificadora de ajo



### Dimensiones de la tolva

Las dimensiones de la tolva garantiza el flujo de aproximadamente 1045 bulbos según Bahnasawy (2007), con una relación 3.76:1 a la capacidad teórica de la criba cargada totalmente y deberá disponerse a  $36^\circ$  de inclinación asegurando que todo ajo vertido en la tolva caerá hasta la salida (5), figura 9.

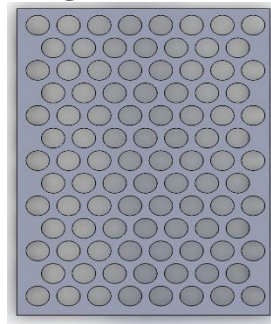
### Sistema de clasificación

Se define como el “Corazón” de la máquina y establece el sistema de clasificación y su principio de funcionamiento, el cual estará dispuesto por cribas clasificadoras con orificios respectivos a las medidas normadas (PC-032-2005 Pliego de Condiciones para el uso de la marca oficial México calidad suprema en ajo) colocadas con una inclinación respecto al eje horizontal y una sobre otra, que estarán sometidas bajo la acción de vibraciones forzadas por un sistema rotativo con una masa excéntrica

## Cribas

Las cribas (figura 9.1), se diseñan en correspondencia a las “Categorías de clasificación”, según las normas mexicanas que regulan el tamaño de los bulbos dentro de 9 categorías, con un rango de 5 milímetros entre cada una. Para el diseño de la clasificadora se consideran 5 cribas, se tomaron desde las medidas Big tube (40 – 45 mm) a Colosal (65 – 70mm), tomando como medida de la perforación el límite superior de cada rango. Para la máquina se propone un ancho de la criba de 70 cm x 1m de largo (Fig. 9.1), considerando que debe ser una máquina sencilla y pequeña que tenga la posibilidad de ser trasladada de un lugar a otro en el caso que se requiera, además teniendo en cuenta los datos obtenidos por Bahnasawy (2007). Se consideró: 5.02 cm de diámetro del bulbo, un volumen de 84.70 cm<sup>3</sup>, una masa total de 75.53 g, densidad aparente de 892 kg/m<sup>3</sup>, área total de la criba de 7000 cm<sup>2</sup> y área a nivel ecuatorial del ajo,  $A_a = \pi r^2 = \pi \left[ \frac{5.02 \text{ cm}}{2} \right]^2 = 25.2 \text{ cm}^2$

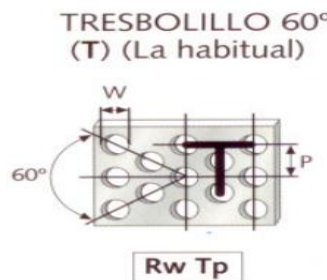
**Figura 9.1** Criba



**Fuente:** “Categorías de clasificación”, NMX-FF-018-SCFI-2006

La capacidad total de las cribas es de 288 bulbos con un peso aproximado de 25 kg. El arreglo de las perforaciones será la habitual para placas perforadas que es igual a 60° o arreglo “tres bolillo” (fig. 9.2), esto debido a considerar que se requiere la máxima área perforada con el mínimo debilitamiento de la consistencia de la chapa.

**Figura 9.2** Arreglo tres bolillos para perforaciones en placas

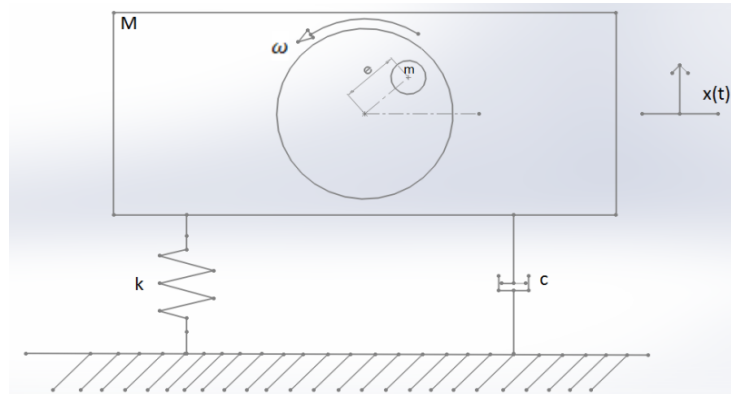


**Fuente:** “Categorías de clasificación”, NMX-FF-018-SCFI-2006

## Principio de funcionamiento de la máquina

La clasificadora de ajo a través de las vibraciones mecánicas forzadas, se estimula la vibración por medio de una masa de desbalance, (Riley & Leroy, 2013). (figura 9.3), con una masa de desbalance de 424 g, ubicada a 5 cm del centro del rotor, el cual se encuentra girando a 600 rpm. El modelo del sistema vibratorio corresponde a la figura 4, el que deriva la ecuación de movimiento (ecuación 9.a) y su solución (ecuación 1.b) y la amplitud de vibración de la parte particular de la ecuación (ecuación 9.c)

**Figura 9.3** Diagrama de la máquina rotatoria



$$M\ddot{x} + c\dot{x} + kx = mew^2 \text{sen } wt \quad (9. a)$$

La solución de la ecuación 1.a es igual a ecuación 9.b

$$x_p(t) = X \text{sen } (\omega t - \theta) \quad (9.b)$$

La amplitud de vibración lineal \$X\$ y la angular \$\theta\$, se determinan según las ecuaciones 1.c y 1.j respectivamente

$$X = \frac{m e \omega_e^2}{[(k - M \omega_e^2)^2 + (C \omega_e)^2]^{1/2}} \quad (9.c)$$

donde:

\$X\$: es la amplitud de vibración de la parte particular de la ecuación de movimiento

\$m\$: masa desbalanceada, que provoca la generación de la fuerza centrífuga

\$e\$: distancia medida desde el centro de rotación hasta donde se coloca la masa de desbalance

\$\omega\_e\$: velocidad angular de excitación y se determina según ecuación 1. I

\$K\$: rigidez de los resortes y se determina, según ecuación 1.h

\$C\$: disipador de energía y para nuestro caso, no existe; \$C = 0\$

\$M\$: masa equivalente estática del prototipo que considera la masa de la estructura y la de los bulbos

La rigidez \$k\$ de los resortes en espiral se determina según ecuación 1.d (Beer & Hibbeler, 2013), (Joseph Edward Shigley; Larry D. Mitchell; 1983), (Rao Singiresu S. 2011)

$$k = \frac{d^4 G}{8nD^3} \quad (9.d)$$

Donde:

\$d\$: diámetro de alambre; \$d = 5.26\$ mm

\$D\$: diámetro de espira; \$D = 49.20\$ mm

\$n\$: número de vueltas activas; \$n = 9\$

\$G\$: módulo de elasticidad de segundo orden, según ASTM 228; \$G = 81\$ GPa

Sustituyendo 1.d

$$k = \frac{(0.00526 \text{ m})^4 (81.0 \text{ GPa})}{8(9)(0.0492)^3} = 7,294.11 \text{ N/m}$$

Considerando 8 resortes en espiral, la rigidez equivalente es de Puesto que se tratan de ocho resortes

\$k\_{eq} = \left(\frac{7,294.11 \text{ N}}{m}\right) \times 8 = 57,992.88 \text{ N/m}\$. Así mismo, se considera la masa de la criba de 12.87 kg.

Despejando y sustituyendo la ecuación 1.c, se tiene una masa de desbalance de 424.646 g

Sustituyendo los diferentes parámetros en 1.e y un radio de patea de 60 mm, se demuestra (según Singiresu, 2011) que el prototipo diseñado es capaz de vibrar con una amplitud de vibración de 0.19 radianes



(9.e)

### Estructura

Acorde la (figura 9.4), las vigas (1) tienen la finalidad de arriostrar a las columnas de soporte de todo el sistema. Con ello, deben de tener un diseño eficiente que evite que las columnas sufran el pandeo o la separación entre sus extremos se aumente considerablemente afectando el funcionamiento general de la máquina. En el diseño de este elemento se utiliza una solera de acero SAE A36 soldada a la parte lateral de las columnas. La resultante de las fuerzas se determina según Hibbeler, 2014, acorde a la ecuación 2.1

$$R = \gamma V \left( 9.81 \frac{m}{s^2} \right); N \quad (9.1)$$

Donde:

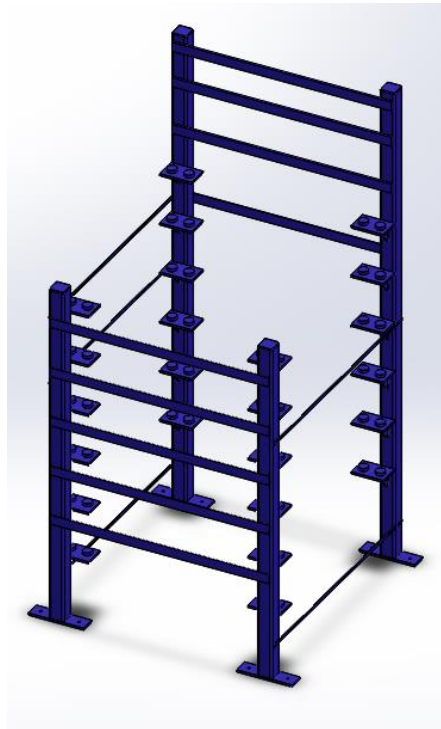
R: resultante de fuerzas

$\gamma$ : densidad del acero;  $\gamma = 7849 \frac{kg}{m^3}$

V: Volumen;  $V = 1.897 \times 10^{-4} m^3$

Sustituyendo en 2.1, se obtiene una resultante igual a  $R = 14.61 N$ , la cual actúa a lo largo de cada viga y que genera una fuerza distribuida igual a:  $q = 18.26 \frac{N}{m}$ , la que se representa en la figura 9.5

**Figura 9.4** Estructura de soporte de la máquina



Al analizar la distribución de cargas y las reacciones que surgen en los extremos, se comprueba que la viga se define como un sistema estáticamente indeterminado, el cual se resuelve empleando el método de la doble integral (Beer, 2014, Hibbeler, 2014). Para ello se realiza el corte imaginario de la viga y se representa el diagrama de sólido aislado (figura 9.6), se plantea las ecuaciones de equilibrio estático y se deduce la ecuación de momento flector, ecuación 2.2

$$\sum M_c = 0$$

$$M_I = -P_x + R_{Ax} - \frac{qx^2}{2} - M_A \neq 0 \quad (9.2)$$

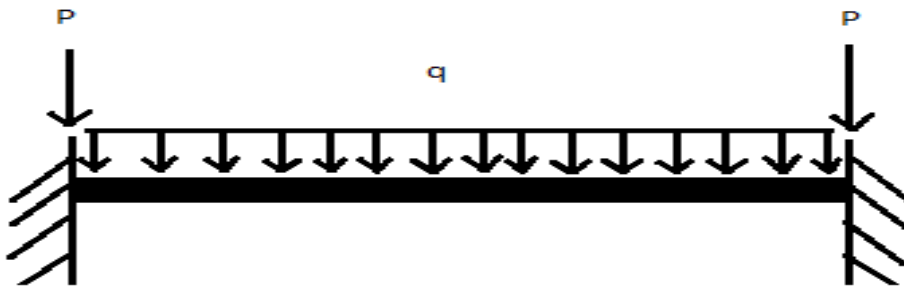
Se determina el desplazamiento angular, ecuación 2.3 y el desplazamiento lineal, ecuación

2.4

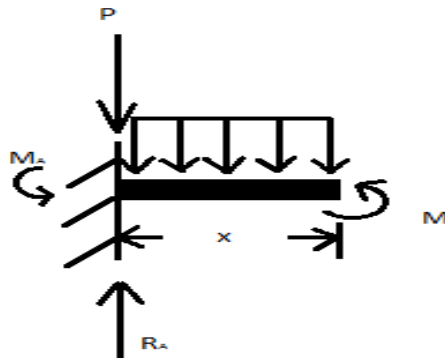
$$\theta = \frac{1}{EI} \int M_I dx = \frac{1}{EI} \left[ -\frac{Px^2}{2} + \frac{R_A x^2}{2} - \frac{qx^3}{6} - M_A x + C_1 \right] \quad (9.3)$$

$$\delta = \frac{1}{EI} \int dx \int M_I dx = \frac{1}{EI} \left[ -\frac{Px^3}{6} + \frac{R_A x^3}{6} - \frac{qx^4}{24} - \frac{M_A x^2}{2} + C_1 x + C_2 \right] \quad (9.4)$$

**Figura 9.5** Distribución de fuerzas sobre la viga



**Figura 9.6** Representación de las fuerzas en la viga



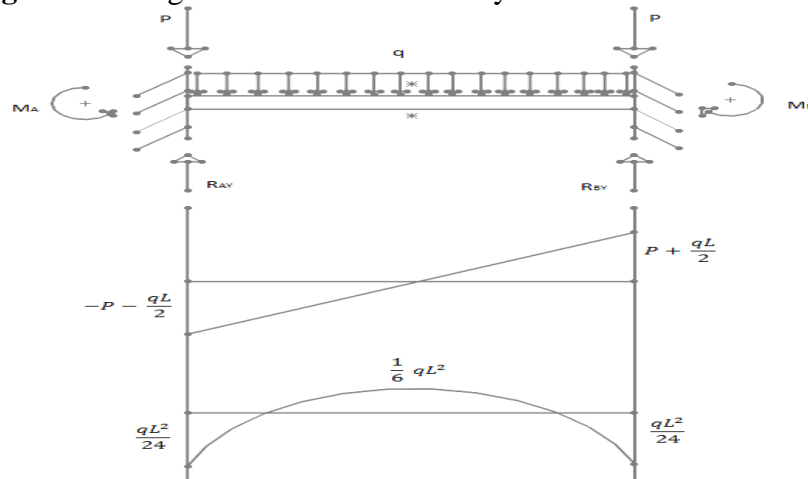
Se obtienen el sistema de ecuaciones 2.5 y 2.6 y a partir de las condiciones de fronteras, se determinan las constantes de integración y la magnitud de las reacciones

$$-\frac{Px^2}{2} + \frac{R_A x^2}{2} - \frac{qx^3}{6} - M_A x = 0 \quad (9.5)$$

$$-\frac{Px^3}{6} + \frac{R_A x^3}{6} - \frac{qx^4}{24} - \frac{M_A x^2}{2} = 0 \quad (9.6)$$

Se calcula y construye los diagramas de fuerzas cortantes y momentos flectores (fig. 9.7)

**Figura 9.7** Diagrama de fuerza cortante y momento flector de la viga



### Dimensionamiento de la sección transversal de la viga

Para el acero estructural A36, se realiza estableciendo la verificación del cumplimiento de la condición mínima para que un elemento mecánico resista sin peligro de fallo, el que se realiza al calcular los esfuerzos normales reales con los esfuerzos admisibles (ecuación 9.7), en dependencia del tipo de material. Para nuestro caso se emplea el acero A36, que posee un esfuerzo permisible de 167 MPa, con un coeficiente de seguridad de 1,5. El esfuerzo normal real se determina según Beer, 2014, ecuación 3.2

$$\sigma_{real} \leq \sigma_p \quad (9.7)$$

$$\sigma_r = \frac{M_f y}{I} \quad (9.8)$$

Donde:

$\sigma_{real}$ : *esfuerzo normal real; MPa*

Y: distancia de la línea neutra hasta el punto más alejado del centro de gravedad

I: momento de inercia rectangular;  $I = \text{mm}^4$

Según Faires, 2012,  $h = 4b$  y sustituyendo 3.1, se obtiene una geometría de la viga (ecuación 3.3) igual a

$$\frac{6M_f}{16b^3} \leq \sigma_p \quad (9.9)$$

Despejando la base b

$$b \geq \sqrt[3]{\frac{6M_f}{16\sigma_p}} \quad (9.54)$$

$$b = 1.638 \text{ mm}$$

La altura de la viga h se determina al considerar considerando que  $h = 4b$ ;  $h = 4(1.638 \text{ mm})$ :

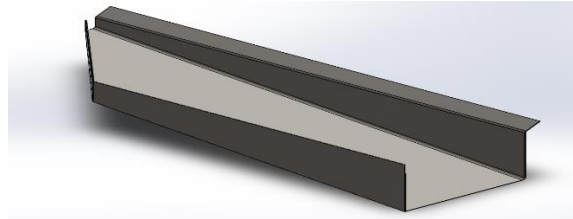
$$h = 6.552 \text{ mm}$$

Se estandariza la geometría de la sección transversal de la viga, quedando una base b de 3.175 mm y altura h de 12.7 mm

### Sistema de recolección y desalojo de material clasificado

El sistema de recolección está compuesto por rampas (fig.9.8) colocadas en la parte frontal de la máquina para re- direccionar el producto hacia los laterales de la máquina donde serán colocadas las cajas comerciales (fig. 9.9). Estas rampas están dispuestas al final de cada criba y tienen un ángulo de 10° respecto a la horizontal. La rampa está diseñada de acero inoxidable por sus características anticorrosivas y alta resistencia.

**Figura 9.8** Rampa de desalojo de material



**Figura 9.9** Cajas de almacén y comerciales para productos agrícolas



### Análisis de costos

Los realiza considerando principalmente tres aspectos: costos de materiales directos, costos de mano de obra, costos indirectos o generales de fabricación. Entre los costos directos en lo que se incurrirá se encuentran los materiales a emplear en la fabricación del prototipo Tabla 9

**Tabla 9** Costos de soleras y placas

Especificaciones				
	Longitud (mm)	Tramos (Pza)	Precio (kg)	Total (MXN)
Soleras				
Solera 1/8" esp. x 1/2"	4,031.8 x 4.03	1	11.90	15.35
Solera 1/8" esp. x 1 1/2"	5,447.7 x 5.44	1	12.40	64
Solera 3/8" esp. x 2 1/2"	3,080.0 x 3.08	1	12.40	181.41
Placas				
Placa 3/8"	1m <sup>2</sup>	1		508.00
Placa 3/16"	1m <sup>2</sup>	1		508.00
Bastidor secundario				
	400 x 0.4	1	12.40	23.56
	2,508.2 x 2.50	1	11.90	9.52
			Total	1,309.84

**Tabla 9.1** Costos de soleras y placas

Soporte del motor, soporte tolva y escalera	
Solera 3/16 "Esp. x1 ½	16 m 23 kg
Placa 3/16"	23 kg
<b>Total</b>	285.2 MXN.

**Tabla 9.2** Costos de materia Prima

	Longitud (mm)	Tramo (Pza)	Precio (kg)	Total (MXN)
<b>Bastidor principal</b>				
<b>PTR 1/2" x 1/2" x 3/16"</b>	5,598.0 x 5.59	1	14.90	325.56
<b>Barra redonda ø 1/2"</b>	304.8 x 0.30	1	11.10	3.30
<b>Bastidor secundario</b>				
<b>PTR 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"</b>	10,433.7 x 10.43	2	14.90	511.21
<b>Total</b>				840.07
<b>Subtotal perfiles</b>				4,299.82

**Tabla 9.3** Costos de PTR adicional

Concepto	Longitud (m)	Peso (Kg)	Precio (MXN)
<b>PTR 2 1/2" x 2 1/2" x 3/16"</b>	8.6	71.55	1066.12
<b>PTR 2" x 2" x 1/4"</b>	2.2	17.68	263.35
<b>PTR 1 1/2" x 1 1/2" x 1/8"</b>	1	3.29	49.21
<b>Total perfiles</b>			3,813.79

La tabla 9.4, muestra la lámina de acero inoxidable requerida en cubierta, cribas, tolva y resbaladilla de desalojo de material

**Tabla 9.4** Costos de materia prima (lámina de acero inoxidable)

<b>Lámina de acero inoxidable</b>		
Cantidad requerida (m <sup>2</sup> )	Precio (MXN*m <sup>2</sup> )	Subtotal (MXN)
<b>3.96</b>	1,100.00	4,356.00

La tabla 9.5 muestra los costos referentes a las correas o bandas utilizadas para la transmisión de potencia y las chumaceras que sostienen los ejes de las poleas

**Tabla 9.5** Costos de materia prima (correa en V y chumaceras)

<b>Correa en V</b>	
<b>Rubber V Belt 3VX 3m MXN 250 Pza. x 5</b>	1250.00
<b>Resortes de compresión ASSOCIATED SPRING modelo C19372072500M</b>	
<b>Cantidad</b>	40.0
<b>Subtotal</b>	7,000.00
<b>Chumacera SKF modelo SYNT_35_f_ECY_207</b>	
<b>Cantidad (pza.)</b>	5
<b>Precio</b>	260 x pza.
<b>Subtotal</b>	2,600.00 MXN

El recubrimiento de la máquina se propone sea realizado con pintura azul inoxidable especial METALMEX ESMALTE ALQUIDALICO) Sherwin Williams, con un costo de 513.00 MXN. El costo de la mano de obra se estima sea de 3 mil pesos y los costos indirectos de alrededor de 2 mil pesos, para un total de aproximadamente 30 mil pesos y un tiempo de recuperación de la inversión de un año y medio

### 9.3 Conclusiones

El prototipo de máquina diseñado, cuyo principio de funcionamiento está basado en las vibraciones mecánicas forzadas con una masa de desbalance, permite que el prototipo vibre y nunca llegue a manifestar un movimiento dinámico para aceleraciones considerables, lo cual permite que los bulbos de ajo se desplacen según su tamaño por las diferentes cribas. Posee bajo costo de fabricación, fácil operación, mantenimiento. El motor seleccionado es de 0.7 hp y el tiempo estimado de la inversión es de aproximadamente 1 y medio, lo cual valida la fabricación de la máquina



## 9.4 Referencias

Adel H. Bahnasawy. 2007. Some physical and mechanical properties of garlic. International Journal of Food Engineering. Volume 3. Article 7. University of Benha, Egypt. <http://www.siap.gob.mx/05/11/14>

López Camelo, Andrés F. 2003. Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas, del campo al mercado. INTA E. E. A. Balcarce, Argentina

Aljaro, A. 1992. Efecto del tamaño del bulbo-madre y de la forma y peso del bulbillo sobre el cultivo del ajo Agricultura técnica (chile) 52 (2): 170-180

A. Ledesma, J. A. Arguello, S. B. Núñez y C. Rodríguez. 1997. Calidad de bulbos de ajo. Índices bioquímicos y fisiológicos de maduración en pos-cosecha. 50 temas sobre producción de ajo. INTA. Mendoza, Argentina

Burba J. L. 2002. Manipuleo, almacenamiento y transporte del ajo. Proyecto ajo/INTA. EEA La Consulta INTA. La Consulta, Mendoza, Argentina

Burba, J. L. 2003. Producción de ajo. Proyecto ajo/INTA. Ed INTA. Estación experimental agropecuaria La Consulta, Mendoza, Argentina

Boletín de prensa. Es México potencia en producción y exportación de hortalizas; reto: diversificar oferta y mercados. (2012). SAGARPA. Jalisco, México. Consultado: 13/10/2014. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/delegaciones/Jalisco/boletines/Paginas/B0322012.aspx> 09/12/14

Carlos González I. 1987. Tecnología del manejo de pos-cosecha de frutas y hortalizas. Importancia económica del buen manejo de pos-cosecha. Tecnología del manejo de frutas y hortalizas. IICA. Colombia. PP. 217-241

CATALOGO CORREAS INDUSTRIALES AYCO 2010

CATALOGO PRECIOS SHERWIN WILLIAMS MEXICO

Comité Sistema Producto Ajo A. C. 2012. Plan rector, Comité Sistema Producto Ajo A. C. Recuperado en: <http://www.itesm.mx/wps/wcm/connect/Campus/PUE/Puebla/> 04/12/14

ECONOMÍA EN EL MAQUINADO PARA LA INDUSTRIA METALMECÁNICA/JOHN CORONADO MARÍN/2004/UNIVERSIDAD ICESI

Efraín Volosky Y. 1971. Tamaño de la semilla y tipo de bulbo cosechado en ajo. Agricultura Técnica (Chile)

FAO. 1993. Prevención de pérdida de alimentos pos-cosecha: frutas, hortalizas, raíces y tubérculos. Manual de capacitación. Selección FAO. Roma, Italia

Ferdinand P. Beer; E. Russell Johnston, Jr.; John T. DeWolf. (2014); Mecánica de Materiales; 9ª Edición. Mc GRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORS, S. A. de C. V; México

Gilberto Enríquez Harper (2012). El ABC de las maquinas eléctricas III: instalación y control de motores de corriente alterna I. ED. Limusa S.A de C.V. México. 400 p

G. T. Ávila. 2007. Factores de manejo del cultivo de ajo (*Allium Sativum* L.) que determinan la calidad del producto a la cosecha. Taller de prácticas agrícolas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba. Argentina

G. Villanueva, J. Corven, A. Campos. 1991. Taller Regional Centroamericano y Consulta sobre Planificación Hortícola. IICA

Hernando, R; Pilar, S; Florence, T. 2006. Post-cosecha y servicios de apoyo a la comercialización; Gestión de agronegocios en empresas asociativas rurales, curso de capacitación, modulo 4; IICA, PRODAR y FAO. Lima, Perú. Salvado en: LISTA DE PRECIOS ASSOCIATED SPRINGS UK

López, A. M.; Burba, J. L.; Lanzavechia, S. 2012. Análisis sobre la mecanización del cultivo del ajo. Proyecto ajo/INTA. INTA. EEA La Consulta, Mendoza, Argentina

NMX-FF-018-SCFI-2006. PRODUCTOS ALIMENTICIOS NO INDUSTRIALIZADOS PARA CONSUMO HUMANO - ESPECIE - AJO (*Allium Sativum* L.) – ESPECIFICACIONES (CANCELA A LA NMX-FF-018-SCFI-1999). Recuperado en: <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2006/nmx-ff-018-scfi-2006.pdf> 15/12/14

R. C. Hibbeler. Sexta Ed. 2013. Mecánica de Materiales. Ed. Prentice Hall

Robert L. Norton. 2009. Desing of Machinery: An Introduction to the Synthesis and Analysis of Mechanisms and Machines. Ed. Mc Graw Hill

Singiresu S. Rao. 5ª ed. 2011. Vibraciones Mecánicas. Ed. Pearson Education, Inc. Prentice-Hall

William F. Riley; Leroy D. Sturges. (2005). Ingeniería Mecánica: Dinámica. Ed. REVERTÉ, S. A. Barcelona, España

## **Simulación de la producción de café (Coffea) en Brasil con redes neuronales (RNA)**

BEDOYA-CARDOSO, Marlio, SALAZAR, Raquel, PÉREZ, Francisco y PORTILLO, Marcos

M. Bedoya, R. Salazar, F. Pérez y M. Portillo

^ Universidad Autónoma Chapingo, México.  
Marlio.bedoya@gmail.com

D. Sepúlveda, F. Rérez, D. Sepúlveda, E. Figueroa, R. Salazar, L. Godínez (eds.) Matemáticas Aplicadas. Handbook T-I. -©ECORFAN, Texcoco de Mora-México, 2016.

## Abstract

Coffee (*Coffea*) has an important role in the Brazilian economy, it is the primary sector activity that most employs rural labor, it has also promoted the development of enterprises in industry and services, likewise, it is an important source in the entry of foreign exchange (Sugai *et al.*, 2004). An important element in the management of coffee farms in the harvest forecast to planning activities and through which the number of contracted employees can be estimated, this paper the results of the simulation of coffee production in Brazil are presented using networks neural, in order to predict the production of the following years, using different methodologies maximum number of neurons in the hidden layer and proportion of data for cross-validation, involving economic and non-economic variables that influence grain production. Dynamic neural models achieved a better performance in the simulation of coffee production in Brazil, as the difference between the mean absolute error (MAE) with static neural networks was 3000 tons of green coffee per year.

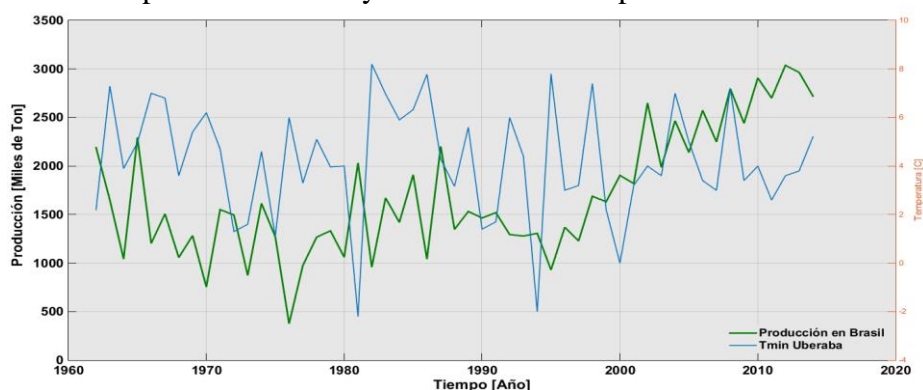
## 10 Introducción

El cultivo de café es el más importante y comercializable para 25 millones de pequeños agricultores de 60 países tropicales (Pelupessy, 2007, p. 190). En América Latina, se cultiva principalmente en Brasil, Colombia, Honduras, México, Perú, Costa Rica, Nicaragua, El Salvador, Ecuador y Venezuela.

El cultivo del café es considerado un dinamizador de la economía en las regiones donde se cultiva y cosecha, además es el producto agrícola más importante que se comercializa en el mercado de futuros de Nueva York y Londres. En los años cafetaleros 2010, 2011 y 2012, Brasil, Vietnam, Colombia e Indonesia proporcionaron más del 62% del producto a nivel internacional (ICO, 2015). Por lo tanto, lo que pase con la producción del aromático en cualquiera de estos cuatro países (principalmente Brasil) puede influir fuertemente en su cotización. En Brasil algunos consultores emplean personal capacitado y un método volumétrico para estimar la zafra o cosecha de café; en Colombia la Federación Nacional de Cafeteros utiliza un método destructivo para el pronóstico de la cosecha lo cual requiere de tiempo, y dinero.

Desde el año 1962 hasta la cosecha cafetalera del ciclo 2013/14, la oferta internacional del café ha estado sometida a fuertes variaciones, debido principalmente a condiciones climáticas extremas en la zona cafetalera de los países productores del aromático. En este periodo en Brasil se presentaron diversos eventos climáticos relacionados con heladas y sequías, destacándose principalmente los ocurridos en 1965, 1975, 1981 y 1994, los cuales fueron responsables de reducir la oferta mundial del grano en 18.1, 14.9, 17.9 y 6.3 millones de sacos de 60 kilogramos respectivamente (Figura 10).

**Figura 10** Temperatura mínima y su relación con la producción del café en Brasil



En las variaciones de la oferta del grano en Brasil desde 1962 hasta el año 2014, se identifica una estrecha relación entre la producción de café y la temperatura mínima, pues temperaturas entre 2 y -2 grados centígrados en la zona cafetalera, afecta significativamente la cosecha para el año siguiente entre un 28 y 70% dependiendo de la duración e intensidad (FAO, 2014; INMET, 2015).

En el año 2005 la producción agrícola en Brasil representó el 10% de su producto interno bruto (PIB) y la participación del sector agroalimentario fue las dos terceras partes del superávit comercial. En este mismo año el sector agroalimentario de Brasil fue el más grande del mundo con 27.5 billones de dólares. Asimismo, las exportaciones de café alcanzaron una participación del 26% del mercado mundial por un valor de 2533 millones de dólares (Valdes, 2006).

El Agronegocio del café en Brasil está pasando un momento favorable dado la producción, consumo y mercado internacional, con buenas perspectivas en el corto y mediano plazo (Santos, 2011). Debido a la importancia económica de la actividad cafetalera en Brasil y muchos países productores del grano, se hace necesario implementar herramientas que simulen y predigan con exactitud la oferta del café; una alternativa para ello son las Redes Neuronales Artificiales (RNA). Las RNA, representan una tecnología que tiene sus raíces en muchas disciplinas: neurociencia, matemáticas, estadística, física, ciencias de la computación e ingeniería (Haykin, 1999). Se han empleado en áreas tan diversas como la neurofisiología, física, ingeniería biomédica, ingeniería electrónica, ciencias de la computación, acústica, cibernética, robótica, procesamiento de imágenes, finanzas y otras (Govindaraju, 2000).

El enfoque de RNA es uno de los métodos usados para hacer mejores predicciones del futuro y es importante para la toma de decisiones, particularmente en los últimos años, como un método con alto nivel de validación en el campo de la economía y las predicciones financieras (Yildirim *et al.*, 2011).

Bahrammirzaee (2010) afirma que las RNA tienen la capacidad de actualizar los datos y ser un modelo estimador libre, además las redes neuronales son superiores a la naturaleza nominal de técnicas de manipulación simbólica porque en estas técnicas numéricas, los datos deben ser convertidos en valores nominales antes de ser utilizados como entrada, por lo tanto, hay problemas con la pérdida de información. Con las RNA se puede introducir datos numéricos directamente como entrada para el procesamiento. Las redes neuronales podrían jugar un papel importante en el esfuerzo de construir modelos cuantitativos más exactos en economía y gestión. (Vesely, 2011).

Las redes multicapas de alimentación directa o hacia adelante (multilayer feedforward) son empleadas en la construcción de redes neuronales estática, compuestas de un conjunto de neuronas organizadas lógicamente en una o más capas (Masters, 1993).

Las redes neuronales dinámicas o recurrentes, también utilizan la estructura multicapas hacia adelante, pero con uno o más circuitos de retroalimentación (Haykin, 1999). Predecir los valores futuros de una serie de tiempo es un problema común, y cualquier red neuronal que sea capaz de aceptar vectores de valor real como entradas y producir un vector de salida real, puede ser usada para predicciones de series de tiempo (Masters, 1993).

Una vez seleccionado el modelo, se debe considerar como evaluar su desempeño para determinar que tan bien el modelo representa las respuestas del sistema, en este caso la serie de tiempo. Hay muchas medidas estadísticas que describen que tan bien se ajusta el modelo a una muestra de datos, y cuando se usa más de una técnica de predicción, las medidas de desempeño ayudan a discriminar entre los modelos usados (Montgomery *et al.*, 2011).

La evaluación es importante para el uso potencial del modelo, ya que, el usuario necesita información acerca de la calidad del modelo para decidir qué tanta credibilidad debe darle al modelo. La evaluación es una de las principales actividades en todo trabajo de modelación, pero particularmente para modelos en agronomía (Wallach *et al.*, 2013).

El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) es otro criterio estadístico, en el cual el denominador es simplemente la suma total al cuadrado de las observaciones con respecto a la esperanza, el cual es constante y no depende del modelo, y el numerador es la suma de los cuadrados residuales, por lo tanto seleccionar el modelo que maximiza el  $R^2$ , es equivalente a seleccionar el modelo que minimiza la suma al cuadrado de los residuales, por lo tanto un valor alto del  $R^2$ , sugiere un buen ajuste de los datos históricos (Ecuación 1); pero un valor alto del  $R^2$ , no asegura que los errores de predicción hacia a delante fuera de la muestra serán pequeños (Montgomery *et al.*, 2011).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (10)$$

Wallach *et al.*, (2013), manifiestan que, los figuras son ayudas visuales invaluable en la evaluación del modelo, pero se requiere un resumen cuantitativo de la bondad de ajuste de los datos, podría decirse que el cuadrado medio del error (MSE) es una de las medidas más usadas (Ecuación 2).

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (10.1)$$

Dónde  $Y_i$  es el valor medido,  $\hat{Y}_i$  es el correspondiente valor simulado, y  $n$  es número de mediciones. El MSE mide la variabilidad (Varianza) en los errores de predicción, lo deseable es obtener la menor variabilidad en los errores de predicción (Montgomery *et al.*, 2011; Wallach *et al.*, 2013).

El MSE es la diferencia entre el valor observado y el valor simulado o predicho al cuadrado, esta medida es similar a la del error medio absoluto (MAE), excepto que la función de cuadratura es utilizada en lugar de la función del valor absoluto. Como el MSE es calculado con los errores al cuadrado de la predicción, será más sensible a grandes errores y valores atípicos en comparación con el MAE (Wilks, 2011).

Una medida alternativa para determinar el error del modelo, que al igual que el MSE evitan la compensación entre la sub o sobre predicción, es el error medio absoluto (Ecuación 3). La unidad del MAE es la misma que la de ‘Y’ o variable a predecir, por lo tanto, no hay problema de sobre ponderación de grandes diferencias empleando MAE (Wallach *et al.*, 2013).

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i| \quad (10.2)$$

El MAE es la media aritmética de valores absolutos de la diferencia entre los valores observados y predichos. Claramente el MAE es cero si las predicciones son perfectas o puede incrementar si las diferencia entre los valores predichos y observados son grandes, por lo tanto, MAE es una magnitud típica para los errores de predicción en un conjunto de datos de verificación dados (Wilks, 2011).

Para modelos de agronomía el predictor genuino (naive) será a menudo el promedio de los valores observados, probablemente el predictor más ampliamente utilizado es el que determina la eficiencia del modelo definido como (Wallach *et al.*, 2013):

$$EF = 1 - \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (10.3)$$

En el presente trabajo se emplearon modelos neuronales estáticos y dinámicos con el objetivo de simular la producción cafetalera en Brasil y seleccionar la mejor arquitectura y modelo basado en el desempeño estadístico de los mismos, empleando diferente número de neuronas en la capa oculta y proporción en la asignación de datos para el proceso de validación cruzada (entrenamiento, validación y prueba).

### 10.1 Metodología

La información para la simulación de la producción cafetalera en Brasil fue obtenida por la Organización Internacional del Café (ICO), el Instituto Nacional de Meteorología en Brasil (INMET), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO) y corresponde al periodo entre los años 1962 a 2014; posteriormente se organizó y tabuló la información en una hoja de cálculo del programa Microsoft Excel 2013.

Las variables de entrada (31) de los modelos neuronales fueron: el área cosechada, cantidad de fertilizante empleado, producción anual de café, indicador de heladas, y sequías, la precipitación y las temperaturas máximas y mínimas de 8 estaciones climatológicas ubicadas en la zona cafetalera de Brasil. Todas las estaciones climáticas seleccionadas contaban con más del 98% de la base de datos en el periodo seleccionado. El relleno de la información faltante se realizó empleando la herramienta knnimpote del programa Matlab14b.

En los modelos neuronales estáticos y dinámicos, se emplearon tres metodologías para establecer el número de neuronas en la capa oculta, la primera es propuesta por Hecht-Nielsen (1987) ( $h = 2n + 1$ ) citada por Kůrková (1992); la segunda metodología es propuesta Masters (1993) ( $h = \sqrt{mn}$ ); finalmente se probó un criterio adicional intermedio ( $h = n$ ); donde  $n$  es el número de variables de entrada y  $m$  es el número de salidas, para este caso  $m = 1$

Para la asignación de los datos y realizar la técnica de validación cruzada (entrenamiento validación y prueba) se empleó la rutina de división aleatoria de Matlab en las siguientes proporciones (50 25 y 25%), (60 20 y 20%) y (70 15 y 15%).

El total de datos disponibles para realizar la estimación de la producción cafetalera se dividió en dos tandas, la primera con el 80% de los datos para la validación cruzada y el 20% restante se utilizó en la fase de simulación.

El mejor modelo neuronal en el proceso de simulación, fue escogido teniendo en cuenta los criterios estadísticos del mayor coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y la eficiencia del modelo (EF) así como, el menor error medio absoluto (MAE) y cuadrado medio del error (MSE).

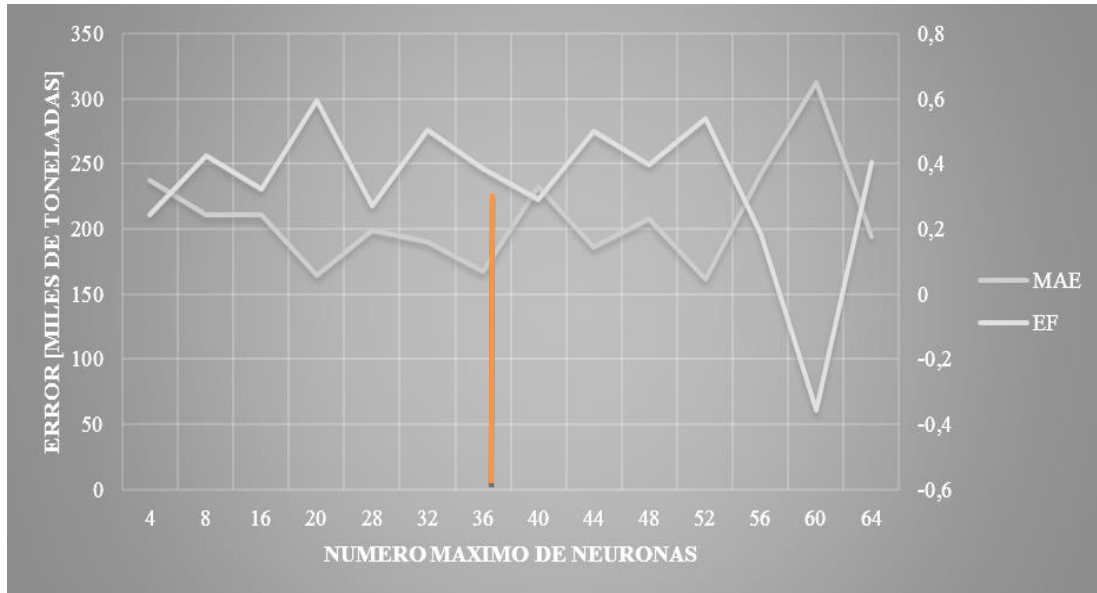
## 10.2 Resultados

De las tres metodologías para establecer el número máximo de neuronas en la capa oculta se observa que en las metodologías  $h = \sqrt{mn}$  y  $h = n$  se encuentran dentro de la metodología  $h = 2n + 1$ .

Sin embargo, el empleo de esta última metodología resulta muy compleja al aplicarlo a redes con más de 20 variables de entrada, pues se tendrían que hacer simulaciones desde 2 hasta 81 neuronas en la capa oculta, lo cual requiere de mucho tiempo de simulación por la cantidad de cálculos que tendría que hacer el ordenador.

Se determinó el número máximo de neuronas en la capa oculta donde se cruzaron las líneas del error medio absoluto (MAE) y la eficiencia del modelo (EF), para minimizar los cálculos y tiempo de simulación en las redes neuronales (Figura 10.1).

**Figura 10.1** Número máximo de Neuronas en la simulación de la Producción de café en Brasil



La metodología que minimiza los costos computacionales empleando redes neuronales estáticas para simular la producción de café en Brasil y determinar el número máximo de neuronas en la capa oculta fue la propuesta por Masters (1993) ( $h = \sqrt{mn}$ ).

El mejor resultado para simular la producción de café en Brasil empleando redes neuronales estáticas se alcanzó con 3 neuronas en la capa oculta y distribución de datos 70-15-15 para el proceso de entrenamiento validación y prueba. Alcanzando un error medio absoluto de 144 mil toneladas (Tabla 10). Asimismo, la red estática describe el comportamiento de la oferta del grano y (Figura 10.2).

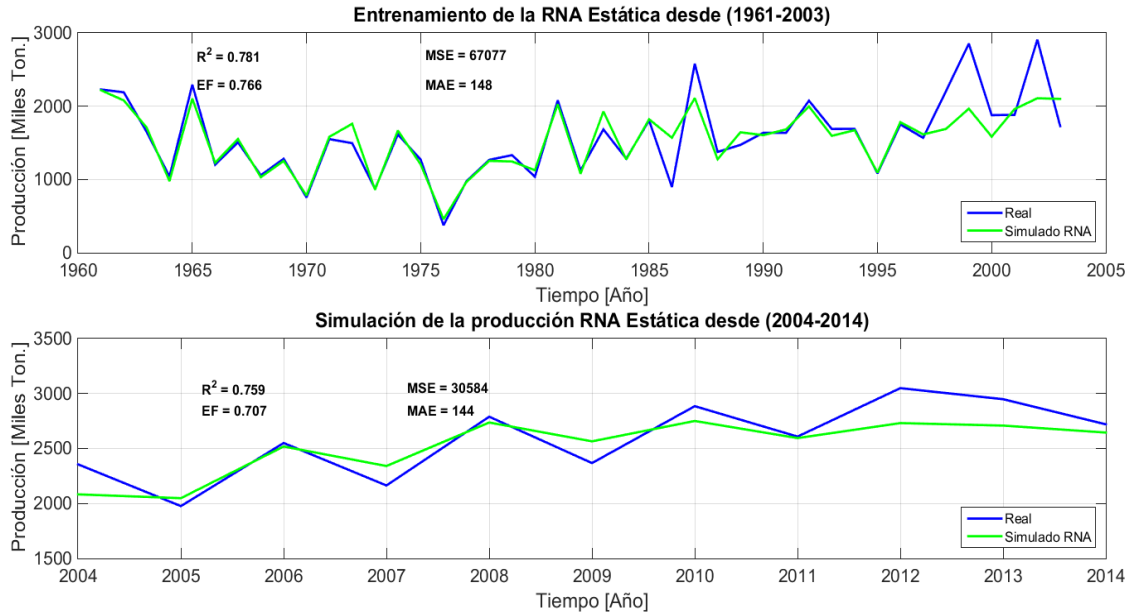
**Tabla 10** Mejor resultado de las redes neuronales estáticas.

Proceso	ítem	50-25-25	60-20-20	70-15-15
Validación cruzada	n	24	3	3
	R <sup>2</sup>	0,51	0,77	0,78
	MSE	233792	67911	67077
	EF	0,18	0,76	0,77
	MAE	407	175	148
Simulación	R <sup>2</sup>	0,76	0,72	0,76



<b>MSE</b>	363119	30283	30584
<b>EF</b>	0,65	0,71	0,71
<b>MAE</b>	162	145	144

**Figura 10.2** Resultado del mejor modelo neuronal estático

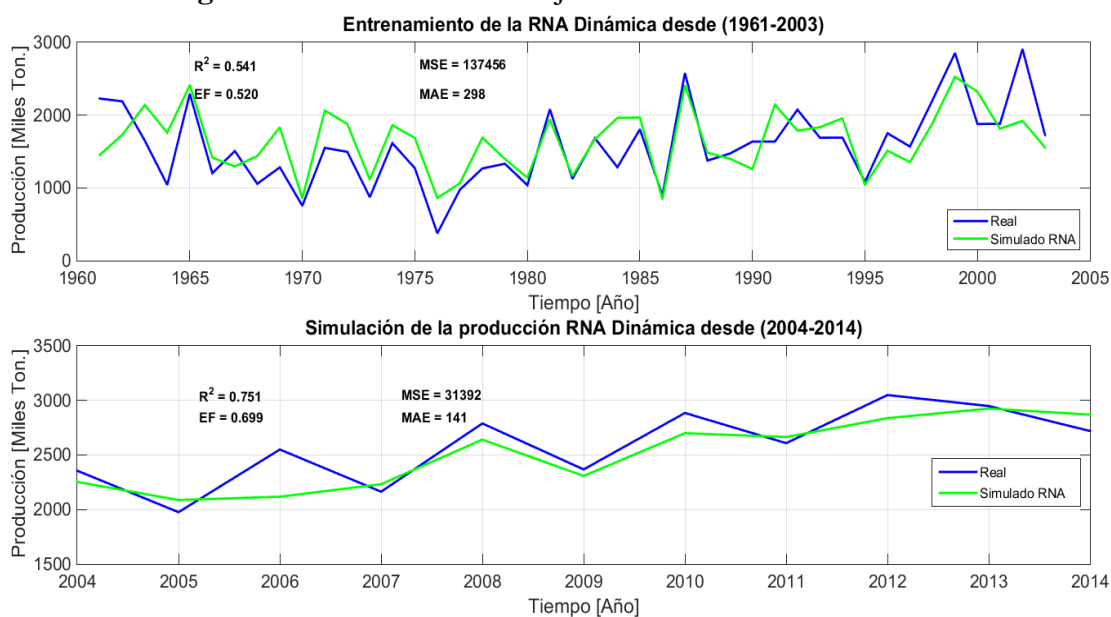


Con redes neuronales dinámicas, la metodología en la cual se encontró el número máximo de neuronas en la capa oculta para disminuir los costos computacionales fue  $h = n$  (Tabla 10.1). El empleo de un mayor número de neuronas en la capa oculta desarrollando la metodología propuesta por Hecht-Nielsen (1987) no mejoró el desempeño de las redes neuronales utilizadas en este trabajo. Asimismo, el costo computacional de la red dinámica es superior al de la red estática, debido a que los retrasos en este tipo de redes duplica el número de parámetros (pesos).

**Tabla 10.1** Resultados de las redes neuronales dinámicas.

Proceso		ítem	50-25-25	60-20-20	70-15-15
Validación cruzada		<b>n</b>	30	18	18
		<b>R<sup>2</sup></b>	0,72	0,54	0,88
		<b>MSE</b>	85748	137456	47078
		<b>EF</b>	0,7	0,52	0,84
		<b>MAE</b>	146	298	102
Simulación		<b>R<sup>2</sup></b>	0,61	0,75	0,68
		<b>MSE</b>	43674	31392	40382
		<b>EF</b>	0,58	0,7	0,61
		<b>MAE</b>	173	141	165

El mejor desempeño estadístico utilizando redes neuronales dinámicas para simular la producción cafetalera de Brasil, se logró con 18 neuronas en la capa oculta ( $h = \frac{2n}{3}$ ) y distribución de datos para el proceso de validación cruzada de, 60% para entrenamiento, 20% para la validación, y 20% para la prueba del modelo (Tabla 10.1). Logrando un error medio absoluto (MAE) fue de 141 mil toneladas de café por año (Figura 10.3).

**Figura 10.3** Resultado del mejor modelo neuronal Dinámico

El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) como medidas de desempeño para la evaluación de un modelo, algunas veces no es una buena medida de ajuste, ya que cambia drásticamente de acuerdo a la variabilidad de los errores (Tabla 10 y 10.1).

La red neuronal dinámica logró un mayor desempeño estadístico para simular la producción de café en Brasil, en comparación, con la red neuronal estática, alcanzando una diferencia de 3 toneladas de café.

Dumedah *et al.*, (2014), probando 9 diferentes tipos de redes neuronales y 5 métodos estadísticos para el llenado de datos perdidos de humedad del suelo a diferentes profundidades en 13 estaciones de monitoreo, encontraron resultados similares, donde las redes neuronales dinámicas presentaron un mejor desempeño que las redes estáticas y otros métodos empleados.

Resultados análogos fueron encontrados por Sundermeyer *et al.*, (2013), quienes analizaron el buen ajuste en una tarea de reconocimiento de voz francesa empleando redes estáticas y dinámicas, hallando que las redes neuronales dinámicas superaron a las redes estáticas.

Asimismo, Gençay *et al.*, (1997), en su trabajo de modelación no lineal y predicción con redes estáticas y dinámicas con datos ruidosos, encontraron que la red dinámica presenta mejor desempeño que la red estática con muestras de datos pequeñas y grandes.

Sin embargo, Mańdziuk *et al.*, (2002), encontraron que las redes estáticas presentaron un mejor desempeño que las redes dinámicas. Los mismos autores encontraron que una red neuronal con dos capas es superior a la que tiene una sola capa oculta para la predicción de corto plazo en series de tiempo caótica.

### 10.3 Conclusión

Las metodologías utilizadas en este trabajo no optimizan el tiempo de simulación y no pueden encontrar el número máximo de neuronas en una capa oculta empleando redes neuronales estáticas y dinámicas. Ya que, la red neuronal estática logra su mejor desempeño estadístico con la metodología propuesta por Masters, (1993) y la red neuronal dinámica lo logró con la metodología intermedia.

La mejor metodología para distribuir los datos en el proceso de validación cruzada (Entrenamiento, Validación y Prueba) empleando redes neuronales estáticas fue 70-15-15 con un error medio absoluto (MAE) de 144 mil toneladas por año, sin embargo, la distribución 60-20-20 alcanzó un MAE de 145 mil toneladas de café. Asimismo, las redes neuronales dinámicas lograron su mejor desempeño estadístico con distribución 60-20-20 alcanzando un error medio absoluto de 141 mil toneladas de café por año.

Los modelos neuronales dinámicos presentaron un mejor desempeño en la simulación de la producción cafetalera en Brasil, pues la diferencia entre el error medio absoluto (MAE) con las redes neuronales estáticas fue de 3 mil toneladas de café por año.

### 10.4 Agradecimientos

A la Organización Internacional del café (ICO), por facilitar información relevante para la culminación del presente trabajo.

### 10.5 Referencias

- Bahrammirzaee, A. (2010). A comparative survey of artificial intelligence applications in finance: artificial neural networks, expert system and hybrid intelligent systems. *Neural Computing and Applications*, 19(8), 1165-1195.
- Dumedah, G., Walker, J. P., & Chik, L. (2014). Assessing artificial neural networks and statistical methods for infilling missing soil moisture records. *Journal of Hydrology*, 515, 330-344.
- FAO (2014). Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. FAOSTAT. [Fecha de consulta: 30 de agosto de 2014] Disponible en: <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/S>
- Gençay, R., & Liu, T. (1997). Nonlinear modelling and prediction with feedforward and recurrent networks. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 108(1), 119-134.
- Govindaraju, R. S. (2000). Artificial neural networks in hydrology. I: Preliminary concepts. *Journal of Hydrologic Engineering*, 5(2), 115-123.
- Haykin, S. (1999). *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*. Printice-Hall. Inc., New Jersey.
- Kůrková, V. (1992). Kolmogorov's theorem and multilayer neural networks. *Neural networks*, 5(3), 501-506.

ICO (2015). International Coffee Organization. Historical Data on the Global Coffee Trade. [Fecha de consulta: 08 de marzo de 2015] Disponible en:  
<http://www.ico.org/historical/1990%20onwards/PDF/1a-total-production.pdf>

INMET (2015). Instituto Nacional de meteorología. Datos Históricos. Banco de datos históricos para enseñanza y meteorología. [Fecha de consulta: 09 de mayo de 2015]. Disponible en:  
<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>

Mańdziuk, J., & Mikołajczak, R. (2002). Chaotic time series prediction with feed-forward and recurrent neural nets. *Control and Cybernetics*, 31, 383-406.

Masters, T. (1993). *Practical neural network recipes in C++*. Morgan Kaufmann. 490p.

Montgomery, D. C., Jennings, C. L., & Kulahci, M. (2011). *Introduction to time series analysis and forecasting* (Vol. 526). John Wiley & Sons. 441 p.

Pelupessy, W. (2007). The World behind the World Coffee Market. *Études rurales*, 189-211.

Santos, J. D. F. (2011). Conjuntura E Perspectivas Da Economia Cafeeira—Uma Breve Análise. VII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. Araxá-Brasil. 3 p.

Sugai, Y., Teixeira, F. A. R., Contini, E., (2004). Impacto de Exportação do Café na Economia do Brasil. EMBRAPA. 42 p.

Sundermeyer, M., Oparin, I., Gauvain, J. L., Freiberg, B., Schluter, R., & Ney, H. (2013, May). Comparison of feedforward and recurrent neural network language models. In *Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 2013 IEEE International Conference on (pp. 8430-8434). IEEE.

Valdes, C. (2006). Brazil's booming agriculture faces obstacles. *Amber Waves*, 4(5), 28-35.

Veselý, A. (2011). Economic classification and regression problems and neural networks. *Agricultural Economics (Zemědělská Ekonomika)*, 57(3), 150-157.

Wallach, D., Makowski, D., Jones, J. W., & Brun, F. (2013). *Working with Dynamic Crop Models: Methods, Tools and Examples for Agriculture and Environment*. Academic Press. 487 p.

Wilks, D. S. (2011). *Statistical methods in the atmospheric sciences* (Vol. 100). Academic press. 676 p.

Yildirim, I., Ozsahin, S., & Akyuz, K. C. (2011). Prediction of the Financial Return of the Paper Sector with Artificial Neural Networks. *BioResources*, 6(4).

## **Análisis probabilístico de datos de escurrimientos estacionales. Casos: Ríos Conchos y San Pedro**

MERCADO-ESCALANTE, José Roberto, GUIDO-ALDANA, Pedro, OJEDA-BUSTAMANTE, Waldo

J. Mercado, P. Guido, W. Ojeda

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA. P. Cuauhnáhuac # 8532, CP 62550, Jiutepec, Mor., México.  
rmercado@tlaloc.imta.mx

D. Sepúlveda, F. Rérez, D. Sepúlveda, E. Figueroa, R. Salazar, L. Godínez (eds.) Matemáticas Aplicadas. Handbook T-I. -©ECORFAN, Texcoco de Mora-México, 2016.

## Abstract

In this paper, the main objective is to solve the inverse problem of finding, from seasonal data, the differential equation for the characteristic function, with temporary parameter, of the probability distribution of historical runoff in two dams; one in the Conchos River and the other in the San Pedro River. Solutions of the differential equation provide a link between a percentage of the runoff probability and the water demand in its irrigation area. We also found the multifractal spectra of the runoff, which exhibit an essential singularity.

## 11 Introducción

Nuestra primera meta se dirige a establecer una correlación entre los escurrimientos estacionales históricos de un río en una presa y la probabilidad de contar con los volúmenes necesarios para abastecer una determinada área de riego. La segunda, es encontrar la ecuación diferencial que sintetiza la evolución y encripta los datos de los escurrimientos, para luego hallar una solución que nos aporte la función característica ligada a la función de distribución de probabilidades, cuya forma complementaria nos permita establecer la conexión entre las probabilidades y los escurrimientos. Dicha construcción la realizamos por dos caminos: el primero, para datos agrupados en clases; y el segundo, para datos no agrupados, sirviéndonos el primero de ellos como parámetro de control.

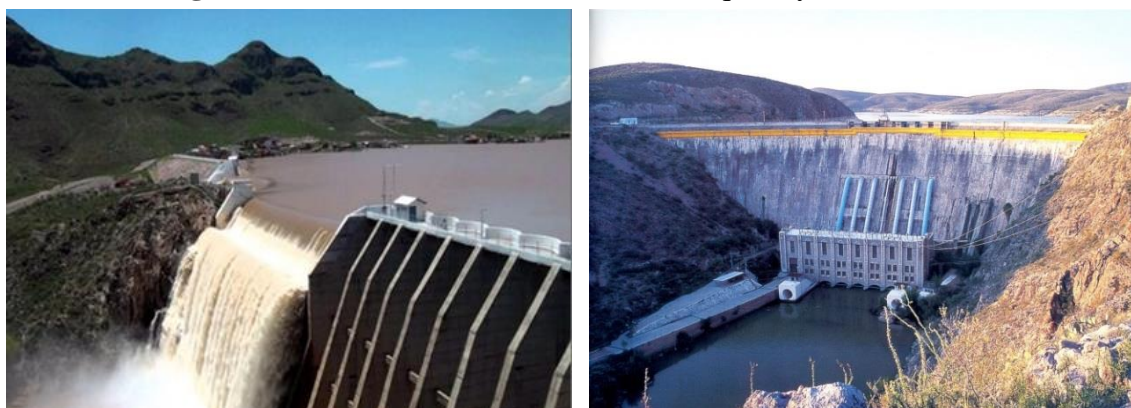
Para ello, disponemos de los datos desde 1935 hasta 2014 para dos ríos: el Conchos, en la presa La Boquilla, y el San Pedro, en la presa F. I. Madero o las Vírgenes. Primero realizamos un estudio estadístico con datos agrupados, hasta encontrar la correlación entre probabilidad y escurrimiento. Luego, realizamos el estudio para datos no agrupados, para hallar el exponente de Hurst y con él determinar el orden de la evolución temporal.

Realizamos la construcción multifractal por dos caminos, la primera basada en la alta variabilidad de las fluctuaciones, la segunda, a través de una función de estructura, (Mercado et al., 2015).

### 11.1 Métodos

#### *Caso Río Conchos*

Contamos con los registros históricos de volúmenes mensuales escurridos por el río Conchos, afluente del río Bravo, y que son aportados al vaso de la presa de almacenamiento ‘La Boquilla’, en el distrito de riego 005 Delicias, Chihuahua. El registro que analizamos de estos caudales comprende el intervalo de 1935 a 2014, y nos permite construir los escurrimientos estacionales. En la Figura 1.1 se muestran fotografías de la presa de almacenamiento ‘La Boquilla’, a la izquierda; y ‘F.I. Madero’, a la derecha.

**Figura 11** Presas de almacenamiento la Boquilla y F. I. Madero.

Fuente: Archivo histórico IMTA.

El análisis lo realizamos primero para datos agrupados. Para ello como es conocido, se conforman conjuntos de datos, llamados clases, de tamaño uniforme, y se estudia la distribución de todos los datos disponibles en esa colección uniforme de clases. El número de clases  $k$  lo escogemos de acuerdo a la regla de Sturges (1926)  $2^{k-1} = n$ , siendo  $n$  el tamaño de la muestra de datos, que para el caso presente es de 320 estaciones; a partir del cual se estima  $k$  como su más próximo entero, por lo que nos resultan 10 clases. Las frecuencias se determinan contando el número de datos en cada clase, lo que produce la columna de frecuencias observadas en la Tabla 1.1; y de ella se derivan las otras formas de registro de las frecuencias, como es el caso de las frecuencias relativas, lo que permite introducir la probabilidad como medida de pertenencia a uno de los conjuntos-clases. Los registros históricos de estos volúmenes estacionales los presentamos en la Tabla 1.1.

**Tabla 11** Registros históricos correspondientes al Río Conchos y arreglo de datos

Número de clases	Conjuntos Clases, rangos	Centros de clases (Mm3)	Frecuencias Observadas	Frecuencias Acumuladas	Frecuencias Relativas	Frecuencias Rel. Acum.	Complement o Frec. Rel. Ac.
1	0-300	150	237	237	74.063	74.063	25.938
2	300-600	450	34	271	10.625	84.688	15.313
3	600-900	750	17	288	5.313	90.000	10.000
4	900-1200	1050	13	301	4.063	94.063	5.938
5	1200-1500	1350	7	308	2.188	96.250	3.750
6	1500-1800	1650	2	310	0.625	96.875	3.125
7	1800-2100	1950	7	317	2.188	99.063	0.938
8	2100-2400	2250	1	318	0.313	99.375	0.625
9	2400-2700	2550	0	318	0.000	99.375	0.625
10	2700-3000	2850	2	320	0.625	100	0

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, para datos no agrupados realizamos el análisis estadístico que permita encontrar una densidad de probabilidad que estructure los datos; después hallamos la función de distribución y luego su complemento. Como criterio de comparación y valoración de resultados usamos los resultados obtenidos por medio de los datos agrupados.

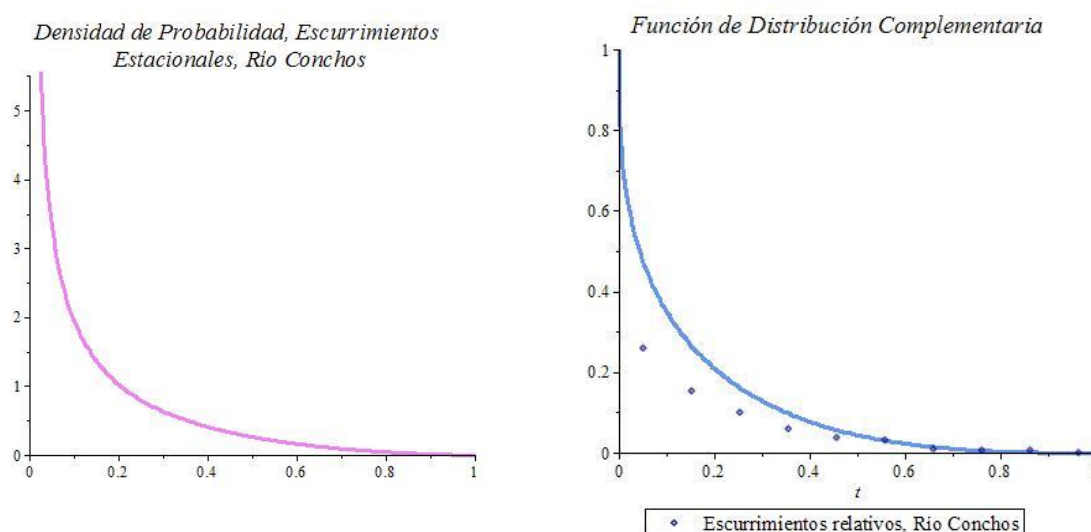
Buscamos los cuatro primeros momentos centrales y encontramos los siguientes valores:  $[2.1810 \cdot 10^5, 2.7570 \cdot 10^8, 5.2952 \cdot 10^{11}]$ , y asumimos que el primero de ellos es cero por lo que no se muestra. A continuación, buscamos los parámetros de simetría (*skewness*) y de curtosis, mismos que resultan ser respectivamente:  $[0.71274, 1.8847]$ , por lo que se anticipa que se trata de una densidad de distribución asimétrica de colas más gruesas a la derecha y bastante mesocúrtica, ya que es menor que la curtosis de la gaussiana, por lo que la distribución buscada se aleja bastante de la normal. Tampoco se acerca a la Gumbel, con curtosis de  $12/5$  o  $2.4$ , aunque por el lado de su asimetría su valor es  $1.14\dots$ , y puede considerarse del mismo orden que la encontrada. Señalamos que estas dos distribuciones se acostumbran usar para el análisis de este tipo de datos (De la Peña, 2008).

Buscamos a continuación los parámetros de clasificación y encontramos:  $[-4.6351 \cdot 10^6, -1.4374]$ ; y por sus signos inferimos que se trata de una densidad tipo Beta. Luego, los parámetros de forma de la densidad Beta son:  $[-0.65825, 1.6035]$ , y por el signo del primero corresponde a una cola fractal.

Posteriormente, calculamos el exponente de Hurst y la dimensión fractal de la gráfica de escurrimientos, mismos que resultan respectivamente:  $[0.82912, 1.1709]$ , en donde la semisuma de los dos debe ser la unidad; por tanto, representan una competencia entre dos de suma cero, por lo que la ganancia de uno se traduce en la pérdida del otro, para garantizar que la suma de las dos sea cero. Pero además, por ser  $H > 1/2$  la serie de datos temporales se clasifica como persistente.

A continuación, teniendo la clasificación como densidad Beta y sus parámetros de forma, encontramos la gráfica de la densidad de probabilidad, la cual se muestra en la Figura 2.1, en el lado izquierdo; mientras en el lado derecho, mostramos la función de distribución complementaria ligada a la densidad acabada de citar. Se observa que la densidad es una cola fractal ligada a una densidad Beta, por lo que no es una densidad normal o gaussiana pero sí es una generalización o aproximación a ésta. En tanto, la gráfica de la derecha sirve como una función inversa, en el sentido de que dada una probabilidad se puede encontrar cuál es el escurrimiento relativo que le corresponde, y por tanto cuál es el escurrimiento probable obtenible.

**Figura 11.1** Densidad y Complemento de la Función de Distribución de Probabilidad, desde Invierno/1935 hasta Otoño/2014, para el Río Conchos.



Fuente: Elaboración propia.

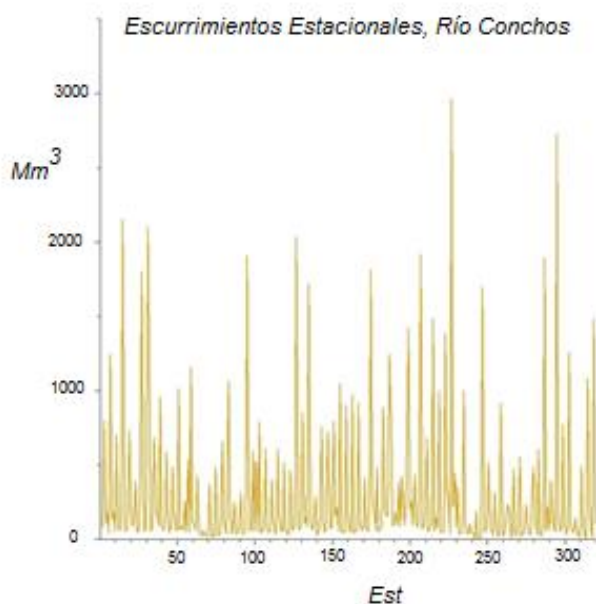


Por otra parte, a partir de los parámetros obtenidos de los datos de los escurrimientos del río Conchos, podemos realizar la construcción multifractal, al menos con dos opciones: fBm (movimiento Browniano fraccional) o función de estructura. En la primera, el estudio se enfoca en las variaciones que muestran los gráficos de los volúmenes de escurrimientos. Para el río Conchos, los datos de escurrimientos estacionales entre los años 1935 y 2014, se presentan en la Figura 3.1; en la que resaltamos su gran irregularidad, por lo que carece de sentido el concepto geométrico de sus pendientes, en tanto valor límite de las variaciones relativas a los incrementos de sus argumentos.

Consideramos, entonces, los movimientos Brownianos fraccionales (fBm) definidos a partir de sus variaciones o fluctuaciones. Esas fluctuaciones son estacionarias, con dos estadísticos independientes del índice (intemporales): la media y el variograma, su distribución es gaussiana y además, son estadísticamente autoafines, lo cual se manifiesta como “efecto Hurst”. La función de auto covarianza de las fluctuaciones depende solo de los incrementos o *lags*. Así que para grandes *lags*, la función de correlación se aproxima a una del tipo anterior, y por tanto, nuevamente con base en los datos, se estima el exponente Hurst, al que se le puede considerar como una medida de independencia de las series de tiempo y una manera de distinguir series fractales (Hurst, 1951), (Bras & Rodríguez-Iturbe, 1993).

Pero además, se observa que su apariencia es similar a un mango horizontal con diversas púas o dientes verticales con diferentes longitudes, en el que predominan las relaciones de aspecto bastante lejanas a la unidad, si se piensan como rectángulos y se calcula el cociente de sus longitudes entre sus anchos; al que llamaríamos peine del hidrólogo, por ser cualitativamente similar al espacio peine o peine del topólogo.

**Figura 11.2** Escurrimientos estacionales, Río Conchos



Fuente: Elaboración propia

### Caso Río San Pedro

Contamos también con los registros históricos de los volúmenes mensuales y anuales escurridos por el río San Pedro, y que son captados por la presa de almacenamiento ‘Francisco I. Madero’, Distrito de Riego 005, cerca de Ciudad Delicias, Chihuahua (a 6 km), con capacidad 450 Mm<sup>3</sup>. La presa también conocida como las Vírgenes, por las esculturas exhibidas en sus compuertas.

El registro que analizamos de estos caudales escurridos abarca un período de 264 estaciones, desde el Invierno/1949 a Otoño/2014. Los registros históricos de los volúmenes estacionales del río San Pedro los presentamos a continuación en la Tabla 2.1.

Para datos agrupados, nuevamente se conforman las clases de tamaño uniforme. El número de clases lo escogemos de acuerdo a la regla de Sturges, en este caso siendo el tamaño de la muestra de datos de 264 estaciones, nos resultan 10 clases. Contamos el número de datos en cada clase, y conformamos la columna de frecuencias observadas en la Tabla 2.1, de la cual derivamos las frecuencias relativas. En particular, obtenemos la octava columna, la cual nos permite construir el gráfico de puntos de la Figura 4.1, en la derecha, de manera normalizada por su máximo 937.10 .

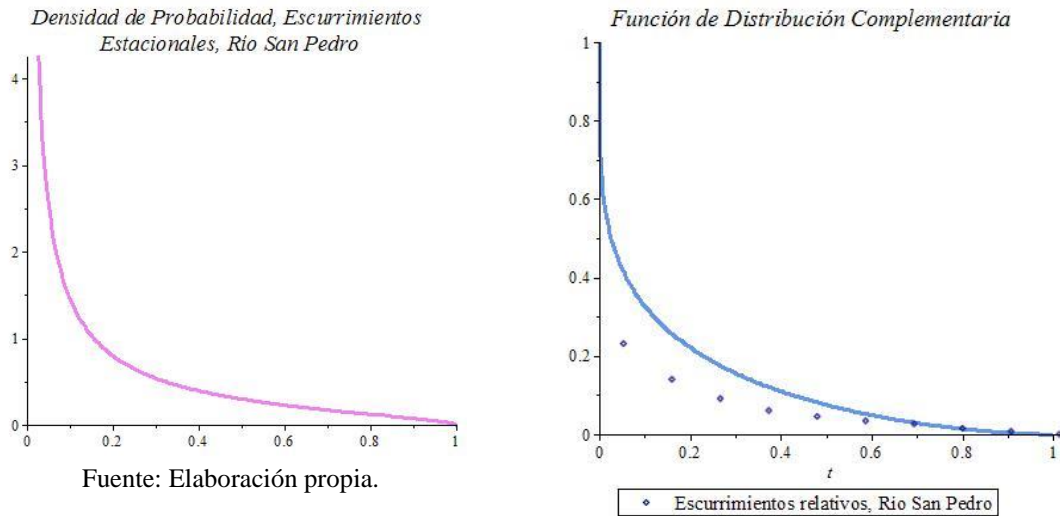
**Tabla 11.1** Registros históricos correspondientes al Río San Pedro y arreglo de datos

Número de clases	Conjuntos Clases, rangos	Centros de clases (Mm3)	Frecuencias Observadas	Frecuencias Acumuladas	Frecuencias Relativas	Frecuencias Rel. Acum.	Complemento Frec. Rel. Acum.
1	0-100	50	203	203	76.894	76.894	23.106
2	100-200	150	24	227	9.091	85.985	14.015
3	200-300	250	13	240	4.924	90.909	9.091
4	300-400	350	8	248	3.030	93.939	6.061
5	400-500	450	4	252	1.515	95.455	4.545
6	500-600	550	3	255	1.136	96.591	3.409
7	600-700	650	2	257	0.758	97.348	2.652
8	700-800	750	3	260	1.136	98.485	1.515
9	800-900	850	2	262	0.758	99.242	0.758
10	900-1000	950	2	264	0.758	100	0
			264		100.00		

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, para datos no agrupados, buscamos los 4 primeros momentos centrales, suponemos nulo el primero, y los otros tres resultan:  $[28023., 1.3648 \cdot 10^7, 9.2705 \cdot 10^9]$ , en tanto que los parámetros de simetría (skewness) y curtosis nos producen:  $[2.9095, 11.851]$ , por lo que la densidad debe tener la apariencia asimétrica a la derecha y leptocúrtica. Calculamos posteriormente, los parámetros de clasificación y encontramos:  $[-1.0096 \cdot 10^7, -1.2582]$ , por lo que corresponde a una densidad Beta con parámetros de forma dados por  $[-0.77230, 0.57725]$ .

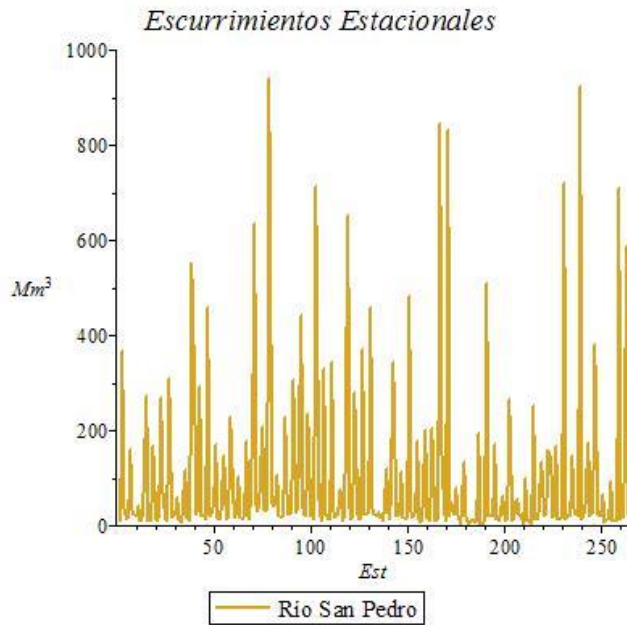
**Figura 11.3** Densidad y Complemento de la Función de Distribución desde Invierno/1935 hasta Otoño/2014, para el Río San Pedro



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 5.1, se presentan datos de esguimientos estacionales entre los años 1949 y 2014. En tanto, movimiento Browniano fraccional destacamos el número de Hurst encontrado de los datos por:  $(1-m)/2$ ; y la dimensión fractal por su complemento hasta 2; así resultan:  $[0.88615, 1.1138]$ ; y por ser  $H > 1/2$  se califica al movimiento Browniano de persistente. Se observa también su apariencia de peine del hidrólogo, similar al peine del topólogo ya mencionado.

**Figura 11.4** Esguimientos estacionales, Río San Pedro



Fuente: Elaboración propia

Los procesos de esguimientos están gobernados por leyes probabilísticas y encuentran su imagen abstracta en la modelación estocástica. Para ello, conformamos la ecuación de evolución dada por medio de la ecuación diferencial (1), (Mercado & Brambila, 2001),

$$D_t \psi(t) = -\lambda^{-\sigma} D_t^{1-\gamma} \psi(t) \tag{11}$$

Donde se postula que el sistema dinámico evoluciona con una velocidad proporcional a una derivada fraccional de orden dependiente de  $\gamma$ ; y en particular, para el orden  $\gamma=1$  la evolución coincide con la de una exponencial decreciente. Por otra parte,  $\lambda^{-\sigma}$  es una constante de proporcionalidad que depende generalmente del comportamiento espacial del fenómeno. Para el río Conchos el orden se especifica por  $\gamma=0.82912$ , en tanto para el río San Pedro es  $\gamma=0.88615$ . La ecuación (1) admite también la forma alternativa (2),

$$D_t^\gamma(1-\psi(t))=\lambda^{-\sigma}\psi(t) \quad (11.1)$$

Tenemos ahora por lo menos dos caminos: 1., no hay manifestación espacial por lo que es un constante, en cuyo caso podría ser  $\sigma=\gamma$  y  $\lambda=t_r$  como tiempo de referencia o de tipo unitario; y 2., sí hay manifestación espacial y surge la ecuación (4).

En el primer caso, una solución se expresa por  $\psi(t)=E_{1,\gamma}(-(t/t_r)^\gamma)$ , la cual corresponde a la función Mittag-Leffler de parámetro  $\gamma=H$ , que se exhibe en la ecuación (3), (Metzler y Klafter, 2000). La función Mittag-Leffler está normalizada en  $t=0$  por el valor 1 y es convexa decreciente; así que en el límite es cero, con pendiente cero. A continuación, definimos la función característica complementaria por medio de la función 1-Mittag-Leffler, ahora tenemos una curva de crecimiento con saturación que está normalizada en cero por 0, que es cóncava creciente y en el límite vale 1, con pendiente cero.

$$E_{1,\gamma}(-(t/t_r)^\gamma)=\sum_{j=0}^{\infty}\frac{(-(t/t_r)^\gamma)^j}{\Gamma(1+\gamma\cdot j)} \quad (11.2)$$

En el segundo caso, la  $\lambda^{-\sigma}$  puede estar relacionada con la variable dual a la posición espacial que se acostumbra denotar  $\|k\|^\sigma$ , por lo que el término se interpreta como:  $\lambda^{-\sigma}\psi(t)\mapsto\|k\|^\sigma\psi(k,t)$ , que corresponde a la transformada de Fourier de  $P(x,t)$ , que a su vez es la transformada de la derivada fraccional  $D_{|x|}^\sigma P(x,t)$ , con signo cambiado, en su forma derivada de Riesz:  $-F(D_{|x|}^\sigma P(x,t))(k)=\|k\|^\sigma\psi(k,t)$ . Por lo que la forma alterna (2) queda:  $D_t^\gamma(1-\psi(k,t))=-F(D_{|x|}^\sigma P(x,t))$ , y con la transformada inversa de Fourier resulta:  $D_t^\gamma(-\delta(x)+P(x,t))=D_{|x|}^\sigma P(x,t)$ , la cual es la ecuación de Fokker-Planck fraccional (4), (Saichev & Zaslavsky, 1997),

$$D_t^\gamma P(x,t)=D_{|x|}^\sigma P(x,t)+D_t^\gamma(1\delta(x)) \quad (11.3)$$

Por tanto, la función obtenida es la función característica, con parámetro temporal, de la probabilidad de paso o transición de la ecuación de Fokker-Planck fraccional, cuyo orden temporal depende del exponente de Hurst obtenido de los datos de escurrimientos estacionales, y cuyo orden, espacial, podría identificarse con la dimensión fractal 1.1709 para el Conchos y de 1.1138 para el San Pedro.

En cuanto a la segunda opción de las citadas, la función de estructura. Recordamos, brevemente, que se trata de conjuntos como el caso de variaciones que se muestran esparcidas e irregulares. Para la construcción multifractal, también cubrimos con un mallado uniforme de cubos, pero de tamaño ajustable, llamado la resolución y simbolizada por  $h$ .

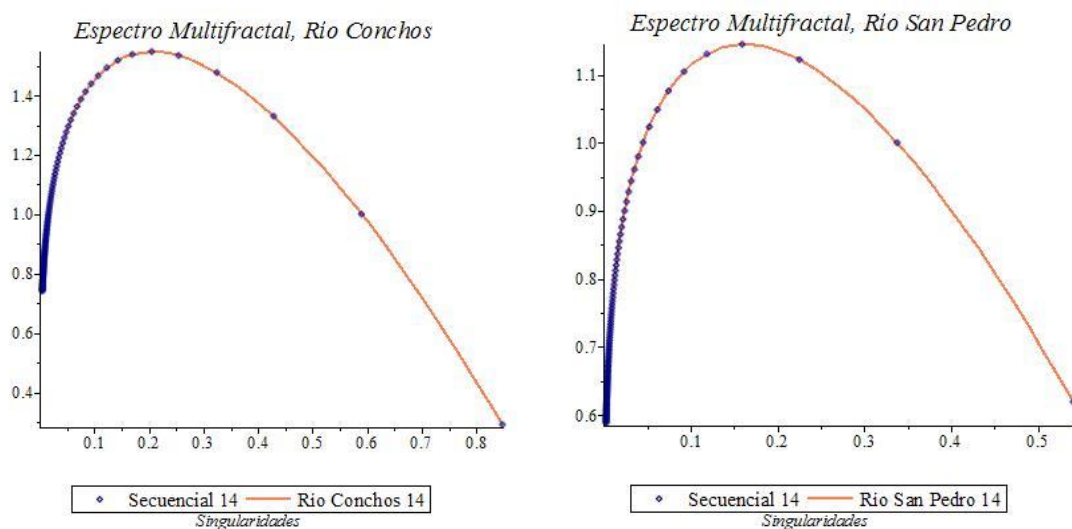
Definimos la función de partición como la suma total de las macro-configuraciones disponibles del sistema. La suma se extiende sobre todos aquellos cubos que intersectan el soporte de la medida microscópica. Esa suma se comporta como una potencia de la resolución  $h$ , y la potencia que representa a la función de partición se le conoce como función de estructura  $\tau(s)$ ; para nuestro caso se introduce a la función Kummer, con los dos parámetros siguientes  $[a, b]$ , dependientes de los de forma:  $[0.34175, 2.9452]$  para el río Conchos; y  $[0.22770, 1.8050]$  para el río San Pedro.

$$\tau(s) = {}_1F_1(a, b, -s) \quad (11.4)$$

Por tanto, para los dos ríos que estamos considerando, se introducen las funciones de estructura, cuya característica resaltante se expresa en ser decreciente con tasas decrecientes, o bien decreciente y convexa; y además normalizada en cero por el valor 1. Así que cuando crece la variable de escala decrece el valor de la función, siendo su decrecimiento progresivamente más pequeño hasta que eventualmente se hace nulo. Ese decrecimiento es concomitante con la progresiva pequeñez de los rasgos del proceso multifractal.

Dualmente, a los dos ríos: Conchos y San Pedro, también se le puede asignar un espectro tanto puntual como continuo o implícito. Pero, ahora se trata de una función cóncava, que cuando decrece la singularidad decrece también el valor de la función y eventualmente llegará a cero. Nuevamente este comportamiento es concomitante del proceso multifractal en donde los rasgos son progresivamente más pequeños. Y refleja un proceso de cascada desde el vértice a medida que decrece la singularidad decrece el valor del espectro. Sin embargo, el decrecimiento del valor del espectro no se da a partir del valor de la escala igual a cero, sino desde el valor que designa la cúspide,  $s = 3$  aproximadamente; y la singularidad esencial se observa, a la izquierda de las dos curvas, con el crecimiento del parámetro de escala, que puede interpretarse como crecimiento de la frecuencia, el valor del espectro tiende a cero. Los espectros se muestran en la Figura 6.1.

**Figura 11.5** Espectros multifractales para los Ríos Conchos y San Pedro



Fuente: Elaboración propia

## 11.2 Conclusiones

Los datos de escurrimientos estacionales de los dos ríos presentan la apariencia que hemos denominado: *peine del hidrólogo*. Los datos nos producen el orden de evolución de la ecuación diferencial; y su solución nos aporta la función característica que nos permite inferir la relación entre el porcentaje de probabilidad y el escurrimiento previsible, relación controlable por el resultado obtenido por medio de los datos agrupados.

Estos resultados se pueden extrapolar para el caso en que no se tengan datos suficientes o confiables, caso en que se presentaría a la función característica como una exponencial decreciente.

## 11.3 Referencias

Bras R. L. and Rodríguez-Iturbe I. (1993). Random functions and hydrology. Chapter 5, Long-term Persistence in Hydrologic Modeling. Dover Pub., New York, 561p.

De la Peña de la Torre, Ildefonso, (2008). Manual de operación del distrito de riego del Valle del Yaqui. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Jiutepec Morelos, pp. 80. ISBN 978-968-9513-05-6.

Hurst, H. (1951). The long-term storage capacity of reservoirs Transactions of American Society Civil Engineer, 116 - 195.

Mercado J. R., P. Guido, W. Ojeda. (2015). "Cascade process and Pareto rule: application to runoff data of two Mexican rivers (Conchos and Nazas)". Int. Journal of Engineering Research and Applications www.ijera.com ISSN: 2248-9622, Vol. 5, Issue 7, (Part - 4) July 2015, pp. 74-81.

Mercado E. J. R., F. Brambila P., (2001). Problemas Inversos en las Ecuaciones de Fokker-Planck, Aportaciones Matemáticas, Serie Comunicaciones 29, 201-222, SMM.

Metzler R., Klafter J. (2000). The random walk's guide to anomalous diffusion: A fractional dynamics approach, Phys. Rep. 339, 1-77.

Saichev A. I., Zaslavsky G. M. (1997). Fractional kinetic equations. Chaos 7 (4), 753-764.

## **A Layered Digital Dynamic Network for Prediction Purposes**

SALAZAR-MORENO, Raquel; LÓPEZ-CRUZ, Irineo; FITZ-RODRÍGUEZ, Efren y ROJANO-AGUILA, Abraham

R. Salazar, I. López, E. Fitz y A. Rojano

1Universidad Autónoma Chapingo, Km 38.5 Carr. México-Texcoco Chapingo, Edo. México, C.P 56230. México.  
raquels60@hotmail.com

D. Sepúlveda, F. Rérez, D. Sepúlveda, E. Figueroa, R. Salazar, L. Godínez (eds.) Matemáticas Aplicadas. Handbook T-I. -©ECORFAN, Texcoco de Mora-México, 2016.

## Abstract

Producers not only harvest products but useful information to develop optimization models to increase efficiency in crop management. The problem we face is the prediction of tomato yields in two greenhouses located at Humboldt University of Berlin, one is a conventional high technology greenhouse and the other is a semiclosed greenhouse, both have the same area and equipment. Yield was recorded for 26 weeks in both greenhouses. Because of the small data pattern, a dynamic artificial neural networks (DANN) was implemented, which is generally more adequate than static networks, because they learn sequential or time varying patterns. In particular, the Layered Digital Dynamic Network (LDDN) was used where solar radiation, transpiration and CO<sub>2</sub> fixation were the input variables for predicting yield. The best LDDN model was chosen on the basis of a suitable architecture (i.e. a minimum number of input neurons connected to a hidden layer) combined with a high R, a low mean absolute error (MAE). The model explained the weekly fluctuations of tomato yields based on external conditions and the stage of the plant. The sensitivity analysis show that the most influencing variable in prediction of tomato yields was CO<sub>2</sub> enrichment. The results from the model, could be a valuable information for making decisions on climate and crop management and in synchronizing crop production with market demands.

## 12 Introduction

The advances and sophistication of the control systems in agriculture has generated information useful for producers. Most of the variables could be correlated directly or indirectly to yield so regression or correlation analysis cannot be used. According to Ehret et al.(2011) the fisiological information can provide complementary data specially if this data is integrated in computacional models. An efective way for modelling yields of different crops has been the Artificial Neural Networks.

The non-linear modeling approach based on the Artificial Intelligence (AI) techniques has received considerable attention from the hydrologists in the last two decades (Boucher et al., 2010; de Vos and Rientjes, 2005; Toth et al., 2000; Weigend et al., 1995; Xiong et al., 2004, El-Shafie et al. , 2012), as well as in agriculture. Topuz (2010) applied Artificial Neural Networks (ANN) in predicting moisture content of agricultural products. The author mentioned that the recent advances in computer technology and parallel processing have made the use of ANN more economically feasible; ANN is composed of nets of non-linear basis functions, it has the ability to evolve good process models from example data and require little or no a priori knowledge of the task to be performed; ANN has the potential to solve certain types of complex problems that have not been satisfactorily handled by more traditional methods. Also, ANN have been effective in modelling yield of different crops (Masters, 1993).

The design of a neural network and selection of the proper dataset for a given problem, it is not an easy task. First, a proper selection of the input data to explain the phenomenum at hand and the training dataset is crucial and leads to the success of the neural network prediction. Larger networks require large training datasets. However, some problems arise like overfitting. If we want an effective neural network for prediction purposes, the training dataset must be complete enough in such a way that every group must be represented, for the particular case of yield prediction, each group represents the stage of the productive time for tomato crop . Each class is characterized by a statistical variation, so the data presented to a neural network must be the entire range of data with noise included.



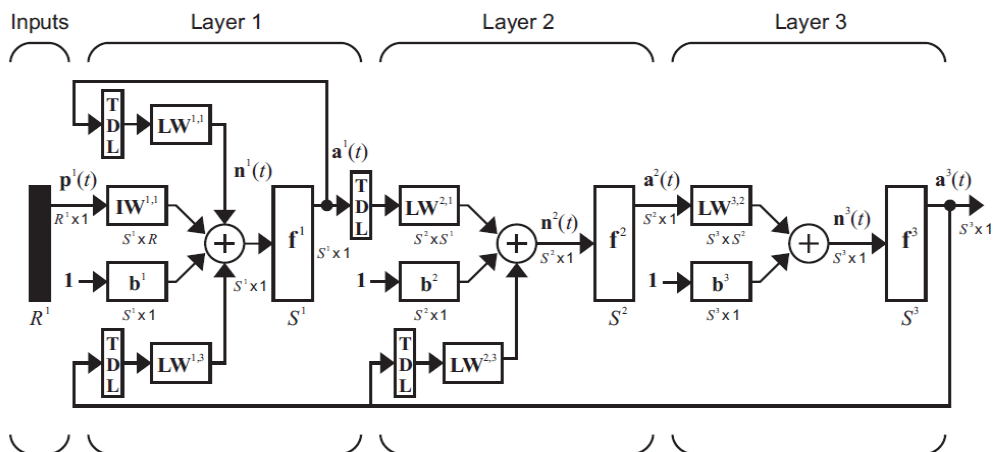
Another important issue is if the data set need any transformations. Besides, the neural network architecture, number of layers , number of hidden nodes, the transfer functions and the training time are some of the factors to be considered in any Neural Network Model.

Transfer functions are very important because they contain adaptive parameters that are optimized, commonly they have limits between -1 to +1. The most widespread transfer functions are the sigmoid, the hyperbolic tangent and pure linear functions. The first two are continuous, non linear function whose domain is the real number set, whose first derivative is always positive, and whose range is bounded. The sigmoid function never reaches its theoretical maximum and minimum; however the hyperbolic tangent function is an ideal transfer function Bardina and Rajkumar (1993).

The process of defining an appropriate neural network architecture can be divided into the following categories: (i) determining the type of neural network; (ii) determining the number of hidden neurons; (iii) selecting the type of transfer functions; (iv) devising a training algorithm; and (v) checking for over and/or under fitting of the results and validation of neural network output. If a function consists of a finite number of points, a three layer neural network is capable of learning that function. This results agree with Bardina and Rajkumar (1993) who conclude that a three layer neural network with a Levenberg-Marquardt training algorithm using pure linear, hyperbolic tangent, and sigmoid as a transfer functions was sufficient for prediction of aerodynamic coefficients.

The type of Artificial Neural Network (ANN) could be static or dynamic. Dynamic networks are generally more powerful than static networks (although somewhat more difficult to train). Because dynamic networks have memory, they can be trained to learn sequential or time-varying patterns. One principal application of dynamic neural networks is in control systems. In order to predict temporal patterns, an ANN requires two distinct components: a memory and an associator. The memory is generated by a time delay unit (or shift register) that constitutes the tapped delay line, it holds the relevant past information, and uses the memory to predict future events. The associator can be a static Multilayer Perceptron Neural Network (MLPNN) is a memoryless network that is effective for complex non-linear static mapping El-Shafie et al. (2012). Figure 1 display the main structure of the dynamic neural network called Layered Digital Dynamic Network (LDDN), which is available in the software Matlab.

**Figure 12** Layered Digital Dynamic Network (LDDN)



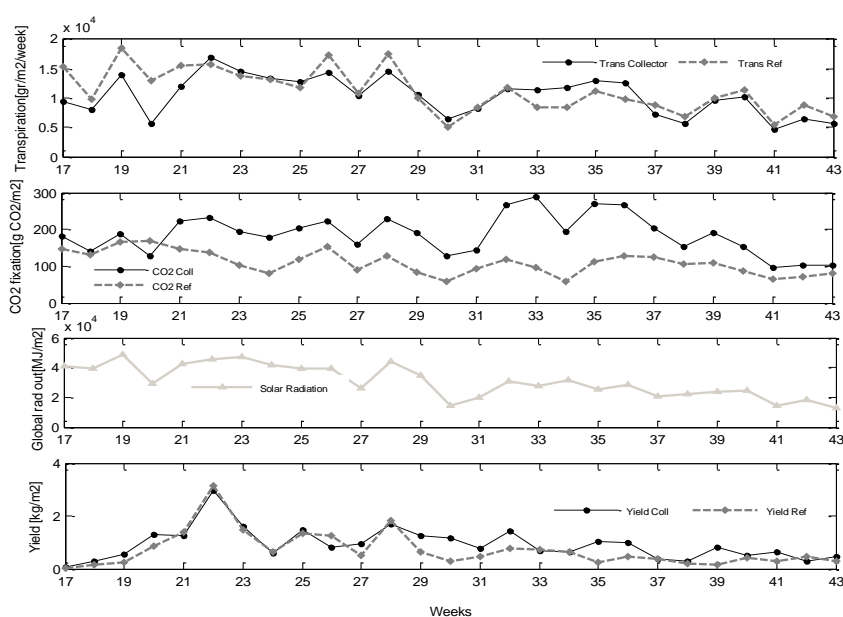
TDL=tapped delay line; LW= weights in the hidden layers; IW= weights in the input layer, b= bias unit; f= transfer functions between layers

In this work we dealt with the problem of predicting tomato yields, which a problematic area in greenhouse production. The tomato crop data has nonlinear dynamic behaviour and whose response depends not only on several environmental factors but also on the current and previous crop conditions Qaddoum et al. (2013). Therefore, our purpose is to develop a Layered Digital Dynamic Network (LDDN), to explain the weekly fluctuations of greenhouse tomato yields, for two greenhouses one is a high technology conventional greenhouse and the other is a semiclosed greenhouse.

## 12.1 Methodology

An experiment was done to measure tomato yields in a semiclosed and reference greenhouses, located at Humboldt University of Berlin. The collection yield data is expensive and time consuming, it requires the destruction of vegetative material, so the model development will save money and give additional advantages. The first yield of Pannovy cultivar was achieved in calendar week 17, the last one in calendar week 43 (Dannehl, 2012). First there was a selection of the important input variables to predict yields: Cumulative transpiration, CO<sub>2</sub> fixation and global radiation, the behaviour of such variables are displayed in Figure 2, together with yields for the two greenhouses.

**Figure 12.1** Cumulative transpiration, CO<sub>2</sub> fixation, global radiation and yield for the collector and the reference greenhouses



As can be seen in Figure 2, there were only 27 data patterns for training, validation, testing and simulation of the ANN. Many architectures were tested for the Multilayer Perceptron Artificial Neural Network (MLPNN), but none of them have acceptable performance. Therefore, a dynamic neural network was the best choice. The Layered Digital Neural Network (Figure.1), includes delay lines between the layers. So the output depends also on previous inputs and/or previous states of the network. The dynamic neural networks in which all layers have feedback connections with several time delays mean that the temporal feature could be considered in the model structure.

Each layer in the LDDN have a set of weight matrices that come into that layer (which can be connected from other layers or from external inputs), associated weight function rule used to combine the weight matrix with its input (normally standard matrix multiplication, dotprod), and associated tapped delay line. The weights have two different effects on the network output. The first is the direct effect, because a change in the weight causes an immediate change in the output at the current time step (This first effect can be computed using standard backpropagation). The second is an indirect effect, because some of the inputs to the layer, such as a  $(t - 1)$ , are also functions of the weights. To account for this indirect effect, the dynamic backpropagation is used to compute the gradients, which is more computationally intensive, and training is more likely to be trapped in local minima. This suggests that there is a need to train the network several times to achieve an optimal result. The Bias vector is a net input function rule that is used to combine the outputs of the various weight functions with the bias to produce the net input (normally a summing junction, netprod).

Still there are some questions to be answered like number of hidden layers and hidden nodes and the transfer functions. It is unclear how many layers and how many neurons in each layer should be used, usually are chosen empirically (Bardina and Rajkumar, 1993). The additional hidden layers through which errors must be backpropagated makes the gradient more unstable, and the number of false minima increases. Besides, overfitting can arise when training sets are small relative to the number of hidden neurons, the training set size and the hidden layer size are tied together (Moustafa, 2011). Although dynamic networks can be trained using the same gradient-based algorithms that are used for static networks, the performance of the algorithms on dynamic networks can be quite different, and the gradient must be computed in a more complex way. An important issue in the ANN is how to measure the performance and according to Masters (1993), the Mean Square Error (MSE) fails to distinguish between minor and serious errors. Therefore, other two statistical measures were used to examine the goodness of fit, the correlation coefficient “R” and the mean absolute error defined in Marzban (2009)

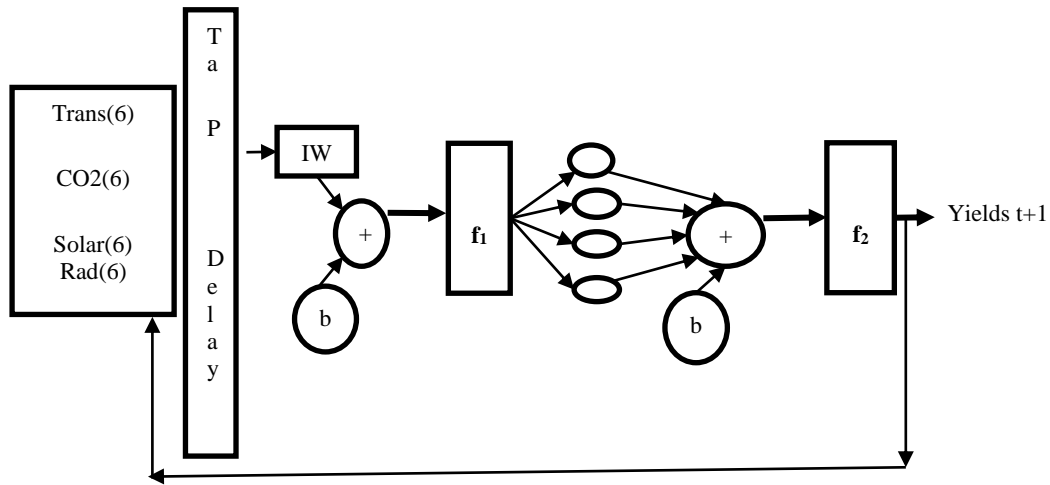
$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - \hat{y}_i| \quad (12)$$

A sensitivity analysis was performed varying individual inputs while all other are fixed to find out what was the most important variable for yield prediction.

## 12.2 Results

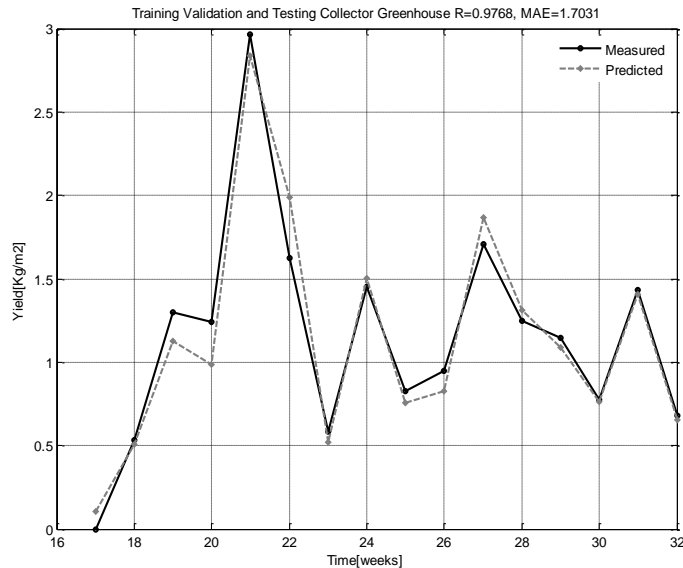
For the input and output variables two delays were included, so we lost two data patterns. The weeks from 17-32 were used for training validation and testing the LDNN, weeks 33-40 were used for simulation purposes. We test different architectures and the best LDNN model was chosen on the basis of minimum number of hidden layer and hidden nodes with a high R, and a low absolute error. The best LDDN has one hidden layer with four nodes, six delays for the input and four delays for the output variables, as shown in Figure 3.

**Figure 12.2** Dynamic Neural Network Architecture



The transfer function for the input and hidden layer was the sigmoid tangent function and for the output the purelin function, the training function used the backpropagation algorithm. Figure 4 display the results for training, validation and testing of the LDNN for the collector greenhouse, with  $R=0.9768$  and  $MAE=1.7031$ .

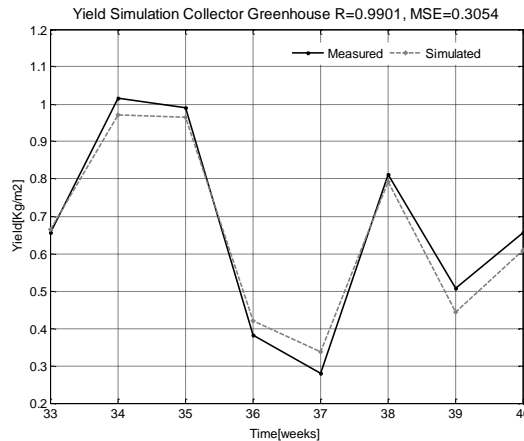
**Figure 12.3** Training, validation and testing of the Dynamic Neural Network Collecto Greenhouse with all variables



The Layered Digital Neural Network was used for simulation purposes for the weeks 33-40, the table and graph are shown in Figure 5, this results show the power of the LDNN, the simulation was made using the inputs without providing the outputs, only the delay in yields with an  $R=0.9901$ ,  $MAE=0.3054$ .

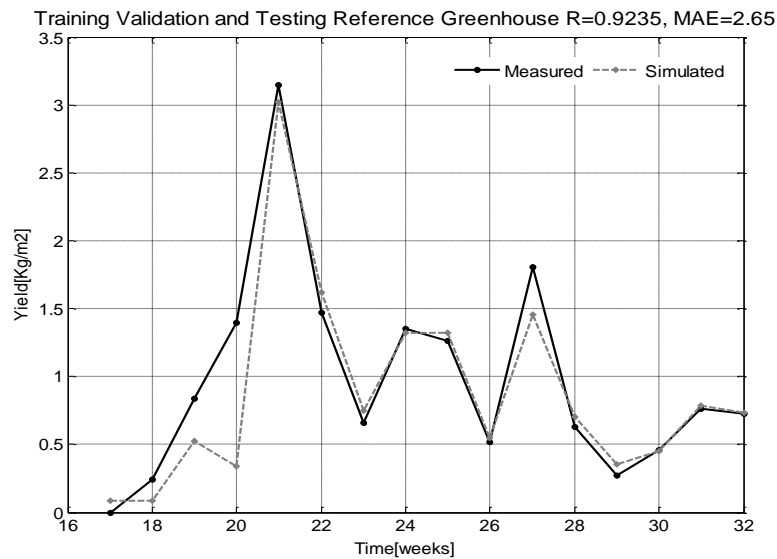
**Figure 12.4** Yield simulation for the collector greenhouse

Yields Kg/m <sup>2</sup>		
Week	estimated	predicted
33	0.66	0.66
34	1.02	0.97
35	0.99	0.97
36	0.38	0.42
37	0.28	0.34
38	0.81	0.79
39	0.51	0.44
40	0.66	0.61

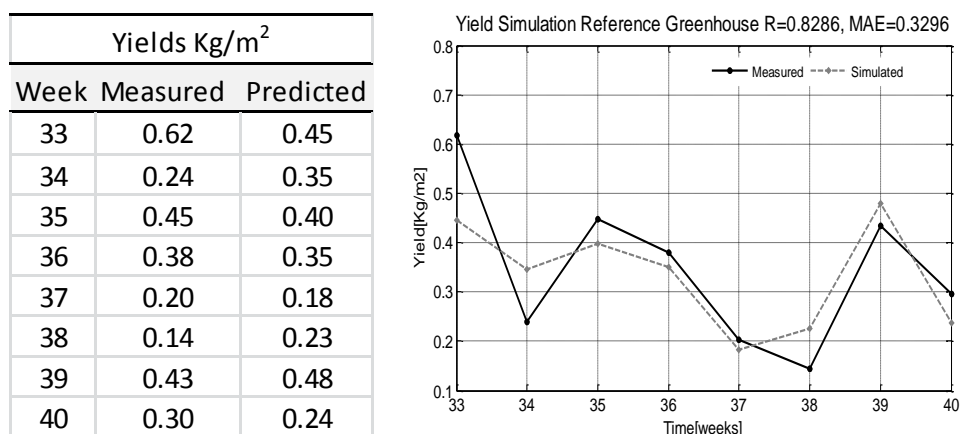


The results obtained for the reference greenhouse which is a conventional one, were not as good as for the collector greenhouse, the  $R=0.9235$  and  $MAE=2.65$  (Figure 6) our assumption is that the collector greenhouse has less disturbances from the outside environment than the reference greenhouse.

**Figure 12.5** Training validation and testing and simulation of the Dynamic Neural Network Reference greenhouse with all variables



For this case, the simulation is shown in Figure 7, with an  $R=0.8286$  and  $MAE=0.3296$ .

**Figure 12.7** Yield simulation for the reference greenhouse

A sensitivity analysis was performed to detect what is the most important variable for yield prediction, results are display in Table 1.

**Table 12** Sensitivity analysis of the input variables for the collector greenhouse (simulation)

	<b>R</b>	<b>Absolute error</b>
All variables	0.9901	0.0697
Without Transpiration	0.9348	0.0836
Without CO <sub>2</sub> enrichment	0.7382	0.1341
Without Rad	0.8905	0.2252

According to this result, CO<sub>2</sub> has a prominent importance in yield prediction, when this variable is not considered in the LDNN, the correlation coefficient is small (0.7382), and MAE increase to 0.1341.

### 12.3 Conclusions

Choosing the proper type of neural network for a certain problem can be a critical issue. So it is very important to define the following in order to achieve a good model: The input sets, the target sets, the network architecture, the activation functions, the training function, the training rate, the goal and the number of iterations.

For the data at hand, we suggest a certain network structure that yielded optimal results for this particular case, Layered Digital Dynamic Network (LDDN) improves by far the standard MLP forecast accuracy. This work shows the power of the dynamic NN compared to static, specially when there are few data patterns. The Artificial Neural Networks predictions are more precise in closed greenhouse systems, because there are less disturbances from the outside environment as in open greenhouses, besides the lost of humidity from ventilation closes the stomata and photosynthesis decreases. The results from the model could be a valuable information for making decisions on climate and crop management and in synchronizing crop production with market demands.

## 12.4 References

- Bardina, J. and Rajkumar, T. (1993). Training data requirement for a neural network to predict aerodynamic coefficients. *Proc SPIE—Int Soc Opt Eng*, 5102, pp. 92–103.
- Boucher, M.-A., Laliberté, J.-P., and Anctil, F. (2010). An experiment on the evolution of an ensemble of neural networks for streamflow forecasting. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 14, 603–612, doi:10.5194/hess-14-603-2010.
- de Vos, N. J. and Rientjes, T. H. M. (2005). Constraints of artificial neural networks for rainfall runoff modelling: trade-offs in hydrological state representation and model evaluation. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 9, 111–126, doi:10.5194/hess-9-111-2005.
- Dannehl, D., Rocksch, T., Schmidt, W. (2014). Modelling to estimate the specific leaf area of tomato leaves (cv. Pannovy). *Acta Hort*: in press.
- Ehret, D.L., Hill, B.D., Helmer, T., Edwards, D.R. (2011). Neural network modeling of greenhouse tomato yield, growth and water use from automated crop monitoring data. *Computers and Electronics in Agriculture* 79, p 82–89.
- El-Shafie, A., Noureldin, A., Taha, M., Hussain, A. and Mukhlisin, M. (2012). Dynamic versus static neural network model for rainfall forecasting at Klang River Basin. *Malaysia Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16, 1151–1169. [www.hydrol-earth-syst-sci.net/16/1151/2012/](http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/16/1151/2012/) doi:10.5194/hess-16-1151-2012.
- Masters, Timothy. (1993). *Practical Neural Network Recipes in C++*. Academic Press Inc. London.
- Moustafa A.A. (2011). Performance Evaluation of Artificial Neural Networks for Spatial Data Analysis. *Contemporary Engineering Sciences*. Vol. 4, 2011, no. 4, 149 – 163.
- Marzban, C. (2009). *Artificial Intelligence Methods in the Environmental Sciences (Performance Measures and Uncertainty, Chapter 3*, Springer Verlag Berlin.
- Qaddoum, K., Hines, E. L. Iliescu, D. D. (2013). Yield Prediction for Tomato Greenhouse Using EFuNN. *ISRN Artificial Intelligence*. Article ID 430986. doi:10.1155/2013/430986.
- Topuz, A. (2010). Predicting moisture content of agricultural products using artificial neural networks. *Advances in Engineering Software* 41, 464–470.
- Toth, E., Montanari, A., and Brath, A. (2000). Comparison of short-term rainfall prediction model for real-time flood forecasting. *J. Hydrol.*, 239, 132–147.
- Weigend, S., Mangeas, M., and Srivastava, N. (1995). Nonlinear gated experts for time series: discovering regimes and avoiding overfitting. *Int. J. Neural Syst.*, 6, 373–99.
- Xiong, L., O'Connor, K. M., and Guo, S. (2004). Comparison of three updating schemes using artificial neural network in flow forecasting. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 8, 247–255, doi:10.5194/hess-8-247-2004.

## Geometría proyectiva para el caso de identificación de arboles

ROJANO-AGUILAR Abraham y SALAZAR-MORENO Raquel

A. Rojano, R. Salazar  
Universidad Autónoma Chapingo. km 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo Estado de México, C.P. 56230.  
México  
abrojano@hotmail.com

D. Sepúlveda, F. Rérez, D. Sepúlveda, E. Figueroa, R. Salazar, L. Godínez (eds.) Matemáticas Aplicadas. Handbook T-I. -©ECORFAN, Texcoco de Mora-México, 2016.



## Abstract

El problema de conteo de árboles es una sección importante del problema de evaluación de recursos naturales. Inicialmente, el problema parece simple, sin embargo cuando se trata de identificar geometrías asociadas a los árboles, resulta que es necesario usar geometrías no euclidianas y formas cuadráticas. Finalmente, este trabajo combina elementos tecnológicos en conjunto con algoritmos matemáticos sencillos como una alternativa plausible.

## 13 Introducción

Detectar los detalles de una foto es un problema difícil en el procesamiento de imágenes, y muchas aplicaciones en la ciencia y la ingeniería. La foto es un conjunto de píxeles que representa los cuerpos y ruidos en un dominio plano; el reto es discriminar algunos píxeles de otros, hasta que se obtienen las ecuaciones deseadas. Los árboles como otros cuerpos en el campo de la silvicultura o la agricultura no son la excepción, y en la actualidad con la ayuda de drones aéreos, las fotos pueden ser fácilmente obtenidas.

Primero, los arboles tienen una proyección plana sobre el suelo llamado fronda que con un poco de imaginación se ven como círculos. Tradicionalmente, la tarea de detectar árboles es hecha como una actividad, hecha principalmente con estimación estadística cuando el conteo en las muestras se extrapola en superficies extendidas utilizando los conceptos de densidad. En segundo lugar, con un software 3D de cómputo intensivo el análisis de fotos puede ser de una gran precisión, no sólo en el recuento, sino también en la incorporación de nuevas variables como la altura, densidad y especies para fines de inventario. En tercer lugar, la idea es simplificar los algoritmos en nuevos procedimientos que los usuarios estándar puedan elaborar con sistemas de cómputo limitados.

Conceptualmente, los círculos se pueden entender como el límite de un polígono con un gran número de lados, y cada lado como una línea recta que se puede describir matemáticamente con dos puntos y dos parámetros mediante el uso de una sola regresión lineal. El problema de las líneas rectas a menudo se reducen a solo entender las relaciones de parejas de números dados como una lista cartesiana de coordenadas rectangulares planas o compuestas de los ejes  $x$  y  $y$ , así como la relación de Pitágoras entre estas coordenadas para determinar distancias en espacios normados. Sin embargo, hay parámetros espaciales ampliamente conocidos tales como pendiente y punto  $(x_0, y_0)$  que también juegan un papel importante para ciertos problemas como el aquí abordado. De hecho, cuando le damos dos puntos, los mejores parámetros se ajustan a una recta que es la pendiente y el punto  $(x_0, y_0)$  obtenida a partir de una regresión lineal. Ahora, cuando damos un cuadro donde hay muchos píxeles que forman una línea recta se trata de un problema con información redundante que tiene que ser optimizado. Adicionalmente, el problema normal que ocurre con líneas verticales se supera mediante el uso de coordenadas polares.

Del mismo modo, los problemas extendidos a curvas donde los círculos también pueden incluirse como curvas cerradas se describen matemáticamente con tres valores que consiste en un punto y el radio, con el fin de implementar la transformación de Hough según la aplicación en un cuadro gris obtenida por un avión no tripulado (Ballard, 1981; Van Gynkel, 2002).

### 13.1 Resultados

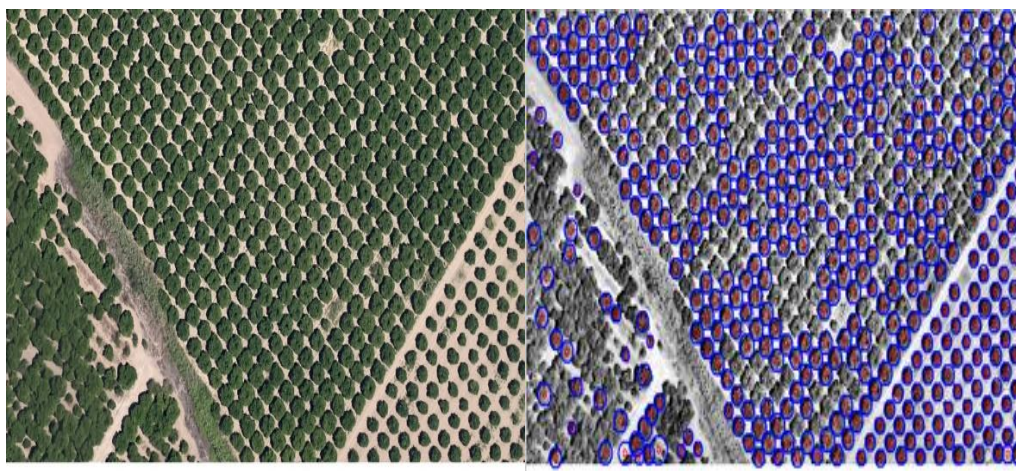
La transformada de Hough (Hough, 1962) en código de Matlab se utilizó para transformar la foto en el lado izquierdo de la Figura 1. con una escala de grises en un formato jpeg. La formulación matemática del problema se hizo mejorando con la transformación polar (Dean, 1981;. Duda, et al, 1972), la siguiente relación

$$x\cos\Theta + y\sin\Theta = \rho \quad (1)$$

Ahora la generalización, puede ser simple, incluso para los círculos fuera del centro con tres parámetros

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = R \quad (2)$$

**Figura 13** Izquierda, foto original. Derecha, un conjunto de círculos se representa a las copas de los árboles



### 13.2 Conclusiones y Discusión

Con este procedimiento un programa de conteo prometedor se implementa, la detección se hace mediante el uso de la matriz acumulada en el espacio de parámetros para encontrar la ubicación más probable de los árboles del dosel como los tres parámetros en común.

La simplicidad del dosel, reducida como círculos simples puede ser mejorada con la incorporación de la variabilidad, y el punto de vista bayesiano, porque a veces el dosel tiene formas similares a las elipses y rectángulos con esquinas suaves. Sin embargo, más características aumentan drásticamente el esfuerzo computacional.

La prometedora expansión de aplicaciones es cada vez mayor con la interacción de los teléfonos celulares e internet junto con el fin de lograr una mayor precisión. A pesar de que la precisión siempre está limitada por el ruido, imágenes características, así como por el esfuerzo computacional intensiva no sólo en velocidad, sino también en el almacenamiento.

Los estudios teóricos se pueden desarrollar y estimular de manera profunda aplicando las transformadas de Fourier o Radón y usando diferentes proyecciones de imágenes binarias, sin embargo, la integración a lo largo de los contornos que definen una forma requiere más tiempo de cálculo.

### 13.3 Agradecimientos

Al Dr. Waldo Ojeda Bustamante del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua por proveer las fotos adecuadas para el desarrollo de este trabajo.

### 13.4 Referencias

Ballard, D.H. (1981). *Generalizing the Hough transform to detect arbitrary shapes*. Pattern Recognition, 13(2):111–122.

Deans, S.R. (1981, March). *Hough transform from the Radon transform*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 3(2):185–188.

Duda, R.O. and P.E. Hart. (1972). *Use of the Hough transformation to detect lines and curves in pictures*. Communications of the ACM, 15(1):11–15.

Van Ginkel, M. (2002). *Image Analysis using Orientation Space based on Steerable Filters*. PhD thesis, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.

Hough, P.V.C. (1962). *Method and means for recognizing complex patterns*. US patent nr. 3069654.

## **Diseño de un mecanismo anudador de bolsas para el empaque de frutos secos**

MÁRQUEZ-RODRÍGUEZ, Víctor, ORDOÑEZ-MENDOZA, Aldo, ZENA-HERNÁNDEZ, Mario Jared y FITZ-RODRÍGUEZ, Efrén

V. Márquez, A. Ordoñez, M. Zena y E. Fitz

Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, km 38.5 carretera México-  
Texcoco, Chapingo, Estado de México, C.P. 56230, México.

[efitzr@gmail.com](mailto:efitzr@gmail.com)

E. Figueroa, L. Godínez, F. Pérez (eds.) Ciencias de la Biología y Agronomía. Handbook T-I. -©ECORFAN, Texcoco de Mora-México, 2015.

## **Abstract**

Packing of agricultural produce, and particularly those processed such as dried fruits, implies the usage of metallic or plastic materials for closing the packing. This material represents an additional cost and extra time for its collocation. In order to reduce these additional costs, it is proposed to design a knotter mechanism that uses the same plastic bag for automatically knot sealing the packing. The proposed device is a four-link mechanism with one degree of freedom. The mechanism has a vertical movement and the horizontal rotational movement is neglected. To achieve the vertical movement a cylindrical cam generates the function output movement. The knotter mechanism is restricted to specific movements required to achieve a knot, which are achieved with a cam-follower mechanism. The resulting design performs the tie the bag knot in a successful way.

## **14 Introducción**

El procesamiento industrial en el envasado de productos agrícola, por lo general utiliza bolsas de plástico, lo cual implica distintos retos, incluyendo el cerrado de la bolsa. Algunas alternativas propuestas actualmente incluye el uso de diferentes elementos que ayudan a cerrar la bolsa. Este proceso ha sido el más recurrido ya que es relativamente fácil de automatizar comparado con el de anudar las bolsas; sin embargo dicho procesos se vuelven más costoso al agregar materiales al envasar el producto deseado. Además el daño al medio ambiente se incrementa si las piezas utilizadas no son recicladas. Otra desventaja para esta alternativa es que las piezas usadas como seguros y alambres pequeños pueden ser nocivos para la salud de los infantes. Por sus grandes requerimientos de mano de obra y de tiempo, el realizar nudos en el envasado casi ha desaparecido completamente de las líneas de producción industriales.

Para contrarrestar el efecto nocivo de los materiales para el cerrado de bolsas se propone diseñar un mecanismo anudador como una alternativa para automatizar el proceso de anudado de envases, aunque también puede ser utilizado en otros aplicaciones de la industria del procesamiento de alimentos. Los componentes y funcionamiento de un mecanismo anudador clásico se encuentran descritos en (Vansteentlant, 1980).

### **14.1 Materiales y método**

El diseño del mecanismo anudador se realizó en tres etapas: análisis cinemático del mecanismo anudador existente en el amarre de pacas de forraje, proceso de adaptación del diseño para bolsas de plásticos y construcción del prototipo.

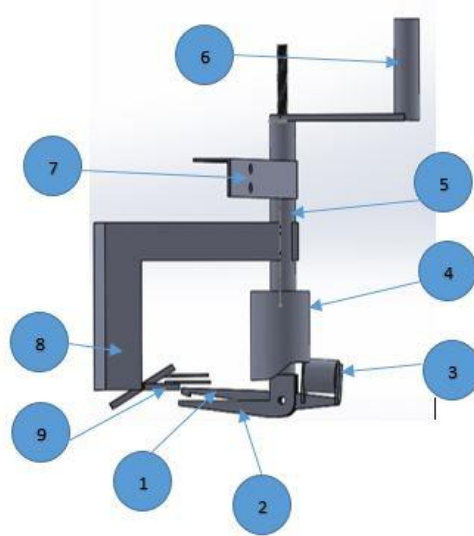
#### **Proceso de análisis**

El mecanismo anudador desarrollado se basó en el funcionamiento de los mecanismos anudadores aplicados en las máquinas empacadoras de forraje. Este mecanismo funciona de la siguiente manera: 1) El extremo superior de la bolsa es sostenido con unas pinzas retenedoras, conforme el eje principal de giro es accionado se estira la bolsa sujeta del retenedor. 2) Cuando el mecanismo anudador va a completar su giro los ganchos sujetadores se accionan para atrapar el extremo de la bolsa. 3) El empaque comienza a avanzar en plano horizontal, provocando que la bolsa sea presionada por el gancho interior. 4) El extremo de la bolsa se desliza por entre las pinzas y ganchos del mecanismo, el nudo es finalizado de esta manera.

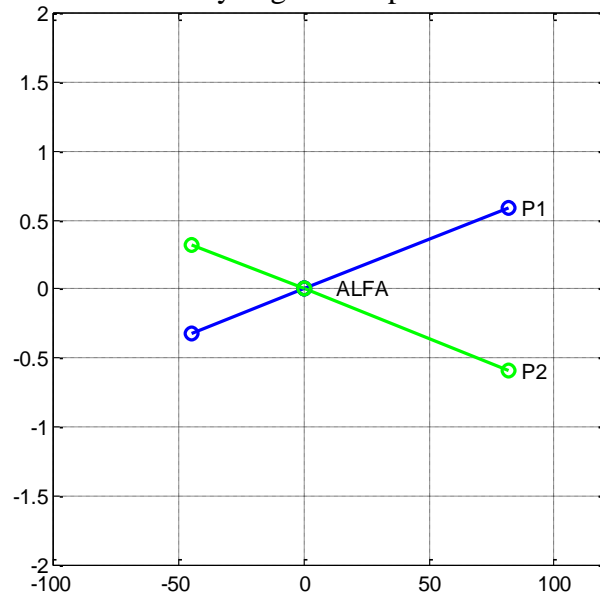
De acuerdo a la cinemática de los mecanismos anudadores, se identificaron las posiciones límite que definen la apertura de los ganchos de sujeción, indicados por los puntos de interés P1, P2 y por el ángulo de apertura  $\alpha$  (Figura 14.1). Los cuales son de importancia para completar la realización de un nudo corredizo.

De acuerdo a los resultados de la simulación de amarre se determinó que  $\alpha=30^\circ$ , y se ubicaron puntos de interés de acuerdo al material con que se contaba, como se muestra en la Figura 2:

**Figura 14** Partes del mecanismo anudador propuesto, 1) gancho interior, 2) gancho exterior, 3) Seguidor de leva, 4) Leva cilíndrica, 5) Eje principal de giro, 6) Manivela, 7) Soporte del mecanismo, 8) Soporte de pinzas sujetadoras, 9) Pinzas sujetadoras



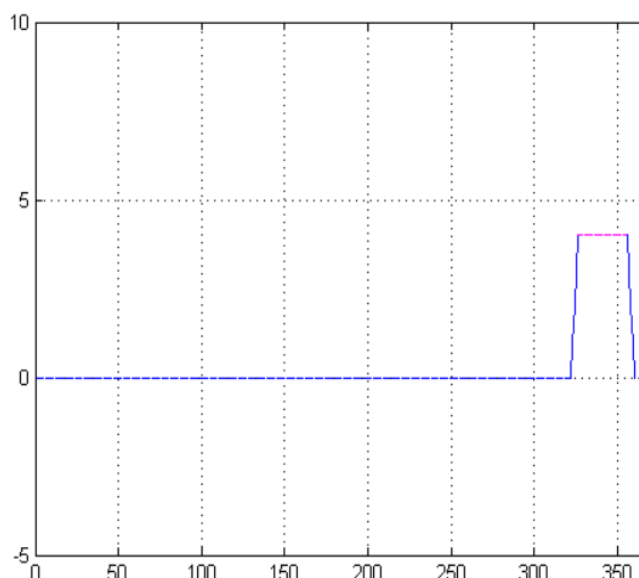
**Figura 14.1** Posiciones límite y ángulo de apertura del mecanismo anudador



## Desarrollo del prototipo

El movimiento (Figura 14.2) de temporización requerido en el mecanismo anudador, definido por la apertura y cierre de los ganchos de sujeción, está en función de los grados de rotación de la leva cilíndrica que activa el seguidor.

**Figura 14.2** Diagrama temporizado de la leva cilíndrica



El diseño la leva cilíndrica (3D) resultó ser ineficaz, debido a que en las fronteras de los intervalos hay discontinuidades que ocasionan grandes esfuerzos y desgastes. Como lo propone Norton R.L. (2012) se sugiere que las funciones de leva deben ser continuas en la primera y segunda derivada del desplazamiento en el ciclo completo (0-360°). De la misma manera la función de rapidez de aceleración debe ser finita en el mismo intervalo.

Las funciones armónicas son continuas en cualquier número de diferenciaciones. La ecuación de desplazamiento para un movimiento armónico es:

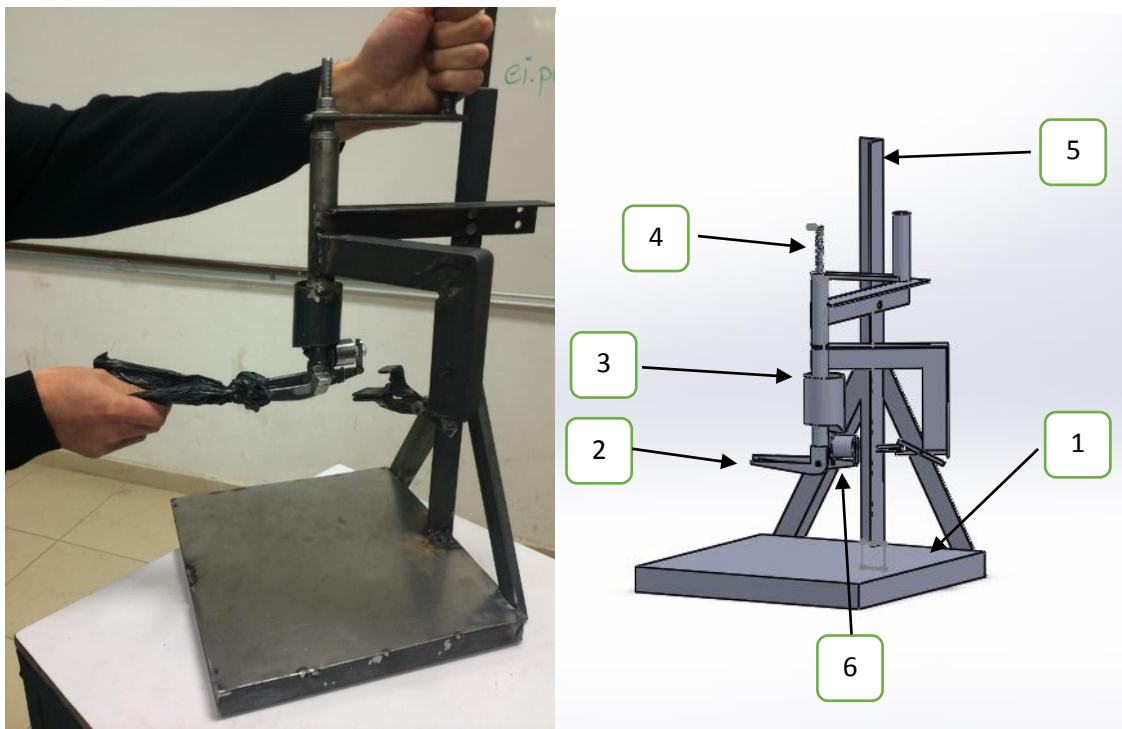
$$s = \frac{h}{2} \left[ 1 - \cos \left( \pi \frac{\theta}{\beta} \right) \right] \quad (14)$$

Donde  $h$  es la subida total, o elevación,  $\theta$  es el ángulo del árbol de levas y  $\beta$  es el ángulo total del intervalo de subida.

A partir de la cinemática del mecanismo se caracterizaron dos ángulos determinantes para la realización del nudo, es decir el momento del giro en el que debe accionarse el gancho interior.

## Fabricación del prototipo

**Figura 14.3** a) Prototipo de mecanismo anudador y b) Vista isométrica del modelo 3D, 1) Lámina, 2) Solera, 3) Tubo, 4) Tornillo, 5) Perfil angular, 6) Varilla lisa



## Proceso de fabricación

Para la fabricación del prototipo fueron utilizados acero estructural comercial como ángulo de acero, solera, lámina varilla lisa, tornillos y resortes. El corte y soldadura de las piezas se realizó con herramientas convencionales, de esta manera se fabricó el prototipo a muy bajo costo.

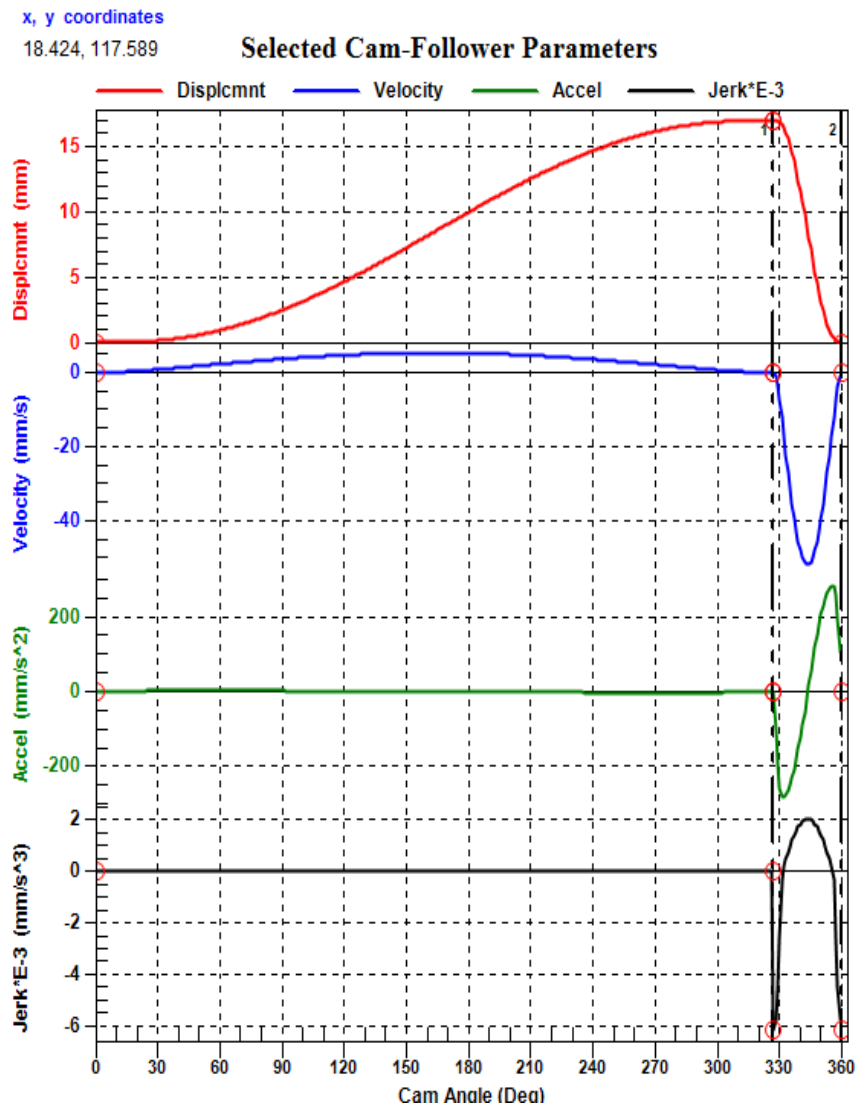
## 14.2 Análisis y discusión de resultados

La leva propuesta y construida produce un movimiento de subida de 1.7cm durante  $327^\circ$  de rotación y de bajada durante los restantes  $33^\circ$ . Para la síntesis de la leva se utilizó el software DYNACAM (Norton, 2012), en cual se generaron los diagramas SVAJ (Desplazamiento, Velocidad, Aceleración y Sacudimiento) (Figura 5) del eslabón de salida (el seguidor).

En el detenimiento simple se requiere una función para la subida que no regrese la aceleración a cero, ya que esto afecta el sistema leva-seguidor, la función de bajada debe bajar con la misma aceleración con la que terminó la subida luego ser cero en la próxima frontera, para estos criterios existe la función armónica doble, Una función armónica de 0-14 mm, con un segmento  $\beta=90^\circ$ , en la bajada un rango  $\beta=90^\circ$  de 14-0 mm, y un detenimiento en el rango  $\beta=180^\circ$ , donde los esfuerzos y sacudimientos se reducen notablemente, ver diagrama SVAJ en la figura 7.

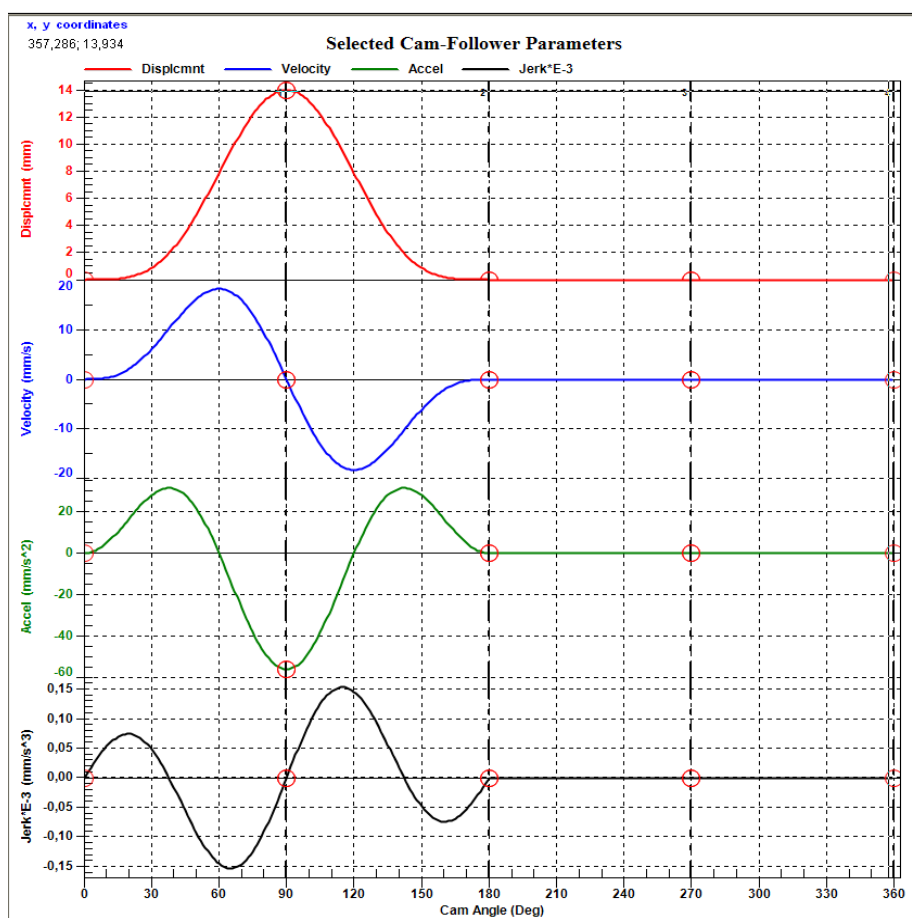


**Figura 14.4** Diagrama SVAJ de la leva diseñada para el mecanismo anudador construido



El movimiento generado por la leva fabricada fue funcional para la realización del nudo, sin embargo de acuerdo al análisis realizado presenta problemas si se somete a movimiento de mayor velocidad, ya que se puede generar alto desgaste en componentes del mecanismo, sobre todo en la leva y seguidor que se accionan por contacto y por lo tanto existe grandes fuerzas de fricción entre estos. En el diagrama SVAJ (Figura) se muestran discontinuidades críticas en las gráficas de velocidad, aceleración y sacudimiento, estas irregularidades hacen que el mecanismo sea sometido a condiciones poco favorables para la duración de su vida útil.

**Figura 14.5** Diagrama SVAJ del diseño de leva propuesto con movimiento armónico doble de una leva de subida-bajada y detenimiento simple



La propuesta de la leva cilíndrica con las características de movimiento armónico doble está sustentada en el análisis anterior, por lo que se propone para un mecanismo anudador de bolsas para alta producción, con velocidades de operación mayores como lo demanda la automatización de la industria. La vida útil de la leva es alargada gracias a que las fuerzas que producen altos desgastes durante el movimiento son considerablemente reducidas.

### 14.3 Conclusiones

El mecanismo propuesto realiza la tarea de anudar bolsas de plástico de manera efectiva en el empaque de frutos secos, cuando éste se opera de manera manual. Sin embargo, el prototipo resultante está limitado en la velocidad de operación si éste se quisiera automatizar. La construcción de una leva cilíndrica es compleja y costosa dada la precisión y forma tridimensional. El mecanismo propuesto resulta prometedor si se consideran una manufactura precisa y su posible automatización.

### 14.4 Referencias

Norton, R. L. 2012. *Diseño de maquinaria, Síntesis y análisis de máquinas y mecanismos*. México: McGraw Hill Education.

Mabie, H.H. 1978. *Mecanismos y dinámica de máquinas*. México: LIMUSA S.A

Baranov, G.G. 1985. *Curso de la teoría de mecanismos y maquinas*. México: Mc Graw Hill Education.

CLAAS Group. 2015. Obtenido de <http://www.claas-group.com/the-group/history/company-history/knotter>

Vansteelant, M. G. 1980. Un aparato anudador perfeccionado para uso particularmente en maquinas empacadoras agricolas, y una maquina de esta clase correspondiente. *Edited by Gran Bretaña* 8022112.

**Apéndice A. Consejo Editor Universidad Autónoma Chapingo**

PORTILLO-VÁZQUEZ, Marcos, PhD.  
PÉREZ-SÁNCHEZ, Sandra Laura, PhD.  
SANTOS-MELGOZA, David Martín, PhD.  
*Universidad Autónoma Chapingo*

TAVERA-CORTÉS, María Elena, PhD.  
*Instituto Politécnico Nacional*

BRAVO-BENÍTEZ, Ernesto, PhD.  
*Instituto de Investigaciones Económicas -UNAM*

LUGO-ESPINOSA, Oziel, PhD.  
MENDOZA-ONTIVEROS, Martha Marivel, PhD  
*Universidad Autónoma del Estado de México*

GARZA-BUENO, Laura Elena, PhD.  
MARTÍNEZ-DAMIÁN, Miguel Ángel, PhD.  
*ISEI-Colegio de postgraduados*

**Apéndice B . Consejo Editor ECORFAN**

ANGELES-CASTRO, Gerardo PhD  
*Instituto Politecnico Nacional, México*

MANRIQUEZ-CAMPOS, Irma PhD  
*Universidad Nacional Autónoma de México, México*

PERALTA-FERRIZ, Cecilia PhD  
*Washington University, EUA*

PALACIO, Juan PhD  
*University of St. Gallen, Suiza*

DAVID-FELDMAN, German PhD  
*Johann Wolfgang Goethe Universität, Alemania*

GUZMÁN-SALA, Andrés PhD  
*Université de Perpignan, Francia*

VARGAS-HERNÁNDEZ, José PhD  
*Keele University, Inglaterra*

AZIZ-POSWAL, Bilal PhD  
*University of the Punjab, Pakistan*

VILLASANTE, Sebastian PhD  
*Royal Swedish Academy of Sciences, Suecia*

PIRES-FERREIRA-MARÃO, José PhD  
*Federal University of Maranhão, Brasil*

RAÚL-CHAPARRO, Germán PhD  
*Universidad Central, Colombia*

QUINTANILLA-CÓNDOR, Cerapio PhD  
*Universidad Nacional de Huancavelica, Perú*

GARCÍA-ESPINOSA, Cecilia PhD  
*Universidad Península de Santa Elena, Ecuador*

ALVAREZ-ECHEVERRÍA, Francisco PhD  
*University José Matías Delgado, El Salvador*

GUZMÁN-HURTADO, Juan PhD  
*Universidad Real y Pontifica de San Francisco Xavier, Bolivia*

NUÑEZ-SELLES, Alberto PhD  
*Universidad Evangelica Nacional, Republica Dominicana*

ESCOBEDO-BONILLA, Cesar Marcial PhD  
*Universidad de Gante, Belgica*

ARMADO-MATUTE, Arnaldo José PhD  
*Universidad de Carabobo, Venezuela*

GALICIA-PALACIOS, Alexander PhD  
*Instituto Politécnico Nacional, México*

NAVARRO-FRÓMETA, Enrique PhD  
*Instituto Azerbaidzhan de Petróleo y Química Azizbekov, Rusia*

ALVAREZ-ECHEVERRÍA, Francisco PhD  
*University José Matías Delgado, El Salvador*

BELTRÁN-MORALES, Luis Felipe PhD  
*Universidad de Concepción, Chile, Chile*

TUTOR-SÁNCHEZ, Joaquín PhD  
*Universidad de la Habana, Cuba.*

ARAUJO-BURGOS, Tania PhD  
*Universita Degli Studi Di Napoli Federico II, Italia*

HIRA, Anil PhD  
*Simon Fraser University, Canada*

MIRANDA-GARCÍA, Marta PhD  
*Universidad Complutense de Madrid, España*

LUFUNDISU- BADENGO, Patrick BsC  
*Institut Superieur de Techniques Appliquee, Republica Democratica del Congo*

DUARTE, Oscar Mauricio  
*Higher Institute of Economics "Karl Marx" in Sofia, Bulgaria*

OCAÑA, Ely MsC  
*Universidad de San Carlos de Guatemala, Republica de Guatemala*

CANTEROS, Cristina PhD  
*Instituto Nacional de Enfermedades Ifecciosas-ANLIS "Dr. Carlos G. Malbrán", Argentina*

NARVÁEZ-SOLÍS, Concepción MsC  
*Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Republica de Nicaragua*

ROJAS-BUSTAMANTE, Nataly BsC  
*Universidad de Medellín, Colombia*

CANDIDO-GONZALES, Bogarin BsC  
*Universidad Nacional de Asunción, Paraguay*

GANDICA-DE ROA, Elizabeth PhD  
*Universidad Católica del Uruguay, Uruguay*

BANERJEE, Bidisha MsC  
*Amity University, India*

**Apéndice C. Comité Arbitral Ecorfan**

HERNANDEZ MARTÍNEZ Rufina PhD  
*University of California, EUA*

DE AZEVEDO JUNIOR Wladimir Colman PhD  
*Federal University of Mato Grosso, Brasil*

VARGAS DELGADO Oscar-, PhD.  
*Universidad Centroamericana, Nicaragua*

MARTINEZ BRAVO, Oscar Mario PhD  
*Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica-UNAM*

GONZALEZ TORRIVILLA, Cesar Castor PhD  
*Universidad Central de Venezuela Venezuela*

TUTOR SÁNCHEZ, Joaquín PhD  
*Universidad de la Habana*

YAN TSAI, Jeng PhD  
*Tampkang University, Taiwan.*

POSADA GOMEZ, Ruben PhD  
*Institut National Polytechnique de la Lorraine, Francia*

SOTERO SOLIS, Victor Erasmo PhD  
*Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Perú*

GONZÁLEZ IBARRA, Miguel Rodrigo PhD  
*Universidad Nacional Autónoma de México, México*

MONTERO PANTOJA Carlos PhD  
*Universidad de Valladolid, España*

RAMIREZ MARTINEZ, Ivonne PhD  
*Universidad Andina Simón Bolívar, Bolivia*

ARAUJO BURGOS, Tania PhD  
*Università Degli Studi Di Napoli Federico II, Italia*

ALVAREZ ECHEVERRÍA Francisco PhD  
*Universidad José Matías Delgado, El Salvador*

SORIA FREIRE, Vladimir PhD  
*Universidad de Guayaquil, Ecuador*



