

Ciencias Matemáticas aplicadas a la Agronomía

Handbook T-I

PÉREZ-SOTO, Francisco
SEPÚLVEDA-JIMÉNEZ, Daniel
SALAZAR-MORENO, Raquel
SEPÚLVEDA-ROBLES, Daniel E

Directores

Modelos matemáticos aplicados en la agricultura

ECORFAN®

Volumen I

Para futuros volúmenes:
<http://www.ecorfan.org/handbooks/>

ECORFAN Ciencias Matemáticas aplicadas a la Agronomía

El Handbook ofrecerá los volúmenes de contribuciones seleccionadas de investigadores que contribuyan a la actividad de difusión científica de la Universidad Autónoma Chapingo en su área de investigación en Ciencias Matemáticas aplicadas a la Agronomía. Además de tener una evaluación total, en las manos de los directores de la Universidad Autónoma Chapingo se colabora con calidad y puntualidad en sus capítulos, cada contribución individual fue arbitrada a estándares internacionales (RENIECYT- LATINDEX- UNIVERSIA- DIALNET- ResearchGate- DOI- REBID- ScholarGoogle- DULCINEA CLASE- Sudoc- HISPANA- SHERPA- eREVISTAS- 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 Ciencias Matemáticas aplicadas a la Agronomía.

Pérez-Soto, Francisco · Sepúlveda-Jiménez, Daniel · Salazar-Moreno, Raquel · Sepúlveda-Robles, Daniel E.

Editores

Ciencias Matemáticas aplicadas a la Agronomía

Universidad Autónoma Chapingo. Julio, 2017.

ECORFAN®

Editores

Pérez-Soto, Francisco
Sepúlveda-Jiménez, Daniel
Salazar-Moreno, Raquel
Sepúlveda-Robles, Daniel E.

Universidad Autónoma Chapingo

ISBN-978-607-8534-34-0
Sello Editorial ECORFAN: 607-8324
Número de Control HCMA: 2017-01
Clasificación HCMA (2017): 210717-0105

©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. HCMA es parte de los medios de ECORFAN (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 fomentado 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 10 capítulos arbitrados que se ocupan de estos asuntos en Tópicos Selectos Ciencias Matemáticas aplicadas a la Agronomía, elegidos de entre las contribuciones, reunimos algunos investigadores y estudiantes de posgrado, a partir de cinco estados de México.

Rojano & Salazar abren la obra con un aprovechamiento de lactosuero en la elaboración de lactofermentos agrícolas: Caracterización fisicoquímica, microbiológica y toxicológica. *Escalante, Rodríguez y Escalante* presentan modelos que describen la distribución del rendimiento, sus componentes y radiación solar en ayocote en espaldera de tripie. *López, Ayala, Lugo y Zarco* plantean el desarrollo de un Sistema Web para la generación de filogenias en base a caracteres homólogos.

Sepúlveda, Loera y Sepúlveda analizan el control de caos en modelos económicos. *Quintero, Rodríguez, Velasco y Fitz* proponen un diseño y construcción de una desespinaladora mecánica de nopal.

Rosales & Fitz realizan un monitoreo y control climático de un invernadero a escala. *Ordoñez, Fitz, Espinosa, González y Velázquez* discuten la determinación de concentración de metano con sensores semiconductores. *Zena & Fitz* profundizan un análisis en la detección de racimos maduros de jitomate de invernadero mediante procesamiento de imágenes. *Tamayo, Carreón, Nanco y Fitz* proponen un diseño de un mecanismo extractor de semillas de calabaza sin causar daño a la pulpa. *Solís, Lugo y Zarco* presentan una interfaz hombre máquina para el manejo digital de información entomológica.

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.

PÉREZ-SOTO, Francisco
SEPÚLVEDA-JIMÉNEZ, Daniel
SALAZAR-MORENO, Raquel
SEPÚLVEDA-ROBLES, Daniel E.

Texcoco de Mora, México. Julio, 2017

Contenido	Pág.
1 Modelos específicos para el consumo de alimentos: Una iniciativa cuantitativa ROJANO, Abraham & SALAZAR, Raquel	1-8
2 Modelos que describen la distribución del rendimiento, sus componentes y radiación solar en ayocote en espaldera de tripie ESCALANTE-ESTRADA, José Alberto Salvador, RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, María Teresa y ESCALANTE-ESTRADA, Yolanda Isabel	9-17
3 Sistema Web para la generación de filogenias en base a caracteres homólogos LÓPEZ, Benito, AYALA, Joel, LUGO, Oziel y ZARCO, Alfonso	18-30
4 Control de caos en modelos económicos SEPÚLVEDA-JIMÉNEZ, Daniel, LOERA-MARTÍNEZ Jesús y SEPÚLVEDA-ROBLES Daniel Eduardo	31-46
5 Diseño y construcción de una desespinaadora mecánica de nopal QUINTERO-FERNÁNDEZ, Leoncio, RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ, Wenceslao, VELASCO-SILVA, Ulisses Rafael y FITZ-RODRÍGUEZ, Efrén	47-56
6 Monitoreo y control climático de un invernadero a escala ROSALES-VICELIS, José Eduardo & FITZ-RODRÍGUEZ, Efrén	57-67
7 Determinación de concentración de metano con sensores semiconductores ORDOÑEZ-MENDOZA, Aldo, FITZ-RODRÍGUEZ, Efrén, ESPINOSA-SOLARES, Teodoro, GONZÁLEZ-RANGEL, María del Carmen y VELÁZQUEZ-LÓPEZ, Noé	68-73
8 Detección de racimos maduros de jitomate de invernadero mediante procesamiento de imágenes ZENA-HERNÁNDEZ, Mario Jared & FITZ-RODRÍGUEZ, Efrén	74-79
9 Diseño de un mecanismo extractor de semillas de calabaza sin causar daño a la pulpa TAMAYO-CASTAÑEDA, Samuel Osvaldo, CARREÓN-REYES, Eduardo, NANCO-COLULA, José Ramón y FITZ-RODRÍGUEZ, Efrén	80-88
10 Interfaz hombre máquina para el manejo digital de información entomológica SOLÍS-CIELO, Enrique, LUGO-ESPINOSA, Oziel y ZARCO-HIDALGO, Alfonso	89-97

Apéndice A. Consejo Editor ECORFAN

98-100

Apéndice B. Comité Arbitral ECORFAN

101

Modelos específicos para el consumo de alimentos: Una iniciativa cuantitativa

ROJANO, Abraham & SALAZAR, Raquel

A. Rojano & R. Salazar

Universidad Autónoma Chapingo, Km 38.5 carretera México, Texcoco. Chapingo, México. 56230

F. Pérez, D. Sepúlveda, R. Salazar, D. Sepúlveda (eds.) Ciencias Matemáticas aplicadas a la Agronomía. Handbook T-I.-
©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

Abstract

Technology is an essential component of modern society. Current and future communication and technological resources can play a preponderant role in food, as long as there is information, monitoring and control of public health problems. It is known that early and correct diagnoses can avoid complications in the future of remediation so that the use of current models that can be loaded into an electronic device such as a cell phone or a PC, like climate consultation, in an instrument of deterrence and control of the actions in the planning and execution of alternatives to reach the desired results.

1 Introducción

Históricamente, la alimentación nunca ha sido culturalmente igual ni espacial, ni temporal, ni por edades o clases sociales. Los resultados al igual han sido diferentes para cada caso, a nivel individual, grupal, regional, nacional o mundial. El objetivo de este trabajo es mostrar que por medio de un diagnóstico y la meta final se pueden construir modelos específicos que simulan el proceso funcional entre un principio o estado inicial y un estado final, asimismo, una vez conocidas las trayectorias posibles, es factible construir escenarios o programas de alimentación que nos lleven a los estados ideales o con cierta cercanía.

Dichos procesos son la conexión natural entre un estado inicial correspondiente a un diagnóstico real y el punto ideal u objetivo propuesto como un estado final, y que para propósitos globales se reduce a un rango de 20 a 25 como valor normal que describe el índice de masa corporal o de Quételet, con algunas escalas que explican las variaciones factibles (Keys A, 1950)

$$IMC = \text{Peso}(kg) / \text{Estatura}^2 (m) \quad (1)$$

Tabla 1 Rangos y clasificación del índice de masa corporal útil para un diagnóstico primario

Índice de Masa Corporal (IMC)	Clasificación
Menor a 18	Peso bajo. Necesario valorar signos de desnutrición
18 a 24.9	Normal
25 a 26.9	Sobrepeso
Mayor a 27	Obesidad
27 a 29.9	Obesidad grado I. Riesgo relativo alto para desarrollar enfermedades cardiovasculares
30 a 39.9	Obesidad grado II. Riesgo relativo muy alto para el desarrollo de enfermedades cardiovasculares
Mayor a 40	Obesidad grado III Extrema o Mórbida. Riesgo relativo extremadamente alto para el desarrollo de enfermedades cardiovasculares

Fuente: http://www.noalaobesidad.df.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=52&Itemid=76

El problema es construir la trayectoria que nos lleve del estado IMC que nos encontremos hasta el estado ideal de 25 o menos en un tiempo razonable y que no ponga en riesgo la salud. El diagnóstico individual puede ser escalado a diferentes magnitudes como las medias estadísticas de una distribución normal de un país, o género; por ejemplo, México presenta 26.54, de las cuales los hombres tienen 27.7 y las mujeres 25.37 de IMC, respectivamente.

Si bien el IMC da una idea rápida y sencilla de los estados iniciales y finales de un proceso, para fines de investigación más detallados debemos incorporar detalles que expliquen el comportamiento y desarrollo de un cuerpo no solo en términos de un parámetro como el mencionado o la energía haciendo un símil con un tanque, cuenta de banco, o almacén con entradas y salidas (Atwater, et al, 1903; Periwal et al, 2006; ^a y ^c)

Aun cuando el cuerpo siempre está en desbalance por su naturaleza dinámica, el índice de masa corporal mayor a 25 significa una ganancia de masa en un periodo de tiempo como un análisis de las entradas y salidas de energía, por lo que ya implica resolver un problema de una forma técnica, que explique y corrija satisfactoriamente dicho fenómeno. Es ampliamente conocido que la aplicación de dietas o cirugías sin una base científica puede llevar a estados indeseables de la salud que a la larga resultan contraproducentes, con los muy conocidos casos de rebote.

El cuerpo es complejo y es un reto para generar modelos a diferentes niveles para explicar y entender el funcionamiento local y global así como la interacción a niveles familiares, tribales, regionales e internacionales. Así recurriendo a que el balance de energía en la etapa final debe ser

$$DE/Dt = 0 \quad (1.1)$$

La energía en el cuerpo humano como un sistema biológico, si bien es ingerida por la alimentación, tenemos la oportunidad de identificarla en forma primaria de acuerdo a tres tipos de componentes como macronutrientes: carbohidratos (C) proteínas (P) y grasas (G). Si bien la ecuación 1.1 describe un cambio cero de la energía y corresponde al equilibrio dinámico que puede tener un cuerpo en cualquier tiempo especificado y no determina o es indiferente si un individuo está obeso o flaco, sin embargo cuando el cambio es positivo existe una ganancia o acumulación de energía que se traduce en peso, y cuando el cambio es negativo entonces existe una pérdida de energía en el sistema que se traduce en una pérdida de peso. La ecuación 1.1 para ser resuelta adecuadamente requiere la especificación de las condiciones iniciales que son de tipo secuencial o discretas, sin embargo las actividades físicas de consumo de energía son funciones de tipo distribuido y continuo.

El proceso ideal es cuando la actividad física del cuerpo humano fuerza a que la grasa por medio de interacciones internas participe en la combustión personal y fortalezca la estructura muscular. La ecuación 2 describe el balance y equilibrio en cualquier momento del desarrollo personal y en el espacio, por lo que cuando estamos creciendo el balance de energía siempre es positivo y es hasta deseable en la construcción de tejidos y huesos, sin embargo cuando llegamos a un punto donde ya no crecemos entonces viene la acumulación en forma de grasa, lo cual empieza a ser una amenaza para el individuo y la sociedad en su conjunto, así como una invitación natural a un conjunto de enfermedades y disfuncionalidades. Aquí en este momento, es cuando debemos entender el papel de la ecuación 1.1 y jugar en serio con los componentes de la energía en términos de carbohidratos, proteínas y grasas.

Los balances pueden ser momentáneos, diarios, semanales, mensuales y anuales, por lo que es una decisión personal hacer un programa apropiado para cada caso, sin duda el cuidado de la alimentación diaria implicará sin duda buenos resultados a escala anual. Lo contrario genera fluctuaciones y excesos que probablemente generen una disfuncionalidad en cualquiera de los órganos vitales que controlan el cuerpo humano. El agua y los micronutrientes como las vitaminas son asumidos como presentes en cantidad suficiente para permitir el funcionamiento adecuado del cuerpo.

La energía, capacidad de trabajo y sus cambios, como se muestra en el Tabla 1, generalmente están ligadas al peso corporal P, donde un modelo simplificado es presentado también como una ecuación diferencial ordinaria,

$$\rho \frac{dP}{dt} = I - aP - b \quad (1.2)$$

Donde ρ es la densidad, I es la entrada de alimentos, a y b son parámetros. Aun mas, cuando la energía de la ecuación 1.1 es considerada como una función $E=E(C, P, G)$ entonces el modelo correspondiente en términos de C, P, y G en una forma agregada es un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias no lineales, conocido como el modelo de Kevin Hall,

$$\frac{dC}{dt} = \frac{C_i + c_1 * P - c_2 * G - C_o}{cal_c} \quad (1.3)$$

$$\frac{dP}{dt} = (P_i - p_1 * C - P_o)/cal_p,$$

$$\frac{dG}{dt} = (G_i + g_1 * G - G_o)/cal_g$$

Aunque dicho modelo es un poco mas completo, y ya incluye las variaciones naturales dinámicas de tres fuentes fundamentales como son carbohidratos, proteínas y grasas, así como de su interacción, la distancia hacia los modelos reales es problema sin fin, sin embargo los intentos por dar claridad y entendimiento a dicho fenómeno es de gran alcance y usado por millones de personas actualmente en la red de internet(Christiansen et al, 2005; Song et al; 2007; Chow et al, 2008; ^c y ^d).

En general, para cualquier dieta se han satanizado los carbohidratos como fuentes del mal social que padecemos, pero cabe aclarar que existe una gran cantidad de alimentos cuyo valor nutritivo es importante, tales como el maíz, frijol, arroz y trigo, que han sido la fuente principal de muchas culturas a lo largo del tiempo. En suma, los males vienen con los carbohidratos de mucho refinamiento. La proteína es un componente importante para la construcción de tejidos, mas allá de los procesos de energización donde destacan la carne, el pescado, los huevos, los productos lácteos, los insectos en general en el reino animal, pero también en el vegetal con cereales, papas y legumbres. Las grasas al igual que los carbohidratos han sido estigmatizadas como la fuente de los males en la salud, sin embargo existen diferentes tipos de grasa y es recomendable consumir en cualquier dieta algo de grasas vegetales como aceites o animales, asi como los quesos maduros.

1.1 Resultados

Aun cuando es muy difícil hacer un balance exacto de la dinámica del cuerpo humano y su relación con su entorno, si es posible por medio de recursos matemáticos y físicos tener una idea bastante acotada del comportamiento de las variables involucradas. Quizás los refinamientos para casos muy específicos los podemos visualizar al observar como de la ecuación 1 a la ecuación 1.3 empieza a generarse cierta complejidad que requiere no solo un poco mas de elementos matemáticos, sino también de experimentos detallados para encontrar los parámetros correspondientes c_1 , c_2 , p_1 , y g_1 .

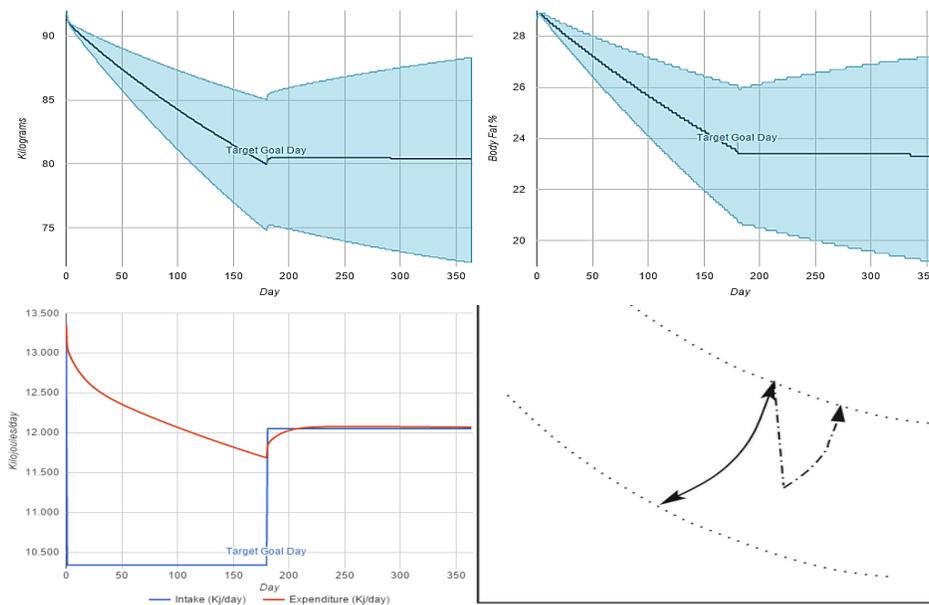
Para fines de ejemplificar la operación del modelo dinámico, se usan los valores típicos de uno de los autores con la siguiente información correspondiente a los estados en diagnóstico en el inicio y final, como se muestra en el Tabla 1.1.

Tabla 1.1 Datos requeridos para utilizar en el programa Body Weight Planner

Característica	Estado inicial	Estado final
Peso(kg)	92	80
Altura(m)	1.80	1.80
Edad(años)	56	57
Sexo	Masculino	
IMC	28.6	24.8
Calorías actuales	3190	
Calorías sugeridas	2469	
Calorías de equilibrio posterior		2878

El Gráfico 1 es obtenido por medio del simulador Body Weight Planner que permite personalizar en un periodo de tiempo con cierta actividad física y determinada dieta en calorías llegar a un punto ideal. Puede observarse que al principio existe una respuesta muy rápida al descenso en la ingesta de calorías, pero luego el proceso es prácticamente lineal y finalmente con un ajuste de la dieta a los 180 días existe un pequeño rebote. El Gráfico 1 va acompañada de las regiones de incertidumbre de los posibles escenarios a los que podemos llegar con dicha estrategia.

Gráfico 1 Trayectorias de estados iniciales y finales en un periodo de un año. Arriba izquierdo: Peso corporal; arriba derecho: índice de masa corporal; Abajo izquierda: funcionamiento corporal; Abajo derecha, comportamiento local del peso entre dos trayectorias. Las gráficas de arriba incluyen los márgenes de incertidumbre y posibles rebotes.



El cuerpo está compuesto fundamentalmente de agua, y una dieta que reduzca la ingesta de agua en forma desmedida puede llevar al colapso, por lo que se requiere conocer un poco más del IMC y del funcionamiento del mismo. Asimismo, una ingesta de 12000 kJoules por día ($4.168 \text{ Joule} = 1 \text{ cal}$) puede llevarse a cabo con una combinación aproximada de 3000 calorías que consisten en Proteína: 261 g (33%); Carbohidrato: 440 g (66%); Grasa: 38.3 g (11%).

Saber alimentarse bien tiene su chiste, e implica incluir y balancear el consumo de frutas y verduras, cereales y tubérculos, leguminosas y alimentos de origen animal en las proporciones correctas, variadas, adecuadas y suficientes para evitar riesgos para la salud y ejemplificado con tres diferentes dietas de un día.

Comida 1: Una taza de avena cocida, dos claras de huevo con un huevo entero revuelto, media taza de jugo de naranja, dos tazas de leche light. Comida 2: Una papa al horno, una lata de atún, ensalada verde con aderezo bajo en grasa. Comida 3: Una taza de avena cocida, dos claras de huevo con un huevo entero revuelto, media taza de jugo de naranja, dos tazas de leche light.

1.2 Discusión

Los modelos son un recurso no solo para entender, explicar o describir un fenómeno, sino también para monitorear y controlar las variables que nos lleven a un final deseado. Los modelos son un complemento fundamental y barato para conjuntar las teorías con los esfuerzos de medidas experimentales; los modelos son adaptivos para las condiciones que se requieran y ahora por medio de las computadoras y medios digitales es posible interactuar frecuentemente con los datos duros con programas de salud pública como los de chécate, mídete y muévete.

El modelo de Hall contempla la descripción de la dinámica de la energía E en términos de tres variables fundamentales y sus interacciones por medio del procedimiento de compartimentos y de un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias. Este modelo por si solo genera un trabajo matemático que implica numerosos estudios posibles y adicionales de consistencia, estabilidad, convergencia, sensibilidad en la parte teórica, pero también una enorme cantidad de esfuerzos experimentales, de cobertura informativa y difusiva.

El modelo es una respuesta técnica a los problemas de obesidad existentes donde los periodos de ajuste de la masa de un individuo es sometida a un proceso largo de pequeños y continuos cambios de recuperación de al menos un año para poder lograr los propósitos de largo plazo, y como todas las cosas buenas de la vida es de acceso gratis en los medios de internet, solo es cuestión de introducir unos cuantos datos personales y ajustarse a un régimen de actividades amigable con el cuerpo y la salud.

Dicho programa lleva consigo la misma estructura de este procedimiento propuesto donde el checate que implica el diagnóstico de peso, cintura y presión, el midete implica acotar las variables que generan problemas como es el consumo de azúcar, sal y chatarra entre otros; y finalmente muévete que es el otro componente del modelo donde es necesario activar la combustión energética por medio de ejercicio.

1.3 Conclusión

Los modelos aunque no son la solución total, si son parte de ella. La posibilidad de construirlos, entenderlos, explicarlos y manejarlos adecuadamente son una herramienta indispensable no solo para aplicaciones unipersonales sino también para manejar poblaciones y hacer de la alimentación un problema o solución de la salud pública. Sin duda, todos los problemas actuales de obesidad, hipertensión y diabetes han entrado por el exceso de consumo de alimentos inadecuados, más aun cuando tenemos cierta inclinación genética que facilita dichas tendencias.

Los modelos permiten en una forma simplificada no solo arrojar los escenarios finales de un proceso dinámico, sino también llevar a cabo los ajustes necesarios, proveyendo información correcta y precisa con cierta frecuencia para ir reduciendo la incertidumbre como se muestra en la Figura 1, pues bien sabemos que cada organismo es diferente y que los modelos son simplificaciones abstractas de procesos que tratan de asociarse con la realidad, pero que sin supervisión pueden derivar en predicciones incorrectas.

La solución a dichos problemas de salud ha generado un enorme mercado de soluciones que van desde la idea romántica de regresar al estilo antiguo pero con el uso de las tecnologías modernas, o con el uso del bisturí y otras medidas drásticas para ajustar al cuerpo a las necesidades actuales. El haber perdido el control de la alimentación conlleva a la necesidad de aplicar modelos específicos para el consumo de alimentos, y por ende dichos modelos montarlos sobre plataformas tecnológicas modernas que permitan al ser humano conocer y decidir más adecuadamente con el propósito no solo de aumentar su esperanza (que en México el promedio está por los 76 años, siendo la mujer un poco más longeva que el hombre) sino también su calidad de vida.

La construcción de dichos modelos se hace por medio de datos duros, pero luego su uso en diferentes personas requiere seguir los propósitos particulares y objetivos de cada caso. El diagnóstico, la meta ideal, aplicación del modelo para construir el proceso como una función que nos lleve de una situación real hasta el objetivo final. El manejo de la energía como un producto de la interacción de Carbohidratos (C), Proteínas (P) y Grasas (G), implica conocer un poco del papel y dinámica de cada uno de estos componentes, y entender que todas ellas entran por la boca, y que debido a la enorme capacidad del cuerpo humano por adaptarse a tomar las configuraciones más comunes de tipo ovoide.

Una vez que, los carbohidratos son el combustible primario de cualquier actividad física y el organismo los usa para proveer energía a todas las células, mientras los carbohidratos no saturan las necesidades del organismo el cuerpo trabaja buscando la energía acumulada en las grasas, pero cuando los carbohidratos abundan por encima de las necesidades entonces existe una transformación de los azúcares en grasas que se acumulan por largo tiempo. Las proteínas proveen los ingredientes básicos para producir hormonas, músculo, y vitaminas, y que pueden también ser utilizadas en forma incorrecta como fuente de energía a falta de carbohidratos o grasa. Y finalmente, la grasa es la mayor fuente de energía proveyendo más del doble de energía comparado con carbohidratos y proteínas por cada gramo, pero cuando circula en la sangre puede ser capturada por las células voraces y almacenadas en forma de triglicéridos generando células obesas. El gran problema es que varias de las células importantes como las neuronas requieren para su buen funcionamiento azúcares que no estén basados en grasa, por lo que su funcionamiento empieza a atrofiarse.

En suma, las numerosas recetas de dietas propuestas generalmente están basadas en el manejo de estos tres ingredientes fundamentales y por supuesto que el modelo Hall permite jugar desde un esquema matemático que garantice la estabilidad y el balance de la salud del cuerpo humano. El cuidado de la salud aumenta la longevidad y la calidad de vida, pero las grandes discusiones y el enorme mercado que se abre en productos milagro así como los intereses de grandes corporaciones internacionales en los sectores de comida y bebidas envasadas hacen que los propósitos de mantener un régimen correcto de alimentación sean un poco difícil. Los medios de comunicación, las campañas de ventas y la falta de educación hacen de la salud un campo de cultivo para la mercadotecnia y el negocio. Aun con todas las mencionadas circunstancias actuales, existe un incremento en la esperanza de vida pero con las limitantes que conlleva la calidad de vida. Sin embargo existen los elementos y recursos para estar bien informado y poder tomar las decisiones correctas en función de las metas que cada individuo piense tomar.

Acumular energía en forma de grasa es un sentimiento cultural que da cierta satisfacción momentánea aunque después los órganos del cuerpo humano se saturan de trabajo y empieza el deterioro de los mismos. Acumular energía ha sido ligado en forma equivocada con abundancia y salud en el consumo de alimentos hasta por 6000 calorías y por otro lado el sedentarismo ha propiciado la baja disipación de energía, y la disminución de la masa muscular. Aun mas, la chacota popular ha extendido y existe la creencia y dicho popular que mejor no checarse porque los números adversos generan un sentimiento de estrés, lo cual es nocivo para la salud.

Sin embargo la fórmula es sencilla en función de las tres Rs y consiste en Reducir el consumo, sobretodo de alimentos muy industrializados, Reactivar el ejercicio acorde y amigable con sus funciones y actividades normales de trabajo, y Registrar las mediciones para darles seguimiento adecuado en un largo proceso.

1.4 Referencias

A <http://www.fao.org/docrep/v4700s/v4700s0c.htm>

Atwater WO, Benedict FG (1903) Experiments on the metabolism of matter and energy in the human body. 1900–1902 Bulletin No 136, US Department of Agriculture, Office of Experiment Stations, Washington, DC.

B <https://www.supertracker.usda.gov/bwp/index.html>

C <http://www.fao.org/docrep/v4700s/v4700s0c.htm>

Chow C.C, Hall K, A, (2008) The Dynamics of Human Body Weight Change DOI: 10.1371/journal.pcbi.1000045

Christiansen E, Garby L, Sorensen TI (2005) Quantitative analysis of the energy requirements for development of obesity. *J Theor Biol* 234: 99–106.

D<http://www.niddk.nih.gov/health-information/health-topics/weight-control/body-weight-planner/Pages/bwp.aspx>

E http://www.noalaobesidad.df.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=52&Itemid=76

Keys A (1950) *The biology of human starvation*. Minneapolis, Minnesota: University of Minnesota Press.

Periwal V, Chow CC (2006) Patterns in food intake correlate with body mass index. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 291: E929–E936.

Song B, Thomas DM (2007) Dynamics of starvation in humans. *J Math Biol* 54: 27–43.

Modelos que describen la distribución del rendimiento, sus componentes y radiación solar en ayocote en espaldera de tripie

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

J. Escalante`, M. Rodríguez` e Y. Escalante ``

`Postgrado en Botánica. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Mpio. de Texcoco, Estado de Méx., México.56230

`` Instituto de Investigación Científica área de Ciencias Naturales. Universidad Autónoma de Guerrero. Chilpancingo Guerrero México
jasee@colpos.mx

F. Pérez, D. Sepúlveda, R. Salazar, D. Sepúlveda (eds.) Ciencias Matemáticas aplicadas a la Agronomía. Handbook T-I.- ©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

Abstract

The objective of the study which was carried out under the regime of rain, with planting on 3 may 2015 in Montecillo, Mexico, Mexico's temperate climate was to know the profile and distribution model of the grain yield (YG), number of grains (GN), the grain size (GS), number of pods (PN) and intercepted radiation (IR) in the canopy of climbing runner bean in trellis type "tepee", with pattern 80 x 40 cm. The GY, GN, PN were higher in the lower layers of the canopy and lower at the top following a pattern with adjustment to a power and linear model for the RI. The GS was similar in the strata. The model that best estimated the GY was $GY = 15.8 GS + 0.73 GN + 0.22 PN$.

2 Introducción

El Ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) es un cultivo de importancia para los agricultores de pequeñas extensiones del altiplano de México (1000 a 2800 msnm), por ser parte de su dieta alimenticia (Miranda, 1990). La diversidad de ayocote es amplia en colores, tamaño de semilla, y color de flor (Castillo *et al.*, 2006; Ramírez-Pérez y Díaz-Ruiz, 2009). En cuanto al contenido de proteína en el grano, se ha reportado cerca de 18% en el cultivar Blanco Tlaxcala (Pérez *et al.*, 2002) y hasta 37% (cultivar Jalisco 132), 38% (Morelos 32) y 38% de almidón (cultivar Puebla 57A), como reportan Ortega y Rodríguez (1979). También se han reportado diferencias en contenido de proteína debido al color del grano: el color negro presenta un contenido de proteína (24 %) superior al de color morado que presenta 22%. En contraste, el contenido de cenizas, grasa y carbohidratos es mayor en el morado que en el negro (Teniente-Martínez *et al.*, 2016).

El grano del ayocote contiene lectinas como muchas leguminosas. Estas moléculas pueden ser nocivas e incluso tóxicas para el hombre y los animales, por lo que necesitan ser removidos o inactivados por medio de tratamiento con calor o lavados para poder ser consumidos (Grant *et al.*, 1991). Algunas lectinas tienen actividad quimiopreventiva contra cáncer (González de Mejía y Priscaru, 2005) como la del frijol tépari (*P. acutifolius*) que afecta la proliferación y sobrevivencia de diferentes tipos de células cancerígenas (López, 2007). Así mismo, la lectina del ayocote tiene actividad citotóxica sobre estas células transformadas, que depende de la concentración de lectina que se administre (Acosta-Santoyo *et al.*, 2007).

El cáncer es una de las principales causas de mortandad en el mundo, por lo que se ha buscado el uso de componentes nutraceuticos de origen vegetal para su tratamiento, tal es el caso de los péptidos bioactivos obtenidos principalmente de las leguminosas, en donde el ayocote puede ser una fuente promisoría de estos compuestos. Así, los estudios enfocados al conocimiento sobre el crecimiento, rendimiento y calidad de rendimiento de esta especie se justifican. El ayocote presenta hábito de crecimiento indeterminado arbustivo e indeterminado trepador. Este último requiere de tutores para una mayor expresión del crecimiento y rendimiento. El más utilizado es el maíz como espaldera viva o el uso de tutores de madera lo cual es menos común. Estudios en *Phaseolus vulgaris* L. trepador indican que el tipo de espaldera influye sobre la producción de grano (Escalante y Kohashi, 1983).

Además bajo condiciones limitantes de agua y salinidad el Ayocote supera al frijol común con mayor tamaño del dosel vegetal y tasa de crecimiento más alta (Escalante *et al.*, 2014). Para la región, se reporta un rendimiento en espaldera de carrizo tipo seto de 227 gm⁻², con cultivares procedentes del Estado de Tlaxcala (Rojas *et al.*, 2015), 237 gm⁻² para cultivares de Juchitepec Edo., de México (Escalante *et al.*, 2015a) y de 276 g m⁻² para procedencias de San Martín Texmelucan, Puebla (Escalante *et al.*, 2010); y entre 120 y 174 gm⁻² cuando la espaldera es el maíz (Escalante *et al.*, 2015b).

Por otra parte, el rendimiento de ayocote puede variar en función de la fecha de siembra. Ayala *et al.* (2006) encontraron que el rendimiento de ayocote en siembras del 2 de mayo (529 g por planta, con riego de auxilio) fue superior al de siembras del 17 de junio (334 g por planta) con densidad de población de 15.6 plantas m⁻².

Conocer el perfil de distribución de grano y sus componentes en los diferentes estratos de una espaldera, determinar el modelo que explique dicha distribución y la relación con la radiación interceptada por el dosel ayudaría a generar estrategias de manejo del cultivo para buscar incremento en el rendimiento. Este fue el objetivo del presente estudio.

2.1 Materiales y métodos

El estudio se realizó bajo condiciones de lluvia en Montecillo, Texcoco, Estado de México (19° 29' N, 98° 53' O, a 2250 m de altitud), con clima templado, en un suelo Entisol de origen aluvial, densidad aparente entre 1.5-1.8, franco arenoso y con pH de 7.0.

La siembra de Ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) de hábito indeterminado trepador, proveniente del estado de Tlaxcala fue el 3 de mayo del 2015, en espaldera tipo “tripie” a la densidad de 3.12 plantas m⁻² (80 x 40 cm). Se aplicaron dos riegos de auxilio el 20 de julio y 3 de agosto.

Se registraron variables fenológicas como días a emergencia, inicio de floración, madurez fisiológica y cosecha. Por estrato de 30 cm, a partir de la parte superior y hacia la base de la planta, se registró el 29 de agosto (112 días después de la siembra, dds) entre las 1100 y 1300 horas la radiación incidente (RS) con un sensor lineal de quantum y la radiación interceptada (RI, %).

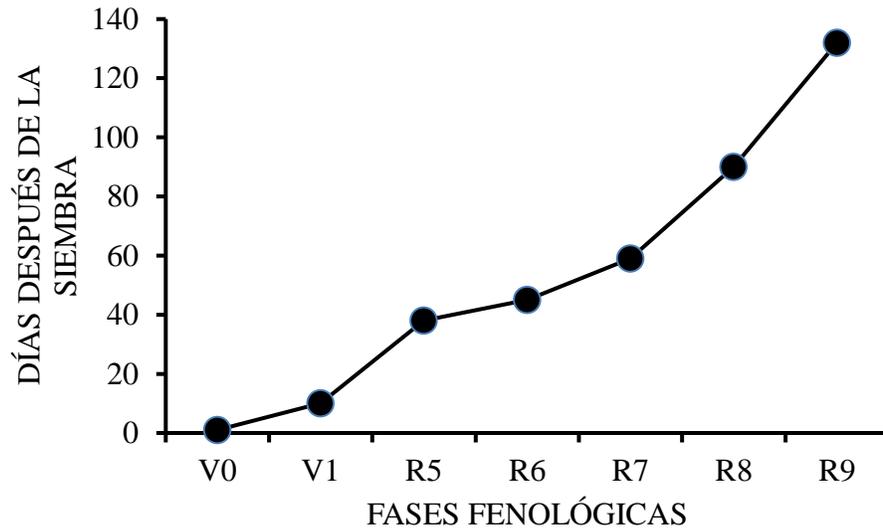
A la cosecha por espaldera o mata, el rendimiento en grano (RG, g m⁻²), el tamaño del grano (peso individual del grano, g, TG); el número de granos m⁻² (NG), el número de vainas con grano m⁻² (NV), el número de granos por vaina (GV) y el rendimiento por vaina (RV, g). A las variables en estudio se les aplicó un análisis de varianza para determinar la diferencia significativa entre estratos y la prueba de comparación de medias de Tukey 0.05.

2.2 Resultados y discusión

2.2.1 Fenología y elementos del clima

La emergencia del cultivo ocurrió a los 8, la floración a los 45 y la madurez fisiológica a los 140 dds . La T_{máx} y T_{mín} fue de 26.8 y 10.8°C durante el período vegetativo (PV) y durante el reproductivo (PR) de 24.7 y 13.6°C, respectivamente. La suma de la PP fue de 288 y 210 mm durante el PV y PR, respectivamente. Cabe señalar que la T_{mín} más alta, aunado a una PP más baja durante el PR pudo limitar una mayor expresión del rendimiento en grano.

Gráfico 2 Días a ocurrencia de fases fenológicas en Ayocote (*Phaseolus coccineus* L.). Montecillo Mpio. De Texcoco, Estado de México, México. Verano 2015



2.2.2 Rendimiento en grano y sus componentes

El RG, NG y NV mostraron diferencias significativas entre estratos. En contraste, el TG, GV y RV fue estadísticamente similar entre estratos y fue en promedio de 0.892 g, 2.5 y 2.2 g, respectivamente (Tabla 2). En el estrato de 0-30 cm el RG representó el 40% del total, seguido del estrato de 30-60, 60-90 y 90-120 cm que representó el 23, 20 y 17%, respectivamente. Esto indica que la aparición de las primeras vainas en los estratos inferiores del dosel determina el 63% del RG total (609 g por espaldera o planta). Así, para incrementar el RG por espaldera se requiere incrementar el NG y NV particularmente en los estratos superiores. El modelo que describe el patrón de distribución del RG, NG y NV en función de la altura de los estratos fue del tipo potencial ($Y = AB^x$) (Gráfico 2.1).

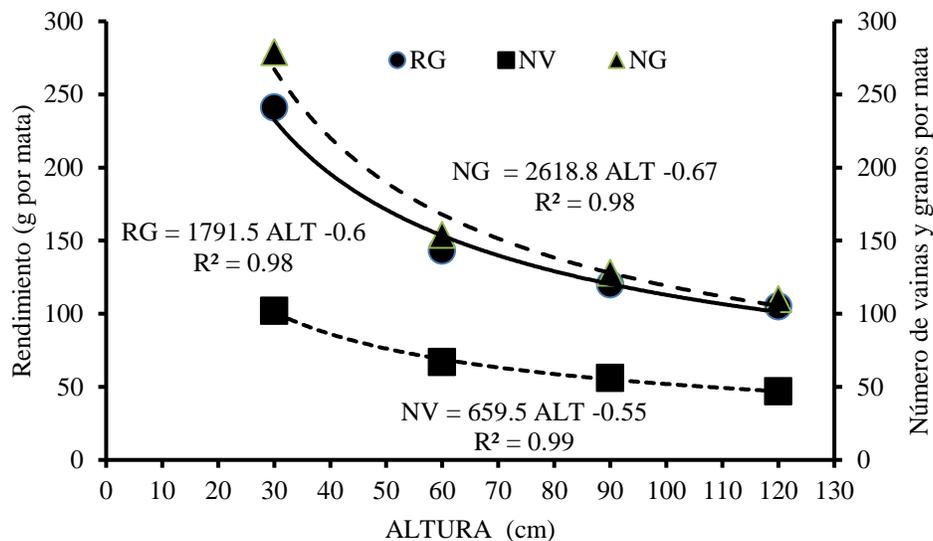
Cabe señalar que el RG ($609 \text{ g planta}^{-1}$) del Ayocote en espaldera tipo “tripie” del presente estudio es superior a la media de cultivares de Ayocote ($526 \text{ g planta}^{-1}$) reportado para Montecillo por Ayala *et al.* (2006) bajo similar fecha de siembra y al reportado (120 y $174 \text{ g planta}^{-1}$) por Escalante *et al.* (2015b) utilizando como tutor la planta de maíz. El TG, GV y RV fue similar en los estratos estudiados, siendo en promedio de 0.892 g, 2.5 GV y 2.2 g vaina⁻¹, respectivamente.

Tabla 2 Distribución del rendimiento en grano (RG), tamaño del grano (TG), número granos (NG), vainas (NV), granos por vaina (GV) y rendimiento por vaina (RV) de Ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) por estratos, en la espaldera convencional. Montecillo Mpio de Texcoco, Edo. de Méx. Verano 2015

Estratos (cm)	RG (g)	%	TG (g)	NG	NV	GV	RV (g)
0-30	241 a	40	0.866	279 a	102 a	2.7	2.4
30-60	143 ab	23	0.950	154 b	67 ab	2.5	2.1
60-90	120 b	20	0.877	128 b	56 b	2.4	2.1
90-120	105 b	17	0.874	110 b	47 b	2.4	2.1
Σ	609	100	--	671	272	--	--
Media	152		0.892	168	68	2.5	2.2
Prob.F.	***		NS	***	***	NS	NS
Tukey 0.05	102		0.372	78	113	0.5	0.6

En columnas valores con letra similar son estadísticamente iguales: *** $P > 0.001$. NS = diferencias no significativas ($P > 0.05$)

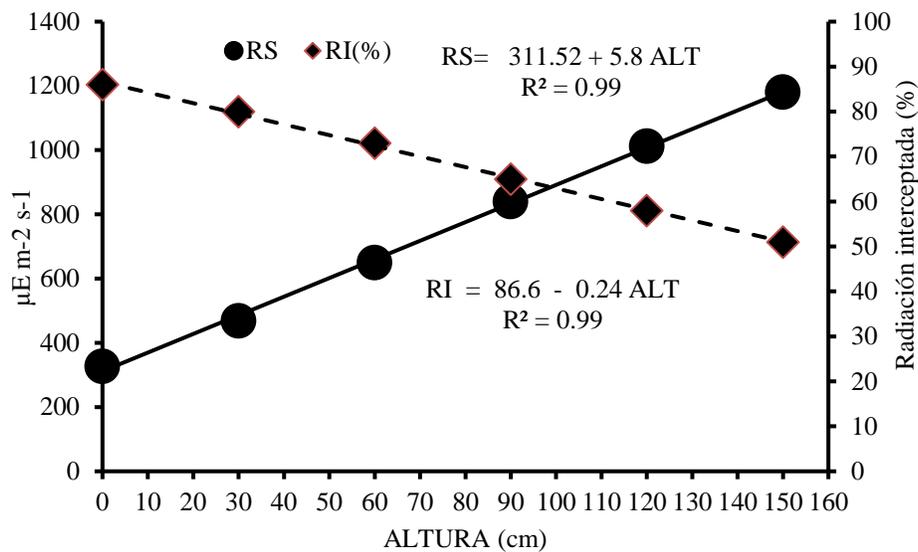
Gráfico 2.1 Distribución del rendimiento en grano (RG), número de granos (NG) y número de vainas con grano (NV) en el perfil del dosel de Ayocote (*Phaseolus coccineus* L.). Datos por mata. Montecillo Mpio. de Texcoco, Estado de México. México. Verano 2015



2.2.3 Radiación incidente e interceptada

En la Figura 3, se observa que la RS fue más alta en la parte superior del dosel y disminuyó hacia la base del mismo. En contraste, la RI fue más alta en los estratos inferiores y más baja en la parte superior del dosel. Esto puede estar relacionado con la distribución en el dosel del Ayocote del número de hojas, área foliar (componentes fisiológicos del RG, Escalante y Kohashi, 2015), NV, NG (componentes morfológicos) y en consecuencia el RG. El modelo de ajuste para la distribución de RS y RI fue del tipo lineal ($Y = A + BX$) con pendiente positiva para RS y negativa para RI.

Gráfico 2.2 Distribución de la radiación fotosintéticamente activa incidente (RS) y radiación interceptada (RI,%) en el perfil del dosel de Ayocote (*Phaseolus vulgaris* L.). Montecillo Mpio. de Texcoco, Estado de México, México. Verano 2015



2.2.4 Relación entre el RG y sus componentes

El análisis de correlación presentado en la Tabla 2.1, indica que el RG mostró un coeficiente de correlación (r) alto con el NG (0.92) y NV (0.96), lo que sugiere que para buscar incrementos en el RG se debe buscar incrementar en orden ontogénico el NV y NG los cuales entre ellos, también presentan una correlación alta (0.91). El RV, TG y GV mostraron una más baja correlación con el RG (0.68, 0.48 y -0.06, respectivamente). Por otra parte, la relación negativa entre TG y GV (-0.71), indica limitación en la fuente de fotosintatos para producir mayor GV, puesto que el TG es una característica con mayor influencia del genotipo que por el cambio ambiental en el dosel.

Tabla 2.1 Coeficiente de correlación entre el rendimiento en grano (RG) y sus componentes de Ayocote (*Phaseolus coccineus* L) en espaldera convencional. Montecillo Mpio de Texcoco, Edo. de Méx. México. Verano 2015

	TG	NG	NV	GV	RV
RG	0.48**	0.92***	0.96***	-0.06 NS	0.60***
TG		0.13 NS	0.43 *	-0.71 **	0.48**
NG			0.91***	0.23 NS	0.48**
NV				-0.17 NS	0.39 *
GV					0.22 NS

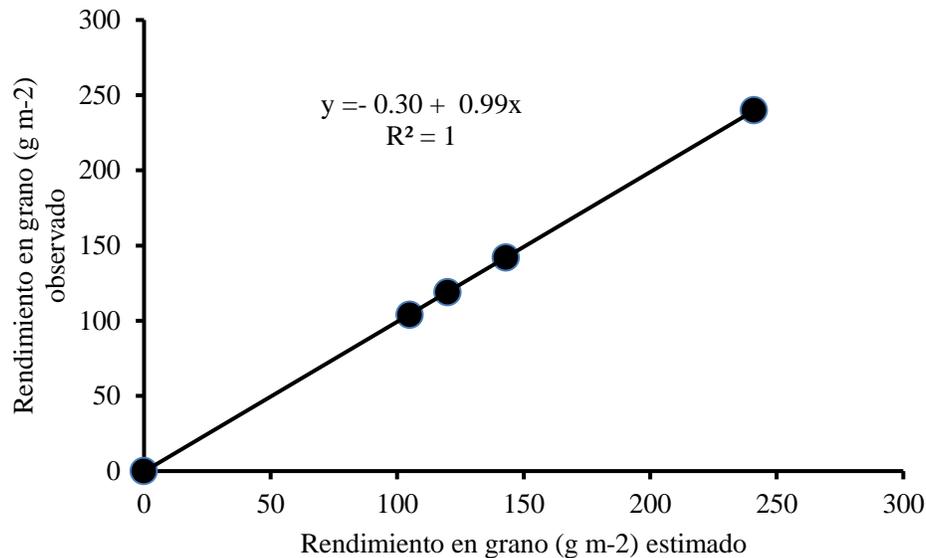
RG: rendimiento en grano; TG: tamaño del grano; NG: número granos; NV: vainas; GV: granos por vaina y RV: rendimiento por vaina. ***, **, * $P > 0.001, 0.01, 0.05$, respectivamente. NS = diferencias no significativas ($P > 0.05$)

2.2.5 Modelo que estima el rendimiento en grano en función de sus componentes morfológicos

En la búsqueda del mejor modelo de estimación del RG en función de sus componentes morfológicos, se encontró que NV, NG y TG fueron los componentes del modelo aditivo para lograr una mejor estimación del RG. Así, el modelo fue $RG = 15.8 \text{ TG} + 0.73 \text{ NG} + 0.22 \text{ NV}$; con $R^2 = 0.99***$.

El Gráfico 2.3, presenta la ecuación lineal que describe la relación entre el RG estimado y el observado, con un error de estimación mínimo.

Gráfico 2.3 Rendimiento observado en función del rendimiento estimado mediante el modelo $RG = 15.8 TG + 0.73 NG + 0.22 NV$; $R^2 = 0.99$ en Ayocote (*Phaseolus vulgaris* L.). Montecillo Mpio.de Texcoco, Estado de México, México. Verano 2015



Finalmente, estos resultados indican que para buscar incrementos en el RG del Ayocote en espaldera tipo “tripie”, se requiere conocer la distribución en el dosel, de los componentes con mayor relación con el RG como el NG y NV y así generar las estrategias para incrementar su magnitud en los estratos en donde el número de éstos es más bajo.

2.3 Conclusiones

El rendimiento en grano, el número de granos y número de vainas son más altos en los estratos inferiores y disminuyen hacia la parte superior del dosel vegetal. El patrón de distribución se ajusta a un modelo de tipo potencial. La radiación interceptada por el dosel presenta un comportamiento semejante. El modelo que mejor estima el rendimiento en grano de Ayocote es de tipo lineal que involucra como componentes al número de vainas, número de granos y el tamaño del grano.

2.4 Referencias

Acosta-Santoyo G., López Martínez F.J, Mendiola Olaya E., Blanco Labra A. y García-Gasca T.(2007). Efecto de una lectina de ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) sobre la sobrevivencia y proliferación de células transformadas. http://www.uaq.mx/investigacion/difusion/veranos/memorias-2007/1_9UAQAcosta-Santoyo.pdf

Ayala Garay, Oscar Javier; Pichardo González, Juan Manuel; Estrada Gómez, Julio Arturo; Carrillo Salazar José Alfredo y Hernández Livera Adrián.(2006). “Rendimiento y calidad de semilla de frijol ayocote en el Valle de México” en Agricultura Técnica en México, 32 (3): 313-321.

Castillo Mendoza, Mónica; Ramírez Vallejo, Porfirio; Castillo González, Fernando y Miranda Colín Salvador. (2006). Diversidad morfológica de poblaciones nativas de frijol común y frijol ayocote del oriente del Estado de México” en *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29: 111-120.

Escalante Estrada José Alberto Salvador, Rodríguez González María Teresa y Escalante Estrada Yolanda Isabel. (2014). Análisis de crecimiento de *Phaseolus vulgaris* L. y *Phaseolus coccineus* L. en suelo alcalino. pág.17-23. En: aportaciones en Matemática y Química. Daniel Sepúlveda J. Francisco Pérez Soto, Esther Figueroa Hernández (Editores). Universidad Autónoma de Chapingo. ISBN: 978-607-12-0353-3.

Escalante-Estrada J.A.S., Rodríguez González M.T. y Escalante Estrada Y.I. (2015a). Rendimiento y Eficiencia en el uso del agua de *Phaseolus coccineus* L. con hileras intercaladas de *P. vulgaris*.L.pp:565-566.en: López-Reynoso, J.J.; Martínez-Solís, J.; Magaña-Lira, N.(eds). Memoria del III congreso Internacional y XVII Congreso Nacional de Ciencias agronómicas Chapingo, Estado de México. México.

Escalante-Estrada José Alberto Salvador, Rodríguez-González María Teresa, Ramón-Díaz Ruiz, Rojas-Victoria Néstor y Escalante-Estrada Yolanda Isabel. (2015 b). Rendimiento de ayocote en espaldera viva de maíz y girasol. Agricultura sostenible. Armonía entre el hombre y la naturaleza. Universidad Autónoma de Aguascalientes. Juan Antonio Villanueva Jiménez y Ramón Jarquín Gálvez (Coord.)ISBN 978-607-8359-94-3.

Escalante Estrada J. Alberto S., R. Díaz Ruiz, Ma. Teresa Rodríguez González y M. Nieves Cante. (2010).Biomasa, índice de cosecha, rendimiento y componentes de accesiones de ayocote. pp:335-339. En: Foro regional de Agricultura sostenible. Editores: Ramón Díaz Ruiz, Jesús Felipe Alvarez Gaxiola y Arturo Huerta de la Peña. Colegio de Postgraduados .Campus Puebla. México.ISBN:978-968-839-580-6.

Escalante Estrada, J.A.S. and Kohashi Shibata, J. (1983). Seed yield and its components in pole beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in three types of trellises. Annual Report Bean Improvement Cooperative. Vol. 26: 75-76.

Escalante, E. J. A. S. y Kohashi S. J. (2015). El rendimiento y crecimiento de frijol. Manual para toma de datos. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 84 p.

Grant, G., More L.J.; McKenzie, N.H.; Dorward, P.M.; Stewart, J.C.; Telek, L. y Pusztai. (1991). A survey of the nutritional and haemagglutination properties of several tropical seeds. Livestock Research for Rural Development, 3:3.

González de Mejía E. y Prisecaru V.I. (2005). Lectins as Bioactive Plant Proteins: A Potential in Cancer Treatment. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 45:425-445.

López Martínez J. (2007). Efecto *in vitro* de una lectina de frijol tépari sobre células de cáncer de colon humano. Tesis para obtener el grado de Licenciado en Biología. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Autónoma de Querétaro. 32-43.

Miranda Colín, Salvador. (1990), Identificación de las especies cultivadas del género *Phaseolus*. Colegio de Postgraduados.Centro de Genética. México.

Ortega Delgado María Luisa y Consuelo Rodríguez Coquiez.(1979).Estudio de carbohidratos en variedades mexicanas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L. y *Phaseolus coccineus* L.). Agrocencia 37:33-49.

Pérez H. P., Esquivel E. G., Rosales S. R., Acosta-Gallegos J. A. (2002), “Caracterización física, culinaria y nutricional de frijol del altiplano subhúmedo de México” en Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 52 (2): 172-180.

Ramírez-Pérez, Ana Rosa y Díaz-Ruiz, Ramón (2009), “Descripción de variedades criollas de ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) mediante caracteres de la semilla” en Pérez Vázquez, Arturo (ed), Agricultura sostenible: Obligada ante los retos, Colegio de Postgraduados, Sociedad Mexicana de Agricultura Sostenible. México.

Rojas Victoria N.J., Escalante Estrada J.A.S.; Rodríguez González M. T. (2015) Biomass and yield of runner bean (*Phaseolus coccineus* L.) in association with maize. Ann. Rep. Bean. Improv. Coop. No. 58:129-130.

Teniente-Martínez G. A, González Cruz L.A, Cariño-Cortés R. B , Bernardino-Nicanor A. (2016). Caracterización de las proteínas del frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.). Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Vol. 1, No. 1 1-6.

Sistema Web para la generación de filogenias en base a caracteres homólogos

LÓPEZ, Benito, AYALA, Joel, LUGO, Oziel y ZARCO, Alfonso

B. López, J. Ayala, O. Lugo y A. Zarco

Universidad Autónoma del estado de México, Centro Universitario Texcoco, Alumno de la maestría en Ciencias de la Computación; Av. Jardín Zumpango s/n Fracc. El Tejocote, Texcoco, Estado de México.
b.samuellopez7@gmail.com

F. Pérez, D. Sepúlveda, R. Salazar, D. Sepúlveda (eds.) Ciencias Matemáticas aplicadas a la Agronomía. Handbook T-I.-
©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

Abstract

When we talk about phylogenetic trees is important to know the best Techniques to find and obtain better cladograms based on Homologous characters. For this reason, another technique to reconstruct cladograms is been proposed. We propose an algorithm belonging to the field of conglomerates that is call LinkAge simple and another one that is call Hennig used in a classic way to reconstruct phylogenetic trees.

3 Introducción

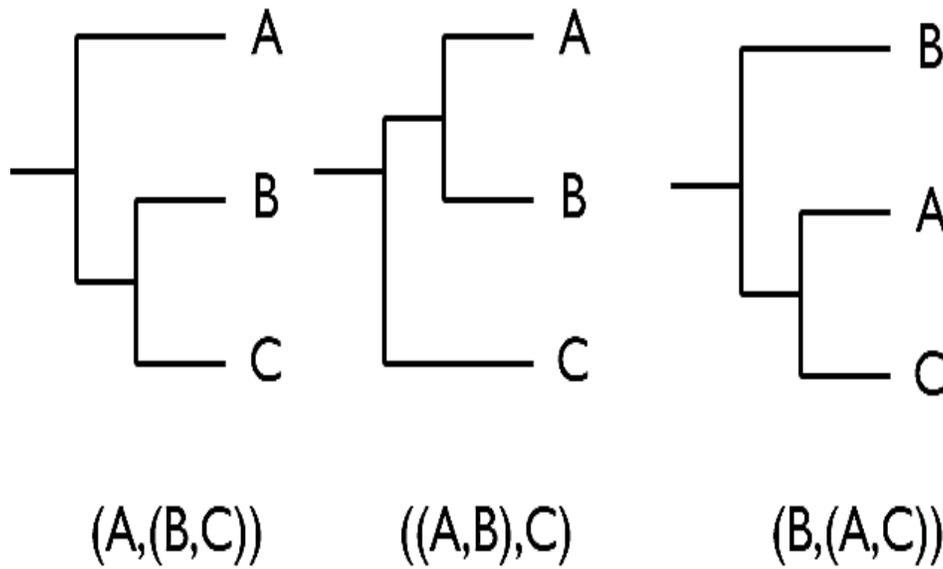
La reconstrucción de relaciones ancestrales es uno de los aspectos más importantes en el estudio de la evolución de las especies dentro de la entomología, la reconstrucción se basa en características específicas y la forma en que participan para lograr este fin. Las características se pueden trabajar de dos formas: podemos trabajar en base a datos representados como secuencias de ADN; o con características homologas que son representadas en la matriz de características como ceros (ausencia) y unos (presencia). Para cumplir con los objetivos de este trabajo se han tomado como base las características homologas. Mediante el análisis filogenético puede medirse la similaridad entre un conjunto de especies, cuales son menos parecidos entre si y poder conocer cuales caracteres son los que aportan más información. Es por esta razón que las técnicas para la reconstrucción se dividen en: basados en distancias, y basados en caracteres por criterio de optimización.

El número de árboles filogenéticos que van a resultar dentro de un análisis filogenético puede ser calculado en base al número de características que participaran en este proceso. Es por esto que se deben crear métodos basados en heurísticas que nos ayudaran a acotar el número de posibles soluciones. En este trabajo se presenta una aplicación web para la reconstrucción de árboles filogenéticos, que a diferencia de otras aplicaciones, ésta es gratuita y está disponible en la red para apoyo y consulta. Se programaron dos algoritmos para el desarrollo de árboles filogenéticos: El algoritmo de Hennig (Lipscomb, 1998) (siendo éste aún un clásico en el mundo de la Entomología) y el algoritmo por conglomerados (una propuesta reciente en el cual muestra un algoritmo menos complejo de programar con resultados similares) (Lopez Razo, Ayala de la Vega, Lugo Espinoza, & Napoles Romero , 2016). Se empleó el lenguaje Java para el back end (toda la parte algorítmica y de graficación). El front end fue desarrollado en lenguaje HTML y con CSS. Para la interface con Java se utilizó JavaScript. Para la recolección de los datos se empleó el lenguaje PHP.

3.1 Marco teórico

3.1.1 Intratabilidad

Como se mencionó en la introducción, el número de árboles filogenéticos depende completamente en el número de especies seleccionadas por participar. Por ejemplo, si hablamos de 3 especies (A, B, C), pueden existir 3 árboles con raíz y uno sin raíz (ver Figura 3).

Figura 3 Árboles con 3 taxones

Fuente: (Tato Gomez , 2011)

Según (Rodríguez Catalán, 2001) el número posible de árboles enraizados para n taxones puede ser calculada en base a la ecuación 3:

$$N_r = \frac{(2n-3)!}{2^{n-2}(n-2)!} \quad \text{Para } n > 2 \quad (3)$$

Donde:

N_r es la cantidad de árboles con raíz.
 n es el número de taxones.

Y el número de árboles sin raíz se puede calcular mediante la ecuación 3.1:

$$N_u = \frac{(2n-5)!}{2^{n-3}(n-3)!} \quad \text{Para } n > 2 \quad (3.1)$$

Donde:

N_u es la cantidad de árboles sin raíz.
 n es el número de taxones que utiliza.

El número de posibles árboles enraizados para n taxones es igual al de los árboles sin raíz para $n-1$ taxones. Ambos números se incrementan a medida que n aumenta. De este modo, a partir de 12 especies se vuelve difícil cuantificar el número de árboles con y sin raíz que se pudieran obtener (debido a que es un problema intratable ya que el calcular todos los posibles árboles tiene un costo computacional temporal muy elevado). Por ejemplo, un año tiene 31 536 000 segundos, un procesador Pentium IV ejecuta 4'000,000 instrucciones por segundo, por lo que aproximadamente ejecuta $126\,144 \times 10^9$ instrucciones por año.

Suponiendo que en cada instrucción se realiza un árbol, y apoyándose de la tabla 3, para 20 especies se tardaría 65 011 380 años en mostrar todos los árboles y para 30 especies tardaría 3.925×10^{25} años (Tato Gomez , 2011).

Tabla 3 Cantidad de árboles dependiendo del número de especies

Especies	Numero de arboles
1	1
2	1
3	3
4	15
5	105
6	945
7	10395
8	135135
9	2027035
10	34459425
20	8200794532637891559375
30	49518×10^{38}

Fuente: (Tato Gomez , 2011)

De esta forma, cuando n es grande, el experto no puede analizar todos los árboles generados, ya que sólo uno de esos árboles representa correctamente la verdadera relación evolutiva. Por lo tanto, se utilizan heurísticas que permitan generar árboles cercanos al árbol correcto.

3.1.2 Hennig

La argumentación de Hennig considera la información de cada carácter, uno a la vez. Es decir, se detecta la presencia o ausencia de dicho carácter en cada uno de los grupos seleccionados. Un ejemplo de ello se ve a continuación en la Figura 3.1.

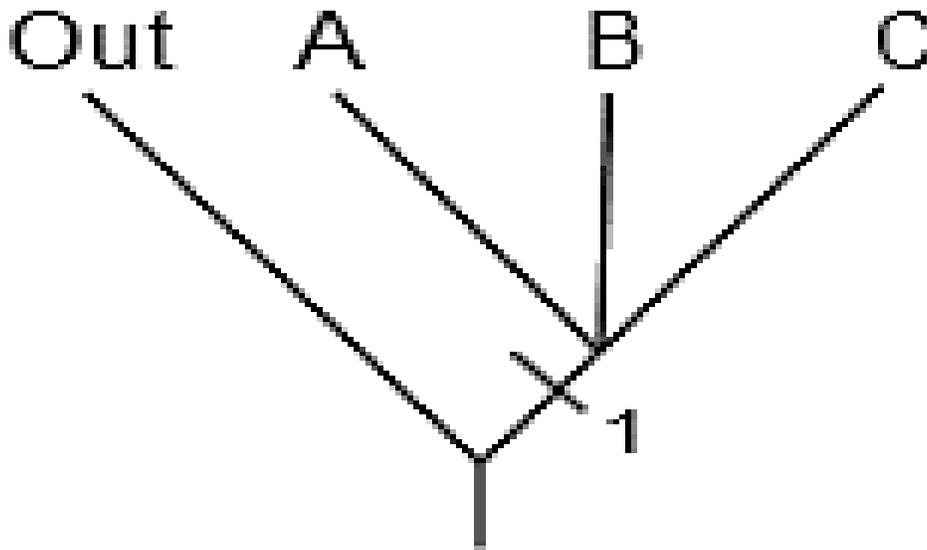
Figura 3.1 Matriz de Datos Hennig

Características					
	1	2	3	4	5
Outgroup	0	0	0	0	0
A	1	0	0	0	1
B	1	1	0	1	0
C	1	0	1	1	0

Fuente: (Lipscomb, 1998)

1.- El carácter 1 une los taxos (grupos) A, B y C porque ellos comparten el carácter apomorfico 1 (ver Figura 3.2).

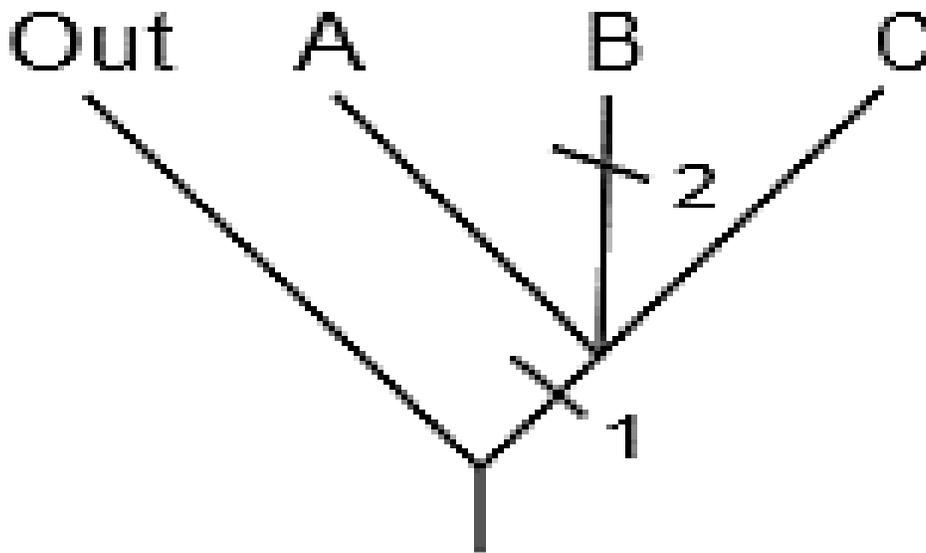
Figura 3.2 Árbol con el carácter 1



Fuente: (Lipscomb, 1998)

2.- Carácter 2 – el carácter derivado es encontrado solo en el taxón B, y no provee mucha información sobre las relaciones entre taxas (ver Figura 3.3).

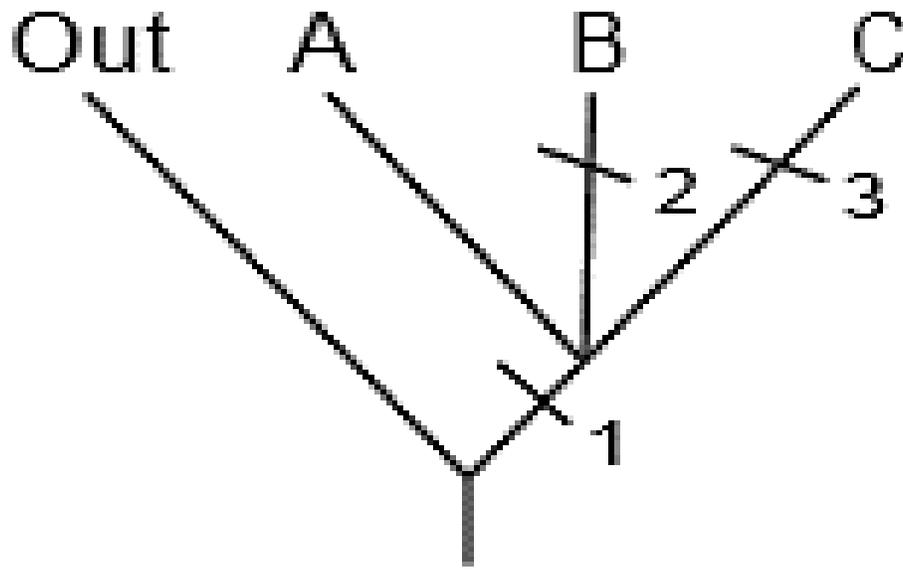
Figura 3.3 Árbol con el carácter 2



Fuente: (Lipscomb, 1998)

3.- Carácter 3 - el carácter derivado es autopomorífico para el grupo C (ver Figura 3.4).

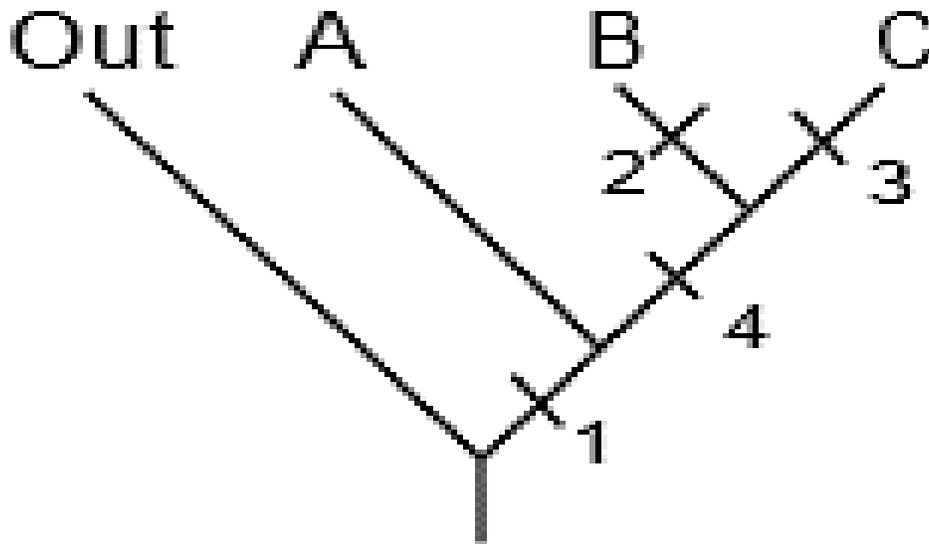
Figura 3.4 Árbol con el carácter 3



Fuente: (Lipscomb, 1998)

4.- Carácter 4 – el carácter derivado es sinapomorfico y une los taxos A y B (ver Figura 3.5)

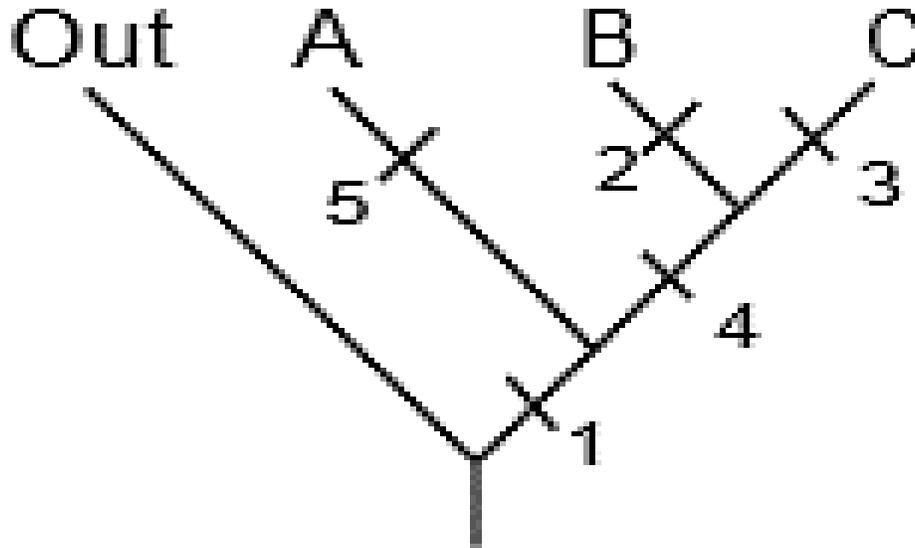
Figura 3.5 Árbol con el carácter 4



Fuente: (Lipscomb, 1998)

5.- Carácter 5 – El carácter derivado es un antropomórfico para el taxón A (ver Figura 3.6)

Figura 3.6 Árbol con el carácter 5



Fuente: (Lipscomb, 1998)

Las matrices de datos reales raramente son así de simples. Sin embargo, el concepto es el mismo.

3.1.3 Conglomerados

El Análisis Clúster o Análisis de Conglomerados, es una técnica estadística multivariante que busca agrupar o separar elementos o variables tratando de lograr la máxima homogeneidad en cada grupo y la mayor diferencia entre los grupos. Existen muchas técnicas para el uso de conglomerados sin embargo nos basaremos en los algoritmos jerárquicos acumulativos (forman grupos haciendo conglomerados cada vez más grandes), aunque no son los únicos posibles (Terrádez Gurrea).

Para poder unir variables o individuos es necesario tener algunas medidas numéricas que caractericen las relaciones entre las variables o los individuos. Cada medida refleja una asociación en un sentido particular y es necesario elegir una medida apropiada dependiendo del problema que se esté tratando.

Como cualquier algoritmo, es conveniente identificar los pasos que se requieren para efectuar el análisis. Los pasos dentro del análisis de conglomerados son:

1. Elección de variables.
2. Elección de las medidas de asociación.
3. Elección de la técnica de clúster.

Dentro del análisis filogenético que a continuación se presenta, la elección de variables ha sido determinada por un experto que avala la veracidad de la matriz de datos. La medida de asociación será calculada en base a la diferencia de valores que tendrán cada una de las características homólogas con respecto al conjunto de taxones que forman la matriz de datos. Estas diferencias serán calculadas y representadas en una matriz de distancias.

Algoritmo:

- Se comienza con una matriz con n taxones (matriz de datos) y con una matriz $n \times n$ de distancias $\Delta = (\delta_{ij})$ simétrica y con ceros en la diagonal.
- Se busca en la matriz de disimilaridades los grupos que tengan menor distancia entre sí (el par de grupos más próximos). Sean U y V los grupos más próximos, y $d(UV)$ su distancia.
- Se unen los grupos U y V , y se etiqueta el nuevo grupo como (UV) . Se actualiza la matriz de disimilaridades, de la siguiente forma:

a) Se borran las filas y columnas correspondientes a los grupos U y V .

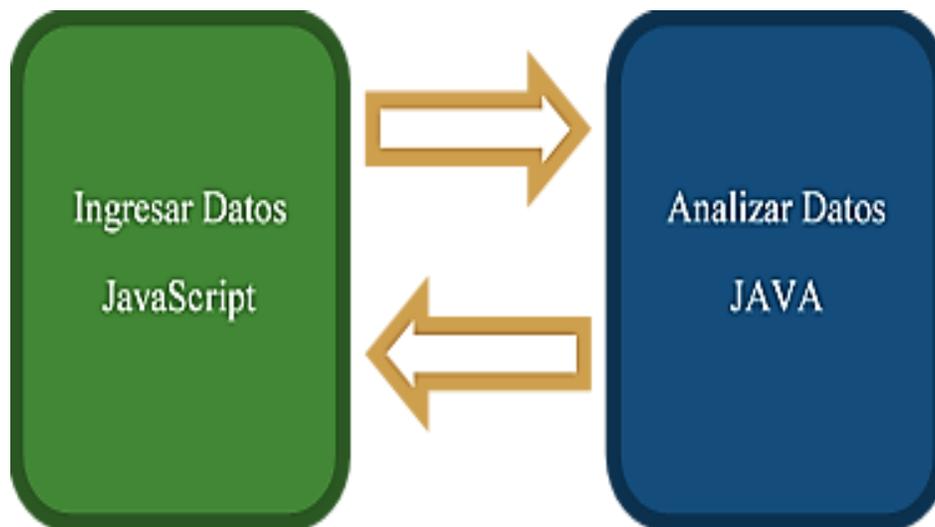
b) Se añade una fila y una columna con las distancias entre el grupo (UV) y los grupos restantes.

Repetir los pasos 2 y 3, $n - 1$ veces. Al final, todas las unidades estarán incluidas en un único grupo y las etiquetas de los grupos que se han unido, así como las distancias con las que se unieron (Hernández, 2011).

3.2 Materiales y métodos

La aplicación realiza el análisis de datos mediante la ejecución de un script de JavaScript instanciado por el usuario. JavaScript inicialmente fue desarrollado por la empresa Netscape en 1995 con el nombre de LiveScript. Posteriormente pasó a llamarse JavaScript quizás tratando de aprovechar que Java era un lenguaje de programación de gran popularidad y que un nombre similar podía hacer que el nuevo lenguaje fuera atractivo. JavaScript, a diferencia de Java, se ejecuta directamente en el navegador y es por esto que nos da una forma más eficiente de manipulación de datos. En la figura 3.7, que se muestra a continuación, se observan las dos principales tareas a realizar con JavaScript y la interacción entre sí.

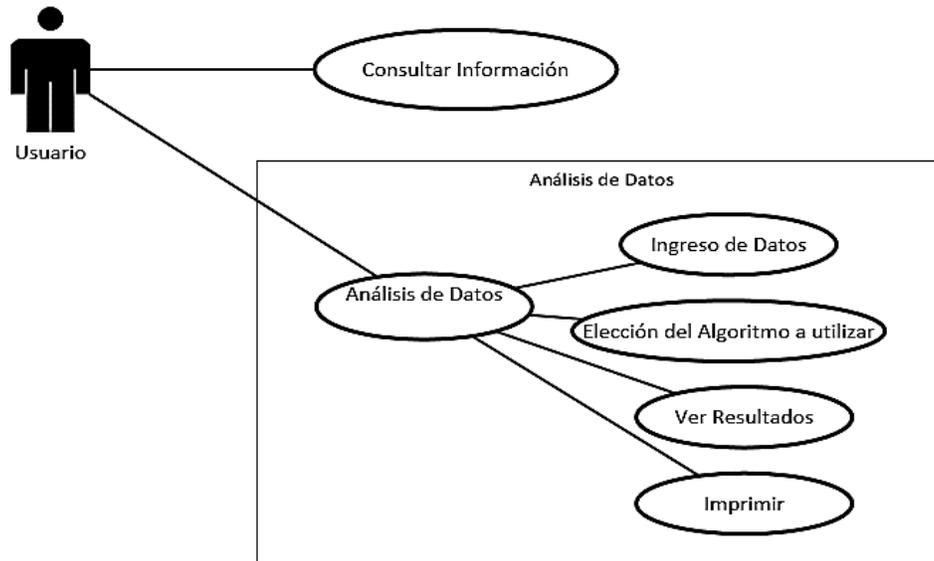
Figura 3.7 Uso principal de Java y JavaScript



El sistema se desarrolló utilizando la plataforma IDE Netbeans 8.1 y se realizaron pruebas utilizando el navegador Google Chrome. Sin embargo, está disponible para los diferentes navegadores como Mozilla Firefox o Microsoft Edge.

La aplicación Web supone que el usuario cuenta con un grupo de estudio particular para poder ingresar dicha información dentro de una matriz (considerada matriz de datos). La aplicación no está acotada a un grupo determinado de especies ni a un conjunto específico de datos, es por esto que los datos a analizar deben ser validados para poder obtener resultados aceptables (ver figura 3.8). Dichas acciones son observables en la figura 10 UML (Booch & Rumbaugh).

Figura 3.8 Diagrama UML de casos de uso



Una vez que los datos han sido introducidos, el algoritmo escogido entra en acción. En la figura 3.9 se muestra el seudocódigo del algoritmo de Hennig.

Figura 3.9 Seudocódigo Hennig

```

Algoritmo [sin_titulo]
+ Obtener matriz de Datos
+ Recorrer matriz de datos
+ Buscar característica con mayor incidencia
+ Copiar columna en nueva matriz
+ Terminar de recorrer matriz de datos
+ Recorrer matriz de columnas ordenadas
+ Buscar grupo (fila) con mayor número de características
+ Copiar fila a nueva matriz
+ Terminar de recorrer matriz ordenada por columnas
+ Recorrer matriz ordenada por columnas y filas
+ Identificar que grupos se unen con cada característica
+ Guardar grupos en Array
+ Terminar de recorrer matriz ordenada por columnas y filas
+ Recorrer array de grupos
+ Si array[i] = array[i+1] Entonces
+   Graficar solo una vez dicho grupo
+   Sino Graficar ambos grupos
+   Terminar de recorrer array
+ acciones por falso
Fin Si
FinAlgoritmo
  
```

Como se observa en la figura 3.9, el algoritmo programado requiere tres ciclos. Cada ciclo contiene anidados dos ciclos para poder recorrer la matriz ($A (n^3) + B (n^3) + C (n^3)$). Por lo que la complejidad es $O (n^3)$ Como se observa en la figura 3.10, Para recorrer la matriz se requieren dos ciclos anidados, por lo que el algoritmo tiene una complejidad $O (n^3)$.

Figura 3.9 Seudocódigo Simple Linkage

```

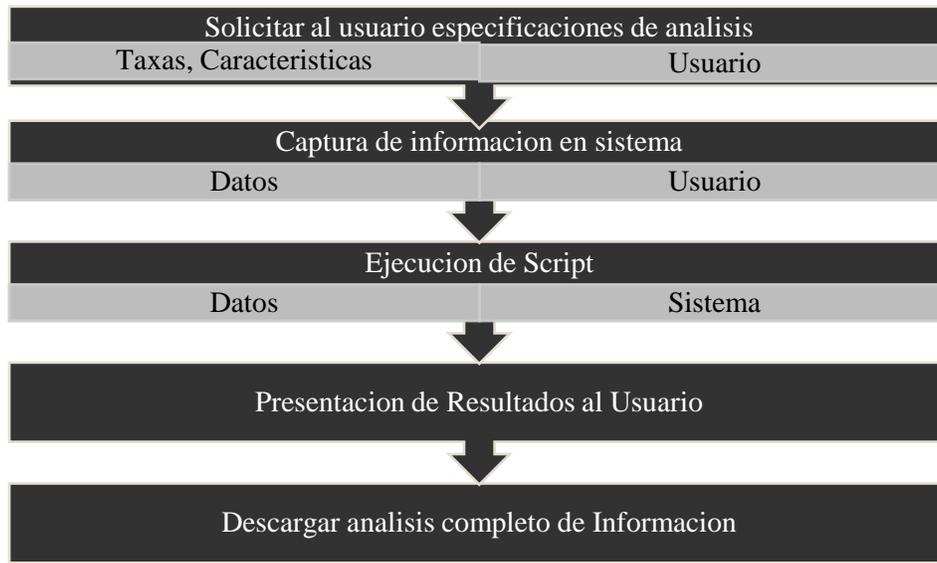
Algoritmo sin_titulo
  Leer matriz de datos
  Mientras expresion_logica Hacer
+   Calcular matriz de distancias
+   recorrer matriz de distancias [filas][columnas]
+   min=Buscar el valor mínimo()
+   if matriz de distancias [filas][columnas] es igual min
      Grupo1 = fila
      Grupo2 =columna
+   Termina if
+   Termina ciclo
+   Unir grupo1 y grupo2
+   Actualizar la matriz de datos
+   While (matriz de datos > 2)
  Fin Mientras
FinAlgoritmo

```

Dentro del concepto de complejidad, es observable que ambos poseen una complejidad de $O (n^3)$, sin embargo son completamente diferentes al momento de ser programados, especialmente en las funciones de graficación. Simple Linkage vincula un grupo a la vez en cada iteración del análisis mientras que Hennig agrupa o separa especies en base a cada carácter que participa dentro de las iteraciones correspondientes.

Esto produce que Hennig sea mucho más compleja su programación tanto en la algorítmica como en su graficación

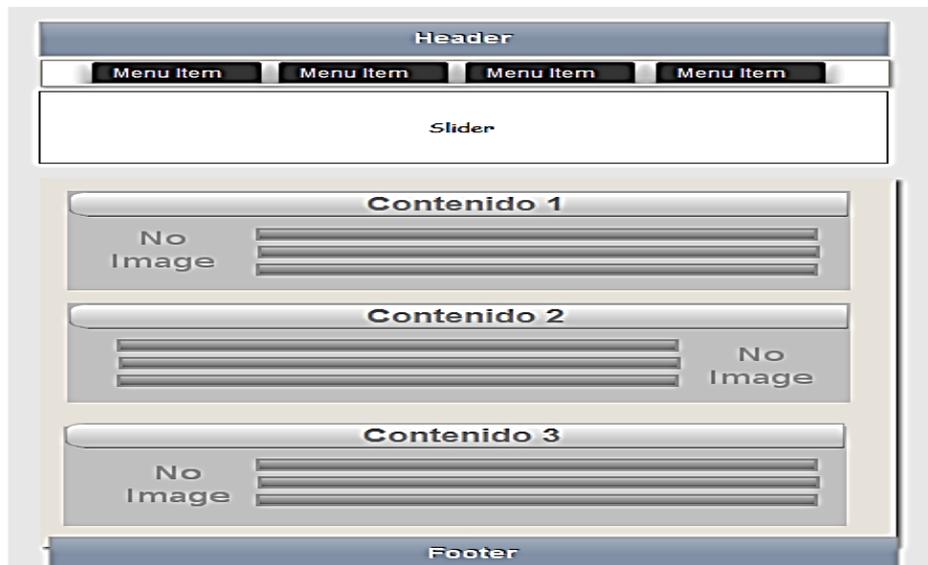
El funcionamiento general del sistema web está basado con la idea de que el usuario ya cuenta con la matriz de datos que se quiere trabajar. Teniendo la matriz de datos la forma en que se trabaja se muestra en la Figura 3.10.

Figura 3.10 Funcionamiento general del Sistema WEB

Una vez terminado el análisis, el reporte final de los datos podrá ser analizado por el usuario sin necesidad de tener que ingresar al sistema nuevamente ya que toda la información final será presentada en un documento con formato PDF.

3.3 Diseño del Sitio Web

El maquetado de la página principal del Sitio Web se muestra en la figura 3.11. Dentro de la página principal se busca tener una distribución óptima y un diseño que permita la facilidad en la navegación.

Figura 3.11 Maquetado Principal del Sitio Web

Se cuenta con una página exclusiva para poder introducir los datos de la matriz de características. El maquetado de la página para el análisis puede verse en la Figura 3.12. Dentro de esta página se puede indicar el número de especies, características y especificar los estados que presentan las características en cada especie. Una vez ingresada toda la información podemos esperar a que los resultados sean desplegados y poder obtener el informe final de las características y los cladogramas.

Figura 3.12 Página de Análisis

3.4 Conclusiones

El avance tecnológico y el acceso a medios electrónicos y digitales han incrementado la posibilidad de compartir información y conocimiento al poder desarrollar aplicaciones específicas para darle solución a un problema real. Los sitios Web son una poderosa herramienta ya que nos brindan acceso a dichos sitios Web únicamente teniendo una conexión a internet y un navegador web actualizado. Dentro del campo entomológico, el estudio de las relaciones ancestrales entre especies es un pilar importante al momento de querer hacer un análisis de un grupo en común, y es por esta razón que la aplicación descrita anteriormente le permite al usuario reconstruir dichas relaciones de una forma sencilla y con una interfaz fácil para el usuario. La complejidad de los algoritmos mencionados relativamente es similar ya que ambos poseen una complejidad de n^3 . Sin embargo, en la programación de los algoritmos y su graficación, simple linkage permite una programación mucho más ágil.

3.5 Referencias

Booch, G., & Rumbaugh, J. (s.f.). *El lenguaje Unificado de Modelado*. Recuperado el 7 de Julio de 2016, de elvex.ugr.es: <http://elvex.ugr.es/decsai/java/pdf/3E-UML.pdf>

Hernández, S. d. (2011). *Análisis de Conglomerados*. Madrid, España: Universidad Autonoma de Madrid.

Lipscomb, D. (1998). *Basics of Cladistic Analysis*. Washington D. C.: George Washington University.

Lopez Razo, B. S., Ayala de la Vega, J., Lugo Espinoza, O., & Napoles Romero, J. (2016). Cluster Analysis as a methodology within Phylogenetic Systematics to Construct Phylogenetic Trees. *International Journal of Modern Engineering Research*, 15.

Rodríguez Catalán, P. (Septiembre de 2001). *Anàlisis Filogenètics*. Recuperado el 05 de Septiembre de 2015, de http://www.academia.edu/3578130/AN%C3%81LISIS_FILOGEN%C3%89TICOS

Tato Gomez, A. (2011). *Grupo de Bioinformática de la Facultad de Matemáticas*. Recuperado el 04 de Octubre de 2015, de <http://mathgene.usc.es/cursoverano/cv2005/materiales/filogenia/filogenia1.pdf>

Terrádez Gurrea, M. (s.f.). <http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Cluster.pdf>. Recuperado el 07 de Julio de 2016, de <http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Cluster.pdf>.

Control de caos en modelos económicos

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 Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México - Texcoco Km. 38.5, 56230 Texcoco de Mora, Méx.

``División de Ciencias Económico-administrativas de la Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México - Texcoco Km. 38.5, 56230 Texcoco de Mora, Méx.

````Liceo, Universidad Pedro de Gante

sepjim700@yahoo.com.mx

F. Pérez, D. Sepúlveda, R. Salazar, D. Sepúlveda (eds.) Ciencias Matemáticas aplicadas a la Agronomía. Handbook T-I.- ©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

## Abstract

An economic system that exhibits chaotic behavior can be stabilized with the use of a hard control or limiter control. In this paper this procedure is used to control the chaos in two models of economic growth Solow type, to show control of this complex behavior are developed the graphic branch corresponding to different values of the upper threshold controller. Control of chaos in the economic model of Benhabib and Day for the model of overlapping generations are also shown.

## 4 Introducción

El estudio de sistemas no lineales que presentan fenómenos dinámicos complejos como bifurcaciones y caos, ha producido en los últimos años un número importante de contribuciones de todas las áreas de la ciencia no lineal. Muchas investigaciones se han desarrollado esencialmente en relación con el análisis de dichos sistemas complejos, sin embargo, recientemente mucha atención se ha dirigido hacia el problema relacionado con el control del caos. En esta dirección los enfoques proceden de diversos campos científicos y además la técnica específica que se emplea está en concordancia con los objetivos y limitaciones planteados por el sistema a analizar. El objetivo habitual que se persigue es que los comportamientos complejos y caóticos deben de ser controlados, llevando el sistema a regímenes más regulares.

Las contribuciones relativas a la supresión general del caos pueden dividirse en dos grandes grupos: en el primero se consideran los sistemas caóticos específicos, mientras que en la segunda clase los sistemas que son el objeto de estudio, se consideran en función de los parámetros. El primero enfoque establece una meta cuantitativa en el espacio de estados, como un punto de equilibrio o un ciclo límite o alguna trayectoria dada y se trata de llevar el sistema a esta dinámica por medio de controles adecuados, en esta dirección se han obtenido resultados importantes con controles pequeños. La mayoría de estos métodos están relacionados con el algoritmo propuesto por Ott, Grebogi y Yorke (OGY), (Ott y col, 1990) y con algunas modificaciones como lo propone Dressler y Nitsche (Dressler y Nitsche, 1992).

Un número más pequeño de las contribuciones se puede considerar como perteneciente a la segunda forma de controlar el caos, en este caso, el objeto en estudio es una clase de sistemas dinámicos, que depende de los parámetros y globalmente se estudian en el espacio de parámetros de estado, ahora, el objetivo de alcanzar es esencialmente cualitativo, normalmente bifurcaciones que aparecen en el sistema original se retrasan con el fin de aumentar la gama de valores de los parámetros para los que el sistema exhibe movimientos regulares. En particular, Abed y colaboradores, (Abed y col, 1992) conducen a este resultado mediante una dinámica de control de retroalimentación lineal (filtro de lavado). Hyötyniemi (Hyötyniemi, 1991) utiliza un controlador robusto con el fin de estabilizar adecuadamente la bifurcación siempre que se produzca.

El caos es a veces indeseable. En muchos casos, queremos evitar y eliminar tales comportamientos. Recientemente hay numerosas técnicas para controlar el caos, además del método presentado por Ott y colaboradores, el control activo, Bai y Lonngren (Bai y Lonngren, 2000), el control basado en el observador, Yang y Chen (Yang y Chen, 2002), retroalimentación y no de retroalimentación del control Yassen y también por Agiza (Yassen, 2003; Agiza, 2002), control óptima inverso Sanchez y colaboradores, (Sanchez y col., 2002), el control adaptativo Yassen y Liao y Lin (Yassen, 2001; Liao y Lin, 1999).

El descubrimiento de nuevos resultados fundamentales en dinámica no lineal y su rápida difusión han proporcionado a la economía herramientas de análisis y el enfoque necesario para abordar con mayor rigor matemático algunos de los difíciles problemas relacionados con la inestabilidad y las fluctuaciones. Existe un consenso amplio entre los economistas acerca de la enorme dificultad presente a la hora de explicar los ciclos económicos, de hecho, a lo largo de los dos últimos siglos se han propuesto multitud de modelos que intentan describir este comportamiento. La teoría del caos y la complejidad a través de un conocimiento profundo de conceptos tales como los atractores, la dinámica caótica, la dimensión fractal, los exponentes de Lyapunov, etc., así como de su aplicación a la investigación analítica y numérica de los modelos de dinámica económica y las series temporales, constituye un vínculo esencial en una cadena de progreso científico que va más allá del simple estudio de las fluctuaciones. Las nuevas realidades exigen un nuevo enfoque metodológico en el que el mundo y la organización económica ya no sean considerados bajo el aspecto del orden y en el que desaparezca la predictibilidad del sistema. Está generalmente aceptado que muchos procesos evolutivos de los sistemas económicos debe ser descrito por las ecuaciones no lineales (Haag,1990; Weidlich, 1991; Weidlich y Braun, 1992; Mosekilde y Thomsen, 1992; Lorenz,1993; Haag, y Hilliges T., 1993). Sin embargo, un rasgo característico de modelos no lineales es la posible aparición de caos determinista. Esto significa que aunque las ecuaciones constitutivas de movimiento son deterministas, sus soluciones pueden presentar una estructura caótica, es decir no periódica (Chen,1988; Mosekilde y Larsen, 1988; Haag,1992; Puu,1992; Feichtinger 1992). La observación de las series temporales de la economía siempre sugiere la presencia de estocasticidad y elementos caóticos en las interacciones y las decisiones de los agentes del mercado. Por lo tanto, los empresarios u otros tomadores de decisiones en el sistema económico pueden enfrentarse a la difícil tarea de tratar con un sistema económico que se comporta de una manera impredecible. Existen varias causas para la imprevisibilidad:

En primer lugar, puede ocurrir que un sistema económico se comporte regularmente perturbado por variables exógenas estocásticas y choques aleatorios. Estas influencias son, por supuesto, no predecibles ya que son causadas por una variedad de factores externos y como consecuencia, se puede provocar que el sistema presente una dinámica compleja con aparición de caos.

En segundo lugar, la dinámica caótica de un sistema económico puede ser generada por la dinámica no lineal de variables endógenas, sin ninguna influencia externa. Este es el caso de caos determinista. A partir de lo anteriormente expuesto es posible concluir que el control del caos es esencial en el conocimiento y análisis de los sistemas no lineales y en particular en la modelación de sistemas económicos que presenten dinámica compleja y caos.

#### **4.1 Metodología**

En este trabajo se usa el control limitador o control duro para eliminar el caos clásico en el modelo logístico, en el modelo de Benhabid y Day, “modelo de generaciones que se traslapan” y en el modelo de Solow. Se describen brevemente cada uno de los modelos económicos, se elaboran las gráficas de bifurcación cuando no hay control de caos y posteriormente se muestra el control de caos aplicando un control duro en el umbral superior para cada uno de los modelos analizados, se presentan los resultados obtenidos y se exponen las conclusiones respectivas.

## 4.1.1 Desarrollo de los modelos y control de caos

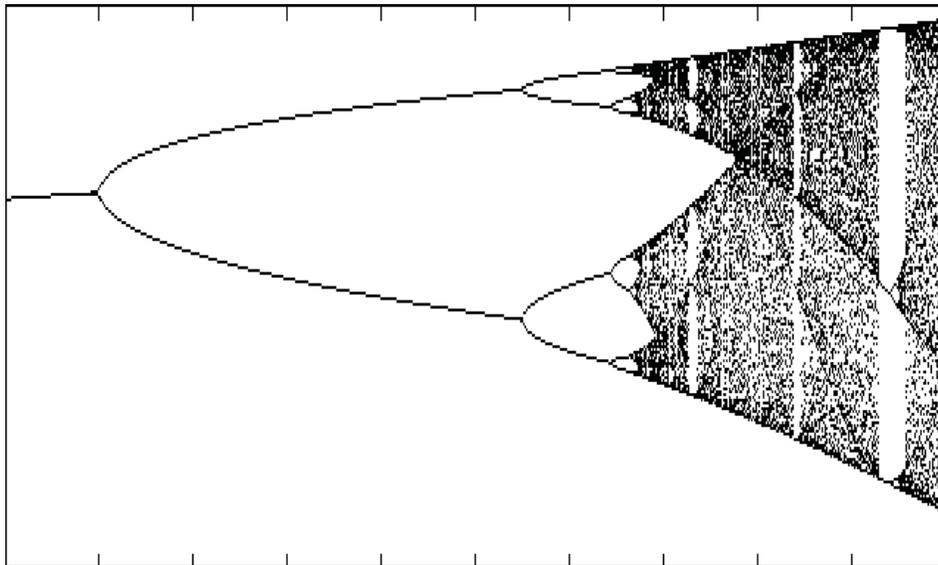
### 4.1.1.1 El modelo logístico y su control limitador

Sea  $x_t$  la densidad o abundancia de una población en un día, mes o año, generación o unidad de tiempo,  $t \in \mathbb{N}$ . Entonces la ecuación que gobierna la densidad de la población o el crecimiento de la población está dada por la ecuación:

$$x_{t+1} = f(x_t) = rx_t(1 - x_t); \quad x \in [0, 1], r \in [0, 4] \quad (4)$$

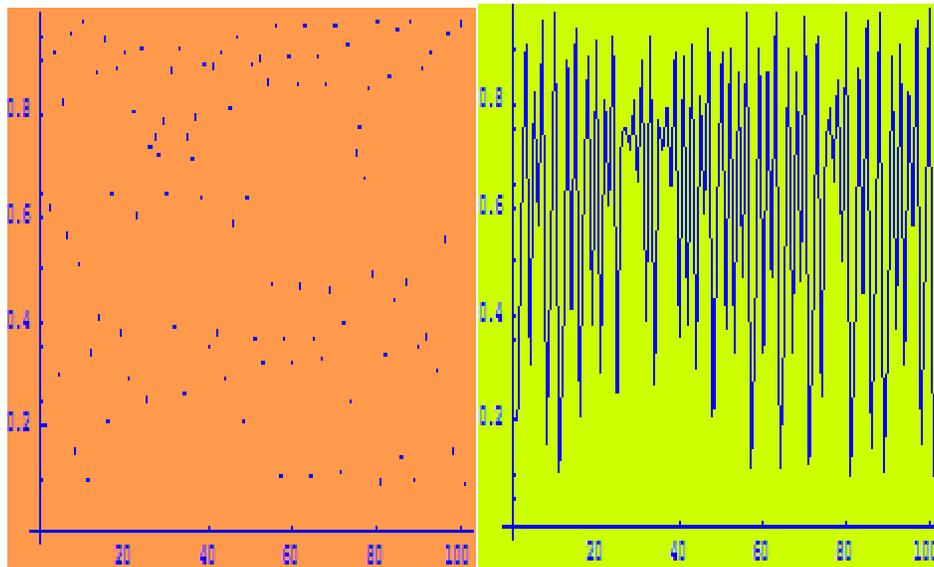
Esta ecuación representa un sistema dinámico discreto en una dimensión, su espacio de fase es el intervalo  $[0, 1]$ . El parámetro  $r$  gobierna el comportamiento del sistema, el cambio del valor de  $r$  hará que la ecuación tenga distintos tipos de comportamiento. Cuando  $r \in [0, 3]$ , el atractor es un punto fijo diferente de cero  $x_0 = 1 - \frac{1}{r}$ , si  $r \in [3, 1 + \sqrt{6}]$ , el punto fijo se torna inestable y el atractor es una órbita de periodo 2, finalmente cuando  $r \in (1 + \sqrt{6}, 4]$ , la ecuación tiene infinitos puntos periódicos inestables y las soluciones no convergen a ninguna órbita estacionaria o periódica. El equilibrio dinámico es un atractor extraño y el sistema se encuentra en un régimen caótico. En el Gráfico 4 se presenta el diagrama de bifurcación para el modelo logístico, en el eje vertical se encuentra el valor de  $x \in [0, 1]$  y en el horizontal el valor de  $r \in [2, 4]$ , en el Gráfico 4.1 se muestra la trayectoria para  $r = 3.9$ ,  $x_0 = 0.2$  para 100 iteraciones.

**Gráfico 4** Bifurcación del parámetro  $r$ ,  $r \in [2, 4]$ ,  $x \in [0, 1]$



Fuente: Elaboración de los autores

**Gráfico 4.1** Trayectoria de la función logística para  $r = 3.9$ ,  $x_0 = .2$  y para 100 iteraciones



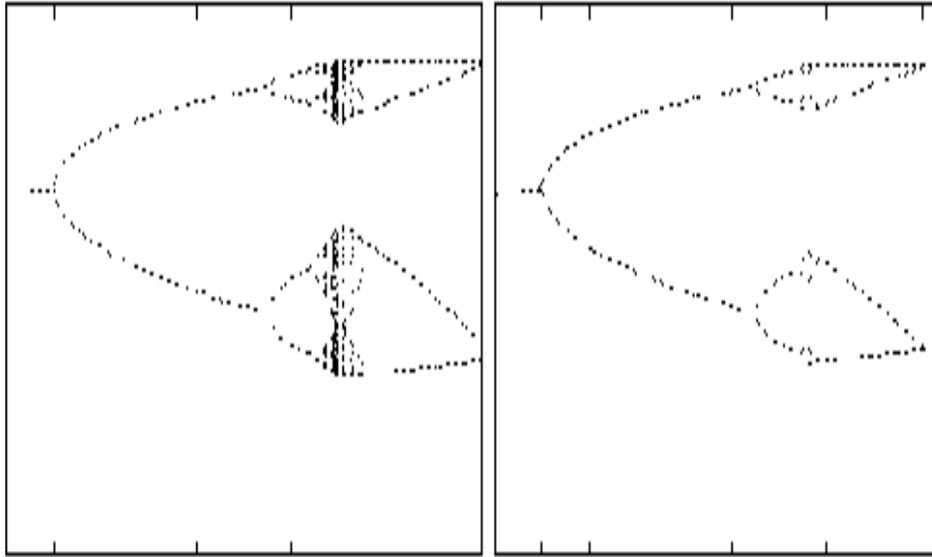
Fuente: Elaboración de los autores

Una forma de controlar el caos en este modelo es con la ayuda de un control limitador o control duro como umbral superior. Para aplicar un controlador para limitar el caos en el modelo logístico, la ecuación 4, se modifica de la manera siguiente:

$$f_c(x_t) = \min\{r(1-x_t)x_t, c\} \quad (4.1)$$

En esta ecuación  $c \in (0, 1)$ , el diagrama de bifurcación para diferentes valores del controlador  $c$  se muestra en el Gráfico 3.2, el comportamiento caótico ha sido forzado a una oscilación periódica con la desaparición de caos.

**Gráfico 4.2** Diagrama de bifurcación,  $r \in [2,4]$ ,  $x \in [0,1]$ , el controlador tiene los valores  $c=0.9$  y  $c=0.89$



Fuente: Elaboración de los autores

#### 4.1.2 El modelo de crecimiento económico de Solow y su control limitador

El Modelo de Crecimiento Económico de Robert M. Solow, (Solow R. M., 1956), fue elaborado a partir del Modelo de Domar, para demostrar que la trayectoria de crecimiento de dicho modelo puede no tender al equilibrio, si se cambia la función de producción que Domar utilizó en su análisis. Domar supuso una función de producción definida como  $f(k_t) = \rho K_t$ , lo cual significa que la producción depende sólo de las existencias de capital, o bien, que el trabajo está combinado con el capital en una proporción fija. En cambio, Solow planteó que el capital y el trabajo pueden combinarse en proporciones variables, de tal manera que la producción, a nivel macroeconómico, puede definirse en forma explícita como una función del capital y el trabajo. Es decir:  $f(k_t) = F(K_t, L_t)$ .

El modelo de crecimiento de Solow en tiempo discreto. Una versión detallada del modelo de Solow puede encontrarse en Palmisiani C. (Palmisiani C., 2008), aquí solo se expone brevemente. Considérese una economía de un solo bien, o sea una economía en la cual solamente un bien se produce y se consume, suponga además que el tiempo  $t$  es discreto. Se definen las siguientes variables:  $Y_t, K_t, C_t, I_t, L_t, S_t$ , las cuales respectivamente indican, el total de la producción o ingreso nacional, el capital disponible, el consumo, la inversión, la mano de obra o fuerza laboral y el ahorro. El capital y la fuerza laboral al tiempo  $t = 0$  están dados por:  $K_0, L_0$ . La constante  $s$  representa la propensión marginal al ahorro, mientras que la constante  $n$  representa la tasa de crecimiento de la fuerza de trabajo. Los supuestos del modelo son:

- 1.- Se produce un solo bien en la economía y para todos los tiempos  $t = 0,1,2, \dots$ , la economía está en equilibrio, esto es el total de la producción o ingreso nacional  $Y_t$  es igual al consumo  $C_t$  mas la inversión  $I_t$ :  $Y_t = C_t + I_t$ .
- 2.- La inversión en el tiempo  $t$  corresponde a todo el capital disponible producido en el tiempo  $t + 1$ :  $I_t = K_{t+1}$ .

3.- El ahorro es igual a la inversión y Los agentes económicos ahorran una fracción constante del ingreso:

$$S_t = I_t = sY_t, \quad (0 < s < 1)$$

4.- Para el tiempo  $t$  el ingreso que se genera se debe a la combinación de dos factores o insumos productivos: el capital y la mano de obra:  $Y_t = F(K_t, L_t)$

5.- La mano de obra crece como una progresión geométrica en la razón  $n$ :

$$L_t = (1 + n)^t L_0$$

De los supuestos 1 y 3 se tiene:  $Y_t = C_t + S_t$ , o  $I_t = S_t$ . Por lo que, aplicando los supuestos 2 y 3 se obtiene  $K_{t+1} = sY_t$ . Finalmente aplicando el supuesto 4 se obtiene  $K_{t+1} = sF(K_t, L_t)$ . A partir de esta expresión se obtiene  $K_{t+1}/L_{t+1} = sF(K_t, L_t)/L_{t+1}$ . Si  $F$  es lineal y homogénea (esto es  $F$  muestra retornos a escala constante),  $F(\lambda K, \lambda L) = \lambda F(K, L)$  para toda  $\lambda > 0$ . Con lo cual se tiene:

$$\frac{K_{t+1}}{L_{t+1}} = sL_t F\left(\frac{K_t}{L_t}, 1\right) / L_t (1 + n). \quad (4.2)$$

Si se define  $k_t = K_t/L_t$  como la razón de capital-labor o capital por trabajador y  $y_t = Y_t/L_t$  como la razón de ingreso-labor o ingreso por trabajador, entonces se puede obtener la función de producción en la forma intensiva:  $y_t = f(k_t) = f\left(\frac{K_t}{L_t}, 1\right)$ , por lo tanto se obtiene la función de acumulación para el modelo de Solow en tiempo discreto:

$$k_{t+1} = sf(k_t)/(1 + n) \quad (4.3)$$

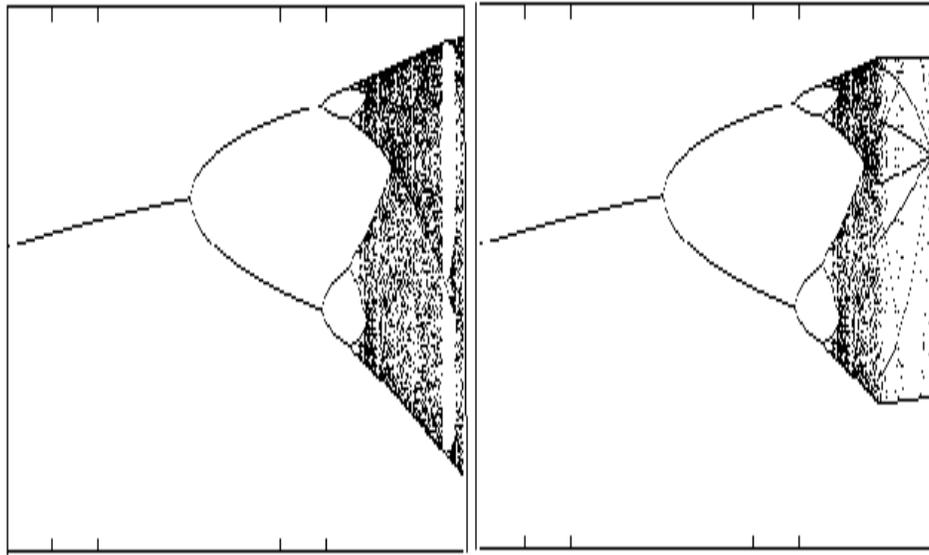
Donde como antes  $s$  es la función de propensión al ahorro,  $f(k_t)$  es la función de producción,  $n > 0$  es la razón de crecimiento de la fuerza de trabajo, la cual es un parámetro exógeno. Ejemplo 1. Si se escoge una tasa de ahorro constante  $\sigma$  y una forma del tipo de Cobb-Douglas modificada para la función de producción  $f(k_t) = Bk_t^\beta (m - k_t)^\gamma$ ,  $k_t < m$ , entonces la función de acumulación para el Modelo de Solow, en tiempo discreto es:

$$k_{t+1} = \frac{\sigma B k_t^\beta (m - k_t)^\gamma}{1 + n} \quad (4.4)$$

Donde  $m$  es una constante positiva y  $0 < \beta \leq 1.2$ ,  $0 < \gamma \leq 1.2$  y  $B > 0$ . Si en esta ecuación escogemos  $R = \frac{B}{1+n}$ ;  $\sigma=1$ ;  $m=1$ ;  $\beta=1.2$  y  $\gamma=1.2$ , se obtiene que  $k$  converge al valor de 0.5589, cuando  $R=3.0$ .

Cuando cambiamos el valor de  $R$ , a  $R=4.0$ , se presenta un ciclo estable de periodo dos; los valores correspondientes de  $k$  son: 0.5279 y 0.7550. Cuando  $R=4.5$ , tenemos un ciclo estable de periodo cuatro, con los correspondientes valores de  $k$  siguientes: 0.8512, 0.7912, 0.5187 y 0.3771. Finalmente, para  $R > 4.8$ , el comportamiento del sistema es caótico. Se puede mostrar que si  $R=4.4$  y  $\gamma=1.05$ , el sistema también tiene un comportamiento caótico. En el Gráfico 4.3 se muestra el diagrama de bifurcación para el caso en que no hay control de caos y cuando se usa un control duro en el umbral superior  $c=0.9$ .

**Gráfico 4.3** En ambas gráficas,  $r \in [3,5]$ ,  $x \in [0,1]$ , sin controlador para la gráfica de la izquierda y con el controlador  $c=0.9$ , para la gráfica de la derecha



Fuente: Elaboración de los autores

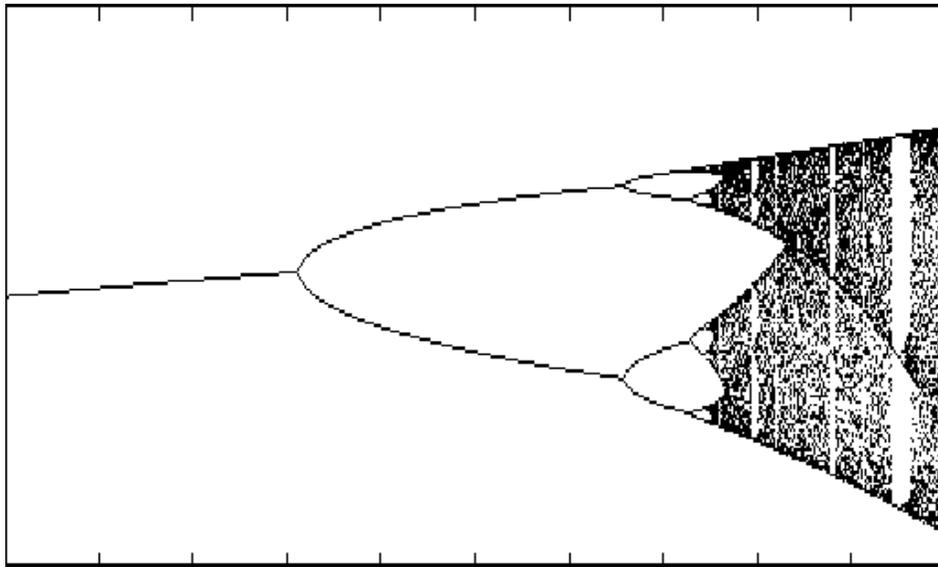
Ejemplo 2. Si se generaliza la propensión al ahorro como  $s = s(k_t)$ , (Day, R. H., 1982), entonces es posible generalizar el Modelo de Solow en tiempo discreto. Con una función de producción tipo Cobb-Douglas  $f(k_t) = Bk_t^\beta$  ( $B \geq 2, 0 < \beta < 1$ ) y con una función de ahorro  $s(k) = a(1 - b/r)k$ , propuesto por Day, (Day, R. H., 1982), donde:  $r = f'(k_t) = \beta \frac{y_t}{k_t}$ ,  $a > 0, b > 0$ . Con estos resultados la función de acumulación para el Modelo de Solow es:

$$k_{t+1} = \left[ \frac{a}{1 + \lambda} \right] k_t \left[ 1 - \frac{b}{\beta B} k_t^{1-\beta} \right] \quad (4.5)$$

Si definimos  $R = \frac{a}{1 + \lambda}$ , y escogemos  $\beta=0.2$ ,  $b/\beta B=1.2$ , encontramos que cuando  $R=3.0$ , el valor de  $k$  converge a 0.5204. Pero si  $R=3.5$ , el sistema presenta un ciclo estable de periodo dos, con los valores de  $k$  iguales a 0.6634 y 0.3960, con un valor inicial de  $k_0=0.5$ , y cuando  $R>3.9$ , el sistema muestra trayectorias caóticas, el diagrama de bifurcación correspondiente se muestra en el Gráfico 4.4.

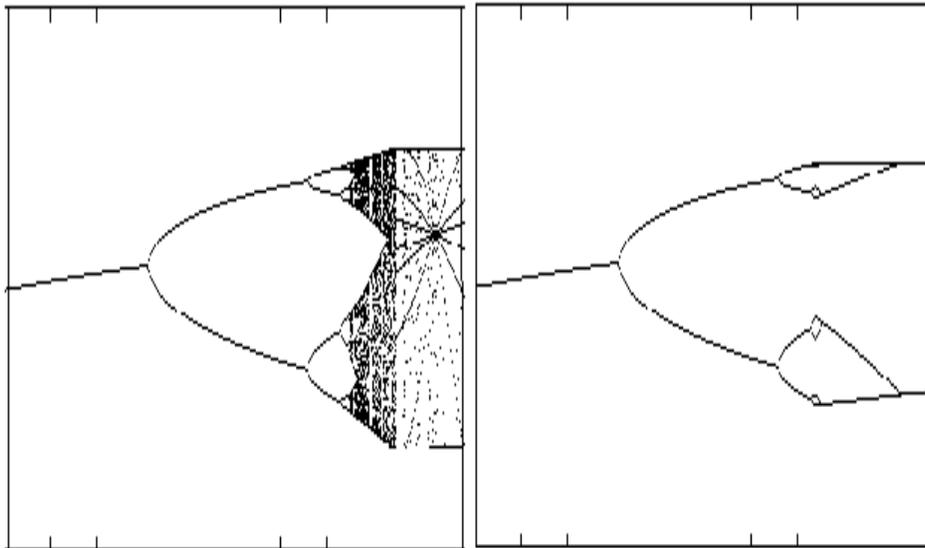
Los diagramas de bifurcación para el Modelo de Solow, cuando se aplican controles limitadores  $c=0.74$  y  $c=0.71$ , se muestran en el Gráfico 4.5.

**Gráfico 4.4** En esta gráfica  $r \in [3,5]$ ,  $x \in [0,1]$ , sin ningún control para eliminar el caos



Fuente: Elaboración de los autores

**Gráfico 4.5** Gráfica de bifurcación para el Modelo de Solow,  $r \in [3,5]$ ,  $x \in [0,1]$ , el controlador es  $c=0.74$  y  $c=0.71$ , en este último caso el caos es completamente controlado



Fuente: Elaboración de los autores

#### 4.1.3 El modelo de Benhabib y Day con un controlador limitador

Una versión detallada del modelo de generaciones que se traslapan se puede encontrar en Benhabib y Day, (Benhabib y Day,1982). Aquí solo exploraremos brevemente el modelo y el interés se centra en el control de caos con un controlador duro.

El modelo de Benhabib y Day del consumo entre generaciones que coexisten simultáneamente o que se traslapan considera el intercambio entre las generaciones de una población, creciendo a una tasa  $\gamma$ . Un individuo típico de esa población vive durante dos periodos, de tal manera que cuando es joven, lleva a cabo un consumo no negativo en su juventud  $c_0(t)$  y en su vejez  $c_1(t + 1)$ . Las preferencias de dicho individuo son representadas por una función de utilidad expresada en términos de los dos periodos de consumo señalados  $U(c_0(t), c_1(t + 1))$  y recibe una riqueza  $w_0$  en su juventud y  $w_1$  en su vejez. El factor de interés en el tiempo  $t$ , denominado  $\rho_t$ , el cual define la tasa de intercambio entre el consumo presente y futuro, determina la restricción presupuestaria del individuo:

$$c_1(t + 1) = w_1 + \rho_t(w_0 - c_0(t)); \quad c_0(t) \geq 0, c_1(t + 1) \geq 0 \quad (4.6)$$

A partir del supuesto de que la riqueza agregada crece a la tasa  $\gamma$  la condición de equilibrio del mercado para la economía en su conjunto es:

$$(1 + \gamma)(w_0 - c_0(t)) + w_1 - c_1(t) = 0 \quad (4.7)$$

La condición de equilibrio (8), junto con la restricción presupuestaria (7), define el conjunto de posibilidades de consumo para esta economía.

Se puede definir  $(c_0^*(t), c_1^*(t + 1))$ , como el vector de consumo que maximiza la utilidad de la  $t$ -ésima generación sujeta a su restricción presupuestaria dada por la ecuación (7).

Si se considera  $U(c_0^*(t), c_1^*(t + 1); \rho_t, w_0, w_1) = U^*(\rho_t, w_0, w_1)$ , entonces un intercambio de equilibrio puro y dinámico consiste de las secuencias de precio y consumo en las cuales éstas últimas son óptimas individualmente y son consistentes, es decir, el óptimo de la función de utilidad se obtiene cuando esta función se evalúa en los consumos óptimos.

Es conveniente definir una trayectoria de intercambio puro de equilibrio como una sucesión de vectores  $(\rho_t, c_0(t), c_1(t))_{t=1}^{\infty}$  tal que, para todo  $t$ ,

$$U(c_0(t), c_1(t + 1); \rho_t, w_0, w_1) = U^*(\rho_t, w_0, w_1) \quad (4.8)$$

Y la condición de equilibrio de mercado ecuación (8) se cumple.

Por lo anterior, los miembros de cada generación pueden ya sea ahorrar o pedir prestado en su juventud, así que serán acreedores o deudores en su vejez, de manera que deberán saldar sus pasivos o activos con los miembros de las nuevas generaciones. En la senectud, o bien se reclaman los beneficios por los ahorros realizados en la juventud, o se pagan las deudas contraídas, lo cual corresponde, respectivamente, con los ahorros o los préstamos otorgados a las nuevas generaciones.

La trayectoria del precio de equilibrio, o del factor de interés, asegura que los cobros, o deudas, de la generación en la etapa de la senectud sean iguales a los ahorros, o gastos, de la generación joven. Desde luego, deben existir instituciones encargadas de asegurar los pagos o los cobros, tales como un sistema de seguridad social. Alternativamente, la existencia de una riqueza o activos no perecederos y negociables, puede servir también como un medio adecuado de intercambio y como depósito o reserva de valor. Ciertamente, existen modelos donde se introduce el crédito para fungir como medio de intercambio intergeneracional.

Para caracterizar la dinámica de intercambio puro entre trayectorias de equilibrio se consideran los siguientes supuestos:

Supuesto 1. La función de utilidad para la generación representativa es estrictamente cóncava, doblemente diferenciable, creciente en sus argumentos y separable u homotética.

Supuesto 2. Para los precios a lo largo de la trayectoria de equilibrio, la solución al problema de maximización de la utilidad de cada generación es endógeno, es decir,  $c_0(t), c_1(t) > 0$  para  $t = 0, 1, 2, \dots$

Se puede mostrar que bajo el supuesto 2, las condiciones de primer orden para el problema de maximización de la utilidad dada en la ecuación (9), se reduce a:

$$\rho_t = \frac{U_0(c_0(t), c_1(t+1))}{U_1(c_0(t), c_1(t+1))} \quad (4.9)$$

En esta ecuación,  $U_0$  y  $U_1$  son las derivadas parciales de  $U$ , con respecto a  $c_0$  y  $c_1$ . El siguiente paso importante, es sustituir (10) en la restricción presupuestal del individuo dada en la ecuación (4.6), para lo cual es pertinente primero despejar  $\rho_t$  de la ecuación (4.6). Entonces:

$$\rho_t = \frac{w_1 - c_1(t+1)}{c_0(t) - w_0}$$

Al igualar este resultado con la ecuación (10), se obtiene:

$$\frac{U_0(c_0(t), c_1(t+1))}{U_1(c_0(t), c_1(t+1))} = \frac{w_1 - c_1(t+1)}{c_0(t) - w_0} \quad (4.10)$$

A partir de aquí, se necesita expresar la ecuación (4.10) como una ecuación en diferencias en  $c_0(t)$  o  $c_1(t)$ . Para esto es conveniente definir la función de la tasa marginal de sustitución restringida como:

$$V(c_0(t); w_0, w_1) = \frac{U_0(c_0(t), c_1(t+1))}{U_1(c_0(t), c_1(t+1))} \quad (4.11)$$

La función  $V$  describe la tasa marginal de sustitución entre consumo presente y consumo futuro, para un programa de consumo óptimo y factible de un individuo, es decir, un conjunto de posibilidades de consumo que satisface la restricción presupuestal del individuo.

Al resolver la ecuación (4.7) para  $c_1(t)$ .

$$c_1(t) = (1 + \gamma)(w_0 - c_0(t)) + w_1 \quad (4.12)$$

Como la ecuación (9) es válida para toda  $t$  entonces es válida para  $t+1$ :

$$c_1(t+1) = (1 + \gamma)(w_0 - c_0(t+1)) + w_1 \quad (4.13)$$

Al sustituir este resultado en la ecuación (4.6), se obtiene:

$$(1 + \gamma)(w_0 - c_0(t + 1)) + w_1 = w_1 + \rho_t(w_0 - c_0(t)) \quad (4.14)$$

O bien:

$$(w_0 - c_0(t + 1)) = \frac{\rho_t(w_0 - c_0(t))}{(1 + \gamma)} \quad (4.15)$$

Si despejamos  $c_0(t + 1)$  obtenemos:

$$c_0(t + 1) = w_0 - \frac{\rho_t(w_0 - c_0(t))}{(1 + \gamma)} \quad (4.16)$$

Entonces, a partir de esta ecuación y sustituyendo  $V(c_0(t); w_0, w_1) = \rho_t$ , obtenemos la ecuación en diferencias para  $c_0(t)$ , la cual expresa la dinámica del sistema.

$$c_0(t + 1) = w_0 + \frac{V(c_0(t); w_0, w_1)(c_0(t) - w_0)}{(1 + \gamma)} \quad (4.17)$$

La expresión (4.17), es la ecuación del modelo de generaciones que coexisten simultáneamente o de generaciones que se traslapan. Por lo tanto, la ecuación en diferencias (18), caracteriza las trayectorias del intercambio puro de equilibrio cuando  $c_0(0) > w_0$ . Gale, (Gale, 1973), citado por Benhabib y Day, observó que en el caso de los ciclos, la trayectoria sería convergente hacia un estado estacionario, o bien, hacia un ciclo limitado o acotado. Sin embargo, Benhabib y Day mostraron que tales trayectorias cíclicas pueden oscilar sin converger a ciclos de ningún orden.

Ejemplo. La ecuación en diferencias para el consumo es:

$$c_0(t + 1) = w_0 + \frac{1}{1 + \gamma} V(c_0(t); w_0, w_1)(c_0(t) - w_0) \quad (4.18)$$

Donde la función de la tasa marginal de sustitución,  $V(c_0(t); w_0, w_1)$ , es:

$$V(c_0(t); w_0, w_1) = \frac{U_0(c_0(t), c_1(t + 1))}{U_1(c_0(t), c_1(t + 1))} \quad (4.19)$$

Si consideramos la función de utilidad cóncava:

$$U(c_0, c_1) = A - \exp[a(1 - ((c_0 - w_0)/a))] + c_1 \quad (4.20)$$

Entonces:

$$U_0 = \frac{\partial}{\partial c_0} U(c_0, c_1) = -\exp[a(1 - ((c_0 - w_0)/a))] \frac{\partial}{\partial c_0} a[1 - ((c_0 - w_0)/a)] \quad (4.21)$$

Así que:

$$U_0 = \exp[a(1 - ((c_0 - w_0)/a))] \quad (4.22)$$

También:

$$U_1 = \frac{\partial}{\partial c_1} U(c_0, c_1) = 1 \quad (4.23)$$

Por lo anterior, la tasa marginal de sustitución queda de la manera siguiente:

$$V(c_0(t), w_0, w_1) = \exp[a(1 - ((c_0 - w_0)/a))] \quad (4.24)$$

Sustituyendo esta última ecuación, en la ecuación para  $c_0(t+1)$  y considerando que  $\gamma=0$ , obtenemos:

$$c_0(t+1) - w_0 = \exp[a(1 - ((c_0 - w_0)/a))](c_0(t) - w_0) \quad (4.25)$$

Esta ecuación puede ser escrita de la manera siguiente:

$$x_{t+1} = rx_t e^{-x_t} \quad (4.26)$$

Donde:

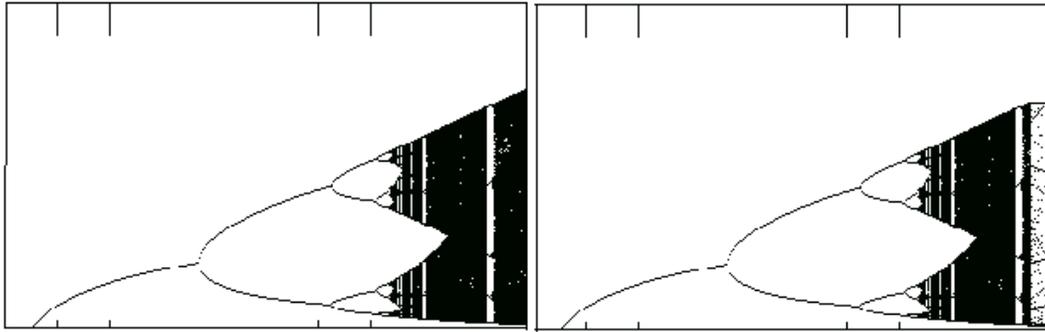
$$x_{t+1} = c_0(t+1) - w_0 \quad x_t = c_0(t) - w_0 \quad r = e^a \quad (4.27)$$

Para  $r=5$  y  $x_0=0.5$ , la solución de la ecuación del sistema converge a 1.6094. Cuando  $r=10$  y  $x_0=0.5$ , después de realizar 500 iteraciones, la solución de la ecuación del sistema presenta un ciclo estable de periodo dos, con los valores siguientes:  $x_{501}=3.6706$ ,  $x_{502}=0.9346$

Si  $r=14$  y  $x_0=0.5$ , se presenta un ciclo estable de periodo cuatro, con los siguientes valores para  $x$ : 3.9005, 1.1048, 5.1239, 0.4270

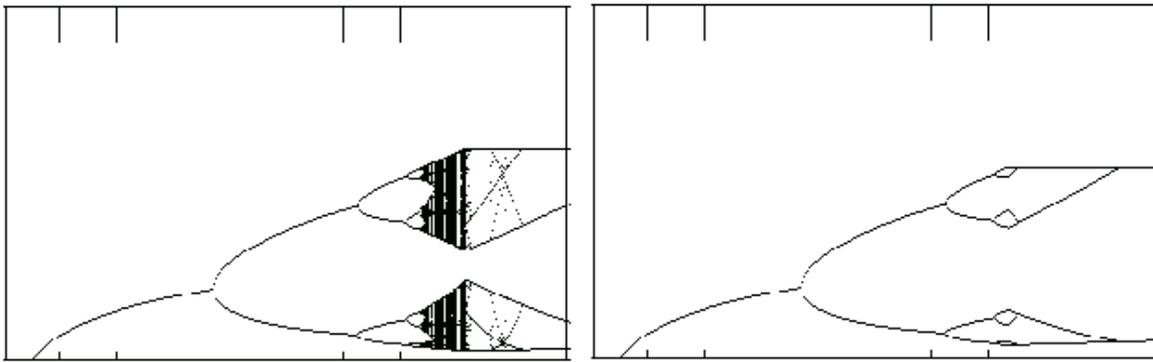
Con  $r=14.765$  y  $x_0=0.01$ , tenemos un ciclo estable con periodo 64. Cuando  $r>15$ , el sistema es caótico. En el Gráfico 4.6 se muestra el diagrama de bifurcación cuando no hay control de caos y control de caos con un controlador duro  $c=7.0$  y en la figura (8) se muestra el control del caos determinista para otros valores del control  $c$ .

**Gráfico 4.6** En esta gráfica se muestra el diagrama de bifurcación sin un control y cuando se controla el caos con un controlador limitador de  $c=7.0$



Fuente: Elaboración de los autores

**Gráfico 4.7** Se muestra el diagrama de bifurcación con un controlador  $c=6.0$ , izquierda y cuando  $c=5.4$ , se controla completamente el caos



Fuente: Elaboración de los autores

## 4.2 Conclusiones

En este trabajo se analizaron tres modelos económicos en tiempo discreto para el control de caos clásico, dos del tipo de Solow y el modelo de crecimiento de Benhabib y Day para generaciones que se traslapan. Para el control de caos se usó el control limitador o control duro, en primer lugar se controló el caos para el modelo logístico como un ejemplo para posteriormente aplicar este método a los modelos económicos mencionados. Se mostró el control de caos para estos modelos para diferentes valores del controlador. Se usó el controlador en el umbral superior. Finalmente se elaboraron las gráficas de bifurcación para cada uno de los sistemas analizados.

## 4.3 Referencias

Abed, E. H., Wang, H. O. y Chen, R. C., (1992), Stabilization of period doubling bifurcations and implications for control of chaos. In: Proc. 31st IEEE Conference on Decision and Control, Tucson, 2119-2124.

Agiza, H. N., (2002), Controlling chaos for the dynamical system of coupled dynamos. Chaos, Solitons and Fractals, vol. 13., 2, 341–352.

- Bai, E. W. y Lonngren, K. E., (2000), Sequential synchronization of two Lorenz systems using active control. *Chaos, Solitons and Fractals*, vol. 11, no. 7, 1041–1044.
- Benhabib, J. y Day, R. H., (1982), A Characterization of Erratic Dynamics in the Overlapping Generations Model. In *Journal of Economic Dynamics and Control*. 4, 37-55.
- Chen, P., (1988) Empirical and theoretical evidence of economic chaos. *Syst Dynam Rev* 4, 81-108.
- Day, R. (1982), Irregular Growth Cycles. *American Economic Review* 72(3), 406-414.
- Dressier, U. and Nitsche, G., (1992), Controlling Chaos using time delay coordinates. *Phys. Rev. Lett.* 68, 1-4.
- Feichtinger, G., (1992), Nonlinear threshold dynamics: further examples for chaos in social sciences. In: Haag G, Mueller U, Troitzsch KG (eds) *Economic evolution and demographic change*. Springer, Berlin.
- Gale, D., (1973), Pure exchange equilibrium of dynamic economic model, *Journal of Economic Theory* 6, 12-36.
- Haag, G., (1990), A master equation formulation of aggregate and disaggregate economic decisionmaking. *Sistemi Urbani* 1, 65-81
- Haag, G., (1992), Chaotic behaviour in spatial systems and forecasting. *Rev d'Econ Reg Urb* 5, 735-751.
- Haag, G., Hilliges, M. y Teichmann, K., (1993), Towards a dynamic disequilibrium theory of economy. In: Nijkamp P, Regiani A (eds) *Nonlinear evolution of spatial economic systems*. Springer, Berlin.
- Hytyniemi, H., (1991), Postponing Chaos using a robust stabilizer. In: *Proc. 1st IFAC Symposium on Design Methods of Control Systems*, Zurich, 568-572.
- Liao, T. L. y Lin, S. H., (1999), Adaptive control and synchronization of Lorenz systems. *Journal of the Franklin Institute*, vol. 336., 6, 925–937.
- Lorenz, H. W., (1993), *Nonlinear dynamical economics and chaotic motion*. Springer, Berlin.
- Mosekilde, E. y Larsen E.R., (1988), Deterministic chaos in the beer production-distribution model. *Syst Dynam Rev* 4, 131-147.
- Mosekilde, E. y Thomsen, JS., (1992), Nonlinear interactions in the economy. In: Haag G, Mueller U, Troitzsch KG (eds) *Economic evolution and demographic change*. Springer, Berlin
- Ott, E.C., Grebogi, C. y Yorke, J. A., (1990), Controlling Chaos. *Phys. Rev. Lett.* 64, 1196-1199.
- Palmisiani, C., (2008), A short survey on chaotic dynamics in Solow-Type growth models. In *Journal of applied Economic Sciences*, 270-280.
- Puu, T., (1992), A chaotic process with slow feed back: the case of business cycles. In: Haag G, Mueller U, Troitzsch KG (eds) *Economic evolution and demographic change*. Springer, Berlin

- Sanchez, E. N., Perez, J. P., Martinez, M y Chen., G. R., (2002), Chaos stabilization: An inverse optimal control approach. *Latin American Applied Research*, vol. 32, no. 1, pp. 111–114.
- Solow, R. M., (1956), A contribution to the Theory of Economic Growth. In *Quarterly Journal of Economics*, 65-94.
- Weidlich, W., (1991), Physics and social science-the approach of synergetics. *Phys Rep* 204, 1-163.
- Weidlich, W. y Braun, M., (1992) The master equation approach to nonlinear economics. *J Evol Econ*, 2, 233-265.
- Yang, X. S. y Chen, G. R., (2002), Some observer-based criteria for discrete-time generalized chaos synchronization. *Chaos, Solitons and Fractals*, vol. 13, no. 6, 1303–1308.
- Yassen, M. T., (2003), Chaos control of Chen chaotic dynamical system. *Chaos, Solitons and Fractals*, vol. 15, no. 2, 271–283.
- Yassen., M. T.,(2001), Adaptive control and synchronization of a modified Chuas circuit system. *Applied Mathematics and Computation*, vol. 135, no. 1, 113–128.

## **Diseño y construcción de una desespinaadora mecánica de nopal**

QUINTERO-FERNÁNDEZ, Leoncio, RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ, Wenceslao, VELASCO-SILVA, Ulisses Rafael y FITZ-RODRÍGUEZ, Efrén

L. Quintero, W. Rodríguez, U. Velasco 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@taurus.chapingo.mx

F. Pérez, D. Sepúlveda, R. Salazar, D. Sepúlveda (eds.) Ciencias Matemáticas aplicadas a la Agronomía. Handbook T-I.- ©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

## Abstract

Nopal (*Opuntia ficus-indica*) is a vegetable consumed in Mexico and in many parts of the world. In the preparation of food, first, all the spines should be removed from the pads, usually done manually with a knife. Although there are some machines for this task in commercial settings, these ones do not remove all the spines from the pads. In this project, it is proposed to design a machine able to do this task more efficiently and capable of removing all spines from the pads. The prototype consists of conveyor belts, fixed and mobile rollers, straight slicer, and adjustable slicers that follow and adapt to the form of the nopal pads, cutting the edges and obtaining a completely clean nopal pad.

## 5 Introducción

El nopal (*Opuntia ficus-indica*) es una planta con más de 300 especies, oriundas del continente americano. Dada la gran diversidad de especies, México es considerado como uno de los lugares de origen. La importancia del nopal radica en su uso en la industria alimentaria, al consumirse como verdura y de igual manera se utiliza como forraje para ganado. En los últimos años la producción nacional de la verdura nopalito se ha incrementado, tan solo en el 2015 se produjeron 812 705 toneladas (SIAP, 2015). Una de las etapas en el proceso de producción, para poder llegar a consumirlo, es el la remoción de espinas (desespinado). Esta labor se realiza de manera manual con un cuchillo, la cual puede resultar riesgosa, y muy laboriosa cuando se tienen volúmenes de producción elevados. Actualmente existen máquinas desespadoras de nopal, sin embargo éstas solo remueven las espinas de las caras planas del nopal y el desespinado de las orillas del nopal se realiza manualmente, resultando en máquinas poco eficientes. En el presente trabajo se plantea diseñar y construir una maquina capaz de realizar el desespinado de manera rápida y segura de los nopales destinados para el consumo humano, contribuyendo así una mecanización del proceso de manera más completa. El prototipo propuesto, incluye un mecanismo tipo leva-seguidor que corta las espinas que tiene el nopal en las orillas, resultando en un desespinado total del nopal verdura.

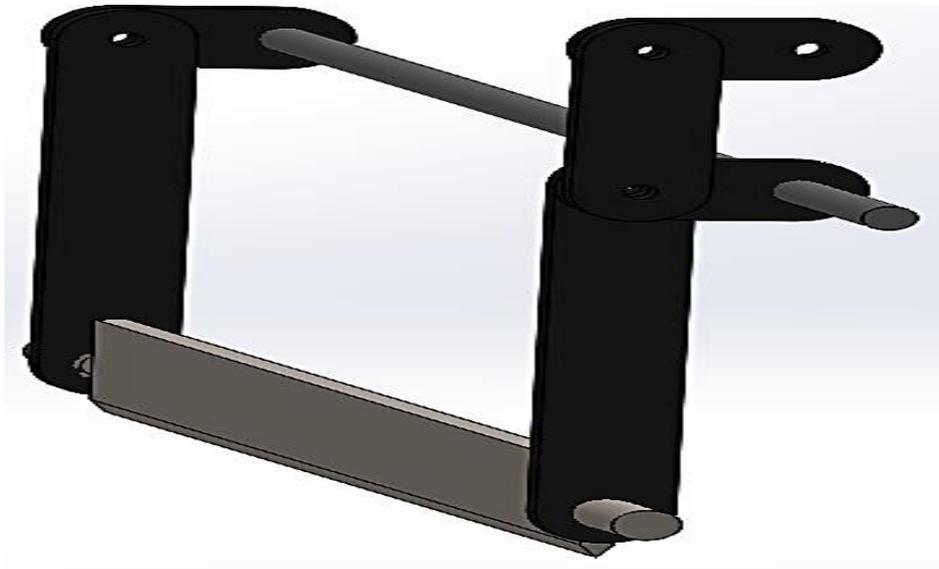
### 5.1 Materiales y métodos

Para el desarrollo del prototipo se implementó la metodología de diseño en ingeniería que incluye las siguientes etapas: 1) identificación de la necesidad y planteamiento del problema, 2) búsqueda de información, 3) planteamiento de posibles soluciones, 4) selección de la mejor solución, 5) diseño detallado y 6) construcción del prototipo. El prototipo consiste de tres mecanismos principales: 1) mecanismo de corte vertical 2) mecanismo desespador de caras planas y 3) mecanismo seguidor para cortes laterales, con los cuales se remueven las espinas de manera completa.

#### 5.1.1 Mecanismo de corte vertical

Este mecanismo consiste de dos eslabonamientos conectados en serie, accionados por un servomotor y que producen el movimiento vertical de la cuchilla, con la cual se corta el ápice y la base del nopal. Los mecanismos son dos lazos cerrados, donde el primero consiste en un mecanismo paralelogramo doble balancín (cuyo movimiento se restringe a 60°). En la segunda ramificación el eslabón balancín se conecta a la manivela del mecanismo con la finalidad de transmitir el movimiento. Se planteó una carrera de 1.5 cm para la corredera realizada en el menor tiempo posible (Figura 5).

**Figura 5** Mecanismo cortador vertical

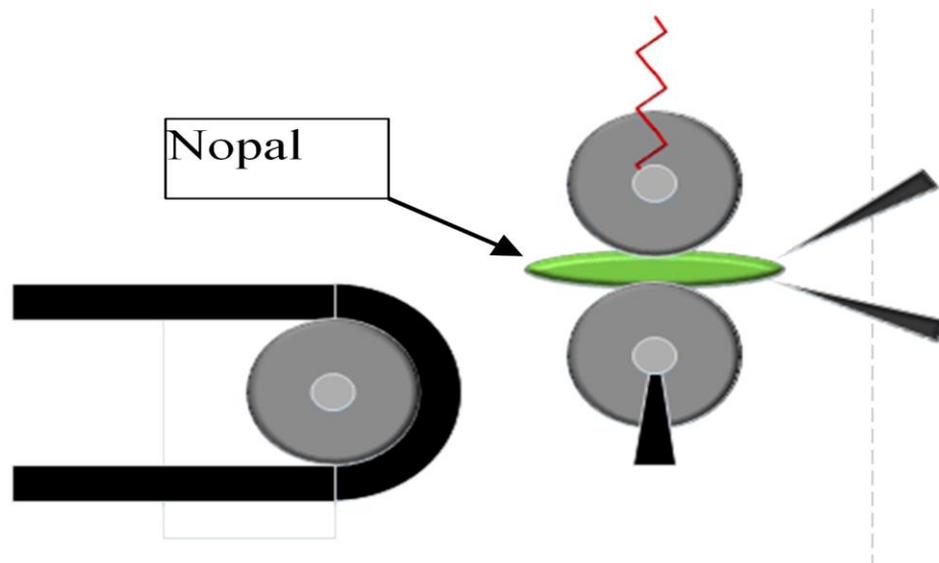


Para el análisis cinemático del mecanismo de corte vertical se implementaron las ecuaciones de movimiento de una manivela corredera como lo describe Norton (2012).

### 5.1.2 Mecanismo desespinator de caras planas

Este mecanismo funciona en conjunto con una banda transportadora, la cual suministra los nopales hacia un par de rodillos (Figura 5.1). El rodillo superior se eleva presionando el nopal con la finalidad de que no tenga un deslizamiento relativo, al entrar en contacto con las navajas inclinadas, las cuales cortan las espinas de las caras planas del nopal.

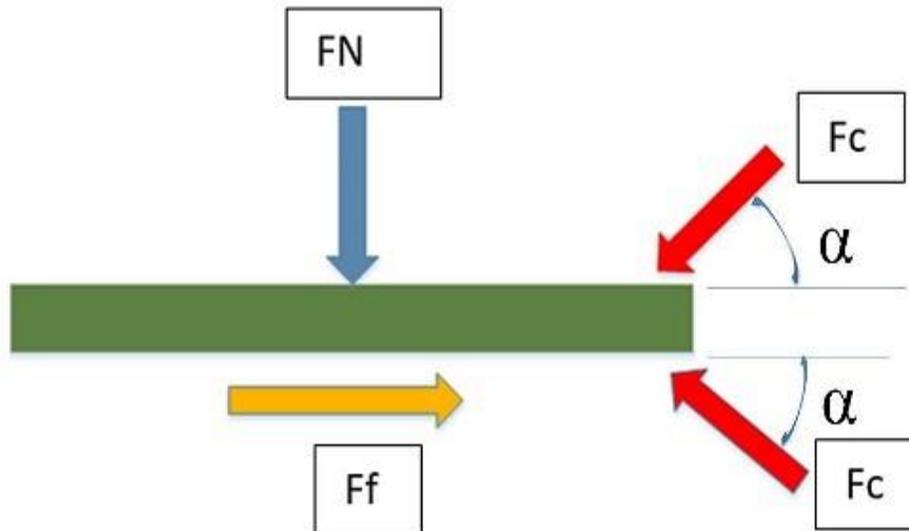
**Figura 5.1** Mecanismo desespinator de caras planas



### 5.1.3 Cálculo de rodillos compresores

Se aplicó el procedimiento de cálculo para determinar la constante de rigidez ( $K$ ) necesaria para evitar deslizamiento relativo, y asegurar que el nopal avanzara adecuadamente entre los rodillos.

**Figura 5.2** Diagrama de cuerpo libre del nopal



La longitud y número de espinas promedio (por cara) son de 22 cm y 55, respectivamente. Suponiendo que al cortar cada espina se rebana un área de corte de  $1\text{cm}^2$  y si se invierten  $0.14\text{ J}$  por cada  $\text{cm}^2$  de nopal, entonces la energía necesaria es:

$$W = E_c * n * A = 7.62\text{ J.}$$

$$\text{Si } W = F_c * L \rightarrow F_c = \frac{W}{L} \therefore F_c = \frac{7.62\text{ J}}{0.22\text{ m}} = 34.65\text{ N}$$

Formulando las ecuaciones a partir de la Figura 3 para la condición de no deslizamiento:

$$F_f \geq 2F_c * \cos(\alpha)$$

$$FN\mu \geq 2F_c * \cos(\alpha) \rightarrow FN \geq 2(34.65\text{ N})\cos(45^\circ)$$

$$FN \geq 49\text{ N}$$

Donde:

$W$  Trabajo (J)

$E$  Energía útil en el corte (J)

$A$  Área de corte ( $\text{cm}^2$ )

$E_c$  Energía específica ( $\text{J}/\text{cm}^2$ )

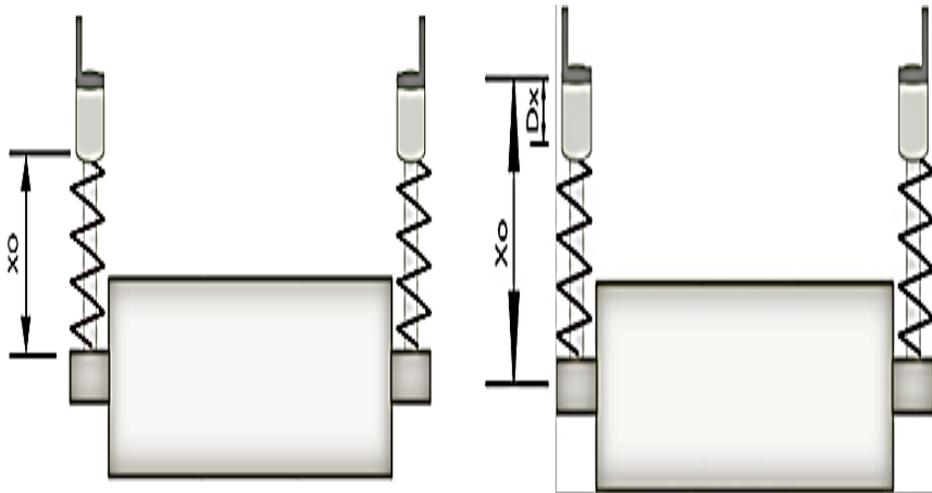
$F_c$  Fuerza cortante promedio (N)

$L$  Longitud promedio del nopal (cm)

$\alpha$  Ángulo de inclinación de las navajas

Datos:  $E = 0.79\text{ J}$      $A_c = 5.7\text{ cm}^2$      $E_c = 0.14\text{ J}/\text{cm}^2$

**Figura 5.3** Posiciones límites de los rodillos compresores

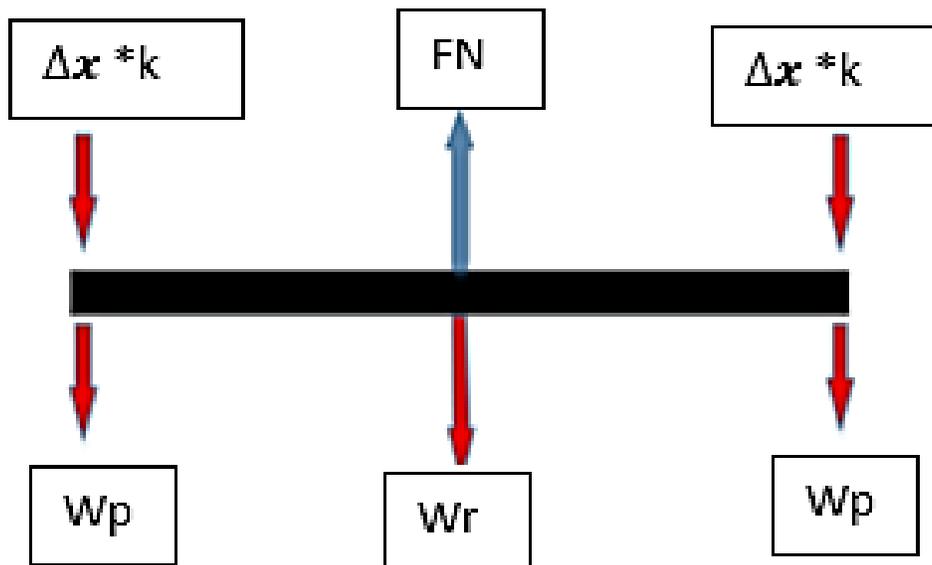


$X_0$  Distancia del resorte sin sufrir algún alargamiento.

$\Delta x$  Desplazamiento provocado por el nopal al entrar los rodillos.

$$\therefore \Delta x = 0.75 \text{ cm}$$

**Figura 5.4** Diagrama de cuerpo libre de un rodillo superior



$W_r$  = Peso del rodillo.

$W_p$  = Peso del pistón.

$\Delta x * K$  = Fuerza ejercida por el pistón.

$FN$  = Fuerza normal ejercida sobre el pistón.

A partir de la figura 1.6 se tiene:

$$FN = 2W_p + W_r + 2\Delta x * K$$

$FN = 50\text{N}$ , condición de no deslizamiento

$FN \leq 250$  (Fuerza crítica de compresión que soporta el nopal).

$$M_p = \pi(6.35 \times 10^{-3})^2(0.1\text{m}) \left( \frac{7300 \text{ kg}}{\text{m}^3} \right) = 0.0925 \text{ kg}$$

$$Mr = 1.18 \text{ kg}$$

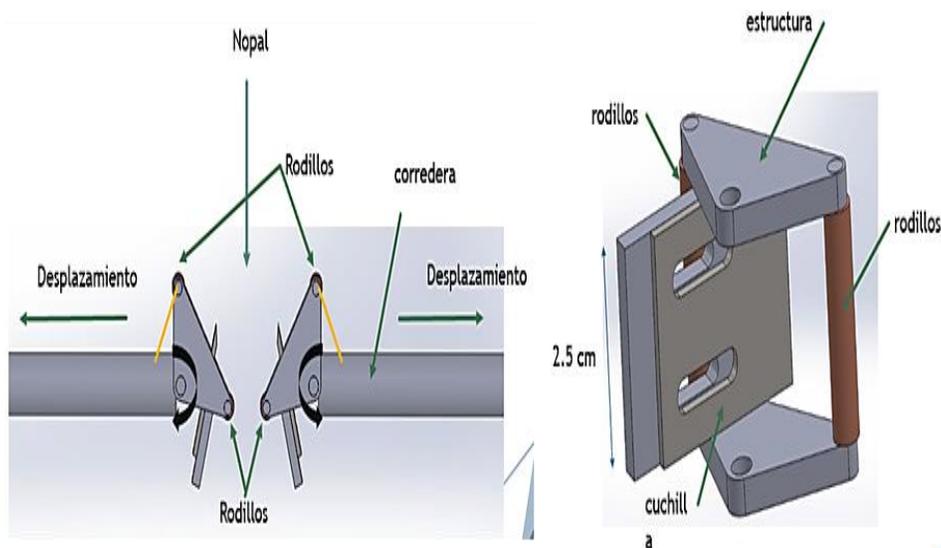
$$\Delta x = 7.5 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$K = 0.25 \text{ kg/mm}$$

### 5.1.4 Mecanismo seguidor para cortes laterales

Una vez que se han removido las espinas en las caras planas del nopal, este se hace pasar por un mecanismo seguidor. Este consta de una estructura que tiene acoplada una navaja que corta las espinas de las orillas. Unos rodillos que giran sobre un eje y dirigen toda la estructura para seguir una trayectoria en la forma del nopal. Este mecanismo se desplaza hacia lo ancho del nopal, ajustándose a las orillas por medio de unos resortes que mantienen al mecanismo ajustado a las orillas, cortando las orillas del nopal. Para el análisis de posición (trayectoria) de los cortadores laterales se determinó la trayectoria promedio de las orillas de un nopal, definida por puntos, con la cual se definió una expresión algébrica, en este caso su posición. De esta expresión se derivaron velocidad, aceleración y sacudimiento.

**Figura 5.5** Seguidores para cortes laterales



$$y = 0.0001x^3 - 0.0140x^2 + 1.2727x + 11.0917$$

$$\dot{y} = [0.0003v_x^2 t^2 - 0.028v_x t + 1.2727]v_x$$

$$\ddot{y} = [0.0006v_x t - 0.028]v_x^2$$

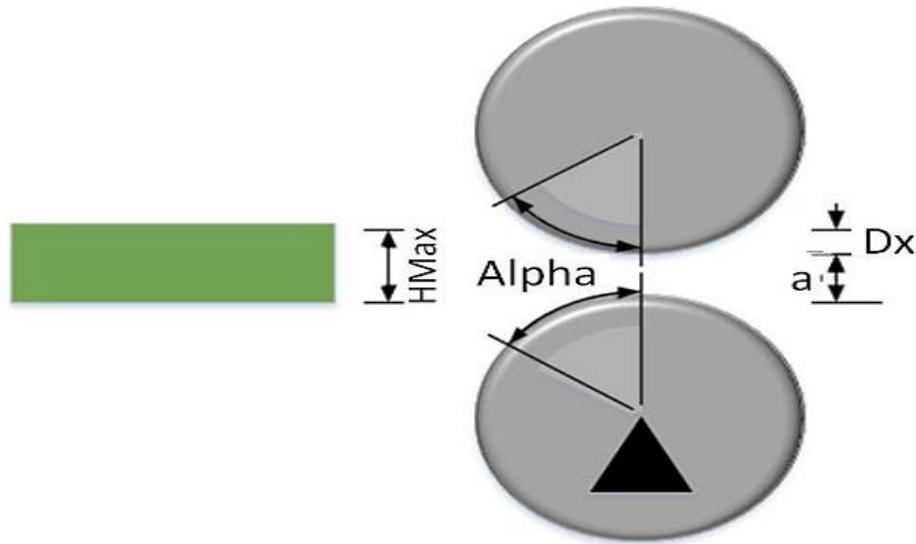
$$\ddot{\ddot{y}} = [0.0006]v_x^3$$

El traslado del nopal hacia cada uno de los mecanismos de limpieza lo realizan un par de bandas transportadoras que consta de ejes, cojinetes, cilindros, y un sistema de transmisión de bandas en V. Los sistemas de rodillos compresores y bandas transportadoras son accionados con un motor eléctrico.

### 5.1.5 Calculo del diámetro de los rodillos

El cálculo del diámetro de los rodillos resulta de gran importancia, para lograr que el nopal pueda alimentarse al mecanismo cortador. Si el diámetro del rodillo es muy pequeño, el nopal no podrá empujar el cilindro superior hacia arriba, solo se patinara. De lo contrario si es muy grande, solo se estaría desperdiciando material de construcción.

**Figura 5.6** Interacción rodillo-nopal, para el cálculo del diámetro óptimo



$$\mu_2 = \tan(\theta)$$

Donde  $\theta$  = Angulo de talud del nopal en una superficie metálica.

Si  $\theta = 45^\circ \rightarrow \mu_2 = 1.0$  (Adimensional)

$$H_{prom} - a + d \cos(\theta^2) = d \quad H_{prom} - a = d(1 - \cos(\theta^2)) \quad d \geq 2.56 \text{ cm}$$

Por lo tanto se ha optado por usar un  $d = 2 \text{ in}$

### 5.1.6 Construcción del prototipo

El diseño y la construcción de la desespinaadora mecánica se llevó a cabo en las instalaciones de Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola de la UACH, haciendo uso del material literario, de los talleres y del apoyo del personal académico encargado de sus áreas de trabajo.

Para esta etapa se utilizaron materiales como ángulo de 2" x 2" y 1/8" (6 m), barra circular pulida de 1/2" (4 m), tubo de 2" (1.6m), chumaceras para eje de 1/2" (10 piezas), baleros para eje de 1/2" (6 piezas), plástico Lynamatic de 2", tornillería, resortes (8 piezas), solera de 1" media pieza, solera de acero inoxidable de 1", moto-reductor de 1/15 hp y 50 rpm, servomotor TowerPro MG995, hule para bandas y bandas de transmisión tipo B.

### 5.2 Análisis y discusión de resultados

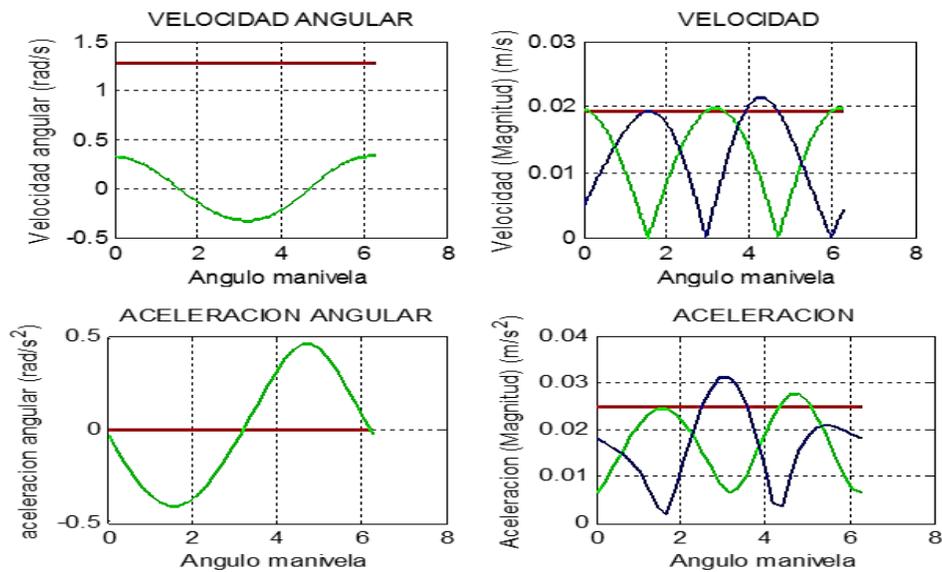
Se implementó un mecanismo de cuatro barras manivela corredera (M4BMC), dado que los ángulos de transmisión y el diseño de sus eslabones que realizan un recorrido de salida en un intervalo de tiempo entre 1 y 2 segundos, en consecuencia, el nopal es cortado de su punta y ápice en el momento exacto. El mecanismo mencionado es accionado por un servomotor, sin embargo, la parte del control de su recorrido se implementó en un microcontrolador ARDUINO, en el cual se programaron los tiempos del mecanismo. El análisis cinemático (Gráfico 5) del mecanismo de corte vertical, incluye las velocidades y aceleraciones de la manivela, el acoplador y de la corredera. Los algoritmos de análisis se implementaron en MATLAB®.

El sistema de rodillos analizados presento un comportamiento al esperado durante su diseño, aunque por otra parte las correderas que se construyeron en el prototipo necesitaban una lubricación más exigente. Por su parte el rodillo con solo la acción de su propio peso ejercía la presión requerida para que el nopal no perdiera la trayectoria deseada durante el avance.

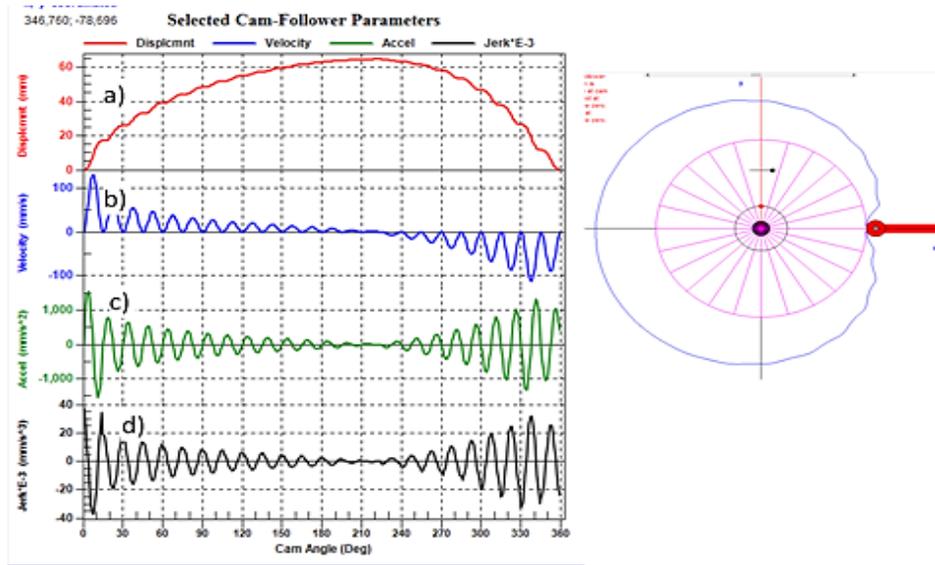
El mecanismo seguidor de corte lateral se analizó como un mecanismo leva-seguidor, donde se aproximó la forma de la leva, a la forma del nopal. Del análisis cinemático de levas, la trayectoria que genera la leva (Figura 9a) es equivalente al desplazamiento del seguidor; que en este caso es la forma de la mitad de un nopal. El extremo izquierdo es la base del nopal y el extremo derecho representa el ápice.

El resto del análisis cinemático incluye: la velocidad (Gráfico 5.1 a), la aceleración (Gráfico 5.1 b), y los sacudimientos (Figura 9d). Dado que las funciones utilizadas para aproximar la trayectoria del seguidor no son “suaves”, las de velocidad, aceleración y sacudimientos resultan en cambios bruscos. Sin embargo dado que en este análisis lo importante es la trayectoria del mecanismo seguidor cortador de orillas, se desprecia el efecto en el análisis de velocidad y aceleración. El análisis del mecanismo se realizó con el programa DYNACAM.

**Gráfico 5** Análisis del cinemático del mecanismo cortador vertical



**Gráfico 5.1** a) Análisis cinemático (posición, velocidad y aceleración y sacudimientos) y b) leva-seguidor que produce el movimiento de trayectoria del nopal

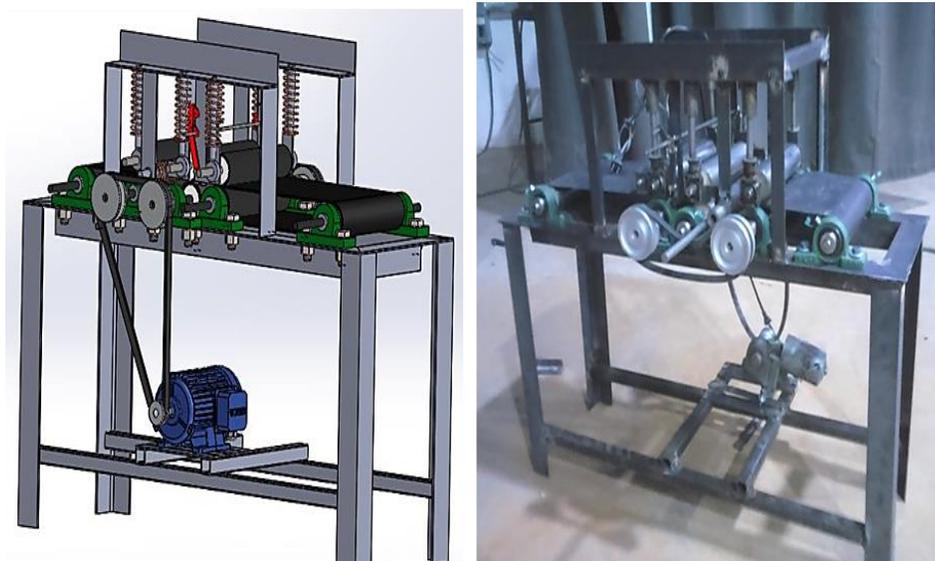


Una vez realizado el análisis cinemático de los componentes principales de la máquina se realizó la manufactura y ensamble de cada uno de sus componentes (Figura 10). El diseño completo de la desespinaadora mecánica realizado en este trabajo promete funcionar de manera eficiente y resolver el problema de manera eficaz. La manufactura de la maquina es un factor muy importante que radica en el buen funcionamiento de la misma.

### 5.3 Conclusiones

El prototipo de máquina limpiadora de nopal desarrollado propone hacer eficiente el proceso de desespinado de nopal y con una calidad de producto aceptable. El diseño del prototipo se realizó siguiendo la metodología de diseño en ingeniería, con el objetivo de resolver un problema de la sociedad.

**Figura 5.7.** a) Prototipo 3D de la desespinaadora mecánica y b) Construcción del prototipo



## 5.4 Referencias

Bustamante, P.B., Parra, B.J.E., y Sánchez, C.J.A., 2000, *Diseño de una máquina desespinaadora de nopal verdura*. México: Tesis de Licenciatura en Ingeniería Mecánica Agrícola, UACH.

López Santiago, J.L. 2006. *Rediseño, construcción y evaluación de una máquina desespinaadora de nopal (Opuntia spp.)*. México: Tesis de Licenciatura en Ingeniería Mecánica Agrícola, UACH.

Maki-Díaz, G., Peña-Valdivia, C.B., García-Nava, R. Arévalo-Galarza, M.L., Calderón-Zavala, G., y Anaya-Rosales, S. 2015. *Características físicas y químicas de nopal verdura (Opuntia ficus-indica) para exportación y consumo nacional*. México: Colegio de Postgraduados. Agrociencia 49:31-51

Norton L, Robert.2012. *Diseño de maquinaria. Síntesis y análisis de máquinas y mecanismo*. 5ta ed. Interamericana Mc Graw Hill. Delegación Álvaro Obregón, México D.F. 4-367.

## **Monitoreo y control climático de un invernadero a escala**

ROSALES-VICELIS, José Eduardo & FITZ-RODRÍGUEZ, Efrén

J. Rosales & E. Fitz

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

F. Pérez, D. Sepúlveda, R. Salazar, D. Sepúlveda (eds.) Ciencias Matemáticas aplicadas a la Agronomía. Handbook T-I.- ©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

## Abstract

Climate control in greenhouses is based on the measurements of the main psychrometric properties of humid air, which are determined using psychrometric tables or charts. The psychrometric chart offers the user certainty to control the climatic conditions in a greenhouse through the air conditioning systems (ventilation, heating, humidification). Therefore, a 1:20 scale greenhouse was designed and built, and controlled through a graphical user interface (GUI). The user interface has a digital psychrometric chart that allows to represent the acquired data and characterize the properties of the air automatically, and then control the operation of the actuators. The scale greenhouse has actuators for natural ventilation (lateral and roof openings), forced ventilation (exhaust fans), radiant pipe heating and evaporative cooling with wet panel to control the microclimate. The purpose of this work is educational, so through the greenhouse at scale represent the climatic conditions and the different psychrometric processes that are developed inside a greenhouse.

## 6 Introducción

Las condiciones climáticas en un invernadero son primordiales para el desarrollo y crecimiento de los cultivos, ya que condicionan los procesos fisiológicos de respiración, transpiración y fotosíntesis. La eficiencia de la producción de plantas en invernaderos depende en gran medida de la adaptación de las condiciones climáticas óptimas a los cultivos para lograr un alto rendimiento a bajo costo, buena calidad y bajo impacto ambiental (Yang and Simbeye, 2013). Para controlar el microclima que se desarrolla al interior del invernadero se deben considerar diversos parámetros ambientales como radiación solar, temperatura y humedad del aire y concentración de CO<sub>2</sub>. Sin embargo la temperatura y la humedad relativa del aire son los factores más importantes que condicionan los procesos fisiológicos de las plantas. A partir de la medición de estos dos parámetros ambientales, se pueden conocer las propiedades psicrométricas del aire húmedo, y el tener la capacidad de controlarlos permitiría el incremento en la calidad y rendimiento de los cultivos.

En los Países Bajos, las computadoras se utilizan para diferentes aplicaciones como el clima, la calefacción y el control de riego en invernadero, pero la aplicación más conocida es el control de clima (temperatura, humedad, CO<sub>2</sub>, iluminación artificial) (Caponetto et al., 2000). Las computadoras son herramientas fundamentales para el control de la temperatura del aire y el contenido de humedad de un invernadero, ya que permiten el acondicionamiento del aire para garantizar el desarrollo y crecimiento de los cultivos. Hoy en día, los sistemas de control computarizados son el estándar para invernaderos modernos, con mejoras continuas a partir de los avances de tecnología. Las condiciones ambientales son controladas por sistemas de control electrónico, y puede funcionar manualmente y/o automáticamente (Yang and Simbeye, 2013). Los dispositivos de adquisición de datos (data loggers) de los sistemas de control, solamente, permiten adquirir y almacenar las mediciones de los sensores de variables climáticas. Sin embargo, estos datos deben ser analizados e interpretados para, posteriormente, implementar las respectivas estrategias de control climático.

Dada la problemática en la enseñanza de control climático de biosistemas, se diseñó y construyó un invernadero a escala instrumentado y con una interfaz gráfica de usuario (GUI) propia, la cual dispone de una carta psicrométrica digital que permite representar los datos adquiridos y caracterizar las propiedades del aire de manera automática, y posteriormente, controlar las condiciones climáticas del aire desde la GUI. Este planteamiento tiene como finalidad demostrar el funcionamiento de los sistemas para el control de clima, incluyendo: calefacción por tubería radiante, ventilación forzada, ventilación natural con ventanas laterales y cenitales y enfriamiento evaporativo con paneles húmedos de un invernadero a escala, utilizando la GUI como medio de interacción.

## 6.1 Materiales y métodos

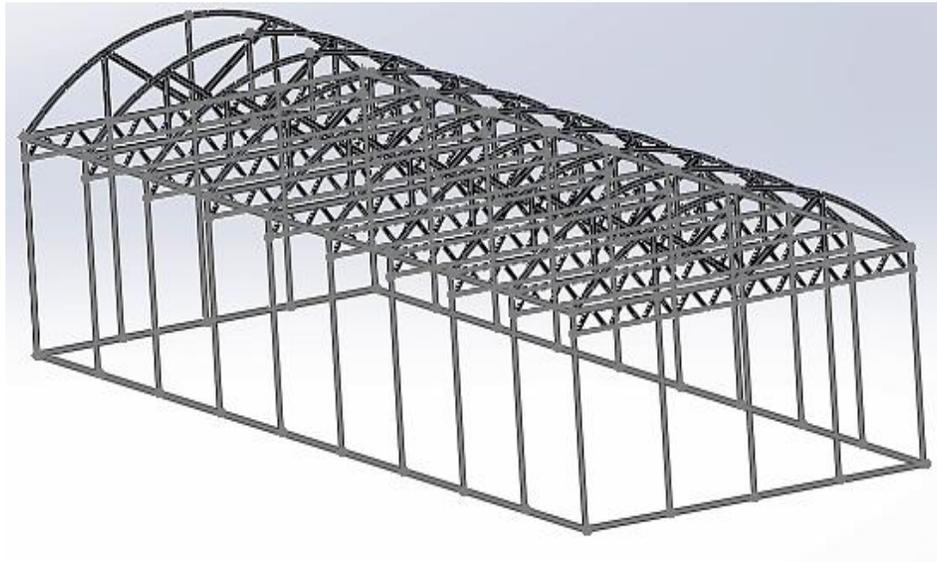
### 6.1.1 El trabajo de investigación realizado se desarrolló en las siguientes etapas:

- 1) Diseño y construcción de un invernadero a escala.

La primera fase de este trabajo comprendió el diseño y construcción del invernadero a escala, tomando como base al Invernadero Energéticamente Neutral, instalado en el Modulo Demostrativo de Energías Alternativas del Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola en la Universidad Autónoma Chapingo. La escala que se consideró fue 1:20. Se instalaron los sistemas de ventilación natural y forzada, calefacción y humidificación. Así mismo, se colocaron 3 sensores de temperatura y humedad relativa (DTH22), al interior y exterior del invernadero a escala.

En base a las dimensiones del invernadero y considerando la escala, se realizó el dibujo técnico (3D) del invernadero en SOLIDWORKS (Figura 6). El dibujo técnico permitió obtener los planos correspondientes para dimensionar y habilitar los elementos estructurales del invernadero (se utilizó redondo sólido de 3/16 de pulgada y solera de 1/2 pulgada). Utilizando soldadura por arco eléctrico (GMAW) se unieron los componentes estructurales. Sobre las paredes laterales se fijó el plástico de polietileno, malla antiáfidos y paredes de policarbonato, previamente dimensionados. Después del plástico, se colocaron los sistemas de ventilación (natural y forzada), calefacción y humidificación.

**Figura 6** Modelo 3D de la estructura del invernadero en SOLIDWORKS®



El sistema de ventilación natural se implementó utilizando 4 moto-reductores de plástico con una relación 1:100 (tres para las ventanas laterales y uno para la ventana cenital). Para el sistema de ventilación forzada se utilizaron 3 ventiladores pequeños (de 5 V). Se instaló un sistema de calefacción por tubería radiante utilizando manguera de plástico de 1/4 de pulgada, la cual fue distribuida en el interior del invernadero. El agua caliente que circula por la manguera se calentó utilizando una resistencia eléctrica y se hizo circular utilizando una bomba de agua que permite un flujo de 1200 L/h. El sistema de humidificación se instaló utilizando una estructura de aluminio y una porción de tela porosa para simular un panel húmedo. Para humedecer el panel húmedo se utilizó una bomba de agua que permite un flujo de 230 L/h.

Después de instalar los sistemas de control climático, se colocó la cubierta de polietileno para cubrir el techo del invernadero y se estableció la ventana cenital utilizando plástico de polietileno y malla antiáfidos en la ventila cenital. Posteriormente, se instalaron sensores de temperatura y humedad relativa (DTH22) en el invernadero (dos al interior y uno al exterior). Finalmente, se colocó la puerta del invernadero para finalizar la construcción del invernadero a escala (Figura 6.1).

**Figura 6.1** Invernadero a escala



## 2) Carta psicrométrica digital.

La carta psicrométrica digital se programó en el ambiente de desarrollo de MATLAB®, con la finalidad de incorporarla a la GUI del sistema. La carta psicrométrica se utiliza para un determinado rango de temperatura del aire y para una presión atmosférica predeterminada. Las propiedades psicrométricas se determinaron con las ecuaciones que definen las principales propiedades psicrométricas del aire húmedo (ASHRAE, 2001):

### 1. Presión de vapor a saturación ( $e_s$ ), en Pa.

$$\ln(e_s) = \frac{C_1}{T} + C_2 + C_3T + C_4T^2 + C_5T^3 + C_6T^4 + C_7 \ln T; \quad -100^\circ\text{C} < T < 0^\circ\text{C} \quad (6)$$

$$\ln(e_s) = \frac{C_8}{T} + C_9 + C_{10}T + C_{11}T^2 + C_{12}T^3 + C_{13} \ln T; \quad 0^\circ\text{C} \leq T < 200^\circ\text{C} \quad (6.1)$$

Donde:

T Temperatura del aire, en K

$C_i$  Coeficientes de regresión (Tabla 1).

**Tabla 6** Coeficientes para la Ecuación 6 y 6.1

| Coeficientes para la Ecuación 6 | Coeficientes para la Ecuación 6.1  |
|---------------------------------|------------------------------------|
| $C_1 = -5.6745359 \text{ E}+00$ | $C_8 = -5.8002206 \text{ E}+03$    |
| $C_2 = +6.3925247 \text{ E}+00$ | $C_9 = +1.3914993 \text{ E}+00$    |
| $C_3 = -9.6778430 \text{ E}-03$ | $C_{10} = -4.8640239 \text{ E}-02$ |
| $C_4 = +6.2215701 \text{ E}-07$ | $C_{11} = +4.1764768 \text{ E}-05$ |
| $C_5 = +2.0747825 \text{ E}-09$ | $C_{12} = -1.4452093 \text{ E}-09$ |
| $C_6 = -9.4840240 \text{ E}-13$ | $C_{13} = +6.5459673 \text{ E}+00$ |
| $C_7 = +4.1635019 \text{ E}+00$ |                                    |

2. Presión de vapor ( $e_a$ ) en Pa.

$$e_a = e_s * \frac{HR}{100} \quad (6.2)$$

Donde:

$HR$  Humedad relativa del aire (%)

3. Razón de humedad ( $W_a$ ) en  $\text{g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{aire}}$ .

$$W_a = 0.622 \frac{e_a}{P_b - e_a} \quad (6.3)$$

Donde:

$P_b$  Presión atmosférica, en Pa.

4. Razón de humedad a saturación ( $W_s$ ) en  $\text{g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{aire}}$

$$W_s = 0.622 \frac{e_s}{P_b - e_s} \quad (6.4)$$

5. Volumen específico ( $VE$ ).

$$VE = \frac{Ra * T_a (1 + 1.6078 * W_a)}{P_b} \quad (6.5)$$

Donde:

$Ra$  Constante de gas para aire seco, (287.055 J/kg·K)

6. Temperatura del punto de rocío ( $t_d$ ).

$$t_d = C_{14} + C_{15}\alpha + C_{16}\alpha^2 + C_{17}\alpha^3 + C_{18}(e_a)^{0.1984} \quad 0^\circ\text{C} < T_a < 93^\circ\text{C} \quad (6.6)$$

$$t_d = 6.09 + 12.608\alpha + 0.4959\alpha^2 \quad 0^\circ\text{C} > T_a \quad (6.7)$$

Donde:

$$\begin{aligned}\alpha &= \ln(e_a) \\ C_{14} &= 6.54 \\ C_{15} &= 14.526 \\ C_{16} &= 0.7389 \\ C_{17} &= 0.09486 \\ C_{18} &= 0.4569\end{aligned}$$

7. Entalpia ( $h$ ).

$$h = 1.006 * T_a + W_a(2501 + 1.805 * T_a) \quad (6.9)$$

8. Temperatura de bulbo húmedo ( $T_{BH}$ ).

Para el cálculo de esta temperatura se tiene que realizar una interpolación teniendo como base la Ecuación 6.9.

$$W_a = \frac{(2501 - 2.381 * T_{BH}) * W_s^* - 1.006 * (T_a - T_{BH})}{2501 + 1.805 * T_a - 4.186 * T_{BH}} \quad (6.9)$$

Donde:

$W_s^*$  Razón de humedad a saturación de la temperatura de bulbo húmedo.

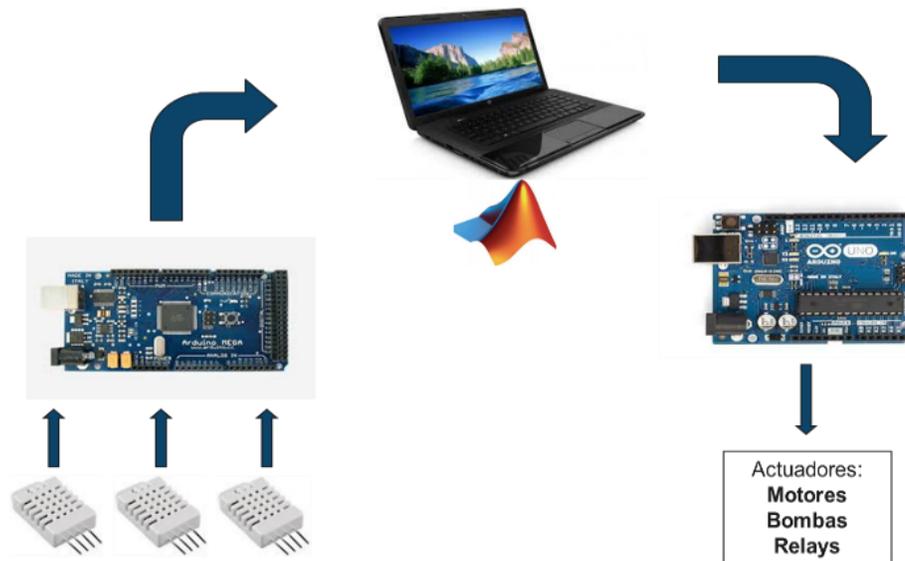
$T_{BH}$  Temperatura de bulbo húmedo.

3) Comunicación MATLAB – Arduino.

La tercera fase consistió en realizar una comunicación entre la interfaz desarrollada en MATLAB® y el microcontrolador Arduino, para controlar los sistemas del invernadero desde la GUI. Para implementar la comunicación se utilizaron dos placas de Arduino conectados a la computadora portátil (Figura 6.2), una placa MEGA utilizada para adquirir las mediciones de los sensores DHT22 (Figura 6.4) y una placa UNO para controlar los actuadores del invernadero (Figura 6.3).

Los 3 sensores DHT22 se conectaron a los pines digitales de la placa Mega. Esta placa se conectó a la computadora portátil por medio de un cable USB. A través del cable USB, la placa Mega envía la información de los sensores al ambiente de desarrollo de MATLAB®, a través de una comunicación por puerto serial. En esta comunicación la placa Arduino imprime los valores en el monitor o puerto serial; después, el software abre dicho puerto serial, lee y guarda estos valores.

**Figura 6.2** Diagrama de funcionamiento de la comunicación Matlab-Arduino



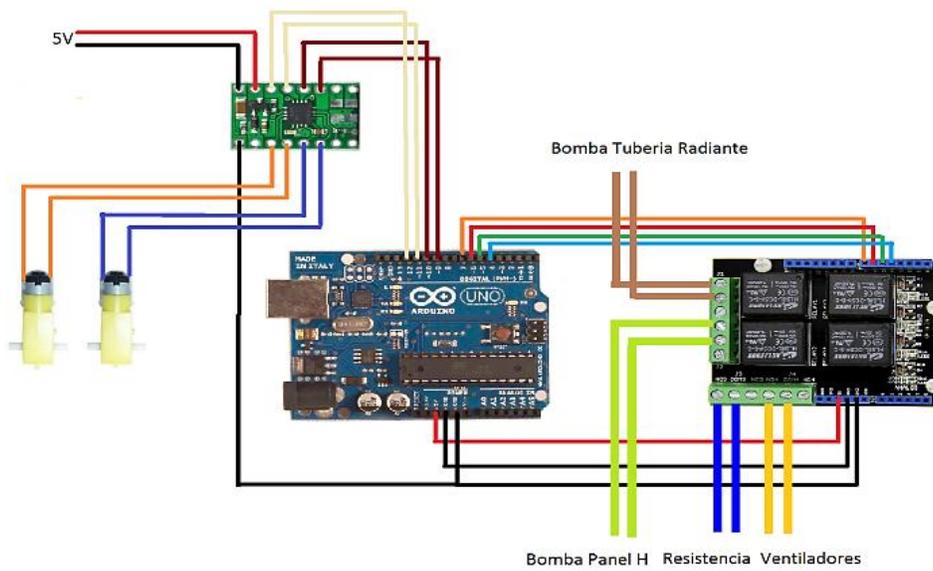
La información que recibe el software es enviada a la carta psicrométrica digital, en donde se grafican, en línea, dichos valores. Los datos de los sensores graficados en la carta psicrométrica permiten caracterizar las condiciones climáticas del invernadero, y posteriormente, implementar estrategias de control a través de los actuadores, manipulados desde la interfaz gráfica.

Para poder controlar los actuadores desde la interfaz, primeramente se cargó un programa específico a la placa UNO. El algoritmo implementado en la placa permite controlar la placa desde la GUI desarrollada en MATLAB®. Posteriormente, se instaló una paquetería en MATLAB®. Finalmente, se programaron los botones en la GUI para controlar los actuadores conectados a la placa UNO, utilizando las funciones de MATLAB® designadas para esta interfaz.

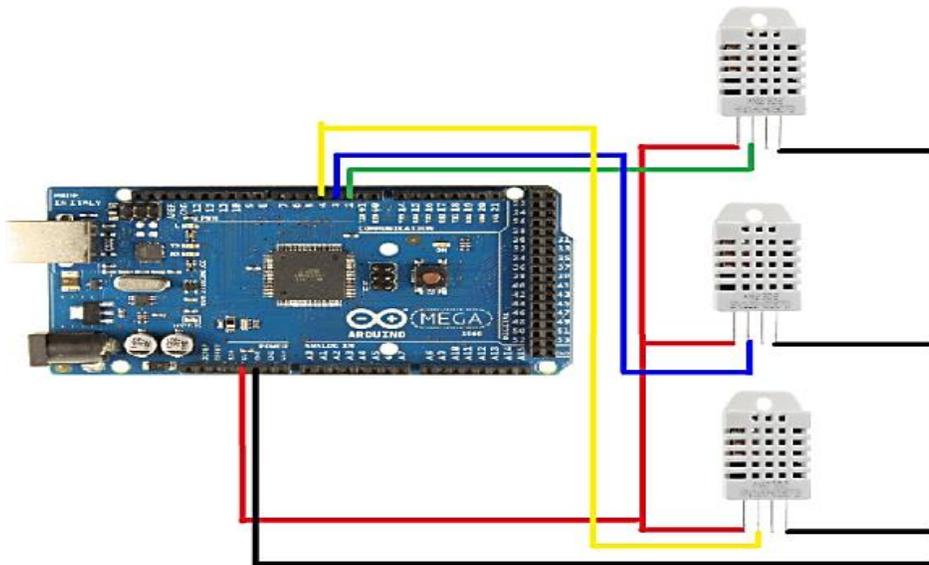
Los actuadores utilizados en los sistemas de calefacción, ventilación y humidificación se controlaron con una placa Shield Relay 2.0 compatible con Arduino (Figura 6.3). Esta placa se instaló sobre la placa UNO y se conectaron diferentes actuadores a las terminales correspondientes de la placa shield. Esta placa contiene cuatro relevadores por lo cual se pueden controlar 4 diferentes actuadores, dos bombas de agua, resistencia eléctrica y el conjunto de ventiladores.

Los motorreductores utilizados para accionar las ventilas se controlaron con un driver DRV8833. Este controlador permite abrir y cerrar la ventilas del invernadero, al cambiar el sentido de giro de los moto-reductores.

**Figura 6.3** Diagrama de conexiones para la placa Arduino UNO



**Figura 6.4** Diagrama de conexiones para la placa Arduino MEGA



Dos sensores de temperatura y humedad relativa se instalaron de manera estratégica para monitorear la temperatura al interior del invernadero (un sensor se instaló cercano al sistema de humidificación y otro sensor se colocó próximo al conjunto de ventiladores). El tercer sensor se colocó al exterior del invernadero para conocer las condiciones climáticas del medio exterior y para comparar dichas condiciones con las condiciones del interior.

Los componentes electrónicos utilizados para controlar los actuadores y establecer la comunicación entre MATLAB® y Arduino se posicionaron al exterior del invernadero (Figura 6.5), con la finalidad de facilitar las conexiones entre las placas Arduino y la computadora portátil.

**Figura 6.5** Invernadero a escala con las conexiones electrónicas



4) Interfaz gráfica de usuario (GUI).

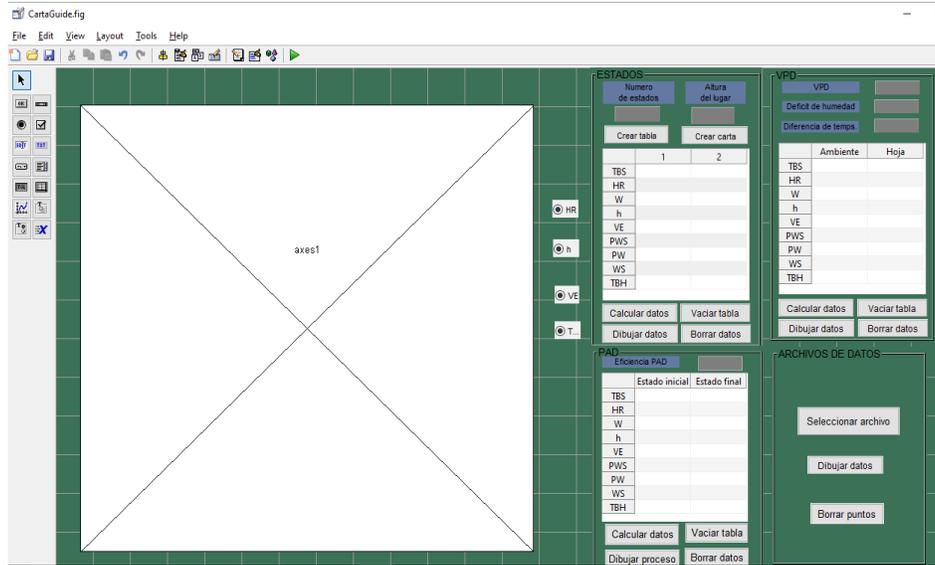
Los datos provenientes de los sensores DHT22 se visualizaron en una Interfaz Gráfica de Usuario (GUI, por sus siglas en inglés). La GUI, que se implementó en el ambiente de desarrollo MATLAB®, permite caracterizar las condiciones climáticas al interior del invernadero, a través de la carta psicrométrica digital que se anexó a la GUI. Se programaron botones en la GUI que permiten establecer la comunicación para la adquisición de las mediciones de los sensores.

De manera automática, las mediciones se grafican en la carta psicrométrica digital, lo que permite analizar las mediciones en el gráfico psicrométrico, y establecer las estrategias correspondientes para controlar las condiciones climáticas del invernadero.

Para establecer el control se programaron botones que permiten activar y desactivar los actuadores de los sistemas de calefacción, ventilación y humidificación en el invernadero.

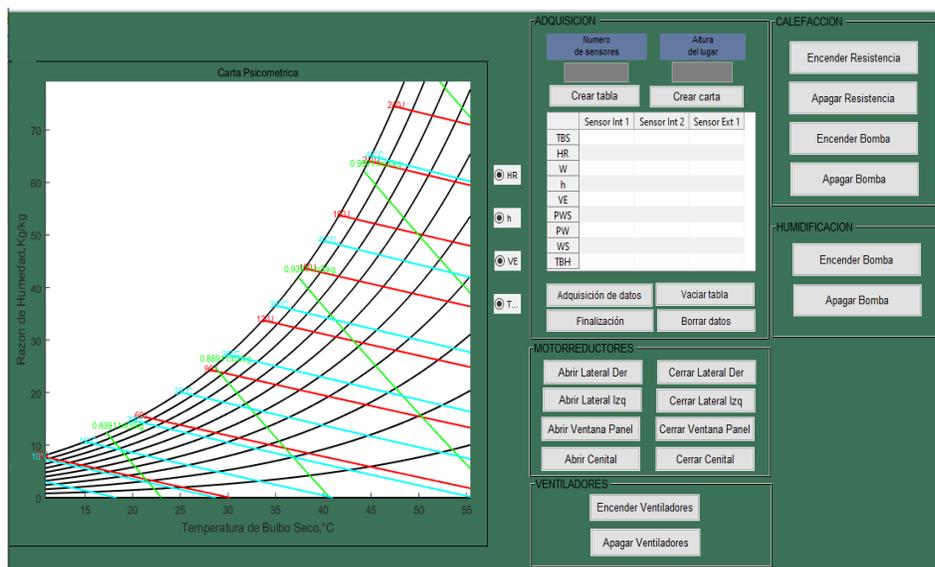
La etapa inicial del diseño de la GUI consistió en elaborar una versión preliminar (Figura 6.6). La finalidad de esta versión consistió en evaluar la carta psicrométrica digital de manera manual, es decir el usuario introduce dos parámetros psicrométricos (Temperatura de Bulbo Seco y Humedad Relativa) en la tabla que corresponde a “ESTADOS”, posteriormente, la interfaz calcula las propiedades psicrométricas del aire y las grafica en la carta psicrométrica. Esta versión preliminar permite evaluar el déficit de presión vapor (DPV o VPD por sus siglas en inglés) de manera manual.

**Figura 6.6** Diseño preliminar de la GUI en Matlab



Utilizando esta versión preliminar y en base a su funcionamiento de manera manual, se reajustó la GUI para que estableciera comunicación con Arduino y graficara los datos de temperatura y humedad relativa provenientes de los sensores y los mostrara en la diagrama psicrométrica digital de manera automática. Para la versión final de la GUI se añadieron los respectivos botones para controlar los actuadores de los sistemas de ventilación, calefacción y humidificación (Figura 6.7).

**Figura 6.7** GUI para adquisición y control de temperatura y humedad relativa



## 6.2 Conclusiones

Se pudo realizar exitosamente la comunicación entre MATLAB® y Arduino monitoreando los datos provenientes de los sensores de humedad y temperatura (DTH22) y utilizando la carta psicrométrica digital, previamente elaborada y ajustada en el ambiente GUIDE de MATLAB®.

Se logró la manipulación de los actuadores de los diferentes sistemas de control climático (moto-reductores, bombas de agua, ventiladores y resistencia eléctrica) desde MATLAB® y en línea, es decir se pudo controlar estos actuadores de manera manual. Dicho control también se puede realizar en Arduino, pero se tienen que implementar interruptores para las señales de accionamiento, lo cual aumenta costos y la necesidad de utilizar más pines en la placa de Arduino.

La carta psicrométrica digital representa las propiedades psicrométricas del aire, de manera automática, a partir de las mediciones de los sensores de temperatura y humedad relativa. Esto permite visualizar los procesos psicrométricos que se desarrollan al interior del invernadero, y establecer estrategias para controlar el clima.

Para mejorar el presente trabajo de investigación se recomiendan las siguientes acciones:

- Sellar herméticamente el invernadero para que se desarrollen, de manera adecuada, los procesos psicrométricos correspondientes en el modo de ventilación forzada.
- Implementar una bomba de agua con un caudal o flujo de agua menor a 230 L/h, esto con la finalidad de que el panel húmedo construido obtenga un flujo menor y el agua se distribuya, de mejor forma, a lo largo del panel.
- Instalar un sensor de temperatura en el depósito de agua correspondiente al sistema de calefacción, esto con la finalidad de controlar la temperatura del agua que circula por la tubería radiante.
- Utilizar otro material, diferente al plástico, para el sistema de calefacción por tubería radiante, ya que la manguera de plástico no soporta altas temperaturas.
- Realizar la comunicación MATLAB-Arduino con una sola placa, esto con la finalidad de reducir costos.
- Incorporar botones en la GUI para implementar un control automático.
- Instalar un sensor infrarrojo que permita obtener la temperatura foliar de una planta, y a partir de esto obtener el valor del déficit de presión de vapor (DPV).

### 6.3 Referencias

ASHRAE (2001). *Psychrometrics*. In "ASHRAE Handbook: Fundamentals".

Caponetto, R., Fortuna, L., Nunnari, G., Occhipinti, L., and Xibilia, M. G. (2000). *Soft computing for greenhouse climate control*. IEEE Transactions on Fuzzy Systems **8**, 753-760.

Yang, S.-f., and Simbeye, D. S. (2013). *Computerized Greenhouse Environmental Monitoring and Control System Based on LabWindows/CVI*. JOURNAL OF COMPUTERS **8**, 399.

## Determinación de concentración de metano con sensores semiconductores

ORDOÑEZ-MENDOZA, Aldo, FITZ-RODRÍGUEZ, Efrén, ESPINOSA-SOLARES, Teodoro, GONZÁLEZ-RANGEL, María del Carmen y VELÁZQUEZ-LÓPEZ, Noé

A. Ordoñez`, E. Fitz`, T. Espinosa `` , M. González` y N. Velázquez```

`Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. km 38.5 carretera México-Texcoco, C.P. 56230, Chapingo, México

``Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo. km 38.5 carretera México-Texcoco, C.P. 56230, Chapingo, México

````Departamento de Irrigación, Universidad Autónoma Chapingo. km 38.5 carretera México-Texcoco, C.P. 56230, Chapingo, México

efitzr@taurus.chapingo.mx

F. Pérez, D. Sepúlveda, R. Salazar, D. Sepúlveda (eds.) Ciencias Matemáticas aplicadas a la Agronomía. Handbook T-I.- ©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

Abstract

The instruments used to determine the gas concentrations (such as, CO_2 , CH_4 , CO , H_2O) usually use infrared sensors (IR), which makes them very expensive. In this work it is proposed to develop a device based on semiconductor sensors, which are sensitive to low concentrations and are low cost. In particular it is proposed that with this device, methane concentrations (CH_4) produced in a biodigester can be quantified. To determine methane concentration it was analyzed the conductivity change caused by air saturation with the biogas (55% CH_4) extracted from an experimental biodigester. This procedure was conducted under normal environment conditions, evaluating the sensor dynamic response, during the air saturation process. Also, the sensor conductivity changes under low oxygen concentration also was analyzed. A possible application is looked for adapting these to an inline monitoring system for experimental biodigesters.

7 Introducción

El metano (CH_4) es uno de los gases de efecto invernadero con mayor impacto a nivel mundial, y que contribuye al cambio climático. Una de las soluciones más comunes para disminuir este evento consiste en captar el metano producido durante la digestión anaerobia de desechos orgánicos. El estudio de este proceso presenta un reto por su gran complejidad, sin embargo existen parámetros indicadores para su control y monitoreo. Uno de estos parámetros es la cuantificación de la concentración de metano y dióxido de carbono (CO_2) en el biogás producido.

La digestión anaeróbica es un proceso microbiano que produce biogás, el cual se compone principalmente de dióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4). La concentración de gas metano en el biogás producido en un digestor anaeróbico varía de acuerdo a las condiciones de producción. El principal método para la cuantificación de la concentración de CH_4 es el análisis cromatográfico. Para este método se requiere de una muestra del biogás y medir el porcentaje de concentración de metano y dióxido de carbono en procesos de laboratorio. Esto resulta en la obtención de pocos datos y de alto costo; además, en de existir un número limitado de instrumentos para medir concentraciones de gases.

Algunos de los instrumentos para la detección más común, funciona con el principio de espectroscopia infrarroja, o espectroscopia acústica aunque estos resultan ser muy costosos.

Se propone como solución utilizar sensores semiconductores de óxido de metales, los cuales se pueden implementar para un sistema de monitoreo en línea. Estos sensores reaccionan ante la presencia de gases en el ambiente reduciendo su resistencia eléctrica mediante un material semiconductor a base de óxido de estaño (SnO_2), el cual al entrar en contacto con el gas metano y dióxido de carbono modifica sus propiedades conductivas, es decir la resistencia sensitiva se reduce, por consiguiente aumenta el voltaje de respuesta.

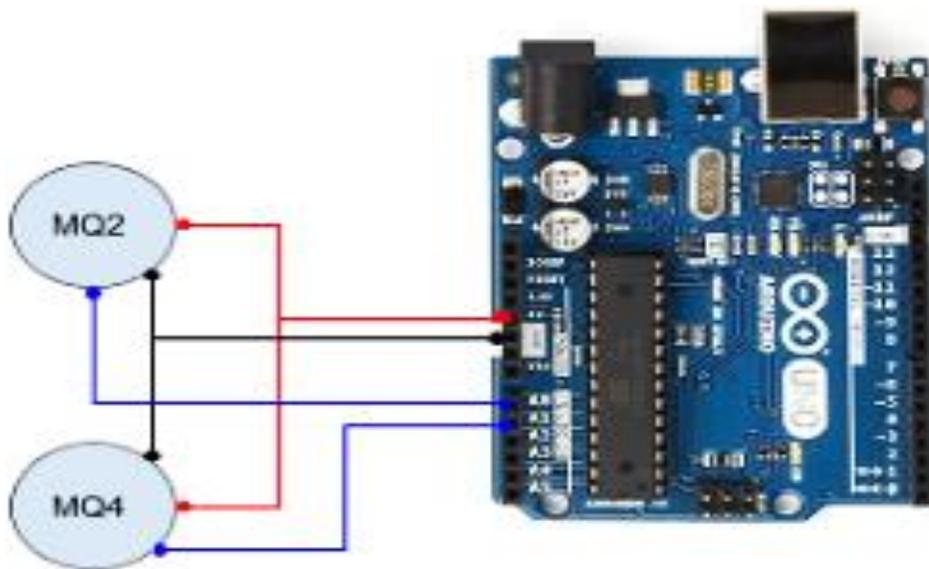
El óxido de estaño es un material capaz de modificar su conductividad ya que interactúa con las moléculas de gas presentes en el ambiente. Al absorber el oxígeno, la banda de conducción del material, expulsa los electrones absorbidos en forma de iones, lo cual deja una mayor superficie para la absorción de más electrones provenientes de los gases. La sensibilidad de los materiales basados en óxidos metálicos, cambia de acuerdo a los factores que influyen en las reacciones de su superficie, tales como composición química, modificación de la superficie, arreglos micro-estructurales, temperatura y humedad en el medio de interacción (Isolde et al, 2001).

7.1 Materiales y métodos

En el desarrollo del sistema de monitoreo en línea se implementaron dos sensores de gas (MQ2 y MQ4) de tipo semiconductor, basados en óxido de estaño (SnO_2) y diseñados para la detección de gases combustibles. Estos sensores trabajan a 5 V, con una resistencia de calentamiento a 5 V, bajo condiciones ambientales de hasta 10 000 ppm (MQ4) y 20 000 ppm (MQ2) de metano, en condiciones estándares de 21% de oxígeno, a una temperatura de 20°C y 65% de humedad relativa.

Los sensores se conectaron a un microcontrolador de plataforma abierta (Arduino UNO). Ambos sensores se conectaron a una fuente de 5 V y a tierra del mismo controlador. Los datos se transmitieron vía entradas analógicas A0 y A1 (Figura 7).

Figura 7 Conexión de sensor MQ2 y MQ4 al microcontrolador Arduino UNO



Ambos sensores, requieren de un tiempo de precalentamiento, lo cual se logra con el suministro de 5 V y un elemento resistivo, antes de empezar a tomar lecturas. Se desarrolló un algoritmo (AnalisisMatlab.ino) y se implementó en el microcontrolador para realizar el proceso de calentamiento y de lectura de los sensores (Figura 7.1a).

En una primera etapa se tomaron lecturas de aire del ambiente (a 21% de O_2) e inmediatamente se saturó el volumen con biogás a una concentración del 55% de CH_4 . Para determinar la respuesta de los sensores, se grafican los datos obtenidos.

En una segunda etapa se llenó el contenedor (una bolsa de plástico) con gas a bajas concentraciones de oxígeno, en donde se colocaron los sensores. Para eso se utilizó una jeringa de 25 mm, con la que se obtienen las muestras de gas del digestor experimental. El biodigestor es parte del equipamiento del Laboratorio de Bioprocesos de la Universidad Autónoma Chapingo (Figura 7.1b).

Figura 7.1 a) Material empleado durante la prueba de sensores y b) Digestor anaeróbico experimental

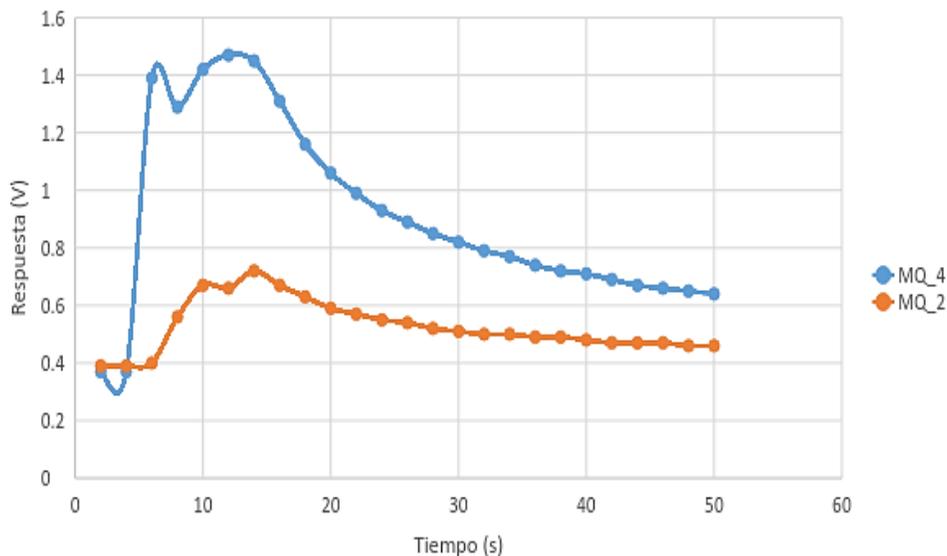


Los resultados obtenidos se grafican para analizar el cambio de conductividad que se observó en cada uno de los sensores. De acuerdo al comportamiento de los sensores se repitió el experimento 2 veces, en un periodo de medición de 60 segundos.

7.2 Análisis y discusión de resultados

Como se observa en los resultados (Gráfico 7), la respuesta de los sensores, a condiciones ambientales y a un 21% de O_2 , el sensor MQ4 muestra una sensibilidad más alta (1.5 V) en un tiempo de 15 s, mientras que el MQ2 solo registra un voltaje de 0.7 V como máximo. Sin embargo, ambos sensores muestran sensibilidad en la presencia del gas metano.

Gráfico 7 Lecturas de sensores MQ2 y MQ4, a una mezcla de aire al 21% de O_2

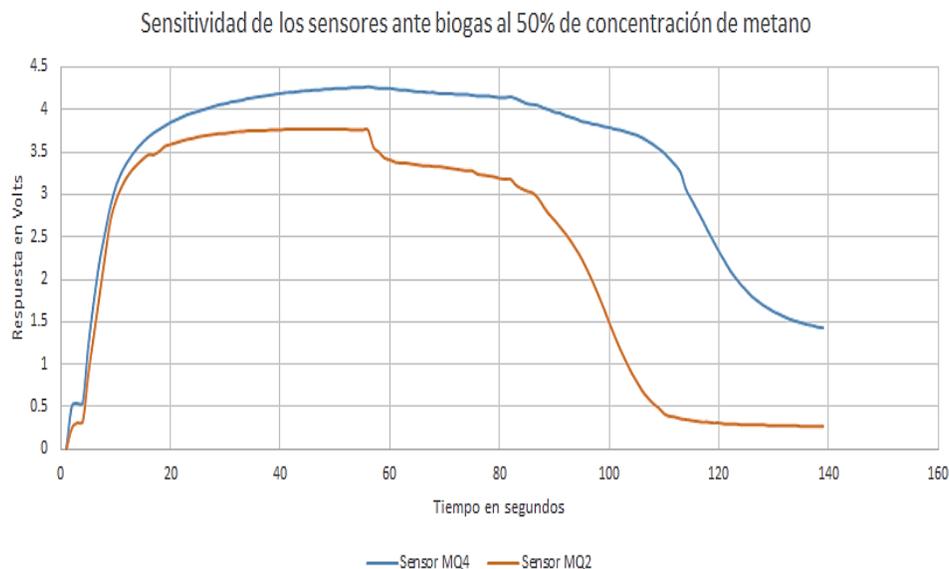


Los resultados obtenidos muestran datos interesantes en cuanto al sensor MQ2, pues la respuesta en cuanto a voltaje (Gráfico 7.1), se muestra la comparación entre los dos sensores durante un intervalo de 140 s.

La respuesta de ambos sensores, durante los primeros 10 segundos fue muy similar, y a los 20 s ambos sensores alcanzaron un punto de saturación, estabilizándose las lecturas del voltaje a 3.5 V (MQ2) y 4 V (MQ4) a los 35 s. Se puede observar que cuando el biogás se retiró de la probeta el sensor MQ2 reaccionó inmediatamente para luego disminuir su voltaje analógico de respuesta, pero se observó que el tiempo de respuesta fue de hasta 20 segundos ya que durante este tiempo la gráfica el comportamiento fue descendiendo linealmente a una razón del 2% aproximadamente. Después de este lapso de respuesta se registra una razón de cambio de hasta 10% logrando una respuesta estable a 50 s después de bajar la concentración de metano a valores ambientales. Mientras que para el sensor MQ4 el tiempo de respuesta cuando se expone a concentración ambiental fue de hasta 20 s después manteniendo un descenso en respuesta analógica del 2.6% durante 30 s aproximadamente, su tasa de cambio aumentó al 8.6% durante 20 s hasta que se estabilizó con una respuesta analógica de 1.5 V (Gráfico 7.1).

Durante la prueba los dos sensores experimentaron un cambio de voltaje debido al cambio de la resistencia eléctrica del sensor, se aprecia una diferencia considerable a pesar de estar basados en el mismo principio de funcionamiento, lo cual tiene explicación por tratarse de sensores fabricados para tener diferentes resistencias ante la presencia de diversos gases, esta diferencia se debe principalmente a la influencia que pueden tener los aditivos que constituyen al material sensitivo.

Gráfico 7.1 Respuesta del sensor MQ2 y MQ4



7.3 Conclusiones

Los sensores semiconductores son muy sensibles a concentraciones bajas de metano, mientras que estos trabajan en condiciones ambientales normales de temperatura, humedad, presión y concentración de oxígeno. Cuando el sensor MQ2 se colocó en un medio de baja concentración de oxígeno fue capaz de mantenerse dentro de un rango aceptable para la medición, es decir registró un voltaje máximo de 3.7 V, manteniendo un comportamiento estable.

Por otro lado, el sensor MQ4 por resultar más sensible a las bajas concentraciones de oxígeno, este llega a un punto de saturación, pues se mantiene sin bajar la tensión eléctrica durante un periodo muy prolongado, lo que indica que esta característica no nos permitirá medir concentraciones de al menos el 50% de metano en un ambiente saturado de biogás.

El sensor MQ2 tiene un rango de medida aceptable por su dominio durante la medición este podría trabajarse para elaborar una curva de calibración que nos permita establecer su comportamiento ante distintas concentraciones de metano en el biogás, aunque existe incertidumbre en cuanto al periodo de tiempo durante el cual se pueden mantener datos confiables, condiciones ambientales de trabajo y la precisión del sensor. Para utilizar el sensor MQ4 se requiere caracterizar el sensor ante las condiciones de trabajo sometidas durante la prueba, ya que existen aspectos muy importantes como el punto de referencia "off-set" para su uso general.

7.4 Referencias

Bothi, Kimberly Lynn. "Characterization of biogas from anaerobically digested dairy waste for energy use." May. 2007.

Isolde et al. "Micromachined metal oxide gas sensors: opportunities to improve sensor performance." *Sensors and Actuators B: Chemical* 73.1 (2001): 1-26.

Parajuli, Prakash. "Biogas measurement techniques and the associated errors." (2011).

Wang, Chengxiang et al. "Metal oxide gas sensors: sensitivity and influencing factors." *Sensors* 10.3 (2010): 2088-2106.

Yiwen Liu, Keshab R. Sharma, Sudhir Murthy, Ian Johnson, Ted Evans & Zhiguo Yuan. «On-line monitoring of methane in sewer air.» *Scientific Reports*, 2014: 8.

Detección de racimos maduros de jitomate de invernadero mediante procesamiento de imágenes

ZENA-HERNÁNDEZ, Mario Jared & FITZ-RODRÍGUEZ, Efrén

M. Zena & 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@taurus.chapingo.mx

F. Pérez, D. Sepúlveda, R. Salazar, D. Sepúlveda (eds.) Ciencias Matemáticas aplicadas a la Agronomía. Handbook T-I.- ©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

Abstract

Artificial vision systems in agriculture are increasingly present, as they contribute to automate many of the tasks that are tedious or risky. In controlled-environment agriculture, these systems can be applied either as part of robotic systems for the automation of some crop work or as part of a monitoring system to quantify morphological parameters that aid in management decision making Of the crop. Therefore, it is proposed to develop a system of artificial vision that, in a first stage, with computational algorithms detect the location of mature clusters in greenhouse tomato crops. To develop the algorithms were used images of different tomato crops, taken with a digital pocket camera. Detection was achieved by applying a sequence of image processing algorithms applied to the images. First, the effects of the blue and green color were removed by applying the subtraction $R - B$. Second, the image was binarized and the spaces were filled between tomatoes. Finally the centroids and edges were calculated for each cluster, to overlap them in the original image. The resulting system detects ripe tomato clusters in an acceptable manner.

8 Introducción

Los investigadores cada vez están más interesados en resolver los problemas de la agricultura en ambientes controlados con la implementación de sistemas robóticos o mecatrónicos, los cuales, se han ido introduciendo en las labores agrícolas en los últimos años. La tendencia indica que la implementación de sistemas automatizados en la agricultura, va en aumento de la misma manera como en la producción industrial (Van Henten EJ 2002).

Uno de los sistemas principales con los que debe de contar un robot en la actualidad es el sistema de visión, el cual acompañado de otro tipo de sensores no ópticos, o por si solo, le brindan al robot información sobre el ambiente de trabajo, permitiéndole realizar más tareas, de forma autónoma y eficiente. Se han hecho algunas investigaciones sobre este tema sin embargo los sistemas propuestos no han cumplido con los requerimientos en cuanto eficiencia y costos (Bac 2015).

El objetivo principal de este estudio, que se plantea a largo plazo, es el desarrollo de un sistema de visión artificial, implementado arquitecturas abiertas (Raspberry Pi2) y cámaras web regulares y con filtros infrarrojos adicionales, y cuyo resultado pueda ser aplicable a productores nacionales. La aplicación resultante tiene dos objetivos específicos:

1. Monitoreo del cultivo, maduración de los frutos y estimación de rendimientos.
2. Localización de los frutos para la posterior cosecha robotizada.

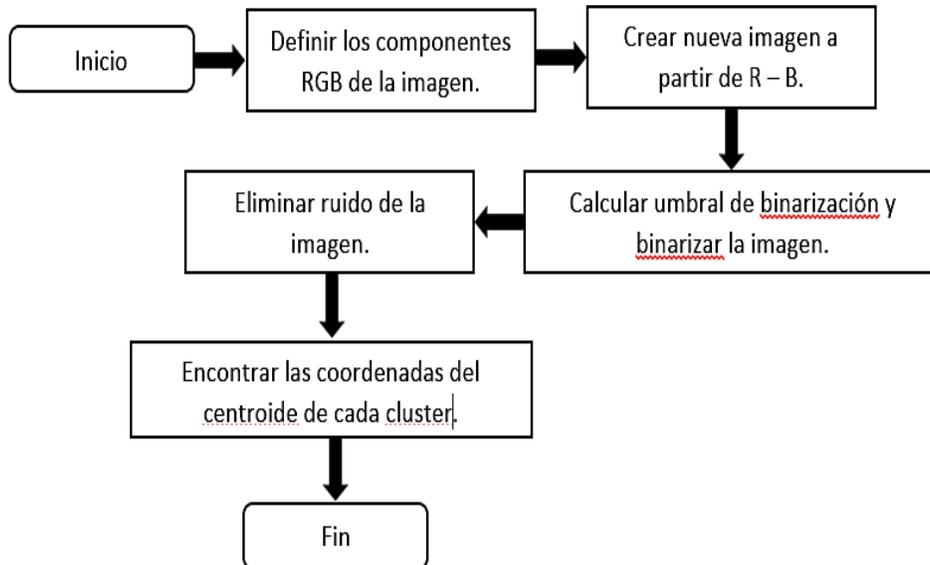
El problema de identificación de racimos resulta complejo, puesto que, el entorno donde se encuentran, presentan escenarios diferentes y condiciones variantes en cada instante, resultando en ambientes no estructurados. Aunado a esto la forma, tamaño, color y textura de los racimos presentan una gran variación incluyendo a otros componentes (como hojas, tallos, y materiales de manejo del cultivo) que obstruyen el objetivo a detectar.

Por lo tanto la solución propuesta en este artículo consiste en un sistema de procesamiento de imágenes simple, capaz de identificar racimos de jitomates maduros.

8.1 Materiales y métodos

La primera etapa del desarrollo del sistema de visión artificial, se enfocó en la definición de los algoritmos necesarios para el procesamiento de imágenes (Figura 8). En este caso solo se implementaron métodos en el espacio de colores RGB. Sin embargo, en un futuro se implementaran otros espacios como el HSV tal cual lo proponen otros autores (Arefi A 2011).

Figura 8 Diagrama de flujo del procesamiento de imágenes



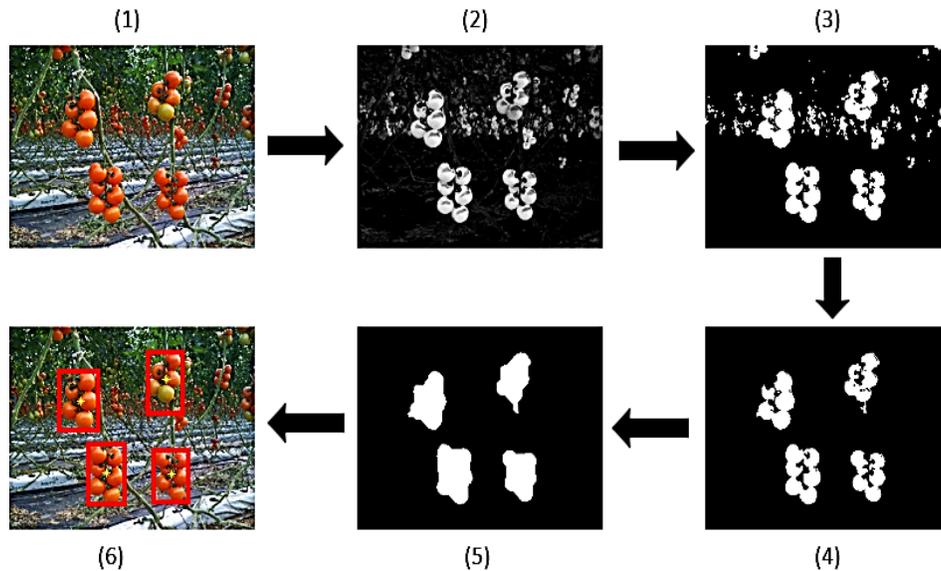
El resultado de cada uno de los pasos implementados, definidos en el algoritmo anterior se observa en cada una de las imágenes de la Figura 8.1.

8.2 Adquisición de imágenes

Se obtuvieron imágenes digitales de cuatro cultivares diferentes de jitomate, bajo diferentes escenarios donde se las condiciones de luz así como también la distancia y ángulo de adquisición eran diferentes. Se analizaron las imágenes y se seleccionaron 15 para realizar las pruebas correspondientes del algoritmo.

En esta etapa, se utilizó una cámara digital de bolsillo para tomar las imágenes de diferentes cultivos de jitomate. Los algoritmos de procesamiento de las imágenes se implementaron en Matlab® y con la herramienta de Image Processing Toolbox™ (MathWorks®, Natick, MA, USA).

Figura 8.1 Algoritmo de procesamiento de imagen para detección de racimos. 1) Imagen adquirida, 2) Sustracción de colores ($R - B$), 3) Binarización de imagen a partir de un umbral definido, 4) Filtrado de ruido por eliminación de áreas pequeñas, 5) Unificación de racimos completos y cálculo de centroides y 6) ubicación de centroides y delimitación de racimos identificados en la imagen original



La binarización de la imagen (algoritmo 3 y Figura 8.1 (3)) se realizó a partir de un umbral predeterminado (Gráfico 8) que se definió a prueba y error, con el cual se podía discriminar zonas con una mayor concentración de blancos y que se refleja en donde están agrupados los jitomates, en este caso los racimos.

8.3 Resultados y discusión

El algoritmo se puso a prueba con 20 imágenes en bajo diferentes escenarios. De estas, se lograron detectar 34 de un total de 39 racimos en todas las imágenes, resultando en un 87.2% de éxito en la detección de racimos (Tabla 8 y Figura 8.2).

Gráfico 8 Histograma correspondiente a la imagen $R - B$, la línea muestra el umbral local de binarización

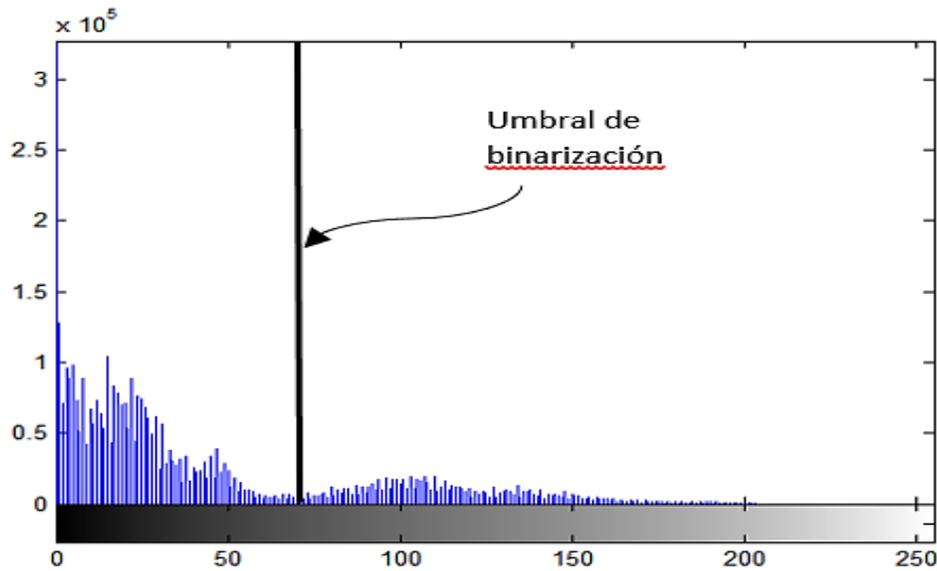


Tabla 8 Evaluación del algoritmo de procesamiento de imágenes

| | | |
|---------------------------------|-------|-------|
| Racimos detectados | 34/39 | 87.2% |
| Racimos detectados parcialmente | 13/34 | 38.2% |
| Racimos no detectados | 4/39 | 10.3% |
| Falsos racimos detectados | 13 | |

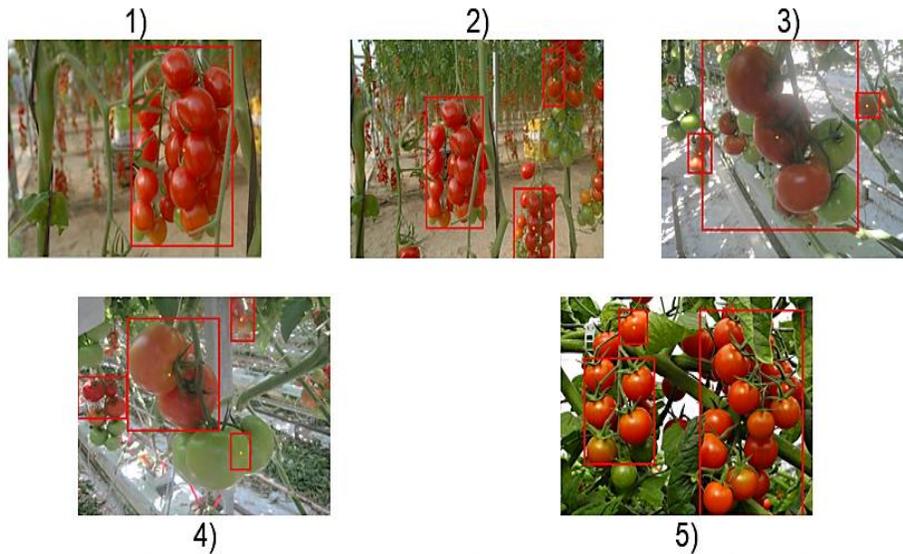
8.4 Conclusiones y recomendaciones

El algoritmo detectó un 87% de los racimos presentados en las imágenes digitales. Estos se separaron del fondo y se calcularon los centroides y los bordes de frontera y posteriormente sobrepuestos en la imagen original. Con las imágenes de prueba fue posible observar que en algunos casos los racimos fueron detectados solo parcialmente, debido a la falta de maduración de algunos de los jitomates que los componen. Este problema no se puede resolver por medio de un algoritmo que trabaje solo con el espacio RGB sino que esto implica el uso de otros espacios de color como el HSV o algoritmos para medir la forma de los racimos, la textura y el radiación que emiten, parámetros que pueden ser cuantificados por medio de la visión artificial.

Para mejorar este algoritmo se deben implementar las siguientes acciones:

1. Realizar un algoritmo de procesamiento para cada variedad de jitomate.
2. Programar umbrales automáticos por medio de histogramas y regiones de píxeles, tanto como para eliminar el ruido como para realizar las conexiones de píxeles de un jitomate y de otro.
3. Además de la detección de color, agregar la detección de forma y textura de los jitomates para tener más argumentos de decisión.
4. Utilizar una cámara infrarroja que proporcione información sobre la temperatura de los frutos.

Figura 8.2 Resultados de la prueba del algoritmo. 1) Racimo correctamente detectado. 2) Racimos no detectados debido a su pequeño tamaño. 3) Racimos adyacentes o traslapados que se detectaron como uno solo. 4) Falsa detección de racimos. 5) Detección parcial de racimos debido a hojas o tallos que los cubrían



8.5 Referencias

Arefi A, Modarres MA, Mollazade K, Farrokhi TR. "Recognition and Localization of Ripen Tomato based on Machine Vision." *AJCS*, 2011: 5:1144-1149.

Bac, C. Wouter. *Improving obstacle awareness for robotic harvesting of sweet-pepper (Published PhD thesis)*. Wageningen: Wageningen University, 2015.

Rong X, Huanyu J, Yibin Y. "Recognition of Clustered Tomatoes based on Binocular Stereo Vision." *Computers and Electronics in Agriculture*, 2014: 106:75-90.

Van Henten EJ, Hemming J, Van Tuijl BAJ, Kornet JG, Meuleman J, Bontsema J, Van Os EA. "An Autonomous Robot for Harvesting Cucumbers in Greenhouses." *Autonomous Robots*, 2002: 13:242-258.

Wei X, Jia K, Lan J, Li Y, Zeng Y, Wang C. "Automatic Method of Fruit Object Extraction under Complex Agricultural Background for Vision System of Fruit Picking Robot." *Optik*, 2014: 5684-5689.

Yamamoto K, Guo W, Yoshioka Y, Ninomiya S. "On Plant Detection of Intact Tomato Fruits Using Image." *Sensors*, 2014: 14:12191-12206.

Diseño de un mecanismo extractor de semillas de calabaza sin causar daño a la pulpa

TAMAYO-CASTAÑEDA, Samuel Osvaldo, CARREÓN-REYES, Eduardo, NANCO-COLULA, José Ramón y FITZ-RODRÍGUEZ, Efrén

S. Tamayo, E. Carreón, J. Nanco y E. Fitz

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

F. Pérez, D. Sepúlveda, R. Salazar, D. Sepúlveda (eds.) Ciencias Matemáticas aplicadas a la Agronomía. Handbook T-I.- ©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

Abstract

The cultivation of the pumpkin in Mexico is of great importance since both the seed and the pulp are used in the elaboration of foods, sweets, snacks, and various products. The extraction of the seed is generally done manually. However in the mechanized processes the squash is completely ground and then the seed is obtained by means of flotation, wasting the pulp. Therefore it is proposed to design a machine that allows the extraction of the seeds, without causing damage to the pulp and to be able to use it in the elaboration of other products. The proposed prototype consists of mechanisms to: 1) cut the pumpkin, 2) segment orientation mechanism and 3) endless seed extraction mechanism.

9 Introducción

La calabaza es un vegetal de gran importancia en México el cual se utiliza principalmente como alimento y en la elaboración de botanas. Cuatro de las cinco especies domésticas se produce en la mayor parte del territorio Nacional. La calabaza tiene un aprovechamiento integral, desde los frutos tiernos, maduros y las semillas son comúnmente empleadas como alimentos, las flores y partes tiernas se utilizan como verduras. Se han reportado usos medicinales, dado que las semillas contienen una encima que actúa contra diversas lombrices intestinales. En la elaboración de artesanías, los cascos secos y libres de pulpa son utilizados para elaborar juguetes, recipientes y adornos. En usos industriales se utiliza para elaborar moles, aceites comestibles, cera para calzado y usos farmacéuticos.

En México la producción de esta especie se dedica principalmente para consumo de calabacitas y en menor medida los frutos maduros como calabazas. Y las producciones promedio son 21.21 t/ha para la calabaza y 15 t/ha para la calabacita (SINAREFI, 2015). El uso de la calabaza madura es cada vez mayor, pero en su mayoría es para producir semillas y no se aprovecha la pulpa del fruto, pues las maquinas que realizan la extracción rompen el fruto en pedazos y lo tiran en la parcela. Por lo tanto, se propone desarrollar una máquina prototipo para la extracción de semillas de calabaza, sin causar daño a la pulpa, lo que permitirá que esta sea utilizada en la elaboración de otros productos secundarios.

9.1 Materiales y métodos

Para el desarrollo del prototipo se aplicó la metodología de diseño en ingeniería, para lo cual se siguieron los siguientes pasos:

Definición del problema.

El fruto maduro de la calabaza tiene la posibilidad de ser usado de manera íntegra, pero la extracción de la semilla, que es la parte más rentable, implica un proceso que deja inutilizable al resto del fruto, es por esto que se requiere de una máquina para extraer la semilla sin dañar la pulpa y que esta pueda ser usada.

Diseño conceptual.

Para la extracción de semillas se identifican al menos tres etapas: 1) Corte de la calabaza, 2) separación y posicionamiento de los segmentos y 3) extracción de semillas. Para cada una de estas etapas, se realizaran diversas propuestas, las cuales se evalúan y se selecciona la mejor opción.

1) Corte de la Calabaza.

En esta etapa se propusieron dos opciones:

1) disco de dentado y 2) sierra recta de vaivén.

La sierra tiene el inconveniente de que podría ocasionar que la calabaza quede atorada en la hoja, además de que es más costosa y complicada. El mayor inconveniente del disco es que requiere un gran tamaño, pues si la calabaza promedio mide entre 25 y 30 centímetros, el disco debe ser al menos del doble de tamaño.

Se considera que el disco es la opción más conveniente.

2) Separación y posicionamiento de segmentos.

En esta etapa se propusieron: 1) una rampa curva que haga girar la calabaza, 2) rampas a diferentes alturas, y 3) una rampa y un mecanismo giratorio.

La rampa curva y la rampa a diferente altura son más sencillas que la rampa con mecanismo giratorio, pero también son más imprecisas, pues la velocidad con que se posicionen dependerá del tamaño de la calabaza, la forma, etc. El mecanismo giratorio de la tercera opción proporcionará un mayor control para colocar los segmentos en un tiempo adecuado.

Se selecciona la rampa y mecanismo giratorio como la opción más conveniente.

3) Extracción de semillas.

Para extraer las semillas se requiere realzar un raspado y además el mecanismo debe avanzar y retroceder para permitir el cambio de calabaza. Para el raspado se usará un tornillo sinfín y para avanzar y retroceder se propone montar los tornillos en: 1) un mecanismo manivela corredera, 2) un carro sobre un riel, y 3) un mecanismo de movimiento recto.

Por facilidad en la manufactura se seleccionó el carro sobre un riel, y para solucionar el avance retroceso se recurre a una cadena con un impulsor, el cual hace retroceder el carro cada vez que llega a una posición determinada. Luego de retroceder el carro el impulsor se libera y después el carro avanza al ser tirado por un contrapeso.

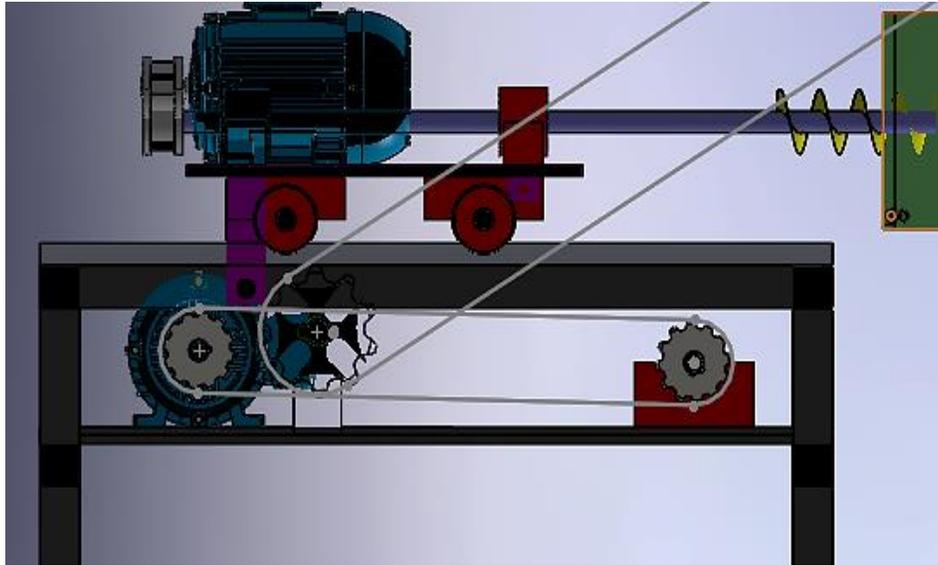
La cadena con el impulsor, nos permite utilizar una cruz de malta para sincronizar el mecanismo giratorio para posicionar la calabaza y el avance retroceso del carro en el riel (Figura 1).

9.1 Diseño detallado

9.1.1 Velocidad de los motores

La cantidad de calabazas que puede procesar la máquina en un determinado tiempo, está dado por la velocidad del motor que hace retroceder los tornillos sinfín, y la velocidad del motor que hace avanzar la banda. Una calabaza representa un cuarto de giro de la cruz de malta, por lo que por cada calabaza la cadena con el impulsor debe completar un giro (Figura 9).

Figura 9 Corte, cadena impulsora y cruz de malta



Las revoluciones de giro del motor se calculan como:

$$rev = \frac{nc*(2L+P)}{P} \quad (9)$$

Donde:

nc = número de calabazas

L = longitud entre los ejes de las poleas

P = perímetro de las catarinas

De modo similar las revoluciones del motor de la banda transportadora, se calculan como:

$$rev2 = \frac{nc*et}{P2} \quad (9.1)$$

Donde:

et = espacio entre topes (que empujan a la calabaza contra el disco y facilitan su transporte)

$P2$ = perímetro de la catarina del motor.

Tanto rev y $rev2$, deben ser convertidas a rpm y después a velocidad angular para expresarse como velocidad de un motor. Para esto se usan las siguientes ecuaciones:

$$rpm = \frac{rev}{t} \quad (9.2)$$

rpm = revoluciones por minuto para procesar nc calabazas en t minutos

rev = revoluciones del motor puede ser rev o $rev2$

t = tiempo en que nc calabazas son procesadas

$$w = rpm \left(\frac{2\pi}{60} \right) \quad (9.3)$$

w = velocidad angular

9.1.2 Avance y retroceso de los tornillos sin fin

Para el avance, se considera que la fricción entre las ruedas y el riel es nula, además el avance se logra gracias a un contrapeso, por lo que la velocidad y la aceleración, estarán dadas en función de la fuerza de gravedad (Figura 9.1).

$$a = g \quad (9.4)$$

$$v = g * t \quad (9.5)$$

Para el retroceso la velocidad será igual a la velocidad angular del motor multiplicad por el radio de la Catarina y como el motor es constante no habrá aceleración.

9.1.3 Velocidad de giro de la cruz de malta

El mecanismo de cruz de malta nos permite sincronizar el avance de los tornillos sin fin con el giro del mecanismo posicionado. Pero, al ser impulsado por un movimiento lineal su velocidad es variable y esta variación está determinada por el cambio de radio de impulso y disminuye conforme se acerca al centro (Figura 9.2).

Figura 9.1 Avance y retroceso de tornillos sin fin

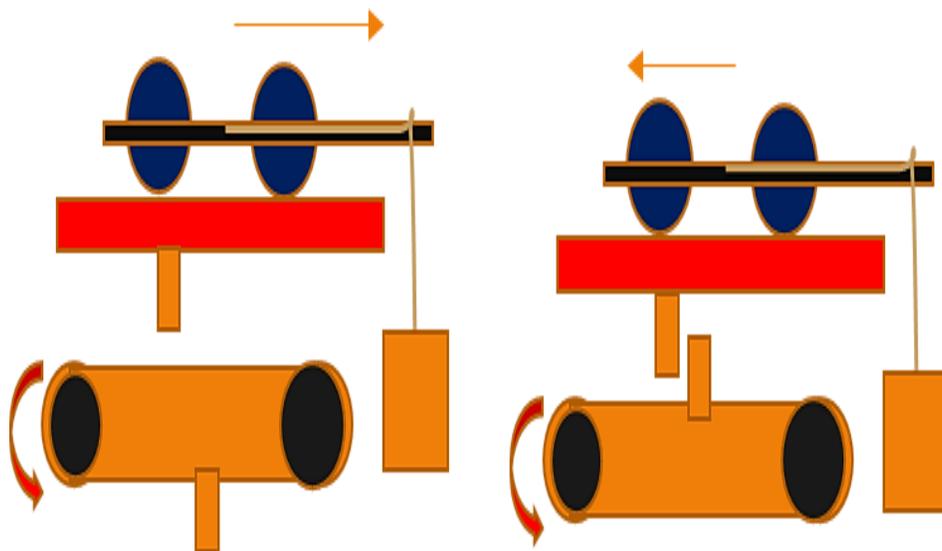
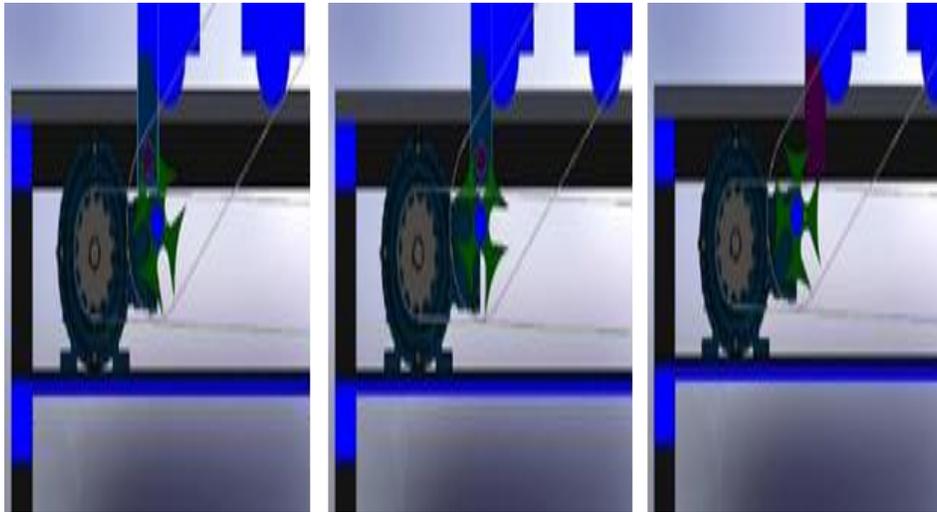


Figura 9.2 Cambio de radio de acción en la cruz de malta



El radio se define entonces por:

$$r = \sqrt{49.70^2 + x^2} \quad (9.6)$$

x = distancia horizontal desde el eje de la cruz de malta al impulsor.

La velocidad angular de la cruz de malta (Gráfico 9), estará dada entonces por:

$$\omega_m = \left(\frac{VI}{r} \right) \quad (9.7)$$

Donde:

VI = velocidad lineal del impulsor y se calcula como:

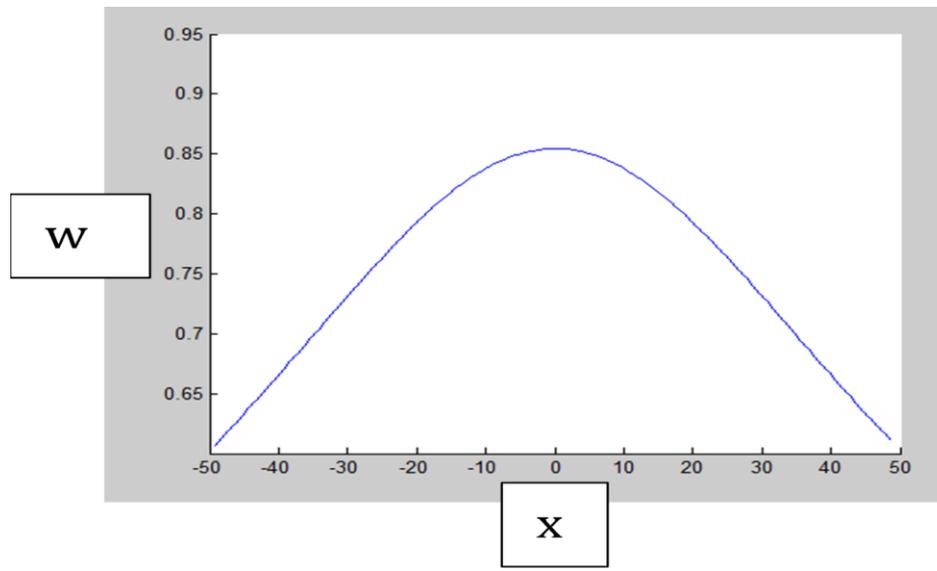
$$VI = \omega * R \quad (9.8)$$

Donde:

R = radio de la catarina

ω = velocidad angular, correspondiente al motor que mueve el carro con los sinfín.

Gráfico 9 Cambio de la velocidad angular de la cruz de malta, según la posición del impulsor



Dada la transmisión, 1 a 1, que se usa, esta velocidad es la misma con la que gira el mecanismo orientador de calabazar.

9.1.4 Mecanismo de descarga tipo seguidor

El análisis cinemático de este mecanismo se realizó con el software DINACAM, donde es necesario ingresar los datos de posición y ángulos relevantes en la trayectoria del seguidor. Los datos del seguidor son: 1) posición en cero durante 180 grados, 2) movimiento de elevación de 0 mm a 68 mm en 45 grados de giro, 3) movimiento de elevación hasta 100mm en los siguientes 22.5 grados, 4) movimiento de bajada, de 100 a 68 mm durante 22.5 grados, 5) movimiento de bajada, de 68 a 0mm, en 45 grados, y finalmente 6) fase de detenimiento en 0 mm durante los últimos 45 grados de rotación.

Con estos datos se realiza el análisis cinemático que incluye posición, velocidad, aceleración y sacudimientos (diagrama SVAJ) del comportamiento de la leva (Gráfico 9.1).

9.1.5 Construcción del prototipo

En la construcción del prototipo se utilizaron materiales, tales como lámina de calibre 20, ejes y ángulos de ½ pulgada, con un costo aproximado de \$1500.00 MXN. Además de utilizar padecería del taller de manufactura del Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola de la UACH. En la manufactura del prototipo se utilizaron herramientas de corte, soldado y torneado de algunas partes. El prototipo construido (Figura 9.3) replicó la cinemática del diseño propuesto, sin embargo no se llegó a probar con calabazas reales para probar su eficiencia.

9.2 Análisis y discusión de resultados

A continuación se presentan algunas tablas (Tablas 9 y 9.1) de los resultados obtenidos del diseño a detalle. Así como consideraciones acerca de estos datos.

Figura 9.3 Modelo en SolidWorks y prototipo de la maquina propuesta. a) banda con cierra de corte circular. b) sistema de posicionamiento de calabazas. c) Tornillos sinfín extractores y sistema de avance retroceso de los mismos

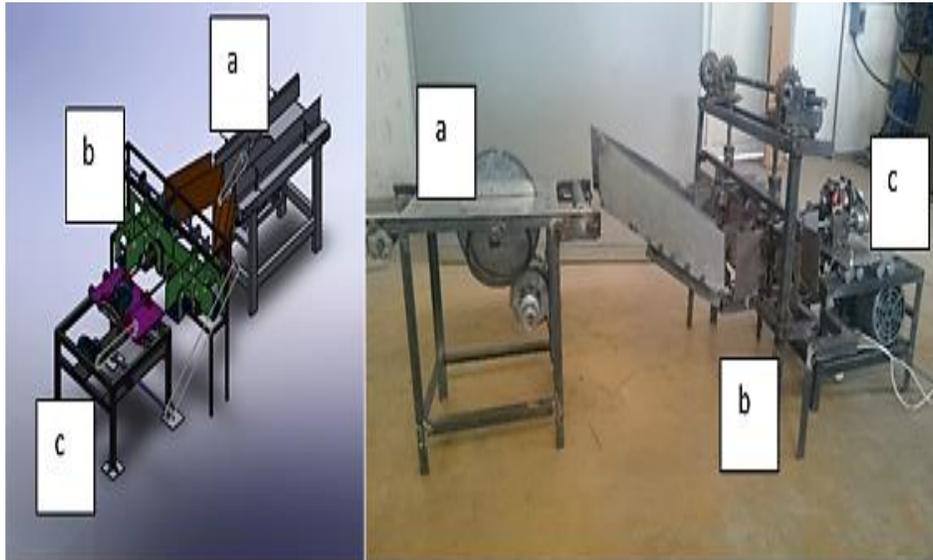


Tabla 9 Datos para el motor que mueve el carro sobre el riel, con un tiempo $t = 3$ min

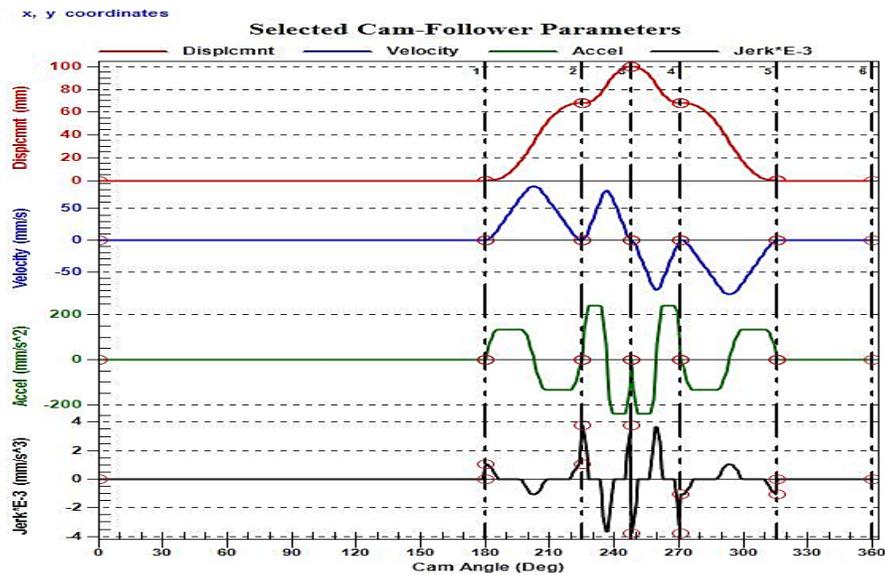
| | Número de calabazas | Revoluciones de la cadena impulsora | Revoluciones por minuto | Velocidad angular | Velocidad lineal |
|----------|---------------------|-------------------------------------|-------------------------|-------------------|------------------|
| L (mm) | 1 | 5.5 | 1.8 | 0.2 | 8.5 |
| 625.24 | 2 | 11.0 | 3.6 | 0.4 | 17.0 |
| P (mm) | 3 | 16.5 | 5.5 | 0.6 | 25.5 |
| 278.7 | 4 | 22.0 | 7.3 | 0.8 | 34.0 |

Tabla 9.1 Datos para el motor que mueve el rodillo impulsor de la banda transportadora, con un espacio entre toques de 50 cm, en un tiempo $t = 3$ min

| | Numero de calabazas | Revoluciones del motor de la banda transportadora. | Revoluciones por minuto | Velocidad angular | Velocidad lineal |
|-----------|---------------------|--|-------------------------|-------------------|------------------|
| Et (mm) | 1 | 1.6 | 0.5 | 0.05 | 2.8 |
| 500 | 2 | 3.1 | 1.0 | 0.1 | 5.6 |
| $P2$ | 3 | 4.7 | 1.6 | 0.16 | 8.3 |
| 320 (mm) | 4 | 6.2 | 2.1 | 0.22 | 11.1 |

Lo que resalta de estas tablas son las bajas velocidades a las que están trabajando los motores para el número de calabazas aquí mostrado y el intervalo de tiempo indicado. Por lo que es de suponerse que se pueden hacer funcionar a mayores velocidades, en cuyo caso habrá que hacer un análisis del comportamiento del mecanismo a mayores velocidades. Si los resultados muestran que no es factible que funcione a altas velocidades entonces se deberán utilizar moto-reductores para ajustar las velocidades de los motores.

Gráfico 9.1 Análisis del mecanismo de leva, seguidor. Con el programa DINACAM



En el Gráfico 9.1 se hace notar que el análisis de sacudimiento muestra variaciones repentinas muy marcadas, lo que en nuestro caso es algo favorable, pues lo que se busca es proporcionar una perturbación para que la calabaza se desprenda y caiga. En cuanto a las gráficas de velocidad y aceleración son continuas y no tienen cambios repentinos importantes.

9.3 Conclusiones

Se logró construir un prototipo que es capaz de replicar los movimientos y la sincronización que se esperaba del diseño, pero este prototipo (de bajo presupuesto) es bastante rustico y no desempeña la función final en forma adecuada por la elevada fricción entre piezas y un uso inadecuado de motores como sustitutos a los que debería tener. Se observa de las Tablas 9 y 9.1 que las velocidades de funcionamiento que requieren los motores para funcionar a menos de 5 calabazas por tres minutos son muy bajas, por lo que sería apropiado que se trabajara a mayor cantidad de calabazas o en su caso utilizar moto-reductores para regular las velocidades de los motores.

9.3 Referencias

Norton, R. L. 2012. *Diseño de maquinaria, Síntesis y análisis de máquinas y mecanismos*. México: McGraw Hill Education.

SINAREFI-2015 Disponible en: http://www.sinarefi.org.mx/redes/red_calabaza.html

Interfaz hombre máquina para el manejo digital de información entomológica

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

E. Solís, 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

F. Pérez, D. Sepúlveda, R. Salazar, D. Sepúlveda (eds.) Ciencias Matemáticas aplicadas a la Agronomía. Handbook T-I.-
©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

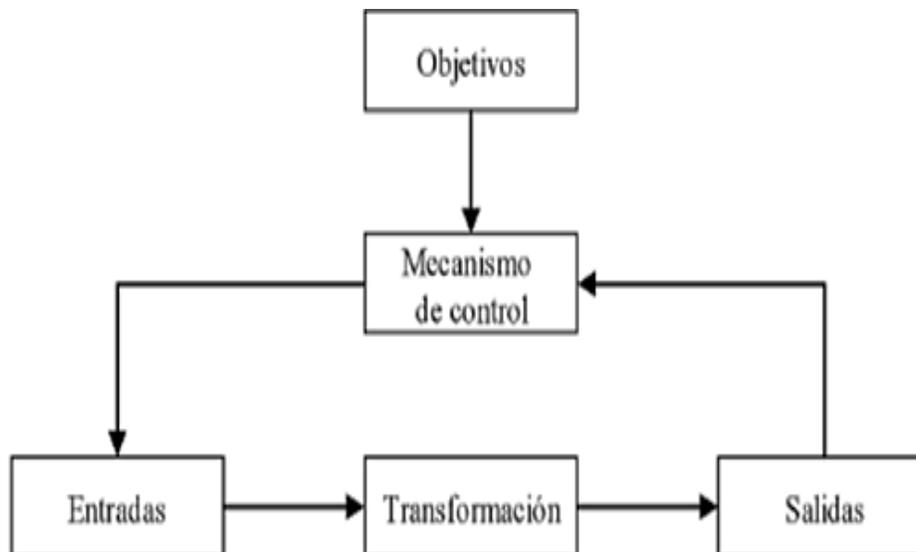
Abstract

This work presents a software that allows the capture, processing and presentation of entomological information based on free software which allows a robust tool with low cost. The sample data is about the tribe of beetles in the family Cerambycidae known as acanthocinini. This platform is a tool that facilitates the storage and processing of characteristics for different individuals of that tribe, and allows displaying a photograph relating to the specimen and an image of its host plant. This represents a more dynamic platform to present the data of each specimen in a simple and effective way to facilitate the processing of information to researchers, students and any user that needs to use this platform manner.

10 Introducción

“La información es un recurso vital para cualquier organización, su correcto procesamiento y utilización suponen ventajas competitivas contra otras organizaciones con menos estructura en el tratamiento de sus datos” (López, 2007). Una de las principales herramientas que dan soporte a las organizaciones para administrar su información son precisamente los Sistemas de Información. Estos sistemas son en la actualidad una de las herramientas de gestión más importantes para cualquier tipo de campo, ya sea con fines de investigación, académicos o comerciales. Dicho esto, primero deberemos definir lo que es un sistema, Fernández (2006) define a un sistema como “un conjunto de componentes que interactúan entre sí con la finalidad de cumplir con un objetivo en específico”. Básicamente el funcionamiento de un sistema se puede representar de manera genérica con cinco bloques primordiales tal y como se puede observar en la figura 10:

Figura 10 Modelo general de un sistema



Fuente: Adaptado de Fernández (2006).

En este modelo se considera que un sistema está representado por cinco puntos esenciales, el primero son las entradas, los recursos que acceden al sistema, estos posteriormente son procesados mediante el bloque de transformación el cual es controlado por el mecanismo de control para finalmente dar salida a un resultado que satisfaga los objetivos que el sistema tiene desde un principio.

Ahora bien, por otro lado la definición de un sistema de información no está del todo definida o mejor dicho, no se considera exacta y varía según la literatura que se consulte. En 1992, Andreu, Ricart y Valor, definieron a un sistema de información como “un conjunto formal de procesos que, opera un conjunto estructurado de datos que de acuerdo a las necesidades de una organización, recopila, elabora y distribuye la información necesaria para la operación de dicha empresa y apoya a la toma de decisiones necesarias para desempeñar las funciones y procesos que la misma requiere de acuerdo a sus estrategias”. En lo que todos los autores coinciden es que los sistemas de información tienen un sin número de aplicaciones en diferentes campos de la sociedad.

Finalmente, es importante recalcar que este proyecto está enfocado a proporcionar una herramienta de software para el campo de la entomología que permita de una manera sencilla administrar los datos correspondientes a una colección de insectos con la posibilidad de almacenar y presentar imágenes pertenecientes a dicha colección.

Con la finalidad de probar la plataforma de software propuesta, se procesó información referente a una tribu de insectos de tipo coleópteros conocida como acantocininos. Esta información, que pertenece a una recopilación de datos llevada a cabo por el Colegio de Posgraduados, alberga una cantidad mayor a 50,000 registros diferentes de individuos pertenecientes a la tribu, de los cuales podemos destacar características tales como Familia, Tribu, Género, Especie, País y Planta Hospedera, entre otras.

10.1 Materiales y métodos

El Sistema está compuesto por tres módulos, el primero se encarga de mostrar la información previamente capturada en una interfaz gráfica de lo más intuitiva que permite navegar entre los diferentes individuos y filtrar los datos mostrados por diferentes características de los mismos. El segundo módulo consiste en la captura de información, en este se presenta una interfaz gráfica que permite ingresar los datos referentes a cada una de las características de un espécimen de la tribu en cuestión. Finalmente el tercer módulo consiste en una interfaz de captura de imágenes por medio de una cámara USB instalada previamente en la computadora.

Como sabemos, el diseño de cualquier aplicación de software pasa por tres puntos esenciales para su desarrollo, el primero consiste en la identificación del problema, posteriormente se requiere de un análisis detallado del problema para finalmente diseñar un programa que permita resolver dicho problema. Para llevar a cabo este proceso el, o los, desarrolladores pueden hacer uso de alguna de las metodologías que se han definido en la actualidad para facilitar de cierto modo esta tarea. Como se describe en David (2011) “actualmente existe un amplio rango de metodologías que pueden ser aplicadas para ayudar al diseño sistemático de programas, que generalmente, consisten en una división del problema en módulos pequeños que faciliten el desarrollo de una aplicación que resuelva dicho problema”. Tinoco (2010) clasifica tales metodologías en dos corrientes muy marcadas, la primera conocida como metodologías tradicionales, se concentran en el control de procesos y fines que tiene como objetivo resolver el software, la segunda es la corriente de metodologías ágiles, en las cuales interviene la constante participación del usuario y un incesante incremento del software con iteraciones muy cortas. Para el desarrollo de esta propuesta se seleccionó la metodología de desarrollo iterativo conocida como Metodología por prototipos. Esta metodología, como se explica en Alonso (2005) surge en los años 80’s y básicamente consiste en la construcción de prototipos iterativamente evolutivos que permiten cumplir por etapas con cada uno de los requerimientos que el usuario final haya definido. A continuación, se detalla cada parte que integra el sistema:

10.1.1 Base de Datos

La base de datos que fue proporcionada por el Colegio de Posgraduados estaba codificada con formato de Base de Datos Relacional Paradox para Windows. Esto limita la utilización de la información de dicha base a computadoras con Sistemas Operativos de Microsoft. Con la finalidad de subsanar ese inconveniente y ampliar el rango de equipos que puedan utilizar la plataforma, esta base de datos fue convertida a formato de SQLite, además esta transformación permite incrustar la base de datos dentro de la misma aplicación para evitar la necesidad de instalarla de manera adicional al sistema.

10.1.2 Módulo de Visualización de datos

Para el diseño y construcción del módulo de visualización de datos se utilizó el entorno de desarrollo NetBeans en su versión 8.0.1. NetBeans es un IDE (Integrated Development Environment / Entorno de Desarrollo Integrado) para Java de código abierto que permite escribir pequeños códigos, generar código de forma autónoma y diseñar en base a herramientas de “arrastrar y soltar” componentes. NetBeans provee de completa flexibilidad y soporte completo a desarrolladores acerca de sus nuevas tecnologías. “Es una herramienta tan versátil que permite el desarrollo de aplicaciones de escritorio, web y para móviles. Además de contar con una amplia gama de características, multilenguaje y una amplia colección de plugins que facilitan el desarrollo de cualquier aplicación” (Palandurkar, 2013).

NetBeans se basa en dos entornos de desarrollo principales, el primero consiste en el entorno gráfico, que permite la selección de componentes y características de manera visual, y un entorno de codificación, en el cual se realiza la programación de cada componente que nosotros elijamos integrar a nuestra aplicación.

10.1.3 Módulo de Captura de Información

El módulo de captura de Información al igual que el módulo de visualización de datos fue desarrollado en el entorno de desarrollo NetBeans, este está conformado por una serie de campos de texto que permiten al usuario ingresar la información referente a cada característica del insecto en cuestión que se está estudiando y posteriormente estos datos serán guardados en la base de datos incrustada dentro de la misma aplicación. Además de la captura de datos, este módulo da acceso al tercer módulo del sistema, el cual se encarga de la captura de imágenes para el sistema.

10.1.4 Módulo de Captura de Imágenes

A diferencia de los dos módulos anteriores, este fue desarrollado en el entorno de NetBeans, el módulo de captura de imágenes fue desarrollado utilizando el IDE de Microsoft Visual Estudio, este tiene soporte para diferentes lenguajes de programación tales como C++, C#, Visual Basic, Java, Python, entre otros. Además de implementar las tecnologías necesarias para llevar a cabo el diseño, desarrollo, pruebas y despliegue de aplicaciones. En resumen, “Visual Studio es una plataforma que agrupa herramientas destinadas a todos los protagonistas de un proyecto de software, sean o no informáticos” (Guerin, 2014). Al igual que NetBeans, Visual Studio se centra en dos secciones para el desarrollo de software, la primera es un entorno grafico similar al de NetBeans y el segundo un entorno de codificación.

10.2 Resultados

10.2.1 Módulo de visualización de datos

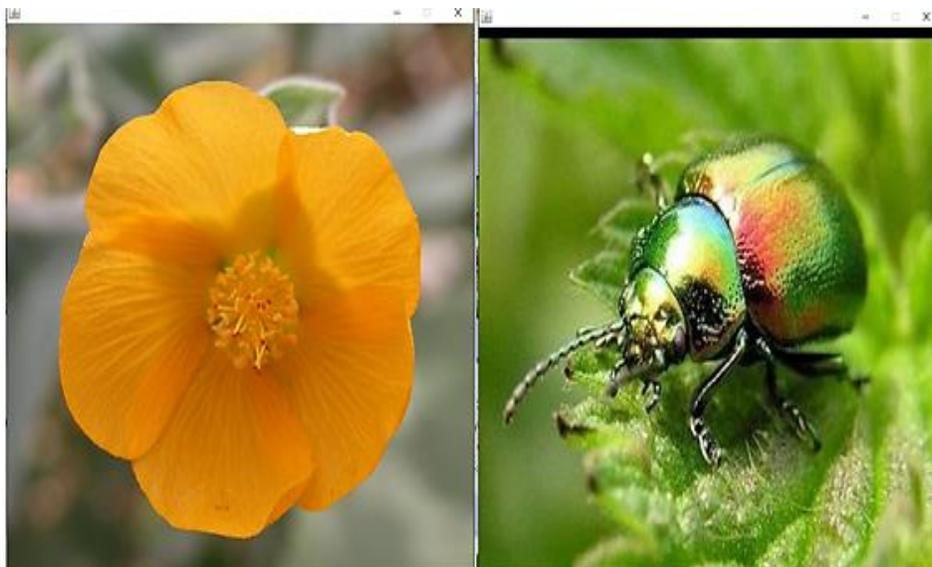
El módulo de visualización de datos, el cual se muestra en las figuras 10.1 y 10.2, incluye varios componentes gráficos que permiten visualizar y navegar entre los diferentes registros almacenados en la base de datos Acantho. Además, esta ventana permite realizar consultas de registros específicos dentro de la base de datos filtrando estos por número de registro, familia, subfamilia y tribu, entre otros, con la finalidad de permitir realizar búsquedas de algún individuo en específico. Finalmente el sistema permite visualizar la imagen mostrada en la sección de Insecto o Planta hospedera a mayor resolución dando clic sobre ella y generar un reporte individual en formato PDF con los datos totales del registro que se está visualizando en ese momento.

Figura 10.1 Módulo de Visualización de Datos del Software Acantho

Información del ejemplar:

| | | | | | |
|-------------|------------------|-------------|-------------|-------------------|--------------------------|
| Id: | 1 | Genero: | Abutiloneus | Año: | 1946 |
| Orden: | COLEOPTERA | Subgenero: | ND | Pais: | MEXICO |
| Familia: | BRUCHIDAE | Especie: | ldoneus | Estado/provincia: | Baja California Sur |
| Subfamilia: | Bruchinae | Subespecie: | ND | Fecha de colecta: | 5/XI/1965 |
| Tribu: | Acanthoscelidini | Autor: | BRIDWELL | Planta: | Abutilon palmeri A. GRAY |

Figura 10.2 Ventana de visualización de Imágenes



Cabe mencionar que para generar los formatos de reporte se integró a la aplicación una librería externa a las contenidas originalmente en NetBeans que permite manipular y crear archivos en formato PDF. Esta librería es conocida como itextpdf 5.4.0. Así mismo, la base de datos requiere implementar el uso de un controlador para bases de datos SQLite, en este proyecto se incorporó el controlador SQLite-JDBC 3.8.11.12. A continuación en la Figura 10.3 se muestra un ejemplo del reporte con los datos disponibles del ejemplar número 152:

Figura 10.3 Reporte en PDF generado por el software Acantho

| | | |
|---|---|---|
| <p>Reporte del ejemplar: #153</p> | <p>3/8/2016</p> | <p>Familia/hospedera: MALVACEAE
 Datos_ecologicos: ND
 Datos_taxonomicos: ND
 Sinonimias: Bruchus aequalis
 Determinador: Johnson C.D. 1981
 No_indiv: 5
 Tipos: ND
 Nombre_original: Bruchus aequalis SHARP, 1885
 Inst_deposito: ND
 Coleccion: CEAM
 Ano_catalogacion: 1998
 Cita1: ND
 Cita2: ND
 LatitudN: ND
 LongitudO: ND
 LatitudS: ND
 LongitudE: ND
 NOTAS: ND</p> |
| <p>Orden: COLEOPTERA
 Familia: BRUCHIDAE
 Subfamilia: Bruchinae
 Tribu: Acanthoscelidini
 Genero: Acanthoscelides
 Subgenero: ND
 Especie: aequalis
 Subespecie: ND
 Autor: (SHARP)
 Ano: 1885
 Country: MEXICO
 Pais: MEXICO
 Estado_provincia: Yucatán
 Localidad: 80 km SE Mérida
 Fecha_colecta: 29/XII/1978
 Altitud: ND
 Colector: Johnson C.D.
 Planta: Abutilon trisulcatum (JACQ.) URBAN
 Subfamilia/hospedera: ND</p> | <p>Ejemplar:</p>  <p>Planta hospedera:</p>  | |

10.2.2 Módulo de captura de datos

El módulo de captura de datos, cuya interfaz se muestra en la figura 10.4, está integrado por una serie de campos de texto editables que permiten registrar los datos correspondientes a cada característica del nuevo registro que se desea generar, estos campos están definidos por default en blanco con la finalidad de poder generar nuevos registros referentes a cada característica, sin embargo cuentan también con una lista desplegable de los elementos ya previamente registrados que permite seleccionar alguno de los datos que ya están en la base de datos y evitar así inconsistencia de la información.

Para realizar el guardado del nuevo registro nuevamente se incorporó el uso del controlador de bases de datos SQLite-JDBC 3.8.11.12 al igual que en el módulo de visualización de datos. JDBC es un API (Application Programming Interface). Esto quiere decir que es un conjunto de objetos y funciones para que los programadores puedan integrar servicios de manejo de bases de datos dentro de sus aplicaciones creadas en Java.

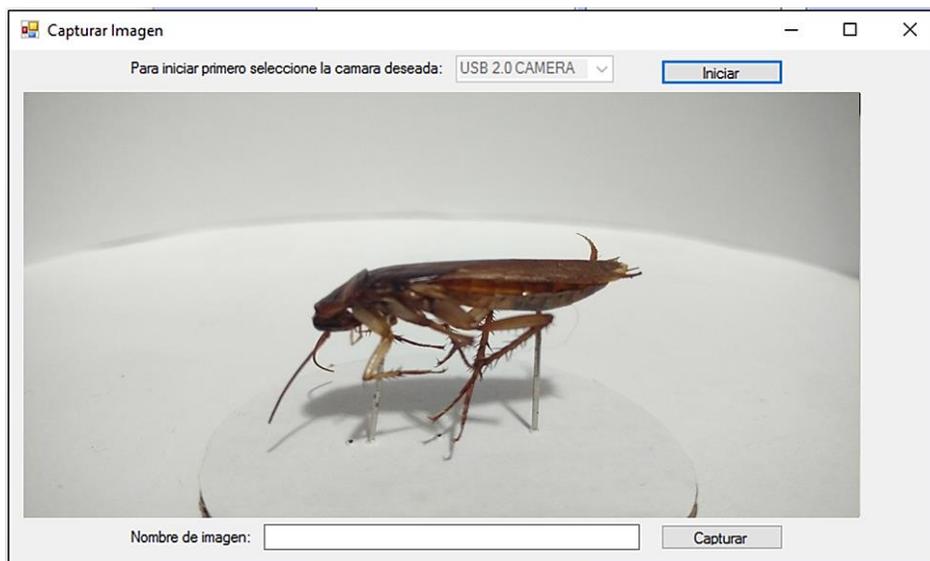
Figura 10.4 Módulo de captura de datos del sistema Acantho

10.2.3 Módulo de Captura de Fotografías

Para este módulo, como se explicó anteriormente, se utilizó el entorno de desarrollo de Visual Studio 2013, esto debido a que no se encontró alguna librería para NetBeans que permitiera controlar de manera eficiente la cámara USB conectada e instalada previamente en el equipo, problemática que pudo ser resuelta mediante el uso de la framework (Conjunto de librerías de software) para C# conocida como AForge. Esta herramienta permite conectarse a cualquier dispositivo de entrada de imagen USB conectado a la computadora y obtener a partir de esa conexión video en tiempo real al igual que captura de imágenes en formato JPG.

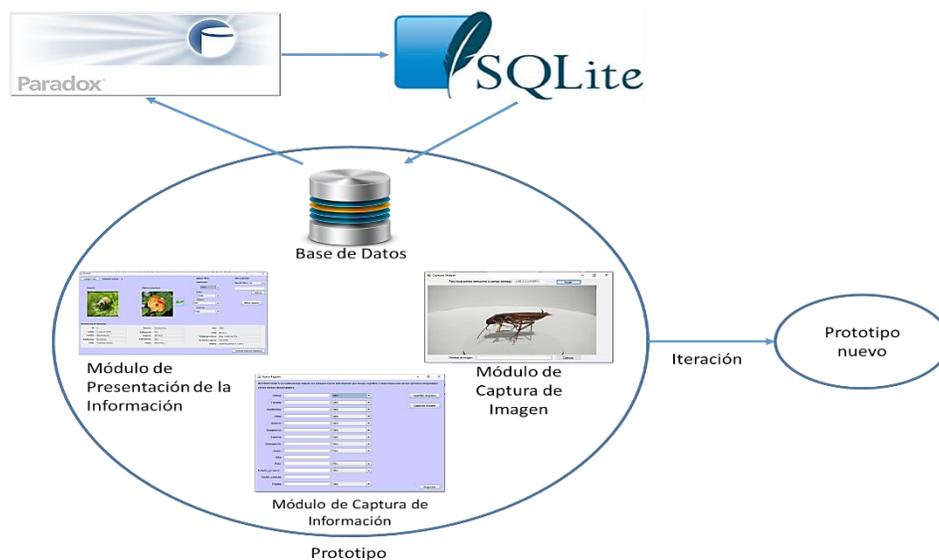
La interfaz gráfica de este módulo se presenta a continuación en la figura 10.5:

Figura 10.5 Interfaz de captura de imágenes a partir de cámara USB



A continuación la Figura 10.6 muestra los componentes que integran a este sistema con una breve descripción de la función que realizan. Cabe mencionar que la base de datos inicialmente se encontraba en formato Paradox, pero por cuestiones de optimización y desempeño esta fue transformada a SQLite. Este es un sistema de gestión de bases de datos relacional contenida en una relativamente pequeña biblioteca escrita en C que se enlaza con el programa pasando a ser parte integral del mismo a través de llamadas simples a subrutinas y funciones.

Figura 10.6 Componentes de software que integran esta propuesta, Base de Datos (inicialmente en Paradox y finalmente transformada a SQLite), Módulo de Presentación de Información (muestra los datos más representativos de la base de datos y una imagen de la planta hospedera e insecto analizado), Módulo de Captura (permite llenar los campos de la base de datos de forma manual) y Módulo de Captura de Imagen (permite capturar fotografías para ser insertadas en el sistema por medio de cámara USB)



10.3 Conclusiones

El análisis de la información es la clave para llevar a cabo los objetivos de cualquier organización, 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 sea la base para la toma de decisiones.

Por lo general, el desarrollo de sistemas de información es costoso y requiere de expertos en el tema, sin embargo, existe software libre que permite generar herramientas robustas para la captura de información y presentación de los datos. La plataforma que se propone en este trabajo, permite una integración de tecnologías para procesar y a su vez para mostrar información que puede aplicarse a diferentes campos de estudio.

Los objetivos principales de la propuesta que se plantea, son la automatización de procesos y el proporcionar información para generar ventajas competitivas y análisis científicos mucho más detallados.

10.4 Referencias

Alonso, F., Martínez, L., Segobia, F. J. (2005) *Introducción a la Ingeniería de Software: Modelos de Desarrollo de Programas*. Madrid, España: Delta Publicaciones

Andreu, R., Ricart, J. E., Valor, J. (1992) *Estrategia y Sistemas de Información*. Madrid, España: McGraw-Hill.

David J. E (2011). *Introducción a la Programación Usando Java: Version 5.1*. New York, Estados Unidos: Hobart and Williams Smith Colleges.

Fernández, V. (2006). *Desarrollo de Sistemas de Información: Una metodología basada en el modelado*. Cataluña, España: Ediciones UPC.

Guérin, B-A. (2014). *ASP.NET en C# con Visual Studio 2013: Diseño y desarrollo de aplicaciones Web*. Barcelona, España: Ediciones ENI.

López, M.; Correa, J. I. (2007). *Planeación estratégica de tecnologías de información y sistemas de información*. Colombia: Universidad de Caldas.

Palandurkar, A. (2013). *Instant NetBeans IDE How-to*. Birmingham, UK: Packt Publishing.

Tinoco, O., Rosales, P. P., Salas, J. (2010). *Criterios de Selección de Metodologías de desarrollo de software*. Lima, Perú: Facultad de Ingeniería Industrial.

Apéndice A. Consejo Editor ECORFAN

ANGELES-CASTRO, Gerardo. PhD
Instituto Politécnico 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

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 B. 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, Rubén. 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

