

SISTEMA RECOMENDADOR PARA EL CULTIVO DE LA PITAHAYA

RECOMMENDER SYSTEM FOR THE PITAHAYA CROP

Jimmy Josué Peña Koo

Tecnológico Nacional de México / ITS del Sur del Estado de Yucatán, México
jpena@suryucatan.tecnm.mx

Orlando Adrián Chan May

Tecnológico Nacional de México / ITS del Sur del Estado de Yucatán, México
ochan@suryucatan.tecnm.mx

José Ildelfonso Espinosa Pacho

Tecnológico Nacional de México / ITS del Sur del Estado de Yucatán, México
jepinosa@suryucatan.tecnm.mx

Holzen Atocha Martínez García

Tecnológico Nacional de México / ITS de Progreso, México
hmartinez@itsprogreso.edu.mx

Williams Gómez López

Tecnológico Nacional de México / ITS de Huichapan, México
wgomez@iteshu.edu.mx

Recepción: 3/diciembre/2020

Aceptación: 16/noviembre/2021

Resumen

En el presente trabajo se empleó la metodología de Brulé, enfocada a sistemas expertos, con el objetivo de construir un sistema recomendador de mejores prácticas en el cultivo de la pitahaya, para que los productores del Sur del estado de Yucatán identifiquen sus áreas de oportunidad y apliquen las recomendaciones, para incrementar la calidad de su producción. Por medio de entrevistas abiertas guiadas y observación directa en las áreas de cultivo, se obtuvo la base de conocimiento, a partir del cual se definieron las reglas del sistema para su programación en lenguaje Prolog. Al finalizar el desarrollo y probarlo en un entorno limitado y controlado, se observó que el 88% de los productores no expertos identificaron algún área de oportunidad para aplicar en su entorno de producción. Esta investigación permitió identificar y procesar años de experiencia de los

productores expertos, para compartir con las siguientes generaciones, estableciendo un legado social y cultural.

Palabras Clave: Inteligencia artificial, Pitahaya, Prolog, Sistemas expertos.

Abstract

This research, the Brulé methodology was used, focused on expert systems, with the objective of building a system for recommending best practices in the pitahaya crop, so that producers of Southern of Yucatán can identify their areas of opportunity and apply the recommendations, to increase the quality of their production. Through guided open interviews and direct observation in the cultivation areas, the knowledge base was obtained to define the rules of the system for programming in prolog language. Upon completion of development and testing in a limited and controlled environment, it was observed that 88% of non-expert producers identified some area of opportunity to apply in their production environment. This research allowed us to identify and process years of experience of expert producers, to share with the following generations, establishing a social and cultural legacy.

Keywords: Artificial intelligence, Expert systems, Pitahaya, Prolog.

1. Introducción

Las cactáceas pertenecen al orden Cariophyllales, donde comparten con otras familias la presencia de betalainas; en México se encuentran entre 550 y 900 en las que se tiene un 79% de endemismos. Existen alrededor de 35 especies que tienen potencial como cultivo para la obtención de frutos, hortaliza fresca o forraje, pertenecientes principalmente a los géneros *Hylocereus*, *Selenicereus*, *Cereus*, *Leptocereus*, *Escontria*, *Myrtilloactos*, *Stenocereus* y *Opuntia*. El género *Hylocereus* con 16 especies reconocidas es el cactus trepador de mayor distribución a nivel mundial.

La pitahaya pertenece al género *Hylocereus* y su uso principal es alimenticio, sobre todo el fruto, aunque también se informa el consumo de las flores como legumbre y el de los brotes tiernos como hortaliza fresca. Las semillas son empleadas como probióticos, por su contenido de oligosacáridos, las cuales pueden constituir un

ingrediente importante en alimentos funcionales y productos nutraceuticos. Esta cactácea se ha aclimatado a los diferentes ambientes de México, distribuyéndose en los estados de Quintana Roo, Yucatán, Tabasco, Veracruz, Guerrero, Querétaro, Estado de México, Puebla, Oaxaca, Michoacán, Jalisco, San Luis Potosí, Colima y Sinaloa. La pitahaya tiene una gran importancia económica en México, sus frutos son muy apreciados por su apariencia y sabor; además son fácilmente comercializados en mercados locales, regionales y se incrementa su comercio en el mercado nacional y extranjero. El estado de Yucatán en México es el principal productor de este fruto con rendimientos moderados [Montesinos, et al., 2015].

El material genético de cultivos de pitahaya en la península de Yucatán presenta heterogeneidad. Los frutos difieren en tamaño, color (rojas, rosadas, amarillas) y sabor. A pesar de ello, los productores reportan la desaparición de variedades. Ante dicha situación es importante conocer el material genético con la finalidad de potenciar y asegurar el uso futuro del género *Hylocereus* en la región.

Esta investigación tiene como propósito y contexto, los sectores de producción de pitahaya en terrenos del sur de Yucatán, donde se presentan problemas al momento de cultivar con respecto a factores relevantes que apoyen las tomas de decisiones de los productores de esta fruta.

En el estudio se encontró que la mayoría de los productores presentan problemas porque se carece de una metodología para determinar las condiciones más adecuadas para una buena cosecha de pitahaya, porque no se consideran aspectos importantes como la tierra, el tiempo de cosecha, el tutor, la forma y época de siembra, el recurso de agua, control de plagas, la poda y la utilización de fertilizantes y agroquímicos, ocasionando que muchos productores obtengan frutos de baja calidad, lo que impide ventajas competitivas.

Es necesaria la construcción de estructuras especializadas para la conservación y producción de pitahayas. Dado el establecimiento en condiciones naturales (rústicas) las variedades presentan dificultad en su establecimiento, baja producción y muerte de ejemplares. Los efectos más notables son insolación de plantas, pudrición de tallos, plagas de hormigas, chinches (*Leptoglossus phyllopus*) y falta de agua para riego [Manzanero, et al., 2014].

La falta de información de las condiciones y factores para la producción de pitahaya, son la base para desarrollar el presente trabajo cuyo objetivo principal consiste en el desarrollo de un sistema experto que presente opciones de mejora para productores de la región. Torres y Córdoba [2014], mencionan que debido a la cantidad de variables para tomar decisiones, es posible encontrar información con modelos de ayuda en la toma de decisiones en ambientes de alta complejidad basados en el conocimiento, tales como los sistemas expertos, que pertenecen a una rama de la inteligencia artificial, específicamente a los sistemas basados en conocimiento, los que a su vez son parte de la ingeniería del conocimiento y representan una herramienta muy utilizada de la inteligencia artificial.

La idea principal de los sistemas expertos es rescatar el conocimiento de uno o varios expertos humanos de un área específica y simular mediante un software el razonamiento que este tendría frente a una situación y proporcionada dentro del dominio seleccionado, dando como resultado conclusiones o consejos que sirven de guía a un tomador de decisiones y así, poder interrelacionar de una manera más eficaz las múltiples variables [Esquivias, et al., 2013], que en este caso, están presentes en la toma de decisiones para siembra de pitahaya.

La aplicación fue desarrollada con la metodología de Brulé y Blount, donde la Ingeniería de Conocimiento tiene por misión adquirir, formalizar, representar y utilizar grandes cantidades de conocimiento de la más alta calidad y específicos de una tarea para el desarrollo de los sistemas Basados en Conocimiento o Sistemas Expertos [Amatriain, et al., 2017]. Como resultado principal se tiene un sistema experto recomendador de mejores prácticas en la producción de pitahaya, tomando como base los conocimientos y experiencias de los productores expertos de la región, quienes han tenido éxito en sus terrenos de cultivo.

El sistema muestra una interfaz de inicio para el usuario donde ofrece las alternativas para realizar análisis, con imágenes y preguntas relacionadas a las diversas variables en la producción: puede sembrarse en terrenos pedregosos o blandos; la distancia entre plantas tutores; meses de floración y cosecha de los frutos; medidas de las ramas/tallos para sembrar; entre otros. Dadas las respuestas solicitadas por el sistema, el usuario recibe una respuesta acorde al área a mejorar,

por ejemplo, poner énfasis en las plagas. Otra salida es un mensaje que indica que el sistema experto requiere más datos de entrenamiento, es decir, mientras más ejecuciones tenga el sistema, mejor capacidad de predicción.

2. Métodos

De acuerdo con [Hernández, et al., 2010], la investigación es aplicada por su propósito con un enfoque cuantitativo, de tipo pre-experimental, debido a que se generaliza por medio de reglas el conocimiento de los expertos en el cultivo de la pitahaya, para generar recomendaciones en áreas de oportunidad de otros productores con la finalidad de mejorar la calidad en su producción.

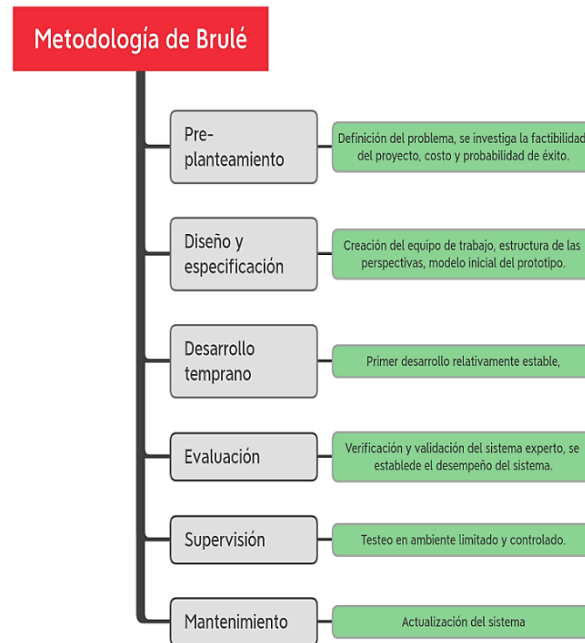
La recolección de la base de conocimiento para la generación de reglas se realizó por medio de entrevistas abiertas dirigidas, así como de la observación directa en campos de cultivo, seleccionando productores de tres unidades agrícolas de Xohuayan y Pencuyut, comisarías de Oxkutzcab y Tekax, Yucatán. Se identificaron 47 productores, de entre los cuales a 18 se les clasificó como expertos, pues cumplían con más de seis años dedicados a esta labor, en tanto que los otros 29 estaban en una etapa de crecimiento en el área. Se seleccionó una muestra de 27 personas, con un nivel de confianza del 90%, considerando que la proporción de productores expertos es del 38% y un error del 10%.

La metodología empleada para el desarrollo del sistema es la publicada por Alexander Blount y James F. Brulé publicada en el libro *Knowledge Acquisition* en 1989, citada y empleada por [Miranda, 2011] bajo el término metodología de Brulé. La característica más importante de esta metodología compuesta de siete etapas (Figura 1) es la obtención temprana de un prototipo del sistema, que incrementalmente converge al sistema experto final.

Aplicar la metodología de Brulé, enfocada al desarrollo de Sistemas Expertos, permitió enfatizar el trabajo en la construcción del software más que en la adquisición del conocimiento.

Pre-planteamiento. Se identificó que el área del cono sur del estado de Yucatán es productora de la Pitahaya, sin embargo, no se aprovecha toda la producción, dado que muchas variables que influyen en el ambiente y en su cuidado afectan para no

llevar el producto a la calidad para su exportación. Este problema se identificó en una primera reunión con productores expertos en el cultivo de la Pitahaya. Con la finalidad de abordar este tema de estudio desde el punto de vista computacional se realizó el análisis de factibilidad técnica, social y financiera, lo cual guio a tomar la decisión de continuar con el desarrollo metodológico del tema de investigación.

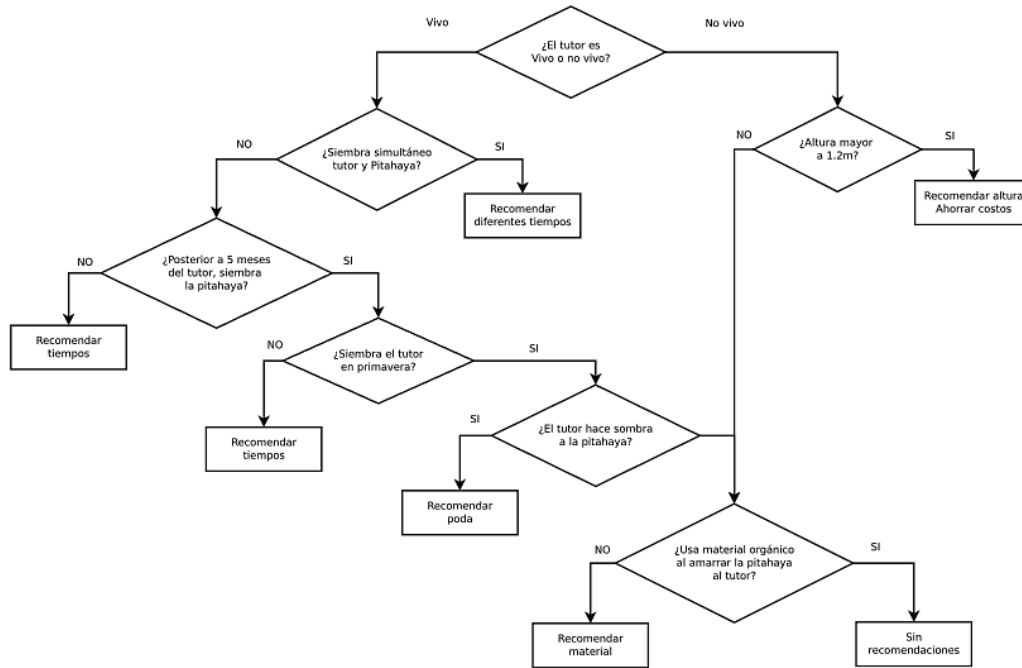


Fuente: Elaboración propia.

Figura 1 Metodología de Brulé.

Diseño y especificación. Se integró un equipo de trabajo con expertos en las áreas de modelos matemáticos, inteligencia artificial, ingeniería de software y telecomunicaciones, apoyados con el conocimiento compartido por medio de visitas y entrevistas a los productores de pitahaya. El modelo inicial del prototipo se planteó por medio de un sistema experto, el cual toma como entrada la base de conocimiento, una pregunta y realiza operaciones para inferir la solución a la pregunta presentada. De acuerdo a lo observado y a la guía para la producción sostenible, se identificaron siete variables que intervienen en la producción (tierra, cosecha, tutor, siembra, plagas, poda y fertilizantes) las cuales se reflejaron en el sistema como reglas [Castillo, et al., 2017]. Cada una de estas variables fue estudiada, representándola en un árbol de decisión que guíe a la identificación de

una recomendación o afirmación de buenas prácticas implementadas. Como caso muestra se presenta el diagrama de la variable tutor (Figura 2); la recomendación para esta variable se determina por el tipo de tutor (vivo o no vivo), altura, tiempo de siembra, tiempo para sembrar su esqueje de pitahaya y material para amarrar el esqueje al tutor.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2 Árbol de decisión de la variable tutor.

Desarrollo temprano. La metodología guio al desarrollo rápido de aplicaciones, presentando para esta etapa el sistema recomendador, resultado de la implementación del concepto de sistemas expertos basados en reglas. En esta etapa se presentó la versión del sistema a modo consola o comandos; se decidió que sea el sistema quien realice las preguntas al usuario, con la opción de responder de acuerdo a un valor de verdad.

Implementación. Se diseño la interfaz gráfica para una fácil interacción con los usuarios. Permitiendo que sea con pocos botones para una interacción intuitiva, amigable, sin perder del objetivo la funcionalidad.

Evaluación. La verificación y validación del sistema experto se realizó en laboratorio, probando con diferentes valores de entrada, observando que las reglas infieran las

recomendaciones esperadas. Se realizaron pruebas en diferentes plataformas probando la ejecución y funcionalidad del proyecto.

Supervisión. Esta etapa metodológica se realizó invitando a los 27 productores previamente seleccionados en la muestra, permitiendo interactúen con el sistema recomendador. Esta etapa permitió la definición de nuevas reglas, aumentando la base de conocimiento.

Mantenimiento. En la última etapa se redefinieron los manuales técnicos y de usuario final. Se revisó la documentación del código para dar oportunidad de una fácil actualización a nuevas reglas que permitan incrementar la base de conocimiento del sistema realizado.

3. Resultados

Con base en la aplicación metodología de Brulé se desarrolló el sistema experto recomendador, compuesto de tres partes principales en el proceso de desarrollo: base de conocimiento, reglas e interfaz gráfica de usuario.

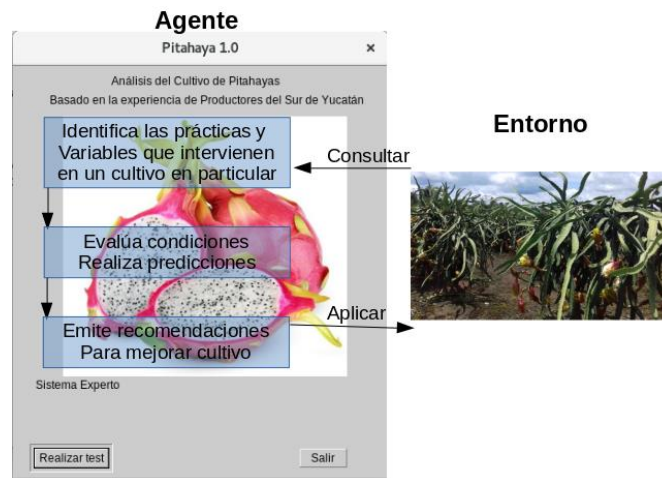
La base de conocimiento fue resultado de la depuración y clasificación de la información recibida por medio de pláticas, entrevistas u observaciones de la forma de trabajo de diferentes productores expertos de Pitahaya en la región Sur del estado de Yucatán. Las reglas fueron abstracciones de programación con ayuda del equipo de trabajo establecido para el desarrollo del proyecto. Estas hacen referencia de forma genérica a la información clasificada como base de conocimiento, para emplearla para realizar inferencias y definir el conjunto de mejores prácticas o en su defecto decir que no se tiene el suficiente conocimiento para responder.

La interfaz gráfica de usuario se desarrolló multiplataforma, pues se puede ejecutar en diferentes sistemas operativos (Windows, Linux y Mac). Fue desarrollado con Prolog, un lenguaje de programación lógico e interpretado, usado habitualmente en el campo de la Inteligencia artificial. Su interfaz se programó de forma separada de la capa de aplicación donde se definieron las reglas. Se puede observar en la figura 3, la vista que se presenta al usuario para la interacción con el sistema experto recomendador, llamado Pitahaya 1.0. La lógica de la funcionalidad del sistema Pitahaya 1.0, se puede observar en la figura 4.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3 Sistema Experto Pitahaya 1.0.



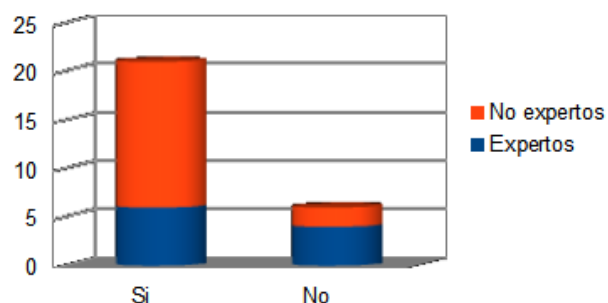
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4 Diagrama de funcionalidad del sistema Pitahaya 1.0.

La base de conocimiento se obtuvo de las experiencias recopiladas del entorno de producción. Cuando un usuario desea identificar sus áreas de oportunidad en el cultivo de esta fruta, el sistema identifica de la experiencia aprendida de los productores expertos las variables que intervienen con un cultivo en particular, evalúa sus condiciones de acuerdo a las respuestas dadas al sistema, realiza las predicciones y emite las recomendaciones, para que el usuario aplique en su entorno, con la finalidad de mejorar la producción hasta elevarla a las condiciones necesarias para su exportación.

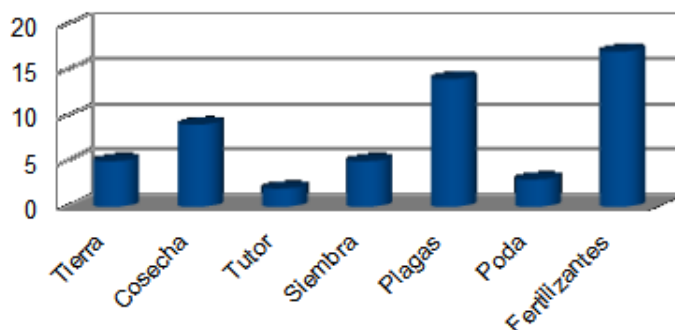
La fase de la metodología titulada supervisión, se realizó en un entorno limitado y controlado a la muestra de 27 productores de pitahaya, seleccionando 10 expertos (productores que han cosechado pitahayas durante más de seis años) y 17 productores no expertos, para conservar la proporción inicial identificada del 38% y 62% respectivamente. Como resultado de esta fase, se observó que 21 de los productores recibió recomendaciones para mejorar en el proceso de producción (ver figura 5); seis de los diez productores expertos identificaron algún área de oportunidad a partir de las recomendaciones emitidas por el sistema, mientras que de los productores con menos experiencia se observó que quince identificaron algún área de oportunidad para aplicar en su entorno de producción.

Otro factor importante que resultó de la observación en un promedio de cinco minutos de interacción con el software por cada productor, fue identificar la cantidad de observaciones realizadas por variable (Figura 6), siendo tres las que presentaron mayor índice, como oportunidad de aprendizaje y mejora: fertilizantes, plagas y cosecha.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5 Total de recomendaciones por productor.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6 Total de recomendaciones por variable.

4. Discusión

En un trabajo de investigación desarrollado en la región Caribe de Colombia, proponen el diagnóstico de plagas y enfermedades que afecta la Berenjena, para tomar decisiones preventivas y correctivas que mejoren la producción por medio la aplicación de un sistema experto [Bula, et al., 2012]. Por otra parte, investigadores de Cuba realizaron un sistema experto para diagnóstico de las plagas y enfermedades que afectan a cultivos [Medina, et al., 2020].

El desarrollo de sistemas expertos para mejorar la producción de cultivos ha sido estudiado, sin embargo, la aplicación de esta tecnología en el cultivo de la Pitahaya no ha sido aplicado, lo que permite que su implementación almacene los años de experiencia de los productores expertos, adicionalmente, enriquece las prácticas de los productores no expertos por medio de las recomendaciones obtenidas, con la finalidad de mejorar la calidad de su producción.

De esta práctica en campo y en laboratorio, se observó que no sólo los productores novatos, sino también los que tienen más años en el cultivo de la pitahaya, resultan beneficiados con nuevos aprendizajes por medio del sistema recomendador desarrollado, dado que la aplicación agrupa buenas prácticas obtenidas de diferentes productores.

5. Bibliografía y Referencias

- [1] Amatriain, H., Merlino, H., Martins, S. y Bianco, S. (2017). Modelo de proceso de gestión para proyectos de ingeniería del conocimiento. (Archivo pdf). XXIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación.
- [2] Bula, H., Aramendiz, H., Salas, D., Vergara, W. &. (2012). Sistema experto para el diagnóstico de plagas y enfermedades en los cultivos de berenjena (*solanum melongena* L.) en la región Caribe de Colombia. *Ingeniería e Innovación*, Vol 2, pp. 1-10.
- [3] Esquivias, J., Zamora, A., Merino, M., y Prieto, C. (2013). Validación de un sistema experto como ayuda al aprendizaje de la citología cervicovaginal para formación de citotécnicos, *FEM*, 16 (1), 37-40: <http://scielo.isciii.es/pdf/fem/v16n1/original5.pdf>.

- [4] Castillo, R., Edel, R. & Cáliz, H. (2017). Guía para la producción sostenible de pitahaya en la Península de Yucatán, México. México: Académica Española.
- [5] Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. (2010). Metodología de la Investigación. México: Mc Graw Hill.
- [6] Manzanero, L., Márquez, R., Zamora, P., Rodríguez, L., Ortega, J., Dzib, B. (2014). Conservación de la pitahaya en el Estado de Campeche, México. *Foresta Veracruzana*, 16 (1), 9-16: <https://www.redalyc.org/pdf/497/49731008002.pdf>.
- [7] Medina, Y., Sanatana, I. & González, C. (2020). Sistema experto para el diagnóstico de enfermedades y plagas en los cultivos del arroz, tabaco, tomate, pimiento, maíz, pepino y frijol. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, Vol. X, pp. 1-19.
- [8] Miranda, N. (2011). Diseño e implementación de un prototipo de sistema experto de información turística (Tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Valdivia, Chile.
- [9] Montesinos, J., Rodríguez, L., Ortiz, R., Fonseca, M., Ruíz, G. Guevara, F. (2015). Pitahaya (*Hylocereus* spp.) Un recurso fitogénito con historia y futuro para el trópico seco mexicano. *Cultivos tropicales*, 1 (36), 67-76. <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193243640007.pdf>.
- [10] Torres, C. y Córdoba, J. (2014). Diseño de sistema experto para toma de decisiones de compras de materiales. *Cuadernos de Administración /Universidad del Valle*, 30 (52), 20-30: <http://www.scielo.org.co/pdf/cuadm/v30n52/v30n52a03.pdf>.