

# Ciencias Multidisciplinarias

## *Proceedings T-III*

Trejo-Macotela, Francisco Rafael

*Coordinador*

# **Ciencias Multidisciplinarias**

---

## **Volumen III**

---

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

## **ECORFAN Ciencias Multidisciplinarias**

---

El Proceedings ofrecerá los volúmenes de contribuciones seleccionadas de investigadores que contribuyan a la actividad de difusión científica de la Universidad Politécnica de Pachuca para su área de investigación en la función de la Universidad ante los retos de la Sociedad del Conocimiento. Además de tener una evaluación total, en las manos de los directores de la Universidad Politécnica de Pachuca se colabora con calidad y puntualidad en sus capítulos, cada contribución individual fue arbitrada a estándares internacionales (RENIECYT-LATINDEX-DIALNET-ResearchGate-DULCINEA – CLASE – Sudoc – HISPANA – SHERPA – UNIVERSIA – REBID –e REVISTAS - Scholar Google - DOI - Mendeley), el Proceedings propone así a la comunidad académica, los informes recientes sobre los nuevos progresos en las áreas más interesantes y prometedoras de investigación en la función de la Universidad ante los retos de la Sociedad del Conocimiento.

**Trejo-Macotela, Francisco Rafael**

Editor

*Ciencias Multidisciplinarias  
Proceedings T-III*

Universidad Politécnica de Pachuca - México. Diciembre, 2017.

**ECORFAN®**

Trejo-Macotela, Francisco Rafael

*Director*

© Universidad Politécnica de Pachuca

ISBN: 978-607-8534-40-1

Sello Editorial ECORFAN: 607-8534

Número de Control PCM: 2017-12

Clasificación PCM (2017): 111217-0101

**©ECORFAN-México, S.C.**

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

## **Prefacio**

La Universidad Politécnica de Pachuca como Institución de Educación Superior de tipo pública, se encuentra obligada a generar procesos de conservación, transferencia y divulgación del conocimiento, esto como parte de las actividades sustantivas de las y los académicos universitarios.

El SIMCI, en su emisión 2017, tiene como objetivo difundir nuevas ideas y visiones en materia de Ciencia, Tecnología e Innovación provenientes de trabajos teóricos y experimentales, así como de prototipos, diseños y herramientas, esto a través de conferencias magistrales, presentaciones orales, carteles y talleres dictados por expertos nacionales e internacionales, con la finalidad de contribuir al progreso de la región, estado y país.

Las obras reúnen un conjunto de trabajos de análisis, ensayos, resultados de investigación en torno a la función de la docencia en la Universidad y los retos que ésta enfrenta ante la Sociedad del Conocimiento, se agradece la participación de todas y todos en la construcción de esta primera edición, por lo que cada colaborador se hace responsable de su obra independiente.

*Trejo-Macotela, Francisco Rafael  
Coordinador*

Este contiene 7 capítulos arbitrados que se ocupan de estos asuntos en Ciencias Multidisciplinarias.

Como primer capítulo, *Martínez, Mejía, Vázquez, Alemán, Vera, Luis y Vázquez*, presentan Obtención del semiconductor orgánico tipo imina en fase sólida; *Sánchez, Zaragoza, Hernández*, presentan Desarrollo de una Aplicación Móvil para la optimización del control de inventarios empleando el modelo EOQ con faltantes; *Montiel, Hernández, Lizama, Lizama, Simancas*, presentan Firma Digital Móvil Basada en Criptografía Hash; *Angeles, Mercado, García, Rodríguez, Anducho, Álvarez*, presentan Embriogénesis somática: Una alternativa para el cultivo masivo del maguey pulquero *Agave salmiana* var. *Salmiana*; *Ávila, Mendoza, Gómez, Hernández*, presentan *Comadia redtenbacheri*, individuo del Altiplano Hidalguense; *González & Baños*, presentan, Biodegradabilidad de un AR-Municipal en un SBR-columna con biomasa aerobia; como último capítulo, *Villa, Mecado. Anducho, Alvarez y Tellez*, presentan Uso de modificadores del comportamientos para el control biológico de *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal en Agave.

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 Politécnica de Pachuca en el proceso de preparar esta edición del volumen.

<b>Contenido</b>	<b>Pág</b>
<b>Ciencias de la Ingeniería</b>	
Obtención del semiconductor orgánico tipo imina en fase sólida	1-9
<b>Ciencias Computacionales, Comunicaciones y Finanzas</b>	
Desarrollo de una Aplicación Móvil para la optimización del control de inventarios empleando el modelo EOQ con faltantes	10-21
Firma Digital Móvil Basada en Criptografía Hash	22-36
<b>Ciencias Biológicas y de la Salud</b>	
Embriogénesis somática: Una alternativa para el cultivo masivo del maguey pulquero <i>Agave salmiana</i> var. <i>salmiana</i>	37-50
<i>Comadia redtenbacheri</i> , individuo del Altiplano Hidalguense	51-57
Biodegradabilidad de un AR-Municipal en un SBR-columna con biomasa aerobia	58-65
Uso de modificadores del comportamientos para el control biológico de <i>Scyphophorus acupunctatus</i> Gyllenhal en Agave	66-78
Apéndice A. Consejo Editor Universidad Politécnica de Pachuca	79-81
Apéndice B. Consejo Editor ECORFAN	82-83



## **Obtención del semiconductor orgánico tipo imina en fase sólida**

Armando Irvin Martínez Pérez, Francisco Germán Mejía Hernández, Karina Alemán Ayala, Edgar Ernesto Vera Cárdenas, Gilgamesh Luis Raya y Rosa Angeles Vázquez García

A. Martínez, F. Mejía, R. Vázquez, K. Alemán, E. Vera, G. Luis y R. Vázquez  
Universidad Politécnica de Pachuca  
aimp@upp.edu.mx

F. Trejo, (eds.). Ciencias Multidisciplinarias. Proceedings-©ECORFAN-México, Pachuca, 2017.

## Abstract

In the present work we report the two stages of obtaining by the mechanosynthesis route of an organic semiconductor of imine type with terminal groups of indol type N1,N1'-((((1,4-phenylenebis(azanylylidene))bis(methanylylidene))bis(2,5-bis(octyloxy)-4,1 phenylene)) bis(methanylylidene))bis(N4-((1H-indol-3-yl)methylene)benzene-1,4-diamine) identified as OIC-I, also the chemical characterization (1H NMR), optical (UV-Vis and fluorescence) and thermal characterization (TGA) are described and discussed. The route known as mechanosynthesis or mechanical deformation allows to synthesize this type of semiconductors selectively in a period of 90 minutes, which results in a very short reaction time compared to the 24 hours of the reaction by the conventional route, another advantage is that solvents and catalysts are not used, so that mechanosynthesis can be considered as a method of green chemistry. The obtained organic semiconductor presents mechanical and semiconductor (2.4 eV) properties that allows it to be applied in flexible optoelectronic devices like solar cells, light emitting diodes, intelligent windows, transistors of thin film, etc. As mentioned above, the mechanosynthesis route proves to be an effective alternative to obtain new organic materials with semiconducting properties in a time interval of 90 minutes.

## Mechanosynthesis, semiconductor, imine

### 1. Introducción

Por sus propiedades, manejo y aplicaciones, los semiconductores orgánicos de tipo imina [1], pueden ser aplicados en dispositivos optoelectrónicos flexibles, como los transistores de película delgada [2], diodos emisores de luz [3], ventanas inteligentes [4], celdas solares [5], entre otros.

En el caso de semiconductores orgánicos de tipo imina, la mecanosíntesis resulta una alternativa efectiva y selectiva que requiere periodos cortos de reacción, además de favorecer la síntesis del semiconductor en ausencia de disolventes y catalizadores. En trabajos previos de este grupo de investigación se ha confirmado la viabilidad en la síntesis de moléculas tipo imina, obteniéndose rendimientos aceptables a tiempos cortos de reacción [1]. Adicionalmente, la mecanosíntesis representa una opción amigable con el ambiente, ya que durante el proceso, la cantidad de contaminantes generados es pequeña en contraste con métodos convencionales de síntesis [6,7].

En el presente trabajo se describe la síntesis, caracterización química, óptica y térmica del semiconductor orgánico N1,N1'-((((1,4-fenilen-bis(azanilideno))bis(metanilideno))bis(2,5-bis(oxo-octil)-4,1 fenilen))bis(metaniliden))-bis(N4-indol)metilen)bencen-1,4-diamina tipo imina con terminales indol a través de la técnica de síntesis mecánica.

### 2. Metodología a desarrollar

#### Materiales y Métodos

##### Materiales

Los disolventes hexano y diclorometano fueron secados y destilados por métodos convencionales a presión reducida. 1,4-fenilendiamina (Aldrich), 2,5-bis(octiloxi)tereftaldehído (Aldrich) e Indole-3-carboxaldehído (Aldrich) son productos comerciales y fueron usados como se recibieron.

La mecosíntesis fue el método aplicado para la obtención del semiconductor orgánico N1,N1'-((((1,4-fenilen-bis(azanilideno))bis(metanilideno))bis(2,5-bis(oxo-octil)-4,1-fenilen))bis(metanilideno)) -bis(N4-indol)metilen)bencen-1,4-diamina nombrado como OIC-I, el cual aplica el principio de deformación mecánica, por lo que se requiere de equipos de alta energía de tipo vibratorio, esto para que se generen las condiciones necesarias que permitan llevar a cabo la reacción química entre los reactivos de partida, esta ruta de síntesis química ha sido poco utilizada y estudiada para la obtención de compuestos orgánicos.

## Mecanosíntesis

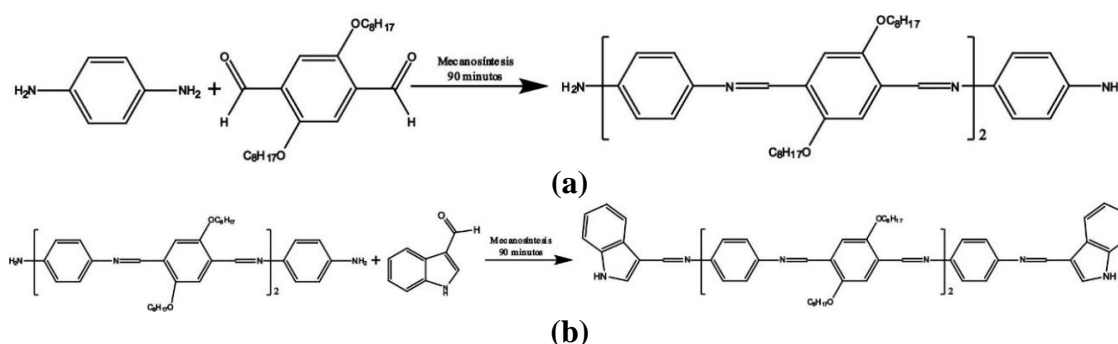
El semiconductor orgánico OIC-I se obtuvo mediante síntesis en dos etapas; en la primera, se logró obtener de forma selectiva el centro N1,N1'-((((1,4-phenylenebis(azanylylidene))bis(methanylylidene))bis(2,5-bis(octyloxy)-4,1-phenylene))bis(methanylylidene))bis(benzene-1,4-diamine) del semiconductor que presenta grupos terminales de tipo amina por la reacción de condensación entre 2,5-bis(octiloxi)tereftaldehído y 1,4-fenilendiamina vía mecosíntesis, en la segunda etapa se llevó a cabo la incorporación de los grupos terminales tipo indol, agregando el Indol-3-carboxialdehído al centro del semiconductor previamente sintetizado. En ambas etapas, se siguió el siguiente procedimiento: se adicionaron los reactivos 1 y 2 (ver Tabla 1) en el contenedor de acero inoxidable con 6 esferas (1 cm de diámetro de acero inoxidable) del molino de alta energía tipo vibratorio y se puso en operación durante 90 minutos. Al terminar el proceso, se extrajo el compuesto obtenido lavando el interior de contenedor y las esferas con 100 mL de diclorometano, posteriormente se filtró por gravedad con sulfato de sodio anhidro, a fin de retener los residuos ferrosos desprendidos de las paredes interiores del contenedor. En seguida, se dejó una mínima cantidad de diclorometano para precipitar en hexano. Finalmente se obtuvo un sólido cristalino al filtrar y secar en vacío a 40 °C.

**Tabla 1** Compuestos utilizados en la ruta de mecosíntesis de OIC-I.

Etapa	Reactivo 1	Cantidad (gr, mol)	Reactivo 2	Cantidad (gr, mol)	Rendimiento (%)
1. Centro	2,5-bis(octiloxi)tereftaldehído	0.05, 0.12	1,4-fenilendiamina	0.034, 0.31	82
2. OIC-I	Centro	0.1, 0.09	Indol-3-carboxialdehído	0.035, 0.24	80

En la figura 1a, se describe la obtención del centro del semiconductor OIC-I, los nitrógenos de los grupos amina terminales favorecen la incorporación de moléculas del indol-3-carboxialdehído (Figura 1b). La adición de un grupo indol conjugado a los grupos amino terminales del centro semiconductor, incrementa el efecto como donador tal como se puede observar en la estructura obtenida del semiconductor OIC-I (Figura 1b).

**Figura 1** Ruta de mecosíntesis para la obtención del a) centro y b) el semiconductor orgánico OIC-I



## Caracterización química

Los espectros de infrarrojo fueron obtenidos en un equipo PerkinElmer modelo Spectrometer Frontier FT-IR en modo transmisión y mezclando la muestra con KBr para la obtención de pastillas sólidas. Los espectros de Resonancia Magnética Nuclear (RMN) en solución, se obtuvieron en un equipo Variant-400 MHz multinuclear usando cloroformo deuterado ( $\text{CDCl}_3$ ) como disolvente. Los desplazamientos químicos (ppm) están referidos a la frecuencia electrónica del  $(\text{CH}_3)_4\text{Si}$  para RMN de  $^1\text{H}$ .

## Caracterización óptica

La espectroscopia de absorción UV-Vis del semiconductor, se adquirió en solución en un equipo PerkinElmer modelo Lambda XLS. Mientras que el espectro de emisión, se obtuvo por espectroscopia de fluorescencia en un equipo PerkinElmer modelo LS55.

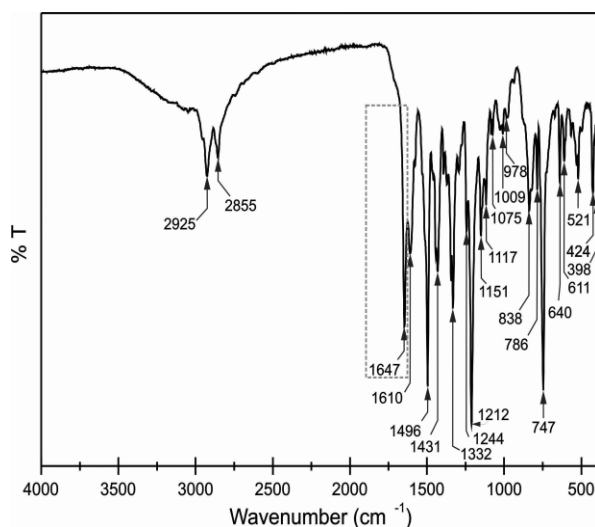
## Caracterización térmica

Para la obtención de los termogramas del compuesto OIC-I, se llevó a cabo el análisis termogravimétrico (TGA) con ayuda de un equipo Perkin Elmer modelo METTLER TOLEDO TGA/SDTA851e con atmosfera controlada de nitrógeno a flujo constante de 50 mL/min.

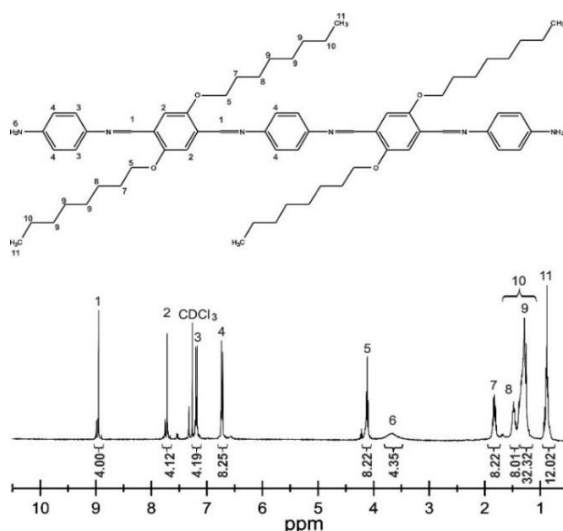
## 3. Resultados

### FT-IR

El espectro de FT-IR del semiconductor orgánico OIC-I (Figura 1.2), mostró una banda a  $1647\text{ cm}^{-1}$ , correspondiente a la vibración longitudinal del enlace imina ( $\text{C}=\text{N}$ ), con lo cual se evidencía la condensación del grupo amino y el Indol-3-carboxaldehído, la banda en  $1610\text{ cm}^{-1}$  corresponde a la vibración longitudinal del enlace  $\text{C}=\text{C}$ , en  $1496\text{ cm}^{-1}$  se observó la tensión característica para  $-\text{C}=\text{C}-$  de los anillos aromáticos, a frecuencias cercanas a  $1075$ ,  $1009$  y  $747\text{ cm}^{-1}$  se observan las bandas de los  $\text{C}-\text{H}$  aromáticos, a  $1431$ ,  $1151$ ,  $1117\text{ cm}^{-1}$  se asignaron las bandas  $\text{C}-\text{C}$  correspondientes a los anillos aromáticos, las bandas a  $2952$ ,  $1244$ ,  $838$  y  $611\text{ cm}^{-1}$  se asignan a los enlaces de los grupos  $\text{CH}$  alifáticos, las bandas en  $2925$  y  $2855\text{ cm}^{-1}$  pertenecen a las vibraciones longitudinales de los enlaces  $\text{C}-\text{H}$  de las cadenas alifáticas, mientras que a  $3047\text{ cm}^{-1}$  se localiza la vibración de los enlaces  $\text{C}-\text{H}$  de anillos aromáticos, las vibraciones características en el plano para  $\text{N}-\text{H}$  del grupo indol se localizan cerca de los  $1647$  y  $786\text{ cm}^{-1}$  y la banda que se presentó en  $1212\text{ cm}^{-1}$  corresponde al grupo  $\text{CH}_2\alpha\text{-O}$  ( $\alpha$ -oxígeno). Las asignaciones de las bandas se realizaron con ayuda de reportes de compuestos orgánicos previamente publicados, los cuales contienen compuestos tipo imina [8, 9, 10].

**Figura 1.2** Espectro FTIR de OIC-I**RMN**

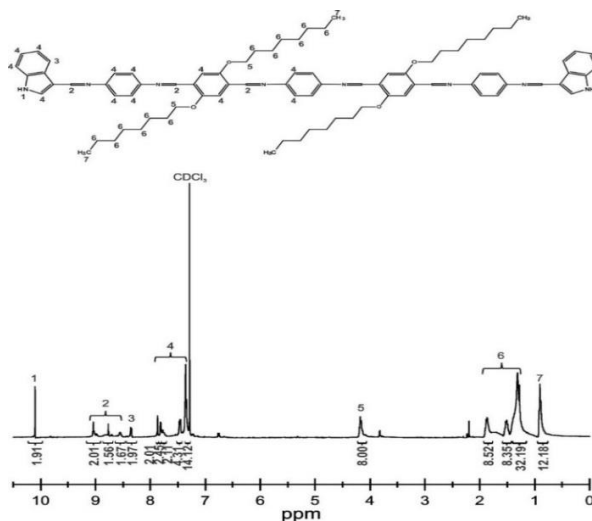
Los espectros de resonancia mostraron la estabilidad del centro del semiconductor. En el espectro de  $^1\text{H}$  se observa una señal en 8.9 ppm asignada para los protones H1, las señales en 7.82–6.50 ppm (16 protones) corresponde a los protones C-H de los grupos aromáticos. La señal ancha observada en 3.71 ppm (4 protones) fue asignada al grupo amina ( $-\text{NH}_2$ ) del grupo terminal de la estructura. La señal triple en 4.20 ppm ( $J = 6.7 \text{ Hz}$ , 8 protones) corresponde al grupo metileno del enlace  $\alpha$ -oxígeno ( $-\text{CH}_2\alpha\text{-O}$ ). La señal del intervalo 1.90–1.20 ppm (48 protones) es debida a los grupos metilenos alifáticos  $-\text{CH}_2-$ . Finalmente, la señal en 0.89 ppm con una integración de 12 protones corresponde a los metilenos ( $-\text{CH}_3$ ) terminales.

**Figura 1.3** Espectro de RMN  $^1\text{H}$  del centro de OIC-I.

La espectroscopía RMN  $^1\text{H}$  del semiconductor orgánico OIC-I, presenta en la región cercana a las 10 ppm (2 protones), señal asignada al grupo amino ( $-\text{NH}_2$ ) del grupo terminal indol. Las señales que se observan entre 9.1-8.4 ppm (6 protones) se asignaron a los protones de los grupo imina ( $-\text{CH}=\text{N}-$ ). La señal en el intervalo de 8.4-8.3 ppm (2 protones) es asignada al grupo  $-\text{CH}$  piridínico del indol. Las señales múltiples entre 7.9-7.3 ppm (24 protones) son asignadas a los protones  $-\text{CH}-$  de los anillos bencílicos.

Alrededor de 4.2-4.0 ppm (8 protones) está presente la señal asignada al grupo  $\alpha$ -oxígeno ( $\text{CH}_2\alpha\text{-O}$ ). Las señales que se observan entre 2.0-1.0 ppm (48 protones) corresponden a la asignación de los grupos metilenos ( $-\text{CH}_2-$ ) alifáticos. Finalmente la señal entre 1.0-0.6 ppm (12 protones) se asignó a los metilos terminales ( $-\text{CH}_3$ ) de la molécula.

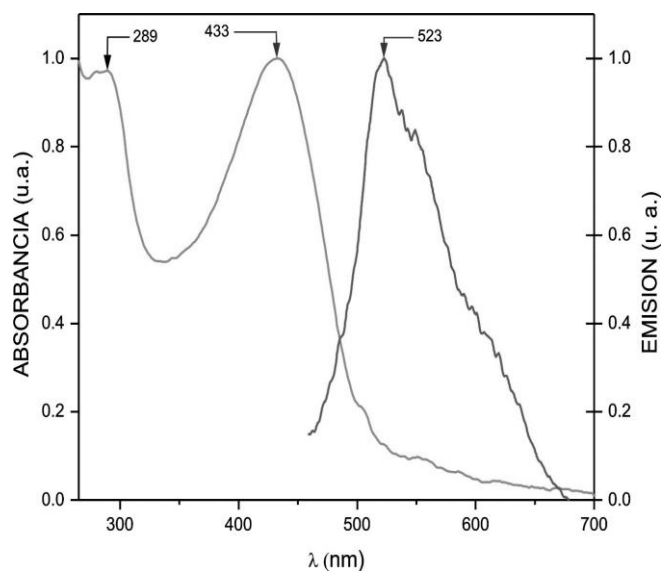
**Figura 1.4** Espectro de RMN  $^1\text{H}$  de OIC-I.



## UV-Vis y Fluorescencia

Los espectros de absorción y emisión en solución de OIC-I, se obtuvieron a partir de UV-Vis y fluorescencia respectivamente (Figura 1.5). Los resultados mostraron una banda de absorción a 289 nm correspondiente a la transición  $\pi\text{-}\pi^*$  de los núcleos aromáticos y una longitud máxima de absorción en el espectro visible de 433 nm, que corresponde a la transición  $n\text{-}\pi^*$  de los grupos  $-\text{HC}=\text{N}-$  conjugados [1, 11, 12]. El espectro de emisión presenta una banda ancha con valor máximo en 523 nm, así como la formación de agregados debido a la réplica de algunos picos a la derecha del espectro, también se determinó un *band gap* óptico en solución de 2.4 eV aproximadamente con un desplazamiento Stokes de 90 nm, revelando la pérdida de energía no radiativa entre niveles vibracionales durante el proceso de excitación y emisión (ver Tabla 1.2).

**Figura 1.5** Espectro de absorción y emisión de OIC-I.

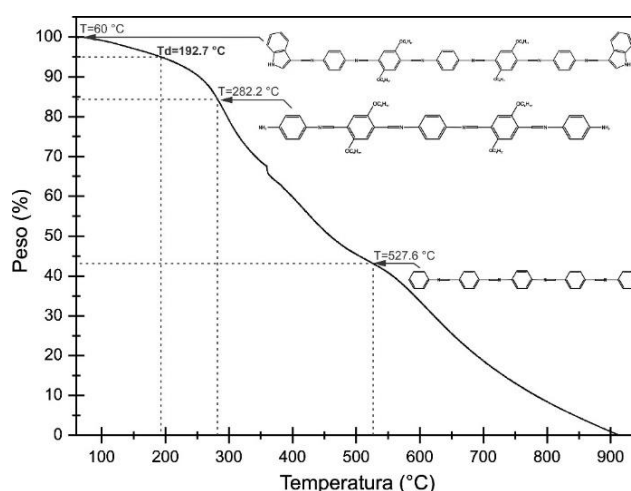


**Tabla 1.2** Resumen de propiedades ópticas de OIC-I

Compuesto	$\lambda_{Abs\ max}$ (nm)	$\lambda_{Emi\ max}$ (nm)	$Eg^{opt}$ (eV)	Desplazamiento Stokes (nm)
OIC-I	433	523	2.4	90

## TGA

El análisis termogravimétrico del semiconductor OIC-I (Figura 6), la temperatura inicial de degradación ( $T_d$ ) se presentó a 192.7 °C, además se observan tres etapas de descomposición de OIC-I, donde en la primer etapa, se tuvo una pérdida de peso de 16 % a temperaturas de entre 60 a 282.2 °C, la cual corresponde a la degradación del grupo terminal indol. La segunda etapa de degradación en el intervalo que va de 282.2 a 527.6 °C se presentó una pérdida de peso de aproximadamente 41 % , que es debida a la pérdida del grupo amina  $-NH_2$  [13, 14] y a las cadenas alcoxi flexible [15]. En la tercera etapa, se observó una pérdida de peso del 43 % en la región de 527.6 a 950 °C, donde se degradaron los grupos aromáticos [15] de los enlaces imina de la cadena principal, para finalmente degradarse por completo el carbono residual. Este análisis mostró que el compuesto OIC-I presenta una buena estabilidad térmica debida a la presencia de los grupos aromáticos y a la rigidez de los grupos imina en la estructura principal [16, 17, 18, 19, 20].

**Figura 1.6** Termograma de OIC-I.

## 4. Agradecimiento

Agradecemos al PRODEP por el financiamiento otorgado para el desarrollo del proyecto con número UPPACH-PTC-110, del cual se obtuvieron los resultados presentados en este trabajo.

## 5. Conclusiones

Los resultados de la caracterización química mediante espectroscopia de RMN  $^1H$ , evidenciaron la obtención del semiconductor OIC-I por la ruta de mecosíntesis, lo que sirve de referencia para proponer diversas estructuras de semiconductores orgánicos de tipo imina. A partir de la caracterización óptica, se demostró que el compuesto OIC-I presenta un comportamiento como semiconductor (1.8 – 3 eV), debido al valor de *band gap* óptico obtenido de 2.4 eV. La temperatura de degradación obtenida nos permite validar que el compuesto OIC-I puede ser aplicado en dispositivos optoelectrónicos en condiciones de operación que van de temperatura ambiente hasta a 192 °C.

## 6. Referencias

- [1] A. I. Martínez Pérez, O. Coreño Alonso, J. Cruz Borbolla, J. M. Vázquez Pérez, J. Coreño Alonso, K. Alemán Ayala, G. Luna Bárcenas, T. Pandiyan, R. A. Vázquez García. (2015). Synthesis of Photochromic Oligophenylenimines: Optical and Computational Studies. *Molecules*. Volumen 20. 5440-5455. doi:10.3390/molecules20045440
- [2] G. Horowitz. (1998). Organic Field-Effect Transistors. *Adv. Mater.*, 10, 365-378.
- [3] J. H. Burroughes, D. D. C. Bradley, A. R. Brown, R. N. Marks, K. Mackay, R. H. Friend, P. L. Burns, A. B. Holmes. (1990). Light-emitting diodes based on conjugated polymers. *Nature*, 347, 539-541. doi:10.1038/347539a0
- [4] M. Dalton. (2004). Electrochromics Organic Polymers and Devices. *Materials Literature Seminar*.
- [5] M. S. Kim. (2009). *Understanding Organic Photovoltaic Cell: Electrode, Nanostructure, Reliability, and Performance*, Tesis doctoral, Universidad de Michigan, Estados Unidos de Norte America.
- [6] B. Yunus, E. KürGat. (2014). Microwave Assisted Solvent-Free Synthesis of Some Imine Derivatives. *Org. Chem. Int.* 1–5, 5744-5750. doi: 10.1021/jo300919x
- [7] A. Z. Bradley, J. S. Thompson, D.L. Thorn, Composition Comprising Amino-Imine Compounds. U.S. Patent 7186835 B2, 6 March 2007.
- [8] M. Grigoras, N. C. Antonoaia. (2001). Synthesis and Characterization of Some Carbazole-Based Imine Polymers. *Euro. Polym. J.* 41, 1079-1089. doi:10.1016/j.eurpolymj.2004.11.019.
- [9] A. G. El-Shekeil, M. A. Khalid, F. A. Al-Yusufy. A Comparative Study of Some Undoped Aromatic Polyazomethines. (2001) *Macromol. Chem. Phys.* 202, 2971-2979. Doi: 10.1002/1521-3935(20011001)202:15<2971::AID-MACP2971>3.0.CO;2-M
- [10] I. Kaya, S. Koyuncu. (2009). Synthesis and characterization of imine-coupled polyphenols containing carbazole units. *J. Appl. Pol. Sci.* 113, 1975-1985.
- [11] S. Koyuncu, I. Kaya, F. B. Koyuncu, E. Ozdemir. (2009). Electrochemical, optical and electrochromic properties of imine polymers containing thiophene and carbazole units. *Synt. Met.* 159, 1034-1042.
- [12] A. Iwan, Z. Mazurak, D. Sek. (2007). Optical properties of polyimines: UV-vis and photoluminescence study of undoped and doped polymers in aprotic and protic solvents. *Pol. Eng. Sci.* 47, 1179-1186. Doi: 10.1002/pen.20791
- [13] W.Y. Chen, Y. Z. Wang, S. W. Kuo, C. F. Huang, P. H. Tung, F. C. Chang. (2004). Thermal and dielectric properties and curing kinetics of nanomaterials formed from poss-epoxy and meta-phenylenediamine. *Polymer*, 45, 6897-6908.
- [14] K. Hemvichian, A. Laobuthee, S. Chirachanchai, H. Ishida. (2002). Thermal decomposition processes in polybenzoxazine model dimers investigated by TGA-FTIR and GC-MS. *Pol. Deg. Stab.* 76, 1-15.



- [15] G. Z. Yang, W. Z. Wang, M. Wang, T. Liu. (2007). Side-chain effect on the structural evolution and properties of poly(9,9-dihexylfluorene-alt-2,5-dialkoxybenzene) copolymers. *J. Phys. Chem. B.* 111, 7747-7755.
- [16] C. Wang, S. Shieh, E. LeGoff, M. G. Kanatzidis. (1996). Synthesis and characterization of a new conjugated aromatic poly(azomethine) derivative based on the 3',4'-dibutyl- $\alpha$ -terthiophene building block. *Macromol.* 29, 3147-3156.
- [17] F. Carré, S. G. Dutremez, C. Guérin, B. J. L. Henner, A. Jolivet, V. Tomberli. (1999). Inclusion Properties of 1,4-(Triorganostannyl and -silyl)buta-1,3-diynes: Thermal, Structural, and NMR Spectroscopic Aspects. *Organomet.* 18, 770-781. Doi:10.1021/om9804430.
- [18] B. Guo, A. Finne-Wistrand, A. C. Albertsson. (2010). Molecular architecture of electroactive and biodegradable copolymers composed of polylactide and carboxyl-capped aniline trimer. *Biomacromol.* 11, 855-863. doi:10.1021/bm9011248.
- [19] Y. Guo, A. Mylonakis, Z. Zhang, P. I. Lekes, K. Levon, S. Li, Q. Feng, Y. Wei. (2007). Oligoaniline-Contained Electroactive Silsesquioxane Precursor for Synthesizing Novel Siliceous Materials. *Macromol.* 40, 2721-2729.
- [20] S. Banerjee, c. Saxena, P. K. Gutch, D. C. Gupta. (1995). Poly-Schiff bases II. Synthesis and characterization of polyetherketoimines. *Eur. Polym. J.* 32, 661-664. doi.org/10.1016/0014-3057(95)00178-6

## **Desarrollo de una Aplicación Móvil para la optimización del control de inventarios empleando el modelo EOQ con faltantes**

Claudia Sánchez García, Jaime Alberto Zaragoza Hernández y Carmín Hernández Domínguez

C. Sánchez, J. A. Zaragoza, C. Hernández  
Instituto Tecnológico Superior del Oriente del Estado de Hidalgo  
csanchez@itesa.edu.mx

F. Trejo, (eds.). Ciencias Multidisciplinarias. Proceedings-©ECORFAN-México, Pachuca, 2017.

## Abstract

Developing a mobile app for an Economic Order Quantity (EOQ) model with backorders for inventory management is the objective of this research. It has two main purposes: To develop a technology tool for small enterprises looking for controlling stocks and as an education app that allow students and teachers from majors that include in their curricula decision making subjects based on analytical processes. This sort of apps is not available in apps market. The methodology is based on evolutionary systems development prototyping, and for its validation participated a group of students from logistics engineering from the Tecnológico Nacional de México. The students used the app for solving structured EOQ problems with backorders in inventory management subject, every outcome was compared with books solutions. Results showed that most of the students empathized with the app and got a better understood of the topic, also felt confident.

## Modelo de lote económico, Inventarios, Faltantes, App

### 1. Introducción

Este trabajo, realiza una aportación relacionada con el manejo de inventarios y las tecnológicas de la información y comunicaciones, en específico en el uso de las apps para dispositivos móviles, dirigida a la línea de Optimización de Operaciones en Cadenas de Suministro y Servicios Logísticos del cuerpo académico del Programa Educativo de Ingeniería en Logística del Instituto Tecnológico Superior del Oriente del Estado de Hidalgo.

No es posible concebir ya una sociedad carente de tecnología móvil, Las computadoras portátiles y la telefonía móvil tienen una enorme aceptación en la sociedad actual, esto se ve reflejado en el rápido crecimiento y evolución de los dispositivos móviles, tanto en la cantidad de modelos diferentes, como en la variedad de servicios. Las implicaciones sociales, económicas y académicas, están relacionadas con la forma de comunicarse y conocerse; las personas se encuentran en todo momento gracias a las redes sociales y comunican sus intereses, experiencias, abren la puerta a la sociedad para que esta los conozca y reconozca, las empresas basan el desarrollo de su mercadotecnia en el conocimiento del cliente, puesto que este busca y encuentra en internet, a través de sitios web y aplicaciones en computadora tablet o smartphone lo que desea.

La academia ha encontrado que la tecnología bien encausada no es un distractor, es más bien, un instrumento de aprendizaje que permite al usuario de la tecnología conocer y darse cuenta del entorno, convirtiendo los dispositivos en una herramienta necesaria para realizar actividades de aprendizaje, de descubrimiento y de entendimiento, solo basta con mirar a nuestro alrededor y observar a alguna persona revisando su email, publicando en sus redes sociales, tomando alguna fotografía o selfie, o simplemente realizando una llamada telefónica. El ámbito productivo también está imbuido en el uso de las TIC's. La operación de sistemas a distancia, el internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés), sistemas para la planeación de recursos empresariales (ERP, por sus siglas en inglés), entre otros. Por supuesto las aplicaciones para dispositivos móviles también tienen un extraordinario desarrollo, en el campo de la productividad, la academia y el entretenimiento principalmente.

La búsqueda de aplicaciones productivas y a la vez académicas que apoyen el proceso enseñanza-aprendizaje ha sido el impulsor en el desarrollo de este trabajo, encontrando que en el área de la cadena de suministro y la logística, específicamente en el control de los inventarios existe una carencia de aplicaciones. Se halló una que realiza el cálculo del nivel de inventarios empleando el modelo EOQ luego de introducir el costo de mantener en inventario, el costo de pedir y la demanda.

En este trabajo se presenta una propuesta de herramienta de software desarrollada para dispositivos móviles, que sirva para realizar cálculos del nivel de inventarios sin faltas y con faltantes, que supere lo ofrecido por la aplicación existente y que ayude a pequeños empresarios y académicos a revisar el concepto de inventario independiente y su determinación mediante el método EOQ con faltantes planeados.

Es importante mencionar que el trabajo surge en un salón de clase, lugar donde un grupo de alumnos de la asignatura de inventarios de un instituto de estudios superiores del Tecnológico Nacional de México (TecNM), se dió a la tarea de buscar una aplicación móvil que ayude a resolver problemas de aplicación del modelo EOQ con faltantes.

## **2. Estado del Arte**

El uso creciente de la tecnología móvil, principalmente de los smartphones, en el ámbito académico trae beneficios palpables, como el no hacer necesario desplazarse hasta una computadora o transportar cuadernos y libros en cantidades limitadas. Los estudiantes llevan sus smartphones a la escuela, principalmente para socializar con sus pares fuera de clase, los maestros que antes consideraban al smartphone como un distractor, quieren sacar provecho de esta tecnología para facilitar el aprendizaje de sus estudiante (Clayton & Murphy, 2016).

Mediante el uso de la los smartphones se favorece el aprendizaje por investigación, lo que también incluye a los demás tipos de dispositivos móviles. En el futuro, habrá que enfocar más proyectos de investigación relacionados al uso de los dispositivos móviles con el aprendizaje, para desarrollar la educación móvil (Ally & Prieto-Blázquez, 2014). La tecnología móvil brinda una gran oportunidad para que el estudiante aprenda dentro y fuera del salón de clases y abre la puerta a una nueva forma de aprendizaje y desempeño (Martin & Ertzberger, 2013).

La ubicuidad de los smartphones y la accesibilidad a internet potencian el aprendizaje en cualquier lugar y en cualquier momento. El desarrollo de apps que de forma predeterminada para el usuario le ayudan a manejar información para la toma de decisiones están disponibles en la tienda de apps para Android Google Play Store. Existen diferentes tipos de apps, clasificadas en Play Store en 36 categorías, entre las que se encuentra, educación, herramientas y productividad. Las tres categorías son muy populares tanto en el ambiente empresarial como en el académico. En América Latina, 64% de los usuarios de medios digitales prefieren hacer una actividad en un dispositivo móvil si tienen la oportunidad (Velásquez-Rodríguez & Manrique-Suarez, 2017).

Lo que implica una gran oportunidad para el desarrollo de apps en muy variadas categorías. Las apps más significativas son aquellas que el estudiante de nivel superior utiliza tanto en el salón de clases como en el sector laboral, por ejemplo, apps de hojas cálculo, lectores pdf, traductores, calculadoras para ingenieros mecánicos, eléctricos, la nutrición, entre otras. El panorama se visualiza amplio para realizar investigación sobre el uso de las tecnologías móviles en el aprendizaje y sobre todo para transformar la forma de aprender.

## **3. Tipos de Inventarios**

Desde el punto de vista del inventario independiente, las empresas cuentan principalmente con cuatro tipos de inventarios: Inventarios para las materias primas, Inventarios para trabajo en proceso, Inventarios MRO (Mantenimiento, Reparación y Operaciones) e Inventarios de producto terminado (Render & Heizer, 2007). Los inventarios de materias primas son aquellos que consisten de materiales que no han sido procesados y que son la esencia del producto a fabricar.

Este tipo de inventarios tiene dos propósitos fundamentales, el primero es separar a los proveedores del proceso productivo de la compañía y el segundo es asegurar la cantidad de materiales para no interrumpir la producción y cumplir en tiempo y forma con nuestros clientes. En cuanto a los inventarios de trabajo en proceso son aquellos que constan de las materias primas que ya han sido sometidas a algún procedimiento relacionado con el proceso productivo y que por tanto ya han sufrido modificaciones, pero aún no se encuentran terminados (Bustos Flores & Chacón Parra, G. B., 2012). Por lo que se refiere a los inventarios MRO son inventarios que se conforman por todos aquellos materiales necesarios para mantener en perfecto estado la maquinaria y garantizar los procesos.

Por último, pero no menos importante, tenemos el inventario de producto terminado, el cual maneja todos aquellos materiales que pasaron por todo el proceso productivo y que por tanto se encuentran totalmente terminados, estos productos ya pueden salir a la venta y solo se encuentran en espera de ser embarcados o distribuidos (Render & Heizer, 2007).

#### **4. Tipos de Costos en los Inventarios**

En general, los costos relacionados con los inventarios son: Los costos de mantener o llevar inventario, estos son todos aquellos costos involucrados con la acción de guardar o “manejar” el inventario en un periodo de tiempo, como son: seguros, personal, rentas, entre otros. Por otra parte, también tenemos el costo de ordenar, el cual son los costos de salarios, papel, transporte, entre otros, asociados con la colocación del pedido de un artículo. Por último, tenemos el costo de preparar o costo de preparación, estos costos son aquellos que establecen una máquina o un proceso de fabricación de un producto, como por ejemplo el tiempo y la mano de obra destinados a la limpieza y cambio de herramientas y contenedores (Anderson, Sweeney, Williams, Camm, & Martin, 2011).

#### **5. Control de Inventarios**

La función de aprovisionar es la acción de abastecer todas las mercancías y/o materiales necesarios para la realización de todas las actividades involucradas en las diversas áreas de una compañía, principalmente la de producción, esto en el tiempo requerido y al costo más bajo. Anteriormente se consideraban como iguales las acciones de aprovisionamiento como la de compra y adquisición de bienes y servicios, pero esto es erróneo ya que el aprovisionamiento no solo contempla la parte de realizar compras, sino que también involucra la gestión y almacenamiento de los materiales.

Por supuesto el aprovisionar parece una tarea fácil, pero realmente no lo es, ya que existen varios factores a considerar, como por ejemplo la cantidad a comprar y la sección del proveedor dependerá de los costos, si existe o no rebajas en el precio por la cantidad a comprar, si existen financiamientos o facilidades de pago, el tiempo y las condiciones de envío, por esta razón el control de los inventarios es de suma importancia, ya que se ocupa de determinar cuánto y cuándo hay que solicitar, considerando la demanda, plazos de entrega y el nivel de confianza hacia el proveedor (Bustos Flores & Chacón Parra, G. B., 2012).

Por otra parte, el objetivo del control de inventarios radica en el optimizar el aprovisionamiento de los materiales, para ello la gestión de inventarios cuenta con varias herramientas denominados modelos de gestión de inventarios los cuales en esencia se basan en procedimientos determinísticos y probabilísticos para determinar los niveles de inventario y los niveles que deben mantenerse, cuándo hay que reabastecerse el inventario y de qué tamaño deben ser los pedidos. Los modelos para el control de inventarios se pueden clasificar como modelos dependientes de la demanda y modelos independientes de la demanda, aunque también se pueden clasificar en modelos determinísticos (suponen que el grado de la demanda es constante) y modelos probabilísticos (la demanda fluctúa y pueden describirse de manera probabilística) (Render & Heizer, 2007).

## 6. Modelo de cantidad económica del pedido (EOQ)

El modelo EOQ también conocido como modelo de lote económico es un modelo empleado considerando los siguientes supuestos (Anderson, Sweeney, Williams, Camm, & Martin, 2011):

- Los faltantes (escasez) se evitan por completo si las órdenes se colocan en el momento adecuado.
- La demanda se conoce, es constante e independiente.
- Se conoce el tiempo de entrega y además es constante.
- La recepción del inventario es instantánea y completa.
- No existen los descuentos por cantidad.
- Los únicos costos variables son el costo de preparación y el costo de mantener o almacenar el inventario.

Modelo de lote económico consta de los siguientes cálculos:

$$Q = \sqrt{\frac{2DS}{H}} \quad (1)$$

$$Q_P = \sqrt{\frac{2DS}{H[1-(d/p)]}} \quad (2)$$

$$\text{Inventario de seguridad} = Z\sigma = x - \mu \quad (3)$$

$$\text{Costo de ordenar} = \frac{D}{Q}S \quad (5)$$

$$\text{Costo de mantener} = \frac{Q}{2}H \quad (6)$$

$$\text{Costo del producto} = PD$$

$$TC = \text{Costo de ordenar} + \text{Costo de mantener} + \text{Costo del producto} \quad (7)$$

También podemos calcular a  $Q$  con la siguiente ecuación:

$$Q = \sqrt{\frac{2DS}{IP}} \quad (8)$$

Donde:

$Q$  = Número de piezas a ordenar

$Q_P$  = Modelo de la cantidad óptima a producir

$EOQ$  = Tamaño d Piezas por orden

$D$  = Demanda anual en unidades

$S$  = Costo de ordenar o preparar para cada orden

$H$  = Costo de mantener o manejar inventario por unidad por año

$p$  = Tasa de producción diaria

$d$  = Tasa de demanda diaria

$P$  = Precio

$I$  = Costo anual de manejo del inventario como porcentaje del precio

$\mu$  = Media de la demanda

$\sigma$  = Desviación estándar

$x$  = Demanda media + inventario de seguridad

$Z$  = Valor estándar bajo la curva normal

$TC$  = Costo total

## 7. Modelo EOQ con faltantes

El modelo EOQ con faltantes es una variante del modelo EOQ tradicional, solo que se agregan dos supuestos más:

- Si existen  $S$  pedidos en espera cuando llega un nuevo envío de tamaño  $Q$ , entonces  $S$  pedidos en espera se envían a los clientes apropiados y las  $Q - S$  unidades restantes se colocan en el inventario. Por consiguiente,  $Q - S$  es el inventario máximo.
- El ciclo del inventario de  $T$  días se divide en dos fases distintas:  $t_1$  días cuando el inventario está disponible y los pedidos se entregan cuando se hacen, y  $t_2$  días cuando se agotan las existencias y todos los pedidos nuevos se colocan en espera.

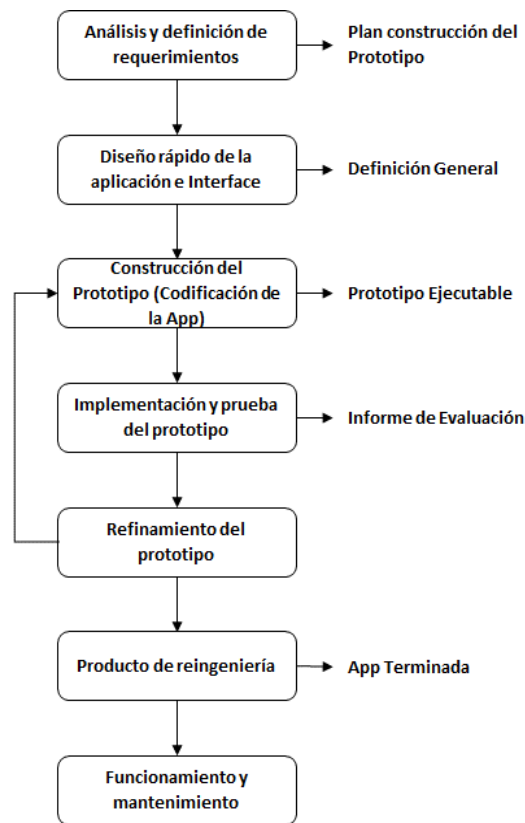
Este modelo se emplea principalmente cuando el valor del inventario por unidad es elevado y como consecuencia también el costo de mantener el inventario, por lo que es más redituable contemplar “faltantes”. Los faltantes son aquellas inexistencias dentro de una demanda que no puede ser satisfecha, esto por supuesto en la mayoría de las ocasiones no es deseable y por tanto se evitan, pero en ocasiones desde el punto de vista monetario es recomendable planearlas, ya que es más costoso mantenerlo en comparación con pagar alguna sanción o compensación al cliente (Anderson, Sweeney, Williams, Camm, & Martin, 2011).

## 8. Metodología

La Figura 2.1 muestra la secuencia de actividades que se han llevado a cabo para el desarrollo de la aplicación, cabe destacar que la metodología de desarrollo de software empleada es el modelo de proceso evolutivo de construcción de prototipos o también conocido como Prototipado del Software, esto por sus características y ventajas que esta metodología brinda (Pressman, 2010) (Sommerville, 2005), ya que permite:

- Un desarrollo rápido.
- Ver la funcionalidad básica de la aplicación, sin que esta incluya toda la lógica o características de la App terminada.
- Evaluar en forma temprana la aplicación, e interactuar con los diseñadores y desarrolladores para saber si se está cumpliendo con las expectativas y las funcionalidades definidas al inicio.
- Crecer y mejorar la funcionalidad de la aplicación con el paso del tiempo.

En la siguiente sección se describen cada una de las actividades que conforman esta metodología.

**Figura 2.1** Etapas de la Planificación Estratégica

Fuente: Elaboración Propia

## 8.1. Materiales y Métodos

Para el desarrollo de la aplicación se emplearon los siguientes materiales:

- Computadora (6 Gb de Ram, disco duro de 1 Tb y procesador Intel inside CORE i3) Android Studio 2.3.3
- Smartphone con sistema operativo Android

Los pasos realizados para la elaboración de la aplicación son:

1. **Análisis y definición de requerimientos:** En esta fase se analizan las peticiones o requerimientos de las personas o entidad para la cual se desarrolla el servicio móvil “Cliente”, el propósito es definir las características del mundo o entorno de la aplicación. Para ello se realizan tres actividades: obtener los requerimientos, clasificar los requerimientos y con base en estos personalizar el servicio.
  - a. Obtener requerimientos: se sugiere hacer una serie de entrevistas al cliente, para que manifieste los síntomas del problema o necesidades que se pretenden solucionar con las tecnologías móviles, o simplemente, para que señale las características que debe tener la aplicación.



Para el caso de la siguiente aplicación se entrevistaron a un grupo de 27 personas de entre 19 y 21 años, los cuales son estudiantes del programa educativo de ingeniería logística ofertado por el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de la región mismos que cursaban la asignatura de Inventarios. Esto porque ellos son considerados posibles “consumidores” de la aplicación dadas las siguientes razones: Conocen los modelos de control de inventarios, Emplean, aunque de manera “teórica” el modelo EOQ en sus diversas variantes en la solución de problemas del tipo estructurado, cuando egresen y ejerzan su profesión se verán en la necesidad de realizar proyectos de control de inventarios y por tanto de utilizar el modelo EOQ.

- b. Clasificar los requerimientos: una vez identificados los requerimientos que debe tener la aplicación, se procede a clasificarlos. Dichos requerimientos se pueden clasificar en entorno, mundo, funcionales y no funcionales.
- El entorno se refiere a todo lo que rodea al servicio. Por ejemplo, las características técnicas del dispositivo móvil del cliente, el sistema operativo subyacente (móvil y servidores), la tecnología utilizada para la transferencia de información, el Sistema Manejador de Base de Datos, Data Base Management System (DBMS), si se requiere, el formato de archivos y, otros módulos tecnológicos utilizados para el servicio. En este caso la aplicación debe ser desarrollada para dispositivos móviles con sistema operativo Android, como son Smartphone y Tablet.
  - El mundo es la forma cómo interactúan el usuario y la aplicación. Aquí se encuentran los requerimientos de la Interfaz Gráfica de Usuario, Graphical User Interface (GUI), la forma en que el software va a generar los datos de salida, el formato de los datos y los demás requerimientos que involucren la comunicación hombre-máquina, considerando la gama tecnológica de los teléfonos móviles de los usuarios a la que va dirigida el servicio. Para el presente caso la interfaz de usuario debe ser fácil de usar, agradable a la vista, no muy vistosa, es decir, con colores sobrios, letras de color oscuro y medianas, esto con la finalidad de no asignar muchos recursos del dispositivo en la parte visual y enfocarlo más a la funcionalidad.
  - Los requerimientos funcionales son todos aquellos que demandan una función dentro del sistema. Se deben definir claramente cada una de las tareas que debe realizar la aplicación. La aplicación debe calcular:
    1. Cantidad óptima a pedir
    2. Cantidad máxima en inventario
    3. Cantidad máxima permitida de faltantes
    4. Duración del ciclo en días (t), tanto anual como en días.
    5. Número de pedidos u órdenes
    6. Punto de reorden
    7. Costo del producto
    8. Costo de tener faltantes
    9. Costo de pedir
    10. Costo promedio de mantener en inventario
  - Los requerimientos no funcionales son la estabilidad, la portabilidad, el rendimiento, el tiempo de salida al mercado y, el costo, entre otros.
  - Personalizar el servicio: adicionalmente se deben analizar aspectos de la cotidianidad del cliente como preferencias, costumbres y particularidades del usuario, con el propósito de garantizar la aceptación del servicio.

## **2. Diseño rápido**

Consiste en hacer un pequeño prototipo funcional, el cual muestra las principales funciones y características de la aplicación, con la finalidad de que el cliente la pueda visualizar, probar y retroalimentar. Para el diseño se hizo siguiendo la estructura que presenta la hoja de cálculo realizada al inicio del proyecto.

## **3. Construcción del prototipo**

En esta etapa en base a los comentarios y observaciones realizados por parte del cliente en la etapa anterior, se construyó el prototipo principal, cumpliendo con los requerimientos acordados en el inicio del proyecto. En este caso se realizó únicamente un prototipo, el cual con el tiempo se planea mejorar la parte de la interfaz. El prototipo fue desarrollado empleando Android Studio 2.3.3 y Nexus 5X API 25 como emulador.

## **4. Implementación y prueba del prototipo**

Una vez concluido el prototipo principal, nuevamente se le entrega al cliente para que lo pruebe y dé su opinión sobre su nivel de satisfacción del producto y/o mejoras que le gustaría que se realizarán a la aplicación. Para esta fase se instaló la aplicación en siete Smartphone de diferentes marcas y modelos, en un rango de 4 a 5.5 pulgadas de pantalla, todos con sistema operativo Android. Para validar los resultados obtenidos por la aplicación se tomaron diez problemas de libros de Administración de Operaciones e Investigación de Operaciones, los datos de estos ejemplos y ejercicios se introdujeron tanto en la aplicación como en la hoja de cálculo hecha y comprobada con anterioridad. Los ejercicios empleados para la validación se obtuvieron de los siguientes libros:

- Krajewski, L. J., Ritzman, L. P., & Malhotra, M. K. (1999). Operations management. Singapore: Addison-Wesley.
- Anderson, D. R., Sweeney, D. J., Williams, T. A., & García, G. S. (1999). Métodos cuantitativos para los negocios (No. Sirsi) a458752). International Thomson Editores.

## **5. Refinamiento del prototipo**

Se realizan los cambios correspondientes, de acuerdo a las observaciones del cliente en la etapa anterior. Por supuesto este primer prototipo se busca mejorarlo en un lapso no mayor a tres meses.

## **6. Producto de reingeniería**

Por último, una vez concluidas las etapas anteriores, se hace entrega de la aplicación ya terminada en su totalidad.

También es necesario realizar toda la documentación con respecto al código, así como son los manuales de usuario y mantenimiento, con el propósito de facilitar modificaciones y/o mejoras en la aplicación ya que con el tiempo existen los cambios tanto de la tecnología como del personal involucrado.

## **7. Funcionamiento y mantenimiento**

De manera continua se planean realizar mejoras al funcionamiento y mantenimiento de la aplicación, ya que con el paso del tiempo tanto los sistemas operativos como los dispositivos, que este caso son Smartphone y Tablets, sufren cambios o modificaciones que pueden alterar el funcionamiento de la aplicación.

## 9. Resultados

En la Figura 1.2 se muestra las interfaces del primer prototipo de la aplicación diseñada. La primera es para la inserción de los datos de los distintos problemas mientras que la segunda es para mostrar los resultados obtenidos.

**Figura 1.2** Interfaces de la Aplicación desarrollada

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 1.1 se muestran los porcentajes de error de los resultados de la aplicación con respecto a los resultados establecidos por los autores de los libros y los resultados obtenidos con la hoja de cálculo.

**Tabla 1.1** Porcentaje de error obtenidos de la aplicación vs libro y hoja de cálculo

Número de ejercicio empleado	% de error de los resultados obtenidos con la aplicación vs Hoja de Cálculo	% de error de los resultados con la Aplicación vs resultados del Libro
Ejercicio 1	0.005%	0.0025%
Ejercicio 2	0.008%	0.005%
Ejemplo 3	0.005%	0.0025%
Ejemplo 4	0.005%	0.006%
Ejemplo 5	0.005%	0.006%
Ejemplo 6	0.005%	0.005%
Ejemplo 7	0.0025%	0.005%
Ejemplo 8	0.005%	0.007%
Ejemplo 9	0.0025%	0.005%
Ejemplo 10	0.005%	0.008%

Fuente: Elaboración Propia

Los parámetros funcionales medidos fueron los siguientes:

1. Tiempo de ejecución: aproximadamente 20 segundos (desde el pulsado del icono hasta la ejecución como tal de la aplicación)
2. Uso de recursos: Como la interfaz de la aplicación no hace uso de imágenes ni gran variedad de colores no “alenta” al sistema operativo, además, la aplicación tampoco hace uso de acelerómetro, cámara, bocinas, sensores, ni ningún otro componente adicional a la memoria del dispositivo, por lo cual el uso de recursos es relativamente bajo.
3. Factibilidad: El uso de la aplicación en el caso de los estudiantes demostró ser más factible de usar en comparación a la hoja de cálculo de Excel y a la hoja de cálculo de google, ya que era más sencillo sacar su dispositivo móvil y ejecutar la aplicación en lugar de sacar y esperar a que la computadora encendiera, y que la señal de internet no fallara.

Cabe señalar que en cuanto a pruebas de rendimiento de la app entre las diferentes versiones de los sistemas operativos instalados en los dispositivos móviles por el momento a un se han realizado, pero se espera a futuro poder hacerlo.

## 10. Conclusiones

Los inventarios hoy en día juegan un papel indispensable en el éxito o fracaso de cualquier empresa, ya que son esenciales para la realización de cualquier proceso productivo, siendo por ello una parte considerable de las inversiones realizadas por toda compañía, en este proyecto se desarrolló una aplicación móvil que permite emplear el modelo EOQ con faltantes, siendo una herramienta muy eficaz para la solución de problemas relacionadas con el control de los inventarios. Esta aplicación proporciona grandes beneficios a las compañías como brindar un mejor servicio a los clientes, manejo y control de las existencias considerando también posibles faltantes y la optimización de los costos involucrados en el manejo de los inventarios.

Desde el punto de vista académico, la aplicación favorece el proceso de aprendizaje, ya que le permite a los estudiantes resolver problemas estructurados relacionados con el modelo EOQ de manera rápida y confiable, además de eliminar la incertidumbre al contar con una herramienta que les ayude a comprobar sus resultados obtenidos en las sesiones de clase. Esta aplicación como se puede observar en la Tabla 1.1, presenta una muy buena exactitud en cuanto a los resultados que presenta en comparación con la literatura y otras herramientas que hoy en día son utilizadas para la solución de este tipo de problemas como son la hoja de cálculo, solo que con la ventaja de emplear la movilidad y la familiaridad que hoy se día se presenta con el uso de dispositivos móviles, lo cual se manifiesta en el ahorro y reducción de tiempo empleado en la implementación del modelo EOQ. Como trabajos futuros se recomienda y/o se pretenden mejorar las interfaces de la aplicación, además de medir el impacto del uso de esta herramienta en las sesiones de clases relacionadas con los inventarios.

## 11. Referencias

Anderson, D. R., Sweeney, D., Williams, T., Camm, J., & Martin, K. (2011). *Métodos cuantitativos para los negocios* (Onceava ed.). México: Cengage Learning.

Bustos Flores, C. E., & Chacón Parra, G. B. (2012). Modelos determinísticos de inventarios para demanda independiente: Un estudio en Venezuela. *Contaduría y administración*, 57(3), 239-258.

Clayton, K. E., & Murphy, A. (2016). Smartphone Apps in Education: Students Create Videos to Teach Smartphone Use as Tool for Learning. *Journal of Media Literacy Education*, 8(2), 99-109.

Ally, M. & Prieto-Blázquez, J. (2014). What is the future of mobile learning in education? Mobile Learning Applications in Higher Education [Special Section]. *Revista de Universidad y Sociedad del Conocimiento (RUSC)*. Vol. 11, No 1. pp. 142-151. doi <http://dx.doi.org/10.7238/rusc.v11i1.2033>

Martin, F. & Ertzberger, J. (2016). Here and now mobile learning: An experimental study on the use of mobile technology. *Computers and Education*. 68 (2013) 76–85

Pressman, R. (2010). *Ingeniería del software. Un enfoque Práctico* (Séptima ed.). México: McGraw-Hill.

Render, B., & Heizer, J. (2007). *Administración de la producción*. México: Pearson Educación.

Sommerville, I. (2005). *Ingeniería del software* (Séptima ed.). Madrid: Pearson Educación.

Velásquez Rodríguez, L. C., & Manrique Suarez, F. A. (2017). Estado del Arte sobre Aplicaciones Móviles. Caso de Estudio Enfocado a Estudiantes Universitarios en Bogotá, Colombia. *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*.

## **Firma Digital Móvil Basada en Criptografía Hash**

Leonardo Javier Montiel Arrieta, Flor Seleyda Hernández Mendoza, Luis Adrián Lizama Pérez, Luis Adrián Lizama Servín y Eric Simancas Acevedo

L. Montiel<sup>1</sup>, F. Hernández<sup>1</sup>, L. Lizama<sup>1</sup>, L. Lizama<sup>2</sup>, E. Simancas<sup>1</sup>  
Universidad Politécnica de Pachuca<sup>1</sup>  
Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial<sup>2</sup>  
leoxavi8677@micorreo.upp.edu.mx

F. Trejo, (eds.). Ciencias Multidisciplinarias. Proceedings-©ECORFAN-México, Pachuca, 2017.

## Abstract

Currently, most of the services offered on the internet are backed by the use of public key cryptography, which bases its security on modular arithmetic. The use of modular mathematics so far is safe. However, this research seeks to introduce a new approach to public key cryptography that improves execution times, reducing energy consumption. A different and promising option is the use of Hash functions, which can be exploited to make digital signatures. The protocol proposed in this work incorporates the role of a Certifying Authority (CA), which controls the keys used by the users and through the transaction log that stores allows to guarantee the non-repudiation of the information. This method is suitable for mobile network devices because of the speed and hardware requirements of the Hash functions.

## Hash function, Hash chain, Merkle tree, digital signature, mobile devices

### 1. Introducción

Hoy en día se utilizan diversos métodos de firma digital para la integridad de las transacciones electrónicas en Internet. Algunos de ellos utilizan algoritmos basados en aritmética modular, la cual requiere de una gran cantidad de operaciones computacionales. Además, se necesitan números primos que deben estar en un rango de 200 a 700 dígitos (Hayashi, 2000). Actualmente existen diversos esquemas que utilizan algoritmos basados en aritmética modular, como lo es el RSA (Rivest, Shamir y Adleman) o las curvas elípticas (Hayashi, 2000).

En este trabajo se presentará un nuevo protocolo para firma digital basada en criptografía Hash. De manera preliminar se describirán otros métodos de firma relacionados, los cuales usan como base las funciones Hash. Sin embargo, este protocolo es vulnerable a un ataque de Hombre de En Medio (MITM por sus siglas en inglés), por lo cual se requiere implementar una AC (Autoridad Certificadora), que permita el intercambio seguro de llaves entre los usuarios. Cabe mencionar que en la actualidad no existen esquemas de llave pública basados en criptografía Hash, que proporcionen firma digital y servicios de confidencialidad (Buchmann, 2016).

Se debe señalar que los métodos de firma digital basados en aritmética modular requieren un tiempo considerable para la ejecución de la firma digital desde el proceso de generación de llaves hasta la verificación de la misma. Por lo anterior, en esta investigación se plantea utilizar la criptografía Hash para definir un nuevo esquema de firma digital, en el cual las llaves públicas y privadas, son elementos de una cadena Hash generada a partir de un valor inicial secreto definido por el usuario. En esta investigación se desarrolló un servicio web denominado Autoridad Certificadora (AC) como parte de un sistema cliente-servidor, la cual garantiza el servicio de no repudio entre los usuarios que intervienen en la firma digital de un documento o mensaje.

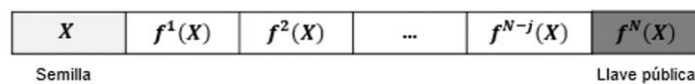
Los principales componentes del protocolo de firma digital basado en criptografía Hash son: Una función Hash, que recibe como entrada un conjunto de bits de longitud arbitraria o mensaje y genera como salida un conjunto de bits de longitud preestablecida (Smart, 2016). A esta representación se le llama código Hash o resumen del mensaje, el cual será representado en este documento como  $f(x)$ . Toda función o algoritmo Hash debe cumplir las siguientes características (Barreto, 2013):

- a. Dada la firma digital debe ser computacionalmente imposible recuperar el mensaje original.
- b. Compresión: La firma digital debe ser de longitud fija, independientemente de la longitud del mensaje original.
- c. Facilidad de cálculo: Dado el mensaje original, debe ser fácil calcular la firma digital de este.

- d. Difusión: La firma digital debe ser una función compleja de todos los bits del mensaje, de tal forma que, si se modifica un solo bit, el hash resultante deberá cambiar al menos la mitad de sus bits aproximadamente.
- e. Resistente a colisiones. Existen dos tipos:
  - Colisión Simple. Dado el mensaje  $x_0$ , debe ser computacionalmente imposible obtener otro mensaje  $x_1$ , tal que el hash de  $x_0$  sea idéntico al de  $x_1$ .
  - Colisión fuerte. Será computacionalmente complicado encontrar un par  $(x_0, x_1)$  de forma que el hash de  $x_0$  sea idéntico al de  $x_1$ .

La cadena Hash, la cual es una secuencia de valores derivados consecutivamente de una función Hash y un valor inicial. Debido a las propiedades de la función hash, es relativamente fácil calcular sucesivamente valores encadenados (Horne, 2011).

**Figura 3.1** Cadena Hash



El HMAC (Hash Message Authentication Code) es una función se usa el código de la función hash sin modificación alguna, esta construcción también involucra una sola clave de longitud arbitraria. Lo cual proporciona algunas ventajas en el nivel del manejo de las claves (Martínez, 2004). Un Árbol de Merkle es esencialmente una estructura que se construye con una función Hash resistente a colisiones para producir una pequeña descripción criptográfica de la raíz. Los nodos hoja contienen los valores de Hash de los datos de interés, es decir, el número de serie de los certificados revocados, y los nodos internos los valores de Hash que resultan de aplicar la función Hash de sus nodos hijos. De esta manera, un gran número de datos separados puede ser ligado a un único valor de Hash: el Hash del nodo raíz del árbol (Gañan, Caubet, Esparza, Mata-Díaz, & Montenegro).

## 1.1. Antecedentes

En esta sección abordaremos los sistemas de firma digital, clasificándolos en aquellos que basan su seguridad en aritmética modular y los que se basan en criptografía Hash. Los primeros son susceptibles de ser analizados por una computadora cuántica, ya que puede procesar más información en menos tiempo que un ordenador clásico. Los ordenadores clásicos pueden resolver problemas de complejidad NP y las computadoras cuánticas pueden resolver problemas de la clase BQP (bounded error quantum polynomial time), la cual incluye la clase P y algunos problemas de la clase NP como factorización entera y logaritmo discreto (Lizama-Pérez, 2015) y (Prieto, 2015) .

### 1.1.1. Algoritmos pre-cuánticos

Los algoritmos considerados como pre-cuánticos se sustentan en problemas derivados de la aritmética modular. A continuación, se describen brevemente algunos de los algoritmos más representativos.

- El método RSA (Rivest-Shamir-Adleman) desarrollado en 1977, es el algoritmo de cifrado y autenticación más utilizado en Internet (Network Dictionary, 2007). Este algoritmo se basa en el problema de la factorización entera, cuya dificultad radica en encontrar dos números primos grandes, dado el producto de ambos.



- La Criptografía de Curva Elíptica (ECC) fue propuesto por Koblitz. La principal ventaja de este método es que los tamaños de llave son más pequeños en comparación a otros criptosistemas como RSA. Sin embargo, ECC ofrece un nivel de seguridad similar a RSA (Zilong, 2014). La seguridad de ECC se basa en la dificultad de problemas de curva elíptica de logaritmos discretos.
- El-Gamal, es uno de los criptosistemas más establecidos de llave pública, este sistema adoptó el algoritmo de intercambio de claves Diffie-Hellman. La seguridad de este criptosistema se basa en problemas de Logaritmo Discreto sobre campos finitos (A. Mandangan, 2014).
- El Algoritmo de Firma Digital (DSA) está basado en la dificultad computacional para resolver logaritmos discretos (Stallings, 2014), fue desarrollado por la Agencia de Seguridad Nacional de EEUU para generar una firma digital para la autenticación de documentos electrónicos. DSS fue propuesta por el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) en 1994, y se ha convertido el estándar gobierno de los Estados Unidos para la autenticación de la electrónica documentos (Network Dictionary, 2007). Este estándar puede ser implementado utilizando DSA, RSA o Curva elíptica (ECDSA) (Gallagher, 2013).

### 1.1.2. Algoritmos post-cuánticos

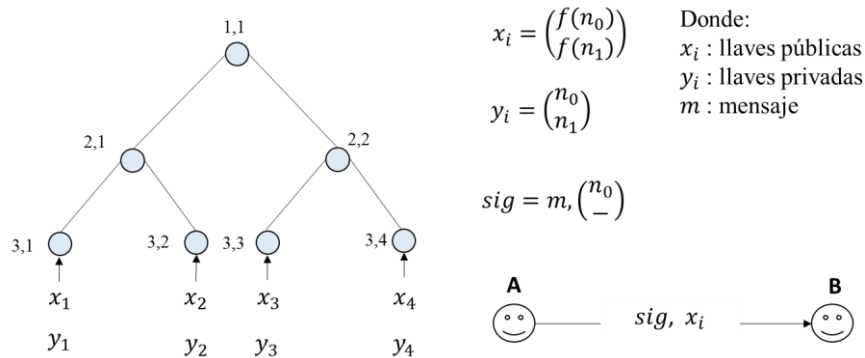
El advenimiento de las computadoras cuánticas podría conducir al rompimiento de los sistemas que actualmente están en uso en internet. Esto debido a que el algoritmo de Shor fue diseñado para llevar a cabo el análisis de los métodos basados en matemáticas modulares (NIST, 2016) y (Lizama-Pérez, 2015). Actualmente el National Institute of Standards and Technology (NIST) ha publicado una convocatoria para evaluar y estandarizar uno o más algoritmos criptográficos de llave pública de resistencia cuántica (NIST, 2016). Las funciones Hash están consideradas como una forma de criptografía post-cuántica (Buchmann, 2016). El algoritmo de firma digital Hash que se describe en este trabajo es por tanto, un método post-cuántico. Sin embargo, a continuación se describirán otros métodos que usan funciones Hash.

Uno de los primeros algoritmos que usa funciones Hash para lograr servicios de autenticación es la Contraseña de Una Sola Vez (OTP) (Lamport, 1981). Este algoritmo genera una cadena de valores Hash para ser usadas durante  $n$  sesiones de autenticación. El último elemento de la cadena se conoce como llave pública  $z_0 = f(z_1)$ , la cual se publica y se comparte con el servidor. Posteriormente el cliente usa la llave anterior  $z_1$  en la primera sesión de autenticación. El servidor no conoce  $z_1$  pero como conoce el valor de  $z_0$  es posible verificar su identidad con la relación  $z_0 = f(z_1)$ . La siguiente llave a utilizar es  $z_2$  para que pueda ser verificada con la relación  $z_1 = f(z_2)$  y así hasta agotar el número de sesiones.

El inconveniente de este protocolo de autenticación es que las llaves se agotan y no existe una manera segura de renovación, a menos que se inicie el proceso de autenticación nuevamente entre el cliente y el servidor. Además, este proceso lo debe realizar el usuario de manera personal y en sitio como el servidor. De otro modo, si el protocolo se ejecuta de manera remota la contraseña inicial podría ser del conocimiento del adversario, lo cual comprometería la cadena Hash que se usará para las sesiones de autenticación. La Firma de Una Sola Vez, también conocida como One Time Signature (OTS) fue introducido por Leslie Lamport (Bicakci, 2003). OTS ofrece una alternativa viable a las firmas digitales basadas en llaves públicas. Para la descripción de este método utilizaremos una función Hash hipotética de 1 bit. Para firmar un mensaje se necesitan dos números aleatorios  $n_0, n_1$  que sirven como llave privada. El firmante comparte con el destinatario la llave pública que se obtiene después de realizar el cómputo de la función Hash sobre los valores de la llave privada, es decir  $f(n_0), f(n_1)$ , donde  $f()$  denota la función Hash. Para la firma del mensaje es necesario obtener el Hash del mensaje el cual puede ser 0 ó 1. El par  $(n_0, f(n_0))$  representa la firma del mensaje 0 y  $(n_1, f(n_1))$  la firma del mensaje 1 como se ve en la Figura 3.2

Por lo anterior, la firma del mensaje requiere que uno de los números aleatorios siempre sea revelado. Para verificar la autenticidad de la firma se calcula  $f()$  del número aleatorio recibido, el cual debe coincidir con la llave pública del emisor. La firma que se obtiene de este método como su nombre lo indica es útil solo una vez, por lo que no puede reusarse ya que siempre es revelada la mitad de la llave privada lo que comprometería la seguridad del protocolo.

Figura 3.2 Firma de Una Sola Vez con árboles de Merkle

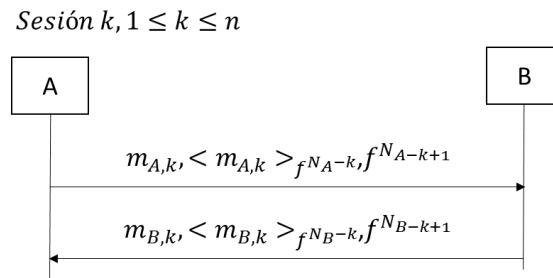


Ralph Merkle introdujo una mejoría a este esquema, de modo que las firmas quedan incrustadas en una estructura de árbol, lo que permite ampliar el número de firmas del protocolo 3.2. El emisor genera un árbol de Merkle como se describió en el apartado anterior. El tamaño del árbol se determina considerando que el número de hojas constituye el número de veces que se puede realizar la firma. La llave pública del emisor es la raíz del árbol. Sin embargo, cada hoja del árbol contiene una llave pública que se usará para firmar un mensaje, véase la Figura 3.2.

Como ejemplo consideremos la firma del primer mensaje: el emisor debe enviar el mensaje  $m$ , la llave pública  $x_1$  y la porción correspondiente de la llave privada  $y_1$ . Además, la verificación de la raíz del árbol requiere los nodos 2,2 y 3,2, los cuales deberán ser enviados por el emisor. En este protocolo las firmas requieren mayor capacidad de procesamiento, ya que el cómputo del árbol recae en el usuario firmante. Por lo anterior, este método no es óptimo cuando se trata de usuarios móviles debido a sus limitaciones de cómputo y almacenamiento.

### 1.1.3. Trabajos relacionados

El protocolo de Autenticación de Mensajes Retardados o Delayed Message Authentication (DeMA) se describe en (Groza, 2006): Es un protocolo peer-to-peer, es decir, no es un protocolo que funciona como cliente-servidor. Se usa una cadena Hash para cada entidad A y B. El protocolo está compuesto por un número variable de sesiones  $k$ ; una sesión equivale a 2 rondas. Cada sesión proporciona información necesaria que brinda la autenticación del mensaje anterior. El protocolo puede ser suspendido en cualquier sesión únicamente por A, la autenticación del mensaje de la sesión donde se detuvo se confirmará cuando el protocolo se reinicie. De lo anterior se deduce que este protocolo requiere una etapa de sincronía al inicio de la comunicación. En la Figura 3.3 se observa el protocolo de comunicación donde  $m$  es el mensaje de la sesión  $k$ , el cual es firmado por medio de una función HMAC con la llave  $f^{N_A-k}$  o  $f^{N_B-k}$  respectivamente. Una vez que el firmante da a conocer la llave el receptor puede verificar la autenticidad de la firma anterior. Por ejemplo, con la llave  $f^{N_A-k}$  la cual se da a conocer en la sesión  $k + 1$ , se puede verificar la firma del mensaje  $m_{A,k}$  de la sesión  $k$ .

**Figura 3.3** Protocolo de Autenticación de Mensajes Retardados (DeMA)

El protocolo de Autenticación de Mensajes Directos (DiMA) corrige el problema de que el mensaje sea verificado en la sesión posterior, el cual tiene como principal característica el uso de dos cadenas Hash por cada entidad. En cada ronda dos elementos de cada cadena Hash son enviados y la autenticación del mensaje es recuperada de estos elementos. Al igual que el protocolo DeMA éste protocolo también tiene como restricción que solo una entidad es capaz de iniciar o parar la comunicación. Además de que la comunicación se da solamente entre entidades punto a punto. Otra desventaja de este protocolo es que las cadenas hash se agotan rápidamente y se necesitan de muchas sesiones para enviar pequeñas cantidades de información.

## 2. Desarrollo

En esta sección se describirá el protocolo de firma digital con la AC basado en criptografía Hash, y el registro de usuarios ante la AC. Posteriormente, en el apéndice A se presenta el análisis de seguridad del protocolo cuando el atacante compromete uno o más nodos del árbol de Merkle. El protocolo básico de firma digital basado en criptografía Hash es equivalente al protocolo DeMA descrito en el apartado anterior. Este protocolo es vulnerable a un Ataque de Hombre de En Medio porque en un ambiente multiusuario se producen saltos en el número de la llave por lo cual es imposible verificar la validez de la última llave recibida, haciendo posible que un atacante use una llave obsoleta como si fuera una llave fresca. En contraste, nuestro protocolo está enfocado para que funcione bajo el paradigma cliente-servidor a través de un servicio de certificación en la nube denominado AC.

El principal objetivo de la AC es garantizar la frescura de las llaves realizando el proceso básico de firma con cada usuario. Para ello, la AC debe ejecutar el protocolo punto a punto con cada usuario, lo que implica que debe prevenir el crecimiento indefinido de su llave pública a través de un método para el manejo de las llaves. El método usado en nuestro protocolo es el árbol de Merkle. Cada hoja del árbol de Merkle contiene una llave pública, es decir, el último elemento de la cadena Hash. Esto significa que la AC mantiene una semilla o valor secreto por cada usuario que debe permanecer resguardada por la AC.

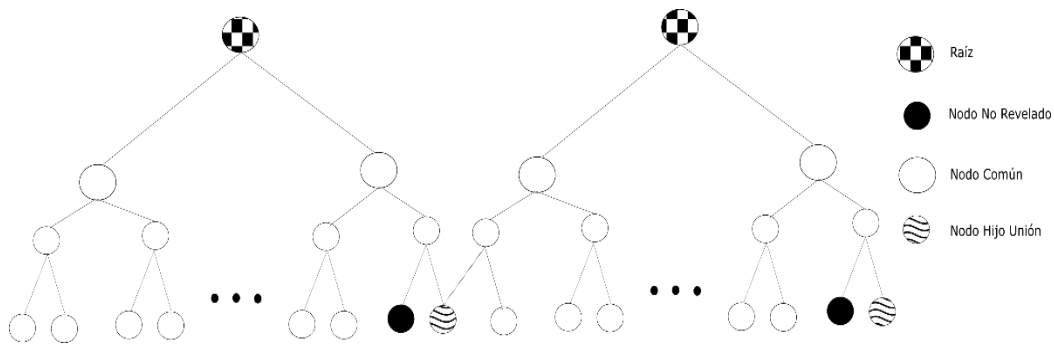
### 2.1. Autenticación de la AC

Para la autenticación de la llave pública de la AC, se usa un árbol de Merkle donde la raíz del árbol es la llave pública de la AC. Cuando un usuario se registra ante la AC, ésta le envía una lista de nodos para que pueda llegar a la raíz de la AC. El funcionamiento de un árbol de Hashes de Merkle se realiza de la siguiente manera: cada nodo padre del árbol concatena los hashes de sus nodos hijos y procede al cómputo del Hash de dicha concatenación. El proceso se repite en cada nodo hasta alcanzar la raíz del árbol. La estrategia anterior, implica que la AC debe crear de antemano un árbol del tamaño suficiente para los usuarios que van a ser registrados en el sistema. Dado que este enfoque no es eficiente el problema de escalabilidad se resuelve creando un encadenamiento de árboles de Merkle. No obstante, cada nuevo árbol se crea conforme se requiera registrar más usuarios.

Para la creación del nuevo árbol las dos últimas hojas del primer árbol se mantienen en secreto por la AC, es decir no se publican hasta que la AC crea el nuevo árbol. El nuevo árbol se crea tomando como primera hoja la última hoja del árbol anterior, de esta manera el nuevo árbol queda enlazado con el primer árbol. La AC publica la raíz del nuevo árbol y da a conocer el valor Hash de los dos nodos hojas ocultas, así como la lista de nodos que permiten verificar la raíz del nuevo árbol.

En la Figura 3.4 se observa que el último nodo del primer árbol sirve para enlazarse con el siguiente árbol, es decir el “Nodo Hijo Unión” del árbol izquierdo se une con el árbol derecho, logrando así el encadenamiento de árboles.

**Figura 3.4** Encadenamiento de árboles de Merkle



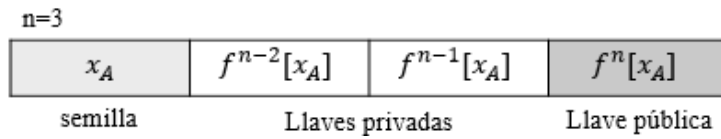
### 2.2. Protocolo de Firma Digital con la Autoridad Certificadora

Para la descripción del Protocolo de Firma Digital con la Autoridad Certificadora se usará un ejemplo básico donde los usuarios y la AC crean cadenas de longitud tres. Para ello se requieren las variables que aparecen listadas y descritas en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1** Nomenclatura de firma digital

Símbolo	Significado
$A$	Alice
$B$	Bob
$AC$	Autoridad Certificadora
$f$	Función Hash
$h$	Hash del mensaje
$\langle \rangle_f$	Función HMAC, donde $f$ es la llave requerida
$f^3[x_i]$	Llave pública de $i$ , donde $i$ puede ser A o B
$f^2[x_i]$	Primera llave privada que usa $i$ como medio de verificación ante la AC, donde $i$ puede ser A o B
$f^1[x_i]$	Segunda llave privada de $i$
$x_i$	Semilla de $i$
$f^3[x_{AC,i}]$	Llave pública que comparte la AC con $i$ , donde $i$ puede ser A o B
$f^2[x_{AC,i}]$	Primera llave privada que comparten la AC con $i$ , donde $i$ puede ser A o B
$f^1[x_{AC,i}]$	Segunda llave privada que comparte la AC con $i$ , donde $i$ puede ser A o B
$x_{AC,i}$	Semilla que comparte la AC con $i$
$s_0 = \langle h \rangle_{f^1[x_A]}$	HMAC del Hash del mensaje de A firmado con su segunda llave privada
$s_1 = \langle s_0 \rangle_{f^2[x_{AC,B}]}$	HMAC de $s_0$ firmado con la segunda llave privada que la AC comparte con Bob $f^2[x_{AC,B}]$
Para la descripción de este ejemplo usaremos una longitud de la cadena 3, simbólicamente $n = 3$ . En este ejemplo, la llave pública de A es $f^3[x_A]$ como se muestra en la <b>Error! La autoreferencia al marcador no es válida.</b>	

**Figura 3.5** Cadena Hash de llaves privadas y pública de Alice (A)

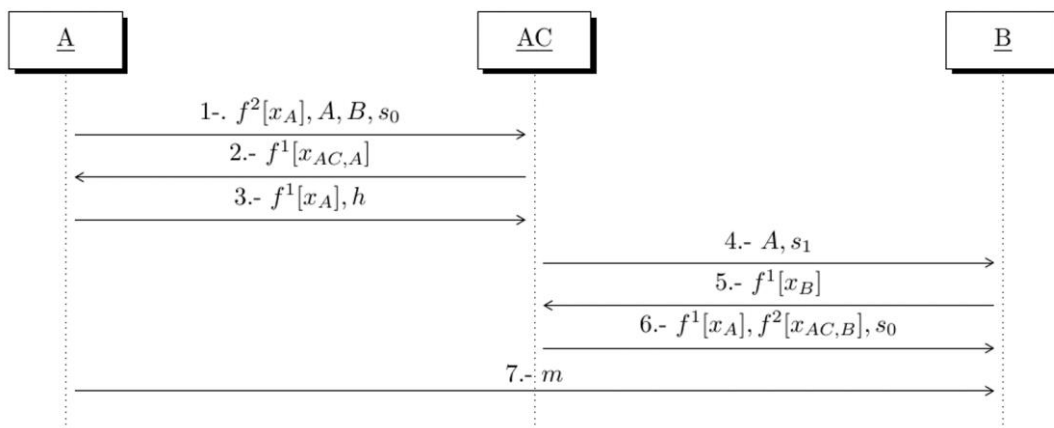


El proceso de firma inicia cuando Alice (A) envía su petición a la AC, la cual contiene en primer término la llave privada  $f^2[x_A]$ , que se usa como medio de autenticación ante la AC. Esta medida de autenticación del usuario se usa para evitar que la AC procese solicitudes de firma falsas. El proceso de autenticación se realiza de la siguiente manera: la AC realiza el cómputo del Hash de  $f^2[x_A]$ , simbólicamente  $f[f^2[x_A]] = f^3[x_A]$  que debe corresponder con la llave pública de A.

Además de la llave de autenticación, A envía  $s_0$  que es la firma del Hash del mensaje, así como el nombre de Alice (A) y el nombre de Bob (B). La AC responde enviando la primera llave privada que comparte con A, para que ésta verifique que se está comunicando con la AC. Este proceso corresponde a una doble autenticación entre el usuario y la AC. Entonces A revela la llave  $f^1[x_A]$  así como el Hash del mensaje  $h$ . La AC realiza el proceso de verificación de firma mediante el cómputo del HMAC sobre  $h$  usando la llave  $f^1[x_A]$  el cual debe coincidir con el HMAC que la AC recibió previamente en el paso 1, como se observa en la Figura 3.6.

Como siguiente paso, la AC reenvía a B la petición de A, que contiene el nombre de A así como  $s_1$ , el cual es el HMAC de  $s_0$  firmado con  $f^2[x_{AC,B}]$ , que es la primera llave privada que la AC comparte con B. Ahora, B envía su llave de autenticación a AC, es decir  $f^1[x_B]$ . Cuando la AC ha autenticado a B, como se describió anteriormente entonces la AC revela  $s_0$ , así como las llaves  $f^1[x_A]$  y  $f^2[x_{AC,B}]$ , ésta última es la que usó para firmar  $s_0$ . Posteriormente, B realiza la verificación de la firma de  $s_1$  de la misma forma que la AC verificó  $s_0$  enviado por A. A continuación A comparte el mensaje  $m$  a B a través de un medio de comunicación como correo electrónico, redes sociales o algún servicio de mensajería en la nube. Finalmente, B verifica el mensaje de la siguiente manera: B realiza el cómputo del HMAC tomando como entradas el Hash del mensaje  $m$ , es decir  $f(m)$  y la llave  $f^1[x_A]$ . Dicho cómputo debe coincidir con  $s_0$ , que ha recibido previamente de la AC como se describe en la Figura 3.6

**Figura 3.6** Protocolo de Firma Digital con la Autoridad Certificadora



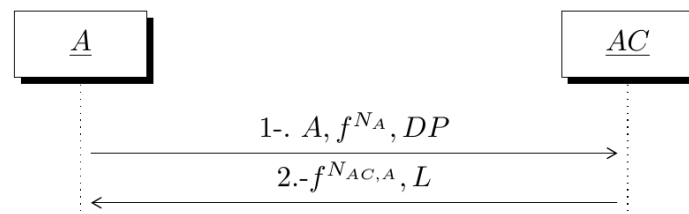
### 2.3 Registro de los usuarios ante la AC

Para que un usuario pueda firmar un documento o mensaje, es necesario que se registre ante la AC la cual ha creado un árbol de Merkle para el registro de usuarios. El intercambio de mensajes que se requiere para el registro de usuarios se aprecia en la Figura 3.7, donde las variables no están definidas a ciertos valores específicos como en ejemplo anterior. A continuación se describe cada paso del protocolo:

1. Alice envía su nombre de usuario ( $A$ ), su llave pública ( $f^{N_A}$ ) y sus Datos Personales ( $DP$ ) a la AC. Dónde:
  - a.  $f$ : función Hash
  - b.  $N_A$ : longitud de la cadena Hash de  $A$ .
2. La AC responde enviando la llave pública ( $f^{N_{AC,A}}$ ) que compartirá con  $A$  y una lista de Hashes ( $L$ ) para que ésta obtenga la raíz del Árbol de Merkle. Dónde:
  - a.  $N_{AC,A}$ : contador que comparten AC y  $A$ .

El usuario  $A$  realiza la verificación del árbol de Merkle como se describió en la página 25. Esta verificación corresponde al proceso de autenticación de la AC. Con esto se garantiza que el usuario se está registrando ante la instancia legítima. Este proceso de registro es esencial en el protocolo de firma porque un oponente podría tomar control de los registros de usuario y aprovecharlos para registrar a nuevos usuarios.

**Figura 3.7** Esquema de Registro de usuarios ante la AC



### 2.3. Análisis de Seguridad

A continuación se discutirá el ataque de Hombre de En Medio (MITM) cuando una entidad maliciosa se registra ante la AC para montar una AC falsa. Por lo tanto, para montar un ataque MITM en un nodo, es necesario que Eva se registre ante la AC usando un nombre de usuario en este caso  $E$ . A continuación, Eva ejecuta el protocolo de firma con algún usuario para obtener llaves privadas de la AC, las cuales utilizará para suplantar la identidad de la AC ante  $A$  y suplantar la identidad de  $A$  ante  $B$ . Con el propósito de validar las transacciones de firma digital los usuarios deben usar un servicio de contactos, de tal manera que una vez que se ha descargado la aplicación ésta les permite dar de alta continuamente a nuevos contactos. En el proceso de alta de contactos, los usuarios intercambian sus llaves públicas. Posteriormente, el usuario solicita a la AC que verifique los contactos añadidos para validar sus llaves públicas. Por lo anterior, es necesario que  $A$  y  $B$  se añadan previamente como contactos en su lista de direcciones. De esta manera,  $A$  y  $B$  validan sus llaves públicas ante la AC por un canal y en un momento distinto a los usados durante la etapa de registro. De esta forma, si la identidad de AC es suplantada por Eva ante  $A$ , la llave pública de  $A$  no podrá ser verificada por  $B$ , ni  $A$  podrá realizar la verificación de la llave de  $B$ . Por lo tanto, este ataque no se puede llevar a cabo eficientemente por un adversario con capacidades de cómputo convencionales. Este análisis se puede generalizar para escenarios donde el atacante pueda intervenir más de un nodo.

### 3. Resultados

El desarrollo de la AC se implementó en el entorno de desarrollo de software NetBeans 8.2 y el servidor de Base de Datos MySQL Community Server 5.7. El cliente móvil está desarrollado en Android Studio 2.3. Para las pruebas se usaron dos dispositivos móviles, las características específicas de estos dispositivos se presentan en la Tabla 3.2. Para medir el tiempo de los procesos de generación de llave, ejecución y verificación de la Firma Digital se realizaron los siguientes pasos:

- Iniciar las variables de tiempo en 0 de *tiempoInicial* y *tiempoFinal* en cada proceso
- Obtener el tiempo de inicio en milisegundos con el objeto System y su método *currentTimeMillis* que se encuentra definido en Java.
- Al término de cada proceso se obtiene el tiempo final con el mismo objeto System y se hace el cómputo de la diferencia para obtener el *tiempoObtenido* del proceso.

**Tabla 3.2** Características de dispositivos móviles utilizados para pruebas

Dispositivo	Modelo	CPU	Versión Android	Memoria Interna
Samsung	GT I8190	1 GHz dual core ARM Cortex-A9	4.1.2 Jelly Bean	8 GB
Samsung	SM G920I	2.1 GHz, 1.5 GHz Octa-Core	6.0.1 Marshmallow	32 GB

Los resultados obtenidos a partir de las pruebas realizadas del sistema de firma digital hash en el equipo de cómputo donde se aloja la AC se presentan en las Tabla 3.3 y Tabla 3.3 Dichos resultados se muestran en relación a los tiempos que requiere el sistema para la generación de llave, firma y verificación en milisegundos y se comparan con los resultados publicados en (Alese, 2012) y (Mahto, 2016).

**Tabla 3.3** Resultados comparados con (Alese, 2012) en milisegundos usando un mensaje de 100 bytes

Tamaño de la Llave	Generación de Llave	Firma	Verificación
RSA 1024	1312.7±190.8	166.9±46.3	15.7±0.4
RSA 2048	6804.6±2540.6	290.2±29.8	122.4±9.1
RSA 3072	32180.0±18947.7	310.5±75.5	293.2±71.8
RSA 7680	322843.0±233809.0	352.1±154.1	2932.8±44.7
RSA 15360	N/A	N/A	N/A
ECC P-160	198.6±12.5	17.9±4.9	15.7±0.1
ECC P-224	208.3±13.4	95.9±6.8	18.7±5.5
ECC P-256	243.5±22.2	35.1±6.1	21.1±6.8
ECC P-384	294.0±26.5	74.9±7.1	47.7±3.2
ECC P-521	447.8±90.9	138.2±4.9	109.9±0.3
AC con SHA-256	240.25	39.21	12.5

Como se puede observar en la Tabla 3.3, el servidor de la AC genera tiempos que son menores a los reportados de la ejecución del algoritmo RSA durante las fases de Generación de Llave, Firma y Verificación comparado con (Alese, 2012). Por el lado de ECC, la AC es más rápida a partir de la versión ECC P-384 en las tres fases de la firma digital.

**Tabla 3.4** Resultados comparados con (Mahto, 2016) en milisegundos

Tamaño de la Llave	1 byte		32 bytes	
	Generación de Firma	Verificación de Firma	Generación de Firma	Verificación de Firma
RSA 1024	30.7	754.3	550	19310
RSA 2048	29.9	2707.5	580	102030
RSA 3072	30.5	6940.9	560	209600
ECC 160	488.5	1326.7	7920	22880
ECC 224	2203	1586.3	39700	26330
ECC 256	3876.3	1769	58430	27400
AC con SHA-256	32.7	18.5	39.87	17.8

Derivado de los resultados de la Tabla 3.4 se puede apreciar que la AC no es más rápida que RSA en la etapa de Generación de Firma (G.F.) tomando como entrada un mensaje de 1 byte, pero en el caso de que el mensaje sea de un tamaño de 32 bytes, la AC es más rápida. Sin embargo, en la etapa de Verificación de Firma (V.F.) el tiempo de ejecución es menor para cualquier tamaño de llave RSA. En cuanto a ECC, se puede observar que la AC es más rápida para cualquier tamaño de llave ECC con un mensaje de 1 byte como de 32 bytes en las fases G.F. y V.F. De lo anterior se desprende que el sistema de firma basado en Criptografía Hash se encuentra dentro de parámetros óptimos en el estado actual de la tecnología.

En la Tabla 3.5 se presentan los resultados obtenidos en los dispositivos móviles descritos anteriormente, estos resultados son comparados con los resultados publicados en (Tayoub).

**Tabla 3.5** Comparación en Dispositivos Móviles del lado del usuario

<b>ECC (ECDSA) (Tayoub)</b>				
Dispositivo móvil	Tamaño de llave de Operación (bits)	Generación de llave	Firma	Verificación
GT-S6102	160	767	561	1285
	224	615	699	1217
	521	595	562	141
GT-I9100	160	303	412	681
	224	443	360	624
	521	595	562	141
<b>RSA (Tayoub)</b>				
Dispositivo móvil	Tamaño de llave de operación (bits)	Generación de llave	Firma	Verificación
GT-S6102	1024	1088.66	14.33	1
	2048	3896	77.66	1
	15360	>1h	\	\
GT-I9100	1024	1150	28	0.33
	2048	2341.66	95	1
	15360	>1h	\	\
<b>Firma Digital Hash usando SHA-256</b>				
Dispositivo móvil	Tamaño de llave de operación (bits)	Generación de llave	Firma	Verificación
GT-I8190	256	1678.47	566.75	468.91
SM-G920I	256	158.55	128.65	94.22

De los resultados anteriores se observa que el uso de funciones Hash mejora tiempo de generación de llaves públicas y privadas, así como el proceso de firma y verificación cuando es comparado con ECC. En cuanto a RSA, el protocolo de firma con criptografía Hash es más rápido en el proceso de generación de llaves mayores a 15360 bits.



#### 4. Conclusiones

El sistema de firma digital con funciones Hash se encuentra dentro de los parámetros óptimos de la tecnología actual debido a que los tiempos obtenidos en las fases de generación de llaves, firma y verificación resultaron menores a los tiempos que arrojan los algoritmos basados en aritmética modular como RSA y ECC. Por lo anterior, la criptografía Hash es una tecnología que puede ser explotada para mejorar los protocolos de autenticación, especialmente para firma digital en dispositivos móviles. Esto debido a la fortaleza criptográfica de estas funciones y su facilidad de cómputo.

De igual manera al llevar a cabo el análisis de seguridad del Ataque de Hombre de En Medio, se tiene que si los usuarios intercambian sus llaves públicas antes de realizar cualquier firma de mensajes éstos verificarán que los involucrados en dicho proceso están registrados ante la AC. Por lo tanto se deduce que el Ataque de Hombre de En Medio no se puede implementar con ningún nodo intervenido.

#### 5. Referencias

A. Mandangan, Y. L. (2014). ElGamal Cryptosystem with Embedded Compression-Crypto Technique. *AIP Conference Proceedings*, 1635(1), 455-460.

Alese, B. a. (2012). Comparative analysis of public-key encryption schemes. (Citeseer, Ed.) *International Journal of Engineering and Technology*, 2(9), 1552--1568.

Barreto, P. a. (2013). Introdução à criptografia pós-quântica. *Minicursos do XIII Simpósio Brasileiro em Segurança da Informação e de Sistemas Computaciona*.

Bicakci, K. a. (2003). How to construct optimal one-time signatures. (Elsevier, Ed.) *Computer Networks*, 43(3), 339--349.

Buchmann, J. A. (2016). Post-Quantum Cryptograph: State of the Art. En *The New Codebreakers* (págs. 88--108). Springer.

Gallagher, P. (2013). Digital signature standard (dss). *Federal Information Processing Standards Publications, volume FIPS*.

Gañan, C., Caubet, J., Esparza, O., Mata-Díaz, J., & Montenegro, J. A. (s.f.). Estructura de Datos Autenticadas para Gestionar Datos de Revocación en VANETs. 6.

Groza, B. (2006). Using one-way chains to provide message authentication without shared secrets. En *Security, Privacy and Trust in Pervasive and Ubiquitous Computing, 2006. SecPerU 2006. Second International Workshop on* (págs. 82--87). IEEE.

Hayashi, A. (2000). A new fast modular multiplication method and its application to modular exponentiation-based cryptography. *Electronics and Communications in Japan(Part III Fundamental Electronic Science)*, 83(12), 88--93.

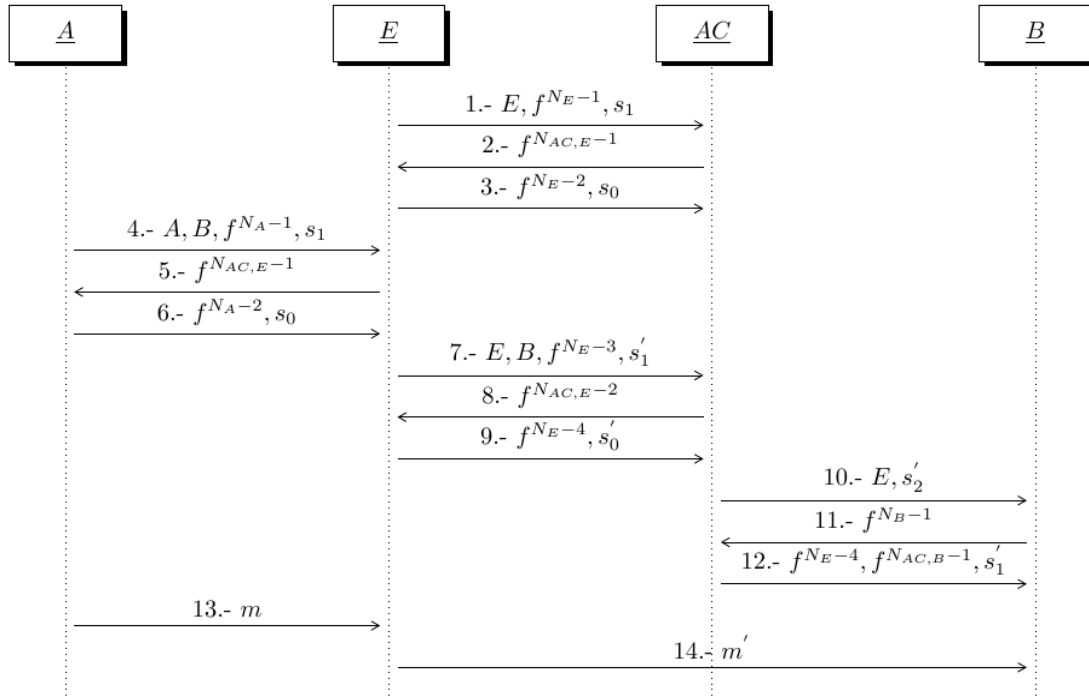
Horne, D. (2011). Hash chain. En Springer (Ed.), *Encyclopedia of Cryptography and Security* (págs. 542--543).

- Lamport, L. (1981). Password authentication with insecure communication. (ACM, Ed.) *Communications of the ACM*, 24(11), 770--772.
- Lizama-Pérez, L. A. (2015). Descifrando un Mundo Complejo.
- Mahto, D. a. (2016). Security Analysis of Elliptic Curve Cryptography and RSA. En *Proceedings of the World Congress on Engineering*.
- Martínez, I. a. (2004). Realización del esquema de autenticación HMAC empleando la función HASH MD5. (E. U. Cuba, Ed.) *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 25(1), 76--82.
- Network Dictionary. (2007). *Digital Signature Standard*, 150.
- NIST. (2016). *POST-QUANTUM CRYPTO STANDARDIZATION*. Recuperado el 06 de 07 de 2017, de <http://csrc.nist.gov/groups/ST/post-quantum-crypto/index.html>,
- Prieto, d. l. (2015). COMPUTACIÓN CUÁNTICA Y SU REALIZACIÓN FÍSICA.
- Smart, N. P. (2016). Hash Functions, Message Authentication Codes and Key Derivation Functions. En S. I. Publishing (Ed.), *Cryptography Made Simple* (págs. 271--294). doi:10.1007/978-3-319-21936-3\_14
- Stallings, W. (2014). *Cryptography and network security: principles and practice* (Vol. 6). Pearson.
- Tayoub, W. a. (s.f.). Implementation Of Public-Key Cryptographic Systems On Embedded Devices (Case: Computation Speed).
- Zilong, L. D. (2014). Design of an Elliptic Curve Cryptography Processor for RFID Tag Chips. *Sensors (14248220)*, 21(10), 17883-17904.

## 6. Anexos

## Apéndice A

Figura 3.8 Ataque de Hombre de En Medio con un nodo intervenido



1. Eva ( $E$ ) envía  $E, f^{N_E-1}$  y  $s_1$  hacia  $AC$ .
  - a.  $E$ : nombre de usuario de Eva.
  - b.  $f^{N_E-1}$ : llave privada de Eva.
  - c.  $s_1 = \langle s_0 \rangle_{f^{N_E-2}}$ : HMAC de  $s_0$  firmada con  $f^{N_E-2}$ .
    - i.  $s_0 = f(x)$ : Hash del mensaje  $x$ .
2.  $AC$  envía  $f^{N_{AC,E-1}}$  hacia  $E$ .
  - a.  $f^{N_{AC,E-1}}$ : llave que comparten  $AC$  y  $E$ .
3.  $E$  manda  $s_0$  y  $f^{N_E-2}$  hacia la  $AC$ .
4. Alice ( $A$ ) envía  $A, B, f^{N_A-1}$  y  $s_1$ .
  - a.  $A$ : nombre de usuario de Alice.
  - b.  $B$ : nombre de usuario de Bob.
  - c.  $f^{N_A-1}$ : llave de Autenticación de  $A$ .
  - d.  $s_1 = \langle s_0 \rangle_{f^{N_A-2}}$ : HMAC de  $s_0$  firmado con  $f^{N_A-2}$ .
    - i.  $s_0 = f(m)$ : Hash del mensaje ( $m$ ).
5. Eva ( $E$ ) envía  $f^{N_{AC,E-1}}$  para que  $A$  piense que se está comunicando con la  $AC$ .
  - a.  $f^{N_{AC,E-1}}$ : llave que  $E$  comparte con  $AC$ .
6.  $A$  manda  $f^{N_A-2}$  y  $s_0$  hacia la  $AC$ , para lo cual  $E$  lo intercepta.
7.  $E$  envía  $E, B, f^{N_E-3}$  y  $s_1'$  hacia  $AC$ .
  - a.  $s_1' = \langle s_0' \rangle_{f^{N_E-4}}$ : HMAC de  $s_0'$  firmado con  $f^{N_E-2}$ .
    - i.  $s_0' = f(m')$ : Hash de  $m'$ .
8.  $AC$  manda  $f^{N_{AC,E-2}}$  hacia  $E$ .
9.  $E$  envía  $f^{N_E-4}$  y  $s_0'$ .
10.  $AC$  manda  $E$  y  $s_2'$ .
  - a.  $s_2' = \langle s_1' \rangle_{f^{N_{AC,B-1}}}$ : HMAC de  $s_1'$  firmado con  $f^{N_{AC,B-1}}$ .

- i.  $f^{N_{AC,B^{-1}}}$ : llave que comparten  $AC$  y  $B$ .
- 11.  $B$  envía  $f^{N_{B^{-1}}}$  hacia la  $AC$ .
- 12.  $AC$  manda  $f^{N_{E^{-4}}}$ ,  $f^{N_{AC,B^{-1}}}$  y  $s'_1$ .
- 13.  $A$  envía  $m$  hacia  $B$  pero  $E$  lo intercepta.
- 14.  $E$  modifica  $m$  y en lugar de que  $B$  lo reciba, éste recibe  $m'$ .

Cuando  $B$  realiza el cómputo de los valores anteriores con los datos obtenidos de la  $AC$ ,  $B$  autentica el mensaje  $m'$  que fue modificado por  $E$  a partir de  $m$ . Sin embargo,  $B$  espera un mensaje de  $A$  y la  $AC$  notifica en el paso 10 que el mensaje proviene de  $E$  por lo que este ataque no se realiza con éxito. Bob conoce la llave pública de Alice  $f^{N_A}$  por el registro de lo anterior se puede observar que este ataque MITM con un nodo intervenido no es factible, debido a que Bob puede verificar que el mensaje no proviene del emisor auténtico.

## **Embriogénesis somática: Una alternativa para el cultivo masivo del maguey pulquero *Agave salmiana* var. *salmiana***

Blanca Vianey Angeles Vázquez, Yuridia Mercado Flores, Abisaí García Mendoza, Benjamín Rodríguez Garay, Miguel Angel Anducho Reyes, Jorge Álvarez Cervantes

B. Angeles<sup>1</sup>, Y. Mercado<sup>1</sup>, A. García<sup>2</sup>, B. Rodríguez<sup>3</sup>, M. Anducho<sup>1\*</sup>, J. Álvarez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Politécnica de Pachuca, Posgrado en Biotecnología

<sup>2</sup>Instituto de Biología UNAM

<sup>3</sup>Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ)

\* anducho@upp.edu.mx

## Abstract

*Agave salmiana* var. *salmiana* is the most representative agave species in the state of Hidalgo. However, due of their various uses, overexploitation, plant growth time (10 to 12 years), genetic deterioration by asexual propagation and lack of good agricultural practices, have caused unfavorable economic and ecological effects. For this reason, techniques are being developed for the massive production of vegetable material, with appropriate genetic characteristics, allowing them to adapt at the environmental conditions of each region. An alternative for the conservation of this species is the cultivation of plant tissues, by means of somatic embryogenesis for the mass culture of *Agave salmiana* var. *salmiana* to conserve this species and take advantage of its biotechnological uses.

## Sobre-explotación, propagación, producción masiva

### 1 Introducción

En México el género *Agave* es un recurso natural, en donde existen 159 especies, la mayoría endémicas. Destacando entre estas el maguey pulquero (*Agave salmiana*), el cual se adapta a diferentes condiciones ambientales tales como baja precipitación, climas fríos y suelos infértiles; factores ambientales presentes en los estados de San Luis Potosí, Zacatecas, Tlaxcala, Hidalgo, Puebla y Estado de México (García-Mendoza, 2007). En estos estados su cultivo y aprovechamiento data desde la época precolombina, en donde varias familias dependían económicamente de él. Su aprovechamiento no se limita únicamente a la obtención de bebidas alcohólicas; su uso en actividades agrícolas radica en su capacidad para coadyuvar en la retención de agua así como en la conservación del suelo, problema grave en el territorio mexicano; en el aspecto culinario el agave tiene múltiples usos, lo que ha provocado la explotación clandestina e irracional de esta especie a fin de obtener su cutícula para la elaboración del mixiote, lo que significa un inconveniente para los productores de maguey en las diferentes regiones de cultivo, por el daño que se ocasiona a la planta (Morales y col., 2014; Puente-Garza y col., 2015).

La sobreexplotación, el tiempo de crecimiento de las plantas (10 a 12 años), la pérdida genética por la propagación asexual y la falta de cultura agrícola para el manejo y conservación del agave son un problema actual, por tal razón, se están buscando nuevas técnicas para la obtención masiva de material vegetal, con características genéticas, que permitan su adaptación a condiciones ambientales de cada región, para así mejorar el aprovechamiento integral de esta planta y favorecer el ingreso económico a los productores de agave. El cultivo de tejidos vegetales puede ser una herramienta biotecnológica de gran ayuda para conservar esta especie y aprovechar sus diversos usos (Domínguez y col., 2008).

### 2 El género *Agave*

Taxonómicamente el género *Agave* (del griego *αγαπή*, ‘noble’ o ‘admirable’) (Gentry, 2004), se ubica dentro de las Agaváceas y es el más importante de la familia de las Asparagaceae, en donde se encuentran plantas perenes, suculentas, monocotiledóneas y xerófilas, las cuales presentan cambios morfológicos que les han permitido sobrevivir en ambientes desérticos (García-Mendoza, 2007) tales como: la presencia de estomas los cuales se abren durante la noche y absorben dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) evitando así la pérdida de agua. Además, su metabolismo es ácido crasuláceo (CAM), lo que le permite tener menores requerimientos de agua en comparación con las plantas C3 y C4 (Fijan el carbono directo del CO<sub>2</sub> y lo incorporan al ciclo del Calvin). Mientras que la mayoría de las plantas absorben y fijan el dióxido de carbono durante el día, en las plantas CAM lo realizan durante la noche (Winter y col., 2008; Kant, 2010).

Éste género está constituido por 200 especies en el continente americano de las cuales 159 existen en México, que corresponde al 75% del total (García-Mendoza, 2012). Su distribución del *Agave* en el territorio mexicano es altamente asimétrica, existen regiones donde se localiza mayor cantidad de especies que en otras, su incidencia va de climas áridos a semiáridos con altitudes entre 1000 y hasta 3500 metros sobre el nivel del mar (norte-sur del país) (García-Mendoza, 2007).

Las especies de *Agave* que producen mayores ingresos en México pertenecen a los representado por *Agave americana*, *A. atrovirens*, *A. mapisaga* y *A. salmiana*, siendo esta última la más utilizada para la producción de pulque (Ortiz-Basurto y col., 2008). La producción de estas plantas en México representa 3.681 hectáreas con un posible valor comercial potencial de \$ 100 millones de dólares (Puente-Garza y col., 2015).

## 2.1 *Agave salmiana*

Crece en forma de rosetas densas a laxas, con una altura entre 2.0 a 2.8 metros y diámetro de 2.0 a 5.0 metros, presentando por individuo de 30 hasta 70 hojas. Las Hojas son suculentas en forma erecta a recurvadas que miden de largo 1.0–2.2 m y de ancho 20 a 35 cm, con coloración verde opaco, verde claro o hasta verde-amarillento, éstas se encuentran dentadas con dientes que miden de 0.5-2.0 cm de largo y 1.0–2.0 cm de ancho, son color pardo oscuro, grisáceos a negruzcos (Figura 4.1) (García-Mendoza, 2012). De acuerdo a Gentry, (2004) se reconocen cuatro categorías intraespecíficas de *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck var. *angustifolia*, *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck subsp *crassispina*, *Agave salmiana* var. *ferox*, *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck var. *salmiana*.

**Figura 4.1** *Agave salmiana* conocido en la comunidad como “manso”, ejemplar del municipio de San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo



Fuente: Fotografía tomada el 7 de mayo del 2017, San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo

## 2.2 Ciclo de vida de *Agave salmiana*

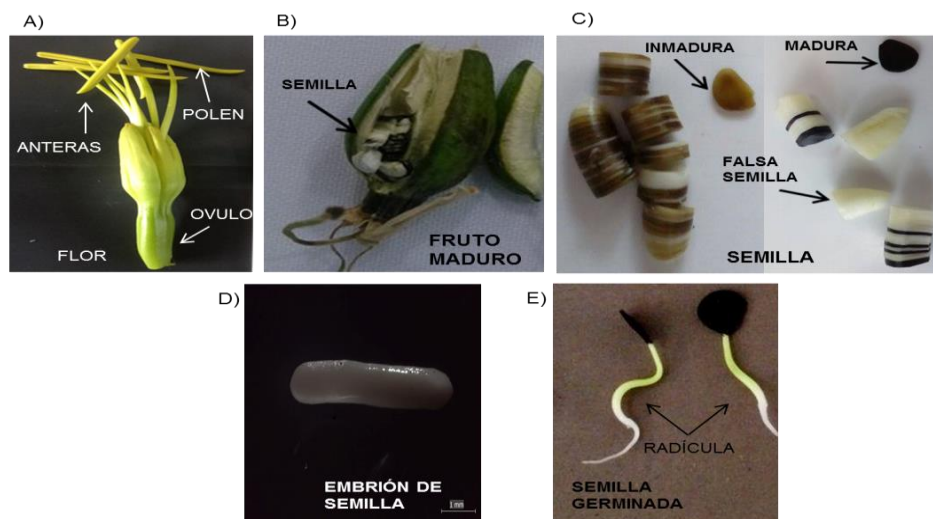
El ciclo de vida de los agaves comprende aproximadamente una década en todas las especies, estos se reproducen de forma sexual y asexual.

### 2.2.1 Reproducción sexual

Se lleva a cabo por la polinización, mediante agentes externos abióticos como el agua y el viento o bióticos como animales vertebrados principalmente por murciélagos nectarívoros *Leptonycteris yerbabuena*, *L. nivalis* y *Choeronycteris mexicana* y en menor grado, insectos diurnos y nocturnos, los cuales polinizan el estigma de la flor, como las abejas, realizando la transferencia del polen desde los sacos polínicos de las anteras, hasta el estigma en las angiospermas de la flor (Figura 4.2 A) (Aguado, Fererer y Viñuela, 2015). Los agaves son plantas angiospermas, las cuales han desarrollado una amplia gama de mecanismos morfológicos y fisiológicos para aumentar o restringir la polinización y han coevolucionado frecuentemente con los polinizadores (Bewley y col., 2012). La reproducción sexual del *Agave* es necesaria para mantener la estructura y la dinámica de las poblaciones, aumentando la variabilidad genética de estas (Ramírez Tobías y col., 2012).

Posterior a la polinización se realiza la fecundación del ovulo y finalmente la formación de semilla (Figura 4.2 B, C). Las semillas germinan (Figura 4.2 D, E) dando origen a una nueva planta la cual crecerá y después de cierto tiempo de maduración (aproximadamente 5 años) se prepara para reproducirse sexualmente (8 y 13 años), provocando la muerte de la planta, ya que destina un máximo de recursos para la construcción de su enorme escapo floral (Figura 4.3). A este tipo de reproducción se le conoce como semélpara o monocárpica, la cual es poco común en las plantas con flores y se hipotetiza que pudo haber evolucionado debido a la altura de la inflorescencia, lo que la hace más atractiva para los polinizadores (García-Mendoza, 2007).

**Figura 4.2** Flor, semilla y embrión de *Agave*. A) Partes de Flor, B) Fruto maduro, C) Semilla, D) Embrión de semilla, E) Semilla germinada.

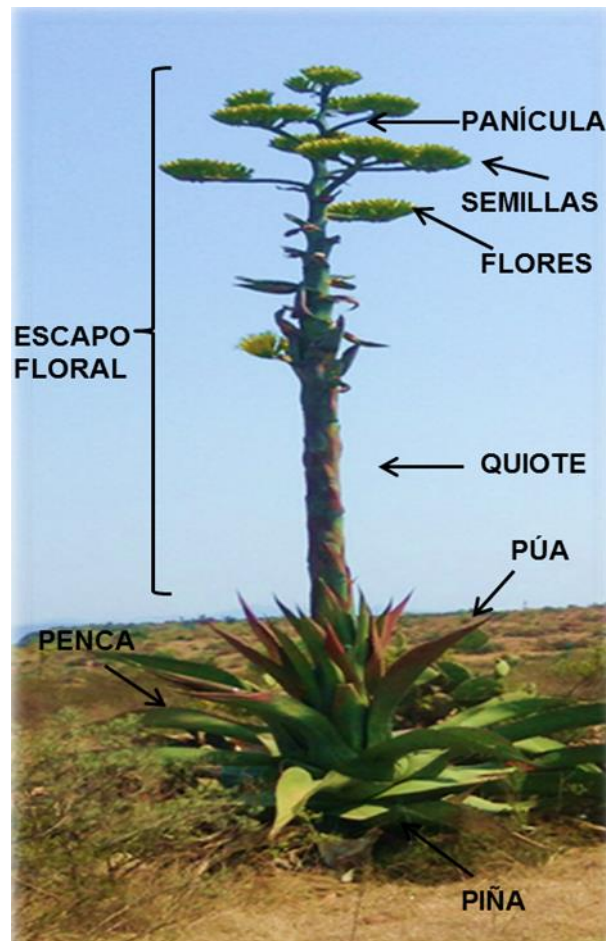


Fuente: Elaborada Agosto del 2017, por el Dr. Jorge Álvarez Cervantes

El desarrollo de una semilla comprende en general tres fases principales que con frecuencia se traslapan: a) diferenciación y formación del embrión, b) Acumulación de sustancias de reserva, c) fase de maduración y deshidratación (Herrera y col., 2006; Bewley y col., 2012). En algún momento de su desarrollo las semillas angiospermas se compone generalmente de: (1) el embrión que es el resultado de la fertilización del núcleo de la célula en el saco embrionario por el núcleo masculino, (2) el endospermo que surge de la fusión de dos núcleos polares de la célula central del saco embrionario, (3) el perispermo (desarrollo de la parte central del embrión) y (4) la testa, una capa de la semilla que muy a menudo es la única barrera protectora entre el embrión y el ambiente externo, por lo cual su composición varía constantemente (Herrera y col., 2006).



**Figura 4.3** El maguey y sus partes



Fuente: Elaborada Agosto del 2017, Maguey pulquero de la zona de San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo México

### 2.2.2 Estudios en semilla de *Agave*

Las semillas almacenan fuentes de reserva de alimentos necesarios para el crecimiento de la planta, estos suelen ser carbohidratos, aceites, proteínas, alcaloide, lectinas, oligosacáridos de la familia de la fitina y la rafina, dichos compuestos no tienen un lugar de almacenamiento fijo y se distribuyen de forma desigual (Bewley y col., 2012). Hasta el momento no está determinada la composición de la semilla de agave, solo se ha realizado un estudio por Vázquez Díaz y col., (2011) donde se mencionan las características tales como peso (mg), longitud (mm) y anchura (mm) de las semillas de tres variantes de *Agave salmiana* presentes en el estado de San Luis Potosí. Además, evaluaron el porcentaje de hojas cotiledonares en tres estaciones de siembra: verano de 2008, otoño del 2008 y verano de 2009, empleando una mezcla de suelo agrícola y tezontle en proporción 3:1, con textura migajón arcillo arenoso, pH 7.7, con 6.2 % de materia orgánica, sembrando a una profundidad aproximada de 1 cm, aplicando un sistema de riego automático y dentro de un invernadero. Demostrando que el porcentaje de obtención de hojas cotiledonares no rebasó el 80 % en un período que se extendió hasta 60 días.

Ramírez Tobías y col., (2012) determinaron la temperatura óptima de germinación de ocho especies mexicanas de agave con importancia económica. Las temperaturas evaluadas fueron: 10, 15, 20, 25, 35 y 40 °C en total obscuridad en un período de 312 horas. Determinando que el mayor porcentaje de germinación de semillas *A. salmiana* fue a 25 °C con un 85 % de germinación y que las temperaturas de 10, 35 y 40 °C son parcialmente letales para este proceso.

Ramírez Tobías y col., (2016) mencionan que la germinación de semillas de *Agave salmiana* con baja disponibilidad de agua empleando una temperatura constante de 25 °C en oscuridad, obtiene rendimientos entre el 85 y 100 % en un intervalo de tiempo de 80 a 180 horas, concluyendo que la germinación de estas plantas esta moderadamente afectada por la baja disponibilidad de agua. Puente-Garza y col., (2016) realizaron la germinación de *Agave salmiana in vitro*, dándole cuatro tratamientos diferentes a las semillas: sin escarificación, escarificación química, escarificación mecánica, escarificación química y mecánica. Para su posterior cultivo en un medio sólido Murashige y Skoog (MS) con temperatura de 27 °C y fotoperiodos 12:12. Teniendo como resultado que el mejor tratamiento fue la escarificación mecánica con un porcentaje de germinación del 90 % en 4 días.

En general se ha observado que el proceso de germinación depende de las características intrínsecas de la semilla como el tamaño, el origen, tiempo de latencia por mencionar algunos y de los factores extrínsecos entre los que destacan la temperatura, luz, oxígeno y la disponibilidad de agua (Bewley y col., 2012). Estos parámetros externos pueden ser modificados para disminuir el tiempo de germinación, aumentar la tasa y capacidad de este proceso (Ramírez Tobías y col., 2012).

### 2.2.3 Reproducción Asexual

La reproducción asexual en agaves se realiza gracias a la capacidad de la planta para producir clones en diferentes partes de la roseta, conocidos como hijuelos, también se puede realizar su dispersión por esqueje, es decir un trozo de una de sus hojas puede ser separada y si cae en tierra apropiada puede enraizar y dar un nuevo individuo. Este sistema se empleó en gran medida para su dispersión por Europa (García-Mendoza, 2007). Los hijuelos se desarrollan en la base de la planta, o mediante estolones emergen a alguna distancia de la planta madre, producen raíces y, con el tiempo, crecen de manera independiente. Los hijuelos interfoliarios se originan entre las hojas de la roseta y se desarrollan cuando se desprenden de la planta madre o ésta muere. La producción de clones es un mecanismo que permite a las plantas una mayor capacidad de ampliar su área de distribución (Figura 4.4).

**Figura 4.4** *Agave salmiana* con hijuelos en la periferia de la roseta



Fuente: Fotografía tomada el 7 de mayo del 2017, Universidad Politécnica de Pachuca, Zempoala Hidalgo, México

## 2.3 Cultivo vegetal alternativa para la obtención de agaves

Algunos factores que impiden la multiplicación masiva de agave por métodos convencionales son las bajas tasas de reproducción asexual y reproducción sexual limitada por problemas de polinización y viabilidad de las semillas. Además, estos mismos factores limitan las posibilidades de mejoramiento de las especies cultivadas (Domínguez y col., 2008). Aunado a esto, la sobreexplotación y el creciente mercado de los productos obtenidos del maguey conlleva a buscar alternativas que nos permitan generar material vegetal en menor tiempo y mayor cantidad en comparación con las condiciones ambientales, una alternativa muy atractiva es la generación de plantas a través de cultivos vegetales (Calva, 2005). La mayoría de los trabajos en esta área son mediante la propagación *in vitro* de algunas especies del género *Agave*. La regeneración *in vitro* se ha alcanzado a través de la obtención de brotes a partir de meristemos axilares localizados en el segmento basal de las plantas, o bien a través de organogénesis o embriogénesis somática indirecta, es decir, a partir de tejido calloso generado también *in vitro* (Domínguez y col., 2008).

El cultivo de tejidos vegetales se lleva a cabo utilizando cualquier parte de la planta (célula, tejido u órgano), manipulando condiciones controladas de crecimiento (temperatura, fotoperiodos, humedad) y bajo condiciones anoxigénicas es posible poder generar un individuo completo, esto se debe a la totipotencia de las células, ya que tienen la información genética necesaria para formar a una planta. Uno de los factores más importantes a considerar en el cultivo de tejidos vegetales son los medios de cultivo sólidos y líquidos, los cuales deben contener principalmente minerales, vitaminas, fitorreguladores, fuente de carbono, hormonas. (Núñez-Paleniús y Ochoa-Alejo, 1999). Para poder realizar este proceso existen diferentes técnicas de regeneración *in vitro* tales como: organogénesis y embriogénesis somática.

### 2.3.1 Organogénesis

La organogénesis se define como el desarrollo de órganos a partir de tejidos meristemáticos o no meristemáticos. Esta técnica de cultivo de tejido vegetales es un conjunto de procesos que engloban la regulación de la división celular, la expansión celular, la diferenciación del tipo de célula y tejido (De Smet, 2013). En esta técnica las células que tiene el papel de progenitores se estimulan a manera de acelerar la división de la célula para que se formen los meristemoides a partir de los cuales se presentará el crecimiento y desarrollo de los brotes (Mroginski y col., 2010). La organogénesis es altamente influenciada por fitohormonas tales como las auxinas y las citocininas (Bohn-Courseau, 2010).

### 2.3.2 Embriogénesis somática

Este sistema de regeneración ha sido ampliamente usado como herramienta para la propagación clonar y el desarrollo de protocolos para el mejoramiento de plantas a través de la genética celular somática y de la transformación genética (Gutiérrez-Mora y col., 2012; Melanie y col., 2016). Se le llama embriogénesis somática a la capacidad que tienen ciertas células para formar embriones bajo condiciones específicas de cultivo *in vitro* (Rao, 1996; Jiménez, 2005). Sus etapas de desarrollo son las siguientes:

#### Inducción

Es el proceso de conversión de una célula somática a una célula proembrionónica. Se considera que los factores determinantes para que suceda este proceso son: genotipo, grado de diferenciación de las células del explante, fitohormonas (auxinas) y el aislamiento celular (Rodríguez-Garay y col., 2000; Gutiérrez-Mora y col., 2012; Jiménez, 2005).

## Histodiferenciación

En esta etapa las masas de células proembriogénicas se diferencian formando embriones somáticos mediante una división y diferenciación celular simultáneas. Durante esta etapa los embriones somáticos pasan una serie de estadios intermedios muy similares a los que ocurren en la embriogénesis cigótica. En las dicotiledóneas estos estadios son: globular, corazón y torpedo, mientras que en las monocotiledóneas son: globular, coleoptilar y escutelar (Melanie y col., 2016).

## Maduración

Es la fase de maduración de un embrión somático para que adquiera la capacidad de germinar, ocurre básicamente una elongación celular sin división (Gutiérrez-Mora y col., 2012).

## Germinación

Es el proceso de elongación y reactivación metabólica de un embrión somático maduro para convertirse en una plántula. Debido a la naturaleza independiente de los embriones somáticos, esta vía de regeneración *in vitro* tiene algunas ventajas: 1) Se pueden producir grandes cantidades de embriones somáticos. 2) Escalar el sistema de producción en un cultivo en suspensión es relativamente fácil. 3) La manipulación de los embriones producidos puede hacerse de forma independiente, pues representan una autonomía con respecto al tejido madre. 4) Pueden ser encapsulados para ser utilizados como semillas sintéticas (Bapat y Mhatre, 2005).

La embriogénesis somática se puede llevar a cabo de dos formas, cuando los embriones somáticos se desarrollan a partir de células individuales dentro de un explante (embriogénesis directa) y cuando la diferenciación de los embriones es precedida por la proliferación de un tejido calloso (embriogénesis indirecta) (Martin y Madassery, 2005). Los embriones somáticos tienen la capacidad de formar embriones secundarios, a este fenómeno se le llama embriogénesis repetitiva. Para que el proceso de repetición ocurra es necesario que se suprima el desarrollo independiente, esto ocurre en presencia de auxinas, originando que los embriones no crezcan o maduren, las células continúan dividiéndose y pueden aumentar de tamaño o dividirse en embriones adicionales (Gutiérrez-Mora y col., 2012; Pagnussat y col., 2009).

Algunos de los factores que pueden influir en el establecimiento de la embriogénesis repetitiva son el nitrógeno inorgánico (amonio y bajas concentraciones de nitrato) y el nitrógeno orgánico (glutamina, prolina). La embriogénesis somática en *Agave salmiana* ha sido poco estudiada, solo un artículo de Flores-Benitez y col., (2008) han reportado que una combinación de la auxina, ácido naftalenacético y la citoquinina 6-Bencilaminopurina propiciaron la formación de callos y finalmente la producción de embriones, esto con el fin de transformar genéticamente a esta especie. Sin embargo, no se exploraron otras auxinas que se han reportado en especies como *Agave tequilana*. En la tabla 2.1 se muestra lo que se ha desarrollado en embriogénesis somática respecto a diferentes especies de *Agave*.

Actualmente en la Universidad Politécnica de Pachuca (UPPachuca) en colaboración con el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ) y la Red Temática Mexicana Aprovechamiento Integral Sustentable y Biotecnología de los Agaves (AGARED), se está realizando un protocolo de embriogénesis somática en suspensión celular para la propagación *in vitro* de *Agave salmiana* var. *salmiana* utilizando a embriones cigóticos como explantes. Esto permitirá obtener un mayor número de plántulas en menor tiempo, ayudando a la recuperación y conservación de este agave en las regiones donde su sobreexplotación ha provocado una deforestación, debido a los diferentes usos.

Hasta el momento se han obtenido embriones cigóticos como producto de la polinización cruzada *in vitro* de diferentes agaves muestreados en los municipios de El Arenal, El Cardonal y San Agustín Tlaxiaca del estado de Hidalgo. En la Figura 4.5 se muestra la formación de embriones somáticos de *Agave salmiana* utilizando como explante embriones cigóticos (resultados parciales).

**Figura 4.5** Callo en medio sólido con la formación de embriones somáticos (Barra=0.5 mm)



Fuente: Fotografía tomada el 12 de septiembre del 2017, en un estereoscopio Leica EZ4 HD

**Tabla 4.1** Reguladores de crecimiento utilizados para la inducción de embriogénesis somática en *Agave* spp

Especie	Explante	Respuesta	Medio + PGR	Fuente
<i>victoria-reginae</i>	Hojas <i>in vitro</i>	ES Directa	MS + 0.3 2,4-D	(Rodríguez-Garay, Gutiérrez-Mora, y Acosta-Dueñas, 1996)
<i>sisalana</i>	Tallos <i>in vitro</i>	ES Indirecta	MS + 0.25 2,4-D + 1.0 BAP	(Nikam, Bansude, y Aneesh, 2003)
<i>victoria-reginae</i>	Segmento de tallo de plantas de semillero	ES Indirecta	MS + 0.52 2,4-D	(Martínez-Palacios y col., 2003)
<i>salmiana</i>	Hojas <i>in vitro</i>	ES Indirecta	MS + 0.5 NAA + 1.1 BAP	(Flores-Benítez y col., 2007)
<i>tequilana</i>	Hojas <i>in vitro</i>	ES Indirecta	MS + 2.0 2,4-D + 0.3 BAP	(Portillo y col., 2007)
<i>vera-cruz</i>	Hojas <i>in vitro</i>	ES Indirecta	MS + 1.0 NAA + 0.2 ZEA	(Tejavathi y col., 2007)
<i>angustifolia</i>	Embrión zigótico	ES Indirecta	MS + 3.0 2,4-D + 1.0 BAP	(Arzate-Fernández y Mejía-Franco 2011)
<i>tequilana</i>	Hojas <i>in vitro</i>	ES Indirecta	MS + 3.0 2,4-D + 0.3 BAP SH + 3.0 2,4-D + 0.3 BAP	(Rodríguez-Sahagún y col., 2011)
<i>fourcroydes</i>	Tallos <i>in vitro</i>	ES Directa	MS + 0.5 DIC MS + 0.5 PIC	(Monja-Mio y Robert 2013)
<i>sisalana</i>	Bulbillos	ES Indirecta	MS + 3.0 2,4-D + 20.0 BAP	(Santos Carneiro y col., 2014)

**PGR** Regulador de crecimiento de plantas; **ES** embriogénesis somática; **2,4 D** 2,4-Diclorofenoxiacético; **BAP** 6-Benzylaminopurine; **NAA** Naftalenoacético; **ZEA** Zeatina; **DIC** Dicamba; **PIC** Picloram; **MS** Murashige y Skoog; **SH** Schenk y Hildebrandt.

Fuente: Tomada de Rodríguez-Garay, B. (2016)

La obtención masiva de *Agave salmiana* con características controladas y en menor tiempo permitirá la reforestación en zonas geográficas en las que naturalmente se desarrollan, de esta forma se podrá tener un mejor aprovechamiento de los diferentes usos que se le pueden dar a esta planta, como se muestran en la tabla 4.2.

**Tabla 4.2** Uso del maguey pulquero *Agave salmiana*

Concepto	Uso	Parte de la planta
Alimenticio	Aguamiel	Piña de maguey
	Pulque	Aguamiel fermentada
	Dulces, mermeladas y tostadas	Aguamiel
	Mixiote	Penca
	Gualumbo	Flor o quiote
	Jugo dulce	Quiote
	Atoles	Aguamiel
	Jarabe o miel	Aguamiel concentrada
	Mezcales	Piña del agave
Condimento o comida	Pulque	Aguamiel fermentada
	aguardiente	Pulque destilado
	Miel	Aguamiel concentrada
	Vinagre	Aguamiel fermentada
	Gusanos blancos	Pencas
	Gusanos rojos	Raíces
	Sal de gusano	Piña
	Postre	Quiote asado, piña horneada
	Saborizante de tamales y pan	Aguamiel y piña
Tortilla	Quiote	
Tejido y vestuario	Hilos para costales, bolsas, mantas, telas, lazos, cuerdas para instrumentos musicales, cuerdas para arcos de caza, redes de pesca.	Fibras de las pencas
Construcción	Vigas	Quiote seco
	Aditivo para mezclas	Baba de la penca
	Jabón para ropa	Raíces y pencas
Uso doméstico	Recipiente para agua	Piña
	Recipiente para comida	Penca
Ornato	Adornos de navidad	Maguey completo
	Juguetes para niños	semillas
Agrícola	Deslinde de terrenos	Maguey completo
	Abono	Cenizas de pencas y piñas secas
	Protección contra la erosión	Maguey completo
Forraje	Alimento para animal	Residuos de pulque y pencas
Productos biotecnológicos	Fructanos	Aguamiel
	Pulque enlatado	Aguamiel fermentada
	Bioetanol	Azúcares de piña y penca
	Prebióticos y probióticos	Aguamiel
	Carbón activado	Piña y pencas
	Saborizantes	Pencas
	Inulina	Aguamiel

Fuente: Modificado de: Ramírez Pompa y Gentry, 1982; Morales y col., 2014

### 3 Conclusiones

La aplicación de técnicas de cultivo de tejido vegetal basadas en sistemas de cultivo *in vitro*, parece ser una opción fiable que puede aumentar la densidad de las poblaciones de agaves. Con esta perspectiva, la embriogénesis somática puede ser una alternativa para el cultivo masivo de *Agave salmiana* teniendo como ventaja el medio líquido para formar una suspensión celular de callos embriogénicos más homogéneos.

### 4 Agradecimiento

Agradecimiento a la Red Temática Mexicana Aprovechamiento Integral Sustentable y Biotecnología de los Agaves (AGARED) así como al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada a la alumna I. B. Blanca Vianey Angeles Vázquez, para el desarrollo del proyecto de la Maestría en Biotecnología en la Universidad Politécnica de Pachuca (UPPachuca).

### 5 Referencias

- Aguado, L. O., Fereres Castiel, A., y Viñuela Sandoval, E. (2015). La polinización de las plantas. En Guía de campo de los polinizadores de España, Ed.; Mundi-Prensa: Madrid, España, 2017, 1-6.
- Arzate-Fernández, A. M., y Mejía-Franco, R. (2011). Capacidad embriogénica de callos inducidos en ejes embrionarios cigóticos de *Agave angustifolia* Haw. Revista Fitotecnia Mexicana, 34(2), 101-106.
- Bapat, V. A., y Mhatre, M. (2005). Bioencapsulation of somatic embryos in woody plants. In: Jain S.M., Gupta P.K. (eds) Protocol for Somatic Embryogenesis in Woody Plants. Forestry Sciences, vol 77. Springer, Dordrecht
- Bewley, J. D., Bradford, K., y Hilhorst, H. (2012). Structure and Composition. In: Seeds: physiology of development, germination and dormancy. Ed.; Springer Science and Business Media; New York, 1-25.
- Bewley, J. D., y Black, M. (2012). Physiology and Biochemistry of Seeds in Relation to Germination: Volume 2: Viability, Dormancy, and Environmental Control, Ed.; Springer Science and Business Media: Berlin, Heidelberg, 1-59.
- Bohn-Courseau, I. (2010). Auxin: a major regulator of organogenesis. Comptes Rendus Biologies, 333(4), 290-296.
- Calva Calva, G., y Pérez Vargas, J. (2005). Cultivo de células y tejidos vegetales: fuente de alimentos para el futuro. Revista Digital Universitaria, 6(11), 1-16.
- De Smet, I. (2013). Plant Organogenesis: Methods and Protocols, Eds.; Springer: New York, 23-104.
- Domínguez Rosales, M. S., González Jiménez, M. D. L. L., Rosales Gómez, C., Quiñones Valles, C., Delgadillo Díaz de León, S., Mireles Ordaz, S. J., y Pérez Molphe Balch, E. (2008). El cultivo in vitro como herramienta para el aprovechamiento, mejoramiento y conservación de especies del género *Agave*. Investigación y Ciencia, 16(41),53-62.
- Flores-Benítez, S., Jiménez-Bremont, J. F., Rosales-Mendoza, S., Argüello-Astorga, G. R., Castillo-Collazo, R., y Alpuche-Solís, Á. G. (2007). Genetic transformation of *Agave salmiana* by *Agrobacterium tumefaciens* and particle bombardment. Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 91(3), 215-224.

- García-Mendoza, A. J. (2007). Los *Agaves* de México. *Ciencias* (087): 14-23.
- García-Mendoza, A. J. (2012). México, país de magueyes. *La jornada del campo*, No. 53. Obtenido de <http://www.jornada.unam.mx>. Consultada en febrero del 2017.
- Gentry, H. S. (2004). *Agaves* of Continental North America. North America: University of Arizona Press:125-186.
- Gutiérrez-Mora, A., González-Gutiérrez, A.G., Rodríguez-Garay, B., Ascencio-Cabral, A., Li-Wei, L. (2012). Somatic embryogenesis: Some useful considerations. In *Embryogenesis*, Ed.; K. Sato: Croatia, 2012, 229-248.
- Herrera, J., Ramiro, A., Guevara, E., y Jiménez, V. (2006). Germinación y crecimiento de la planta. Volumen 4. Costa Rica: Universidad de Costa Rica:5-30.
- Jiménez, V. M. (2005). Involvement of plant hormones and plant growth regulators on in vitro somatic embryogenesis. *Plant Growth Regulation*, 47(2-3), 91-110.
- Kant, P. (2010). Could *Agave* be the Species of Choice for Climate Change Mitigation? Institute of Green Economy: 1-5. New Delhi: India.
- Martin, K. P., y Madassery, J. (2005). Direct and indirect somatic embryogenesis on cotyledon explants of *Quassia amara* L., an antileukaemic drug plant. *In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant*, 41(1), 54-57.
- Martínez-Palacios, A., Ortega-Larrocea, M. P., Chávez, V. M., y Bye, R. (2003). Somatic embryogenesis and organogenesis of *Agave victoriae-reginae*: Considerations for its conservation. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 74(2), 135-142.
- Melanie, L.H., Sacco de Vries y Koltunow, A.M.G. (2016). A Comparison of In Vitro and In Vivo Asexual Embryogenesis. In *In Vitro Embryogenesis in Higher Plants*, Eds.; Germanà, M.A. y Lambardi M, 2016, 3-23.
- Monja-Mio, K. M., y Robert, M. L. (2013). Direct somatic embryogenesis of *Agave fourcroydes* Lem. through thin cell layer culture. *In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant*, 49(5), 541-549.
- Morales Flores, A., Hidalgo Castañeda, E., Pérez Sánchez, F. J., Aguilar Romero, L., y Luna Ruiz, J. (2014). Mecanismos de conservación y uso del maguey pulquero *Agave salmiana* en el altiplano mexicano.
- Mroginski, L., Sansberro, p., y Flaschland E. (2010). Capítulo 1: Establecimiento de cultivo de tejidos vegetales. En: *Biotecnología y Mejoramiento Vegetal II*, Eds.; Levitus, G., Echenique, V., Rubinstein, C., Hopp, E., y Mroginski, L, 12-65.
- Narváez Suárez, A. U., Martínez Saldaña, T., y Jiménez Velázquez, M. A. (2016). El cultivo de maguey pulquero: opción para el desarrollo de comunidades rurales del altiplano mexicano. *Revista de Geografía Agrícola*, (56),33-44.
- Nikam, T. D., Bansude, G. M., y Aneesh Kumar, K. C. (2003). Somatic embryogenesis in sisal (*Agave sisalana* Perr. ex. Engelm). *Plant cell reports*, 22(3), 188-194.



- Núñez-Palenius, H. G., y Ochoa-Alejo, N. (1999). In vitro mass cultivation of cells and tissues. In: Molecular Biotechnology for Plant Food Production, Ed.; Paredes-López O.; Irapuato México, 89-110.
- Ortiz-Basurto, R. I., Pourcelly, G., Doco, T., Williams, P., Dornier, M., y Belleville, M. P. (2008). Analysis of the main components of the aguamiel produced by the maguey-pulquero (*Agave mapisaga*) throughout the harvest period. Journal of agricultural and food chemistry, 56(10), 3682-3687.
- Pagnussat, G. C., Alandete-Saez, M., Bowman, J. L., y Sundaresan, V. (2009). Auxin-dependent patterning and gamete specification in the Arabidopsis female gametophyte. Science, 324(5935), 1684-1689.
- Portillo, L., Santacruz-Ruvalcaba, F., Gutiérrez-Mora, A., y Rodríguez-Garay, B. (2007). Somatic embryogenesis in *Agave tequilana* Weber cultivar azul. In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant, 43(6), 569-575.
- Puente-Garza, C. A., Gutiérrez-Mora, A., y García-Lara, S. (2015). Micropropagation of *Agave salmiana*: Means to Production of Antioxidant and Bioactive Principles. Frontiers in plant science, 6,1026.
- Ramírez Pompa y Gentry. (1982). El maguey “Arbol de las maravillas”. Editado por el Museo Nacional de Culturas Populares. México.
- Ramírez Tobías, H. M., Peña Valdivia, C.B., Aguirre R, J., Reyes Agüero, J. A., Sánchez Urdaneta, A. B., y Valle G.S. (2012). Seed germination temperatures of eight Mexican *Agave*. Plant species biology, 27 (2): 124-137.
- Ramírez Tobías, H. M., Niño Vázquez, R., Aguirre Rivera, J. R., Flores, J., De-Nova Vázquez, J. A. y Gálvez, R. J. (2016). Seed viability and effect of temperature on germination of *Agave angustifolia* subsp. tequilana and *A. mapisaga*; two useful *Agave* species. Genetic Resources and Crop Evolution, 63(5), 881-888.
- Rao, K. S. (1996). Embryogenesis in flowering plants: recent approaches and prospects. Journal of biosciences, 21(6), 827-841.
- Richards, A. J. (2003). Apomixis in flowering plants: an overview. Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences, 358(1434), 1085-1093.
- Rodríguez-Garay, B., Gutiérrez-Mora, A., y Acosta-Dueñas, B. (1996). Somatic embryogenesis of *Agave victoria-reginae* Moore. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 46(1):85-87
- Rodríguez-Garay, B., Santacruz-Ruvalcava, F., Loera-Quezada, M., y Gutiérrez-Mora, A. (2000). Embriogénesis sexual y somática en plantas. Horticultura Mexicana,8, 104-110.
- Rodríguez-Garay, B. (2016). Somatic Embryogenesis in *Agave* spp. In Somatic Embryogenesis: Fundamental Aspects and Applications, Eds.; Loyola-Vargas, V., y Ochoa-Alejo, N. 2016, 267-282.
- Rodríguez-Sahagún, A., Acevedo-Hernández, G., Rodríguez-Domínguez, J. M., Rodríguez-Garay, B., Cervantes-Martínez, J., y Castellanos-Hernández, O. A. (2011). Effect of light quality and culture medium on somatic embryogenesis of *Agave tequilana* Weber var. Azul. Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC), 104(2), 271-275.

Santos Carneiro, F., de Oliveira Domingos Queiroz, S. R., Rodriguez Passos, A., Neves do Nascimento, M., y Souza dos Santos, K. (2014). Embriogênese somática em *Agave sisalana* Perrine: indução, caracterização anatômica e regeneração. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 44(3), 294-303.

Tejavathi, D. H., Rajanna, M. D., Sowmya, R., y Gayathamma, K. (2007). Induction of somatic embryos from cultures of *Agave vera-cruz* Mill. *In Vitro Cellular and Developmental Biology-Plant*, 43(5), 423-428.

Vázquez Díaz, E., García Nava, J., Peña Valdivia, C., Ramírez Tobías, H., y Morales Ramos, V. (2011). Seed size, emergence and seedling development of maguey (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 34(3), 167-173.

Winter, K., Garcia, M., y Holtum, A. M. (2008). On the nature of facultative and constitutive CAM: environmental and developmental control of CAM expression during early growth of *Clusia*, *Kalanchoe*, and *Opuntia*. *Journal of Experimental Botany*, 59(7):1829-1840.

## ***Comadia redtenbacheri*, individuo del Altiplano Hidalguense**

María del Carmen Ávila Ramírez, Bethsua Mendoza Mendoza, Erik Gómez Hernández y Edna María Hernández Domínguez

M. Ávila, B. Mendoza, E. Gómez, E. Hernández  
Instituto Tecnológico Superior del Oriente del Estado de Hidalgo. ITESA  
ehernandez@itesa.edu.mx

F. Trejo, (eds.). Ciencias Multidisciplinarias. (SIMCI). Proceedings-©ECORFAN-México, Pachuca, 2017.

## Abstract

The State of Hidalgo and the State of Chiapas are the main consumers of insects throughout the republic because they are influenced by the cultures of the South and the North. In Hidalgo are consumed about 88 species of insects, among the most prominent and popular are: caterpillars, escamoles, jumiles, cactus worm, corn worm, grasshoppers and chinicuil. Currently, due to the overexploitation of the resource, the populations of both the insect and the maguey have been reduced, with the consequent increase in the price of the red worm that is quoted up to \$ 1,500.00 / Lt. In addition, the natural populations of this insect are seen affected by the presence of endoparasitoids, mainly diptera of the Tachinidae family that includes about 10,000 described species in the world and 1,400 species in North America and northern Mexico.

## *Comadia redtenbacheri*, Hidalgo, Alimentos

### 1 Introducción

Alrededor de 1900 especies de insectos se utilizan para la alimentación humana en el mundo, y contribuyen significativamente a las economías mexicanas locales (van Huis, 2013). En México hay 535 especies de insectos comestibles y entre ellos esta *Comadia redtenbacheri* lepidóptero de la familia *Cossidae*, la única especie de esta familia citada para México y una de las 4 familias de barrenadores de madera (Brown, 1975; Ramos-Elorduy et al., 2006).

El Estado de Hidalgo y el Estado de Chiapas son los principales consumidores de insectos en toda la república por tener influencias de las culturas del sur y del norte. En Hidalgo son consumidas alrededor de 88 especies de insectos, entre los más destacados y populares están: las orugas, los escamoles, los jumiles, el gusano de nopal, gusano de maíz, los chapulines y el *chinicuil*. *Comadia redtenbacheri*, conocido como gusano rojo del maguey, es un barrenador de agaves utilizado en su etapa larvaria como alimento en la gastronomía tradicional, por lo que constituye una fuente de ingreso económico temporal para habitantes de comunidades ubicadas en regiones semiáridas y áridas del centro de México, en donde sus poblaciones silvestres son intensivamente colectadas (Miranda-Perkins et al., 2013).

Es además el ingrediente principal de uno de los platillos tradicionales de la región del Valle del Mezquital entre otras, es también llamado “Chinicuil” o gusano rojo de maguey, manjar digno de reyes para algunos, para otro un platillo exótico que no se atreverían a probar. Etimológicamente la palabra “Chinicuil” deriva del nahuatl “Chilocuilin” y se compone de “chichitlic” (colorado) y “oculin” (gusano), es decir gusano colorado o gusano de chile debido al color que presenta (Llenderal-Cazares C. et al., 2010).

Actualmente, debido a la sobreexplotación del recurso, las poblaciones tanto del insecto como del maguey se han reducido, con el consecuente incremento en el precio del gusano rojo que se cotiza hasta en \$1,500.00 / Lt. Además, las poblaciones naturales de este insecto se ven afectadas por la presencia de endoparasitoides, principalmente dípteros de la familia *Tachinidae* que incluye cerca de 10,000 especies descritas en el mundo y 1,400 especies en Norteamérica y el norte de México (Sireman et al., 2006).

Como sucede con otros insectos comestibles en diferentes países de tales especies, lo que dificulta que se consideren dentro de programas de manejo y aprovechamiento, para lo que se requiere del conocimiento de su distribución, biología, comportamiento, estacionalidad y su papel en los ecosistemas, entre otros aspectos, que permita la conservación tanto de los insectos como de sus hospederos (Yen 2009, 2012).

## 2 Morfología

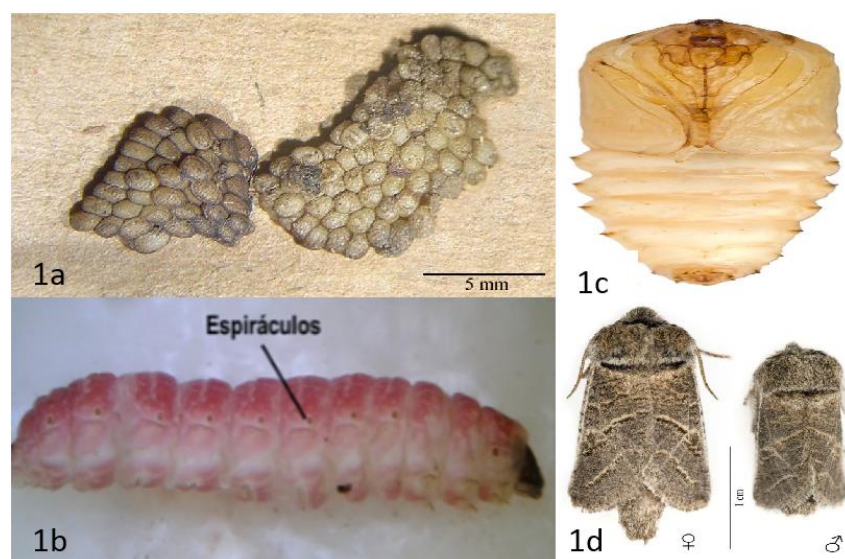
**Huevos:** son de color blanco de 1.37mm de longitud, con la superficie ornamentada con polígonos de tamaño más o menos contante (Fig. 5.1a). La hembra los ovoposita en grupos en la base de las pencas de los agaves hospederos y los cubre de manera no uniforme con una secreción color café que se oscurece al secar. Son de consistencia suave y se deforman fácilmente cuando la hembra deposita nuevas capas sobre la ovipostura inicial. Las masas depositadas pueden contener 50 huevos o más, después de la eclosión las larvas barrenan el tejido de la base de las pencas y se introducen en él de manera grupal.

**Larvas:** las larvas recién emergidas son pequeñas y sin coloración (Fig. 5.1b). A medida que crecen adquieren un color rojo, que es intenso en las larvas en último instar. La cabeza está esclerosada y retraída ligeramente en el tórax. Presenta seis pares de estemata bien desarrollados, arreglados en forma de “2”. El último segmento presenta una proyección quitinosa en forma de “cuerno” o espina, de color oscuro, las patas torácicas son pequeñas, compuestas de coxa, fémur, tibia, torso y una uña tarsal simple. Las patas abdominales están presentes en los segmentos III – VI y X y son muy reducidas.

**Pupas:** De color café claro que se oscurece progresivamente (Fig. 5.1c), hasta llegar a casi negro cuando el adulto está a punto de emerger. A lo largo del dorso y la pleura, se encuentran dos hileras de espinas gruesas dirigidas hacia atrás que son utilizadas para salir del capullo. Las pupas construyen un capullo con seda y partículas del sustrato que haya sido utilizado para la pupación.

**Adulto:** Cuerpo de color café claro con dos marcas blanquecinas en forma de “V” invertida en las alas posteriores, muy evidentes cuando se encuentran en posición de reposo (Fig. 5.1d). Ambos sexos presentan el cuerpo densamente cubierto de escamas espatuladas y filiformes en el tórax y abdomen, y espatuladas en la superficie de las alas. Los machos presentan antenas bipectinadas, mientras que en las hembras son ligeramente aserradas. Normalmente, las hembras son más grandes que los machos, aunque el tamaño puede presentar una gran variación. El tamaño de las hembras y los machos oscila entre 1.65cm y 1.38 cm, respectivamente (Castro-Torres y Llanderal-Cázares, 2015).

**Figura 5.1** Morfología de *Comadia redtenbacheri*. a: Huevos, b: larvas, c: pupa, c: adulto macho y hembra



Fuente: imágenes 1.1a, 1.1b, y 1.1d son tomadas de Castro-Torres y Llanderal-Cázares, 2015

## 2 Sistema reproductor de la hembra

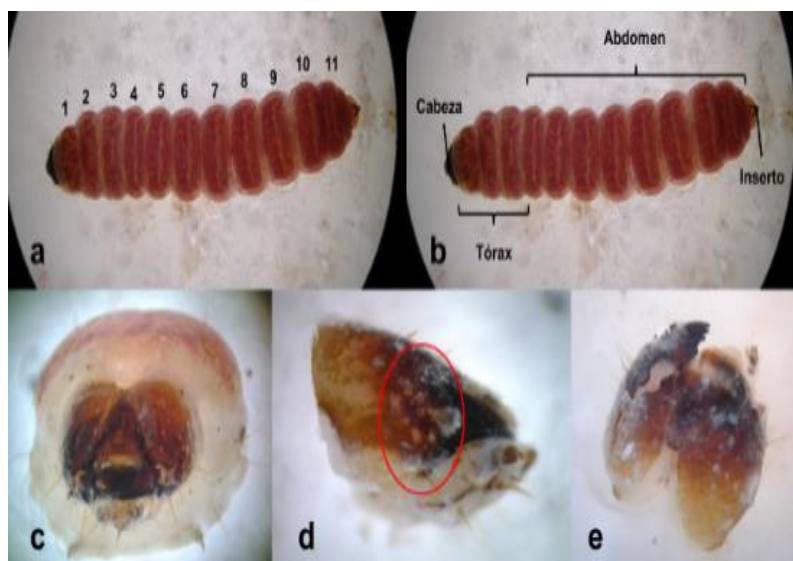
Presenta un par de ovarios, cada uno con cuatro ovariolas de tipo politrófico. Como en hembras de otras especies de insectos, cada ovariola de *C. redtenbacheri* presenta el germario, el vitelario y el pedicelo. El germario es pequeño y de forma ligeramente ovalada, el vitelario por su parte, es muy largo y contuvo en promedio 13 ovocitos con corion, considerando las ocho ovariolas contenidas en ambos ovarios, cada una en promedio con 13 ovocitos maduros, se tiene que la fecundidad potencial de *C. redtenbacheri* fue en promedio de 104 ovocitos por hembra.

El pedicelo de cada ovariola es membranoso y tiene una forma sacular; los cuatro pedicelos de cada ovario desembocan finalmente en el oviducto lateral. Los dos oviductos laterales son cortos y se comunican con el oviducto común, también corto. El oviducto común finalmente conecta a la cámara genital. Hacia el oviducto común desemboca la bursa copulatrix, mediante un ductus seminalis corto, la cual es membranosa, de forma cilíndrica y basalmente presenta un pequeño divertículo o lóbulo, también membranoso (Ramírez-Cruz, A y Llanderal-Cázares, C. et al., 2015).

## 3 Ciclo de vida

Antes de llegar a su metamorfosis, esta polilla durante su estado larval es un gusano u oruga roja al cual conocemos como chinicuil, que llega a medir hasta 5 cm de largo, con la piel libre de pilosidades a diferencia de otras orugas. Este gusano rojo depende del maguey pulquero (*Agave salmiana*) ya que se alimenta de los tejidos de la base de las pencas, las raíces y el tallo el cual horada hasta alcanzar el interior de la planta, en donde se hospeda hasta terminar su ciclo larval con una duración de 8 meses, para posteriormente hacer su pupa o capullo del cual emergerá una polilla de una forma muy distinta. Durante la temporada de lluvias es común encontrar chinicuiles en las pencas de maguey, y su ciclo de vida completo tiene una duración de un año, cuando el chinicuil finalmente pasa la metamorfosis se convierte en una polilla, es decir una mariposa de hábitos nocturnos, con un cuerpo grueso y de coloración parda. La espiritroma (la cual es una estructura única de las mariposas en estado adulto con la que se alimentan del néctar de las plantas), se encuentra atrofiada en esta especie impidiéndole alimentarse, a consecuencia su tiempo de vida es de tres a cinco días, durante los cuales el objetivo principal es reproducirse, para a su vez depositar los huevecillos en las pencas del maguey y así continuar con el ciclo de vida de esta polilla (Fig.5.2 ) (Llanderal-Cazares C. et al., 2010).

**Figura 5.2** *Comadia redtenbacheri* de séptimo instar. a: segmentos larvales, b: morfología general, c: cabeza, d: conjunto de ocelos, e: tenazas.



#### 4 Aspecto Nutrimental

A muchas personas los insectos les causan repulsión y asco. Esto resulta paradójico si tenemos en cuenta que tal vez los insectos son las criaturas que mejor se alimentan: son los consumidores primarios de la cadena alimenticia animal, ya que se sustentan de las plantas) las primeras formadoras de energía a través de la fotosíntesis) y después sirven de alimento para otras especies, es decir comen el alimento de primera mano, algo que no podemos decir de las reses, los puercos o las aves, tan comunes en nuestra alimentación diaria.

Los insectos contienen sales minerales, algunos son muy ricos en calcio, albergan vitaminas del grupo B y son una fuente importante de magnesio; además, en estado de larva, proporcionan calorías de gran calidad, ya que están conformadas por ácidos grasos poliinsaturados que no hacen daño al hombre, mientras que 100 gramos de carne de res contienen de 54 a 57% de proteínas, 100 gramos de chinicuiles por ejemplo contiene del 60 al 75%. Las proteínas con las reparadoras y constructoras de las células, tejidos y órganos del cuerpo; además, intervienen en el funcionamiento del sistema inmunológico que nos protege de las enfermedades, los insectos como el *chinicuil* no solo puede llegar a superar la calidad de las proteínas que proporciona el pescado, el pollo y cualquier otra fuente proteica. Por lo tanto, los gusanos rojos de maguey pueden constituir una muy buena opción alimentaria no solamente por su contenido de proteína y abundancia en la naturaleza, sino por otras tantas ventajas; por ejemplo, su digestibilidad es elevada, son fáciles de capturar, no pierden su valor nutritivo, puesto que por si mismos generan sustancias antibióticas que los protegen mientras están vivos y, una vez capturados, no permiten su descomposición si se conservan en seco.

Ramos Elorduy y Pino (1990) reportaron el importante aporte calórico de algunos insectos comestibles en México. Estos autores señalan que el 87 % de los insectos comestibles son más energéticos que el maíz, 50 % más que la soya, 63 % más que el pescado, la lenteja y el fríjol, 84 % de ellos más que las hortalizas, 95 % más que el trigo, el centeno y 100 % más que el pollo. Por otra parte, se han realizado estudios de micronutrientes en algunos insectos comestibles en México, incluido el *chinicuil*., donde se analizaron algunos elementos minerales (Na, K, Ca, Zn, Fe y Mg), el Mg se encontró en mayor proporción en todos los insectos estudiados, para el caso del *chinicuil* reportaron 0,088 % de Ca, 4194,8  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , entre otros, Shimada (2003) menciona que el Na, K y Cl son los principales elementos responsables del balance electrolítico, también llamado balance iónico, y un desbalance afecta el metabolismo óseo mediante la modificación del pH urinario y la excreción Ca y P por dicha vía.

**Tabla 5.1** Valor nutritivo del gusano rojo de maguey comestible del Altiplano Hidalguense

Análisis de:	g/100g base húmeda
Humedad	60,90
Proteína cruda	9,79
Extracto seco	24,37
Cenizas	0,75
Fibra cruda	0,32
Elementos libres de N	3,87

#### 5 Formas de Recolección

La etapa cuando es mejor recolectar a esta especie es cuando no rebasan los 2 cm de largo, su color es durazno y su olor no es tan fuerte. A partir de la segunda semana de agosto los chinicuiles son más grandes y adquieren coloraciones rojo intenso. En esta etapa su olor es tan potente que algunos recolectores aseguran que gracias a su aroma es fácil localizar el maguey que los contiene en gran proporción.

Algunas personas dedicadas a la extracción de los gusanos reconocen, incluso, que los magueyes que contienen las plagas del gusano se pintan las puntas de la penca de color rojo con tonos anaranjados, además que las pencas de dicho maguey no crecen completamente derechas si no que adquieren una curvatura desde la mitad de la penca y hasta la punta. Una vez localizado el maguey se procede a inclinar al maguey a sacarlo completamente de manera que las raíces del maguey, quedan expuestas al aire, y con ayuda de un machete se corta la base y tronco de la planta permitiendo la salida de los insectos. Luego, con la ayuda de un gancho de metal y con la punta de la penca de maguey se extraen los gusanos y se colocan en un recipiente. Terminada la extracción de los gusanos, el maguey se vuelve a colocar en el lugar de donde se sacó para evitar que muera. Los lugareños de los municipios del Altiplano Hidalguense indican que a mediados del mes de agosto, al iniciar las lluvias, los chinicuiles salen por su cuenta propia de la raíz del maguey y se pueden recolectar sin dañar a la planta (Figura 5.3).

**Figura 5.3** Formas de recolección del chinicuil



### **Agradecimiento**

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México por el recurso económico otorgado para el desarrollo de proyectos de investigación relacionados con *Comadia redtenbacheri*. Al Instituto Tecnológico Superior del Oriente del Estado de Hidalgo, por las facilidades para el desarrollo de proyectos de investigación

### **Conclusiones**

El estudio sobre los diferentes insectos comestibles en México y sobre todo en el Estado de Hidalgo son un área de oportunidad para el desarrollo de proyectos de investigación, lo que permita obtener resultados relacionados con su consumo, su valor nutricional, su composición fisicoquímica, así como la generación de nuevos productos alimentarios a partir del uso de estos insectos. Actualmente, el Cuerpo Académico Industrias Alimentarias en ITESA está desarrollando proyectos de investigación relacionados con la evaluación fisicoquímica y sensorial del gusano rojo y blanco de maguey, así como la elaboración y caracterización de nuevos productos elaborados con estos organismos.



## Referencias

- Brown, R.M. 1975. A revision of the North American Comadia (Cossidae). Journal of Research on the Lepidoptera, 14: 189-212
- Castro-Torres, R.E., y Llanderal-Cázares, C. 2015. Principales caracteres morfológicos para el reconocimiento de *Comadia redtenbacheri* Hammsr Schmidt. Entomología Mexicana. 2:798-803
- Llanderal-Cázares, C., Nieto-Hernández, I., Almanza-Valenzuela, C., y Ortega-Álvarez, C. 2010. Establecimiento de larvas de *Comadia redtenbacheri* Hamm, en plantas de maguey en invernadero. Acta Zool. Mex. 26: 25-31
- Miranda-Perkins, K., Llanderal-Cázares, C., De los Santos-Posadas, H.M., Portillo-Martínez, L y Viguera-Guzmán A.L. 2013. *Comadia redtenbacheri* (Lepidoptera: Cossidae) pupal development in the laboratory. Florida Entomologist. 96:1424-1433
- Ramírez-Cruz, A., y Llanderal-Cázares, C. 2015. Morfología del sistema reproductor de la hembra de *Comadia redtenbacheri*. Acta Zoológica Mexicana. 31: 431-435
- Ramos-Elorduy, J., y Pino, MJM. 1990. Contenido calórico de algunos insectos comestibles de México. Revista Sociedad de Química Mexicana. 34:56-68
- Ramos-Elorduy, J. 2006. Threatened edible insect in Hidalgo, México and some measures to preserve them. J. Ethnobiol. 2:1-10
- Shimada, MA. 2003. Nutrición Animal. 1ª ed. Trillas. México 187 pp

## **Biodegradabilidad de un AR-Municipal en un SBR-columna con biomasa aerobia**

Aislinn Selene, González Carmona & Ubaldo, Baños Rodríguez

A.González & U. Baños

Ingeniería en Biotecnología, Laboratorio de Fisiología Microbiana y Fermentaciones Industriales, Universidad Politécnica de Pachuca  
ubaldo@upp.edu.mx

F. Trejo, (eds.). Ciencias Multidisciplinarias. Proceedings-©ECORFAN-México, Pachuca, 2017.

## Abstract

Water is the component of global need, basic and overriding, so it's important the sanitation of wastewater. An easy, economical and fast option is the use of the SBR-column with aerobic biomass (AB). In this work the use of system is proposed since it presents great advantages due to its compact capacity and elevated intervals of removal of organic matter (OM), performing biodegradability tests, improving the operation of the microbial system with the use of the MATLAB computer program, effecting simulations with the mathematical modelo of *Haldane Andreu*, which was solved by the numerical methods *Runge Kutta ode45* and *Hill Climbing*, getting kinetic parameters such as:  $q_s$ ,  $k_i$ ,  $K_s$ ,  $\mu_{max}$ ,  $Y_{x/s}$ . and in this way the efficiency of the system operation was improved, reflected in the percentage of the removal of OM, having a 100% removal in a time less than 5 hours, maintaining an initial substrate interval of 147.5-310 mgO<sub>2</sub>/L and an initial biomass of 115-166 mgProt/L.

## Agua Residual, Biomasa Aerobia, SBR-columna

### 1 Introducción

El agua es el componente de necesidad mundial, básica y primordial, por ello es importante el saneamiento de las aguas residuales (AR) generadas. Estas principalmente son contaminadas debido a las actividades humanas como son: el crecimiento demográfico, el desarrollo industrial y la urbanización, teniendo como resultado grandes cantidades de AR sin tratamiento alguno (Bretti, 2002). La tecnología con biomasa aerobia (BA) tiene la capacidad de soportar grandes cargas orgánicas usada en reactores discontinuos de alimentación secuenciada (SBR) según Beun *et al.*, en 1999 dicho sistema consiste en una columna de burbujeo, en donde el AR es tratada en aerobiosis en un ciclo de pocas horas, llevándose a cabo los procesos en el mismo reactor, removiendo gran cantidad de materia orgánica (MO) de AR municipales e industriales (Calvario *et al.*, 2005).

El diseño de los sistemas aerobios de tratamiento de AR como el SBR se realiza en base a parámetros bio-cinéticos que deben determinarse experimentalmente utilizando el efluente a tratar. Pero la complejidad del proceso para el tratamiento de AR ha incrementado con el transcurso del tiempo, y en consecuencia los modelos matemáticos que los representan han tenido un mayor nivel de desarrollo para controlar y predecir el comportamiento de las plantas tratadoras de agua, sin embargo, se ha mejorado la operación de los sistemas gracias a la simulación de los procesos, induciendo el diseño de programas de computación como es el uso de MATLAB el cual es capaz de efectuar la simulación propiamente dicha y proporcionar una medida de la eficiencia del funcionamiento en los sistemas microbianos de degradación de contaminantes, a partir de los datos medidos y la incertidumbre de los resultados calculados (Reichert, 1998).

Una gran variedad de modelos cinéticos de inhibición han sido utilizados para describir el crecimiento microbiano, tales como las ecuaciones de Yano y Koga, Aiba, Luong, Sokol, Edward y Haldane. Sin embargo, la ecuación de *Haldane Andrue* (ecuación 1) ha sido la más utilizada para describir este proceso.

$$\mu = \mu_{m\grave{a}x} \frac{S}{K_s + S + \left(\frac{S^2}{K_i}\right)} \quad (1)$$

Dónde:

$\mu_{m\grave{a}x}$  = Velocidad específica máxima de crecimiento de biomasa

$S$  = Concentración de sustrato

$K_s$  = Constante de afinidad por el sustrato

$K_i$  = Constante de inhibición debida al sustrato

La ecuación de *Haldane* está basada en la velocidad específica de crecimiento ( $\mu$ ), pero también se puede relacionar con la velocidad específica de consumo de sustrato. Esto significa que los microorganismos disminuyen su velocidad de crecimiento a concentraciones elevadas de sustrato, pero si éstas bajan, pueden consumir el sustrato a una velocidad máxima (*Baños, 2010*).

La finalidad de este trabajo es realizar una prueba de biodegradabilidad del AR municipal de Pachuca utilizando un SBR-columna con BA; desarrollando simulaciones con el modelo cinético propuesto por *Haldane* en el software de MATLAB, para lograr una remoción significativa de MO cumpliendo a su vez con la normatividad vigente.

### Objetivo general

Realizar una prueba de biodegradabilidad de una AR-municipal utilizando un SBR en columna con biomasa aerobia para lograr una remoción significativa de materia orgánica cumpliendo con la normatividad vigente.

### Objetivos específicos

- Aclimatar biomasa aerobia para lograr su adaptación con el sustrato correspondiente (AR-municipal)
- Definir el ciclo operativo del SBR en columna para lograr la biodegradación óptima de consumo de sustrato y el incremento de la biomasa.
- Realizar cinéticas microbianas para el monitoreo del consumo de sustrato e incremento de biomasa en el SBR en columna.
- Realizar simulaciones con modelos cinéticos para obtener los parámetros cinéticos correspondientes como:  $k_s$ ,  $k_i$ ,  $Y_{x/s}$  y  $\mu_{máx}$

### Justificación

El agua es el componente básica mundialmente, por ello es importante el saneamiento de las AR generadas, estas principalmente son contaminadas debido a las actividades humanas; según CONAGUA en 2015 menciona que anualmente un mexicano en promedio genera más de 136, 800 litros de AR municipal con grandes cargas de MO y solo el 50% de esta es tratada, causando efectos nocivos para el medio ambiente. Es por ello la necesidad de crear innovadoras y efectivas tecnologías para la biodegradación de MO. En el presente trabajo se propone el uso de un SBR-columna con BA, el cual presenta grandes ventajas debido a su capacidad compacta y elevadas tasas de remoción de MO realizando simulaciones con MATLAB aplicando el modelo matemático de *Haldane Andreu*, con estas simulaciones será posible obtener parámetros cinéticos con precisión ( $k_s$ ,  $k_i$ ,  $Y_{x/s}$  y  $\mu_{máx}$ ) los cuales definen el fenómeno de biodegradación de MO a tratar, obteniendo el mayor porcentaje de remoción de MO.

### Metodología

Se instaló y operó el SBR-columna, agregando 1.2 L de AR-municipal ( $S_0 = 147.5 \text{ mgO}_2/\text{L}$ ) y 0.3 L de inóculo ( $X_0 = 115.048 \text{ mgProt}/\text{L}$ ) para la cinética I y para la cinética II  $S_0 = 220 \text{ mgO}_2/\text{L}$  y biomasa inicial de  $X_0 = 151.055 \text{ mgProt}/\text{L}$  teniendo un volumen total de operación de 1.5 L los cuales fueron manejados en ciclos de 6 y 12 horas con aireación constante en el sistema, posterior se dio una sedimentación con duración de 0.5 horas y una extracción de 0.033 horas, durante el proceso se realizaron dos cinéticas microbianas en base a los análisis DQO para la cuantificación de sustrato según la NMX-AA-SCFI-030-2001 y se monitoreó también el crecimiento de biomasa en términos de proteínas [ $X = \text{mgProt}/\text{L}$ ] por el método de Biuret (*Herbert et al., 1971*);

Una vez terminadas las cinéticas y teniendo los resultados de la biomasa y sustrato correspondientes se analizaron con simulaciones en el programa de computo MATLAB con el modelo matemático Haldane (ecuación 1) en base a la solución de Runge Kutta ode45 y HILL Climbing, determinando parámetros cinéticos tales como:  $q_s$ ,  $k_i$ ,  $k_s$ ,  $\mu_{max}$ ,  $Y_{x/s}$  que posteriormente fueron analizados para evaluar la efectividad del saneamiento del AR-municipal en el SBR-columna.

## Resultados

En las tablas 6.1 y 6.2 se muestran los datos de las dos cinéticas microbianas realizadas en este trabajo de investigación.

**Tabla 6.1** Resultados del consumo de sustrato y crecimiento de biomasa en la cinética I

Tiempo	DQO (ppm)	X[mgProt/L]
0.000	147.500	115.048
0.250	142.500	114.499
0.500	140.000	114.488
0.750	135.000	115.426
1.000	132.500	115.807
1.250	125.000	117.218
1.500	120.000	118.053
1.750	117.500	118.279
2.000	110.000	119.250
2.250	102.500	119.777
2.500	97.500	120.913
2.917	80.000	123.867
3.167	62.500	126.751
3.667	42.500	130.251
4.167	27.500	136.321
4.667	0.000	137.148

Fuente: Resultados experimentales obtenidos en el proyecto

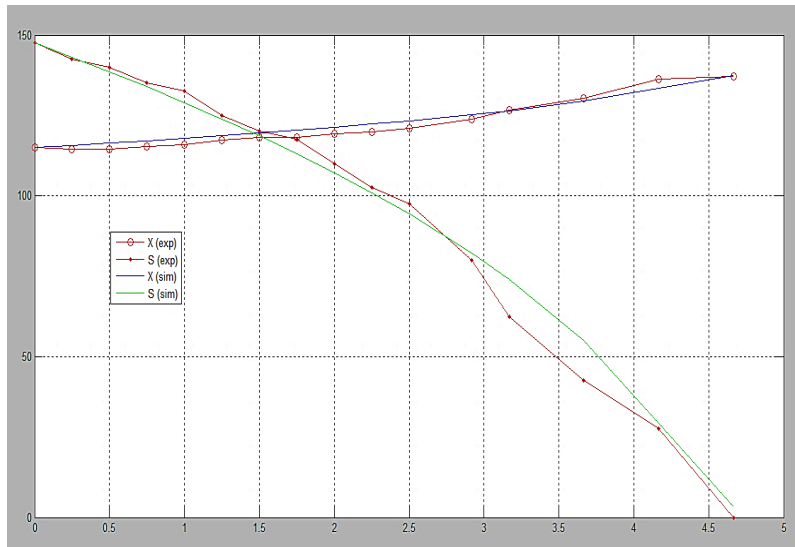
**Tabla 6.2** Resultados del consumo de sustrato y crecimiento de biomasa en la cinética II

Tiempo	DQO (ppm)	X[mgProt/L]
0.000	220.000	151.055
0.250	200.000	167.413
0.500	197.500	175.346
0.750	185.000	181.898
1.000	175.000	204.115
1.250	170.000	222.090
1.500	162.500	228.238
1.750	120.000	316.995
2.000	100.000	329.662
2.250	52.500	376.548
2.500	47.500	391.903
2.917	27.500	421.872
3.167	5.000	448.020
3.667	0.000	471.913

Fuente: Resultados experimentales obtenidos en el proyecto

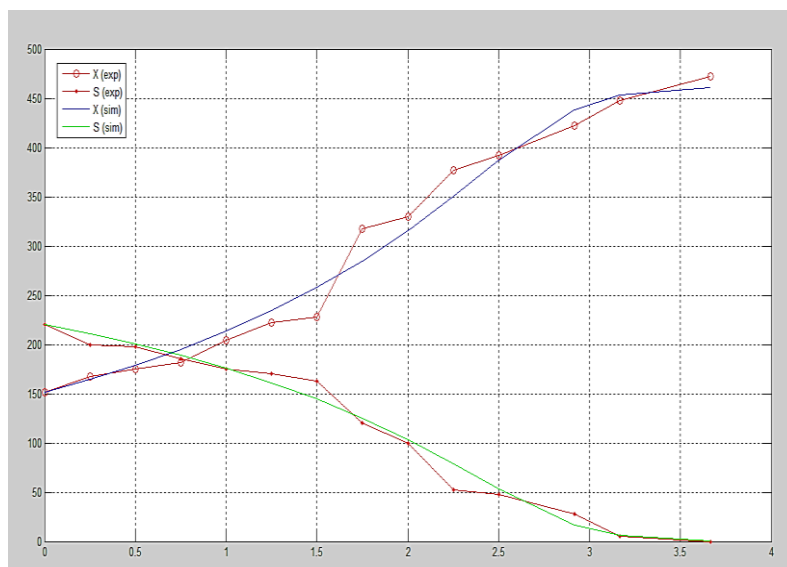
Una vez obtenidos los resultados del consumo de sustrato ( $S = \text{DQO}$ ) y crecimiento de biomasa ( $X = \text{mgProt/L}$ ) de ambas cinéticas, estos se graficaron para desarrollar simulaciones ajustadas a datos experimentales con el programa editado en el software MATLAB considerando el modelo cinético de *Haldane* (ver Grafico 6.1 y 6.2, donde las curvas con líneas continuas representan las simulaciones de mejor ajuste, al considerar 100 iteraciones en el programa Hill Climbing en cada simulación); y así se determinaron parámetros cinéticos que definen la biodegradabilidad de  $[S]$  y crecimiento de  $[X]$  con el Biorreactor y sus condiciones operativas propuestos.

**Grafico 6.1** Simulación con MATLAB de la *cinética I* representando datos experimentales y modelados, representando en eje X el tiempo en h, y en los ejes Y-Y' las concentraciones de S y X, [ $S_0 = 147.5 \text{ ppm}$ ,  $X_0 = 115.048 \text{ mgProt/L}$ ]



Fuente: Gráficos obtenidos en las simulación de MATLAB versión 2015

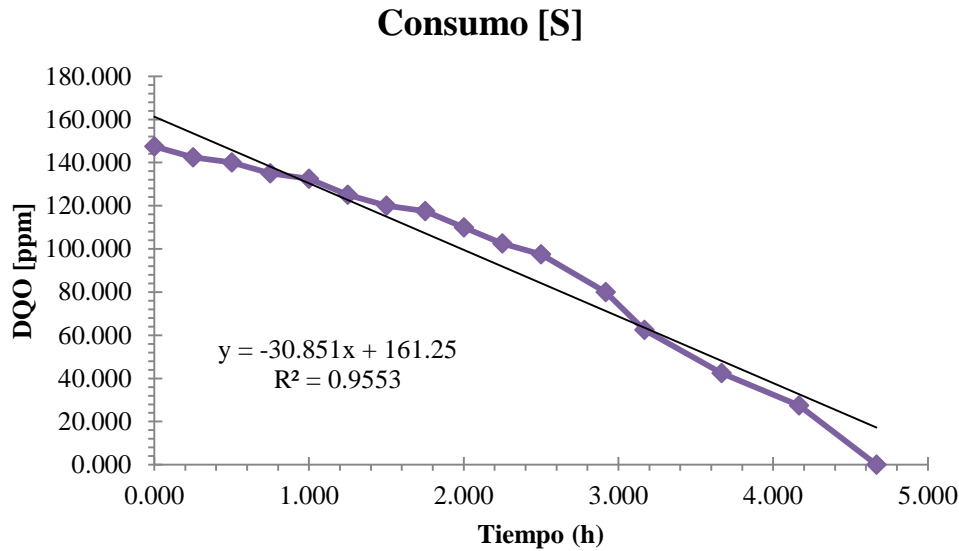
**Grafico 6.2** Simulación con MATLAB de la *cinética II* representando datos experimentales y modelados, representando en eje X el tiempo en h, y en los ejes Y-Y' las concentraciones de S y X, [ $S_0 = 220 \text{ ppm}$ ,  $X_0 = 151.055 \text{ mgProt/L}$ ]



Fuente: Gráficos obtenidos en las simulación de MATLAB versión 2015

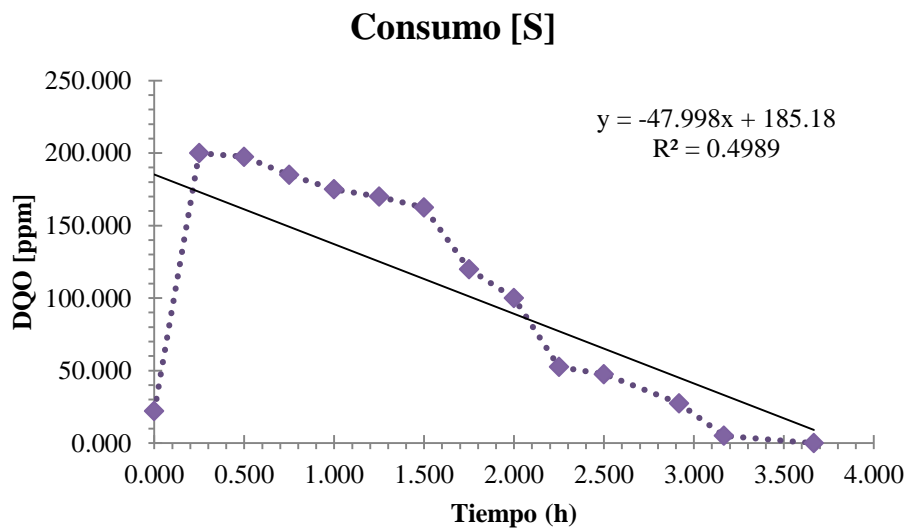
Adicionalmente se realizaron regresiones lineales de los datos obtenidos del consumo de sustrato para las cinéticas I y II (ver Gráficos 6.3 y 6.4) para determinar la velocidad de consumo de sustrato  $q_s = -30.85 \text{ mg O}_2/\text{L}\cdot\text{h}$  con una correlación del 95.52% para la cinética I y para la cinética II una  $q_s = -68.023$  con una correlación del 95.6%.

**Gráfico 6.3** Regresión lineal para hallar  $q_s$  de la cinética I



Fuente: Gráfico obtenido en Excel versión 2016

**Gráfico 6.4** Regresión lineal para hallar  $q_s$  de la cinética II



Fuente: Gráfico obtenido en Excel versión 2016.

En la tabla 6.3 se resumen los parámetros cinéticos a partir de las simulaciones realizadas con el programa *Hill Climbing* en el software de MATLAB de las cinéticas realizadas (Baños, 2010).

**Tabla 6.1** Parámetros cinéticos obtenidos para las cinéticas I y II

Parámetro cinético	Valor obtenido		Unidades
	Cinética I	Cinética II	
$\mu$	0.50	0.20	$h^{-1}$
$Y_{X/S}$	0.22	2.03	mgProt/mgO <sub>2</sub>
$K_S$	50.00	82.00	mg O <sub>2</sub> /L
$K_i$	8.00	100.00	mg O <sub>2</sub> /L
$q_S$	-30.85	-68.023	mg O <sub>2</sub> /L·h

Fuente: Datos obtenidos de la solución de la ecuación 1 con los valores correspondientes para cada cinética

Como se puede apreciar existe discrepancia en los valores de los parámetros cinéticos obtenidos en ambas cinéticas, esto puede asociarse en primer momento por la diferencia en las concentraciones iniciales de [S] y [X] en ambas cinéticas y en la estabilidad operativa del SBR-columna, sin embargo se aprecia una velocidad media específica de crecimiento de biomasa de  $\mu = 0.35 h^{-1}$ , una afinidad media por el sustrato de  $k_S = 66 mg O_2/L$ , una inhibición media por el sustrato de  $K_i = 54 mg O_2/L$ , un rendimiento medio de biomasa/sustrato de  $Y_{X/S} = 1.125 mgProt/mg O_2$ , y una velocidad media de consumo de sustrato de  $q_S = 49.44 mg O_2/L h$ .

Los parámetros cinéticos obtenidos permiten definir la biodegradabilidad de la materia orgánica presente en el AR-municipal para posterior hacer prospectivas de optimización y escalamiento del SBR-columna con diferentes cargas másicas de sustrato.

## Conclusiones

- Con las cinéticas desarrolladas en el SBR-columna fue posible obtener los valores experimentales de consumo de sustrato y crecimiento de biomasa, para posteriormente realizar las simulaciones matemáticas usando el modelo de inhibición por el sustrato de *Haldane* resuelto utilizando los métodos numéricos *Runge Kutta ode45* y el método de optimización numérica *Hill Climbing* en el software Matlab; obteniendo los parámetros cinéticos: velocidad media específica de crecimiento de biomasa de  $\mu = 0.35 h^{-1}$ , constante de afinidad media por el sustrato de  $k_S = 66 mg O_2/L$ , constante de inhibición media por el sustrato de  $K_i = 54 mg O_2/L$ , rendimiento medio de biomasa/sustrato de  $Y_{X/S} = 1.125 mgProt/mg O_2$ , y por regresión lineal la velocidad media de consumo de sustrato de  $q_S = 49.44 mg O_2/L h$ , las diferencias entre los valores obtenidos de los parámetros respecto a cada cinética se atribuye a: la diferencia en las concentraciones iniciales de [S] y [X] en cada cinética y el alcance en la estabilidad operativa del SBR-columna con tiempos de retención hidráulica de 3.6 a 5h, logrando remociones de materia orgánica del 100% en todas las cinéticas, manteniendo el sustrato inicial en un intervalo de 147.50 a 310 mgO<sub>2</sub>/L y biomasa inicial en un intervalo de 115 a 166 mgProt/L.
- El cálculo de los parámetros cinéticos considerando la biomasa como proteínas mostró que éste es un parámetro más adecuado para el análisis del crecimiento de la biomasa [X] y que proporciona menos error que la determinación de SST. Por otra parte, también se observó que en la primera serie de experimentos (primera cinética) los microorganismos degradaban la materia orgánica con menores velocidades específicas de crecimiento, atribuible a su etapa de aclimatación por el sustrato (AR-municipal); siendo evidente el incremento posterior en estas velocidades de crecimiento de biomasa en las subsiguientes cinéticas, indicando por lo tanto diferencias en la composición de las poblaciones microbianas presentes en el SBR-columna.



- Los parámetros cinéticos obtenidos permiten definir la biodegradabilidad de la materia orgánica presente en el AR-municipal para posteriormente hacer prospectivas de optimización y escalamiento del SBR-columna con diferentes cargas másicas de sustrato.

## Referencias

Baños, U (2010). *Aplicación de modelos cinéticos al tratamiento biológico de efluentes fenólicos en reactores discontinuos de alimentación secuenciada*. Universidad Autónoma de Pachuca. Pachuca de Soto Hidalgo.

Bretti J. F., (2002) *Sistema de Tratamiento SBR*. Reporte Técnico. Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas e Ingeniería, Pontificia Universidad Católica Argentina. Buenos Aires.

Beun J; Hendriks A; Van Loosdrecht M; Morgenroth E; Wilderer P y HEIJNEN J. (1999). Aerobic granulation in a sequencing batch reactor, *Water Res.* 33 (10): 2283-2290

Calvario, C. (2006). *Biodegradación de fenol en un reactor aerobio de granulación*. Centro de Investigación en Tecnologías de información y Sistemas. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca de Soto Hidalgo.

CONAGUA. (2015). Cuidemos y valoremos el agua que mueve a México. Recuperado de: [http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/carrera\\_agua\\_2015.pdf](http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/carrera_agua_2015.pdf)  
Fecha de consulta: 24/05/2016

NMX-AA-030-SCFI-2001. Análisis de agua-Determinación de la Demanda Química de Oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- Métodos de prueba, publicada en el Diario Oficial de la Federación.

Reichert P. (1998). *Aquasim 2.0. User Manual. Computer Program for the Identification and Simulation of Aquatic Systems*; 2-10, Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology (EAWAG), Dübendorf, Suiza.

**Uso de modificadores del comportamientos para el control biológico de *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal en Agave**

Matilde Villa, Yuridia Mercado, Miguel Anducho, Jorge Álvarez, Alejandro Téllez

M. Villa, Y. Mecado.M.Anducho, J.Alvarez y A.Tellez  
Universidad Politécnica de Pachuca (UPP)  
maty\_vg@upp.edu.mx

F. Trejo, (eds.). Ciencias Multidisciplinarias. Proceedings-©ECORFAN-México, Pachuca, 2017.

## Abstract

The genus *Agave* is undoubtedly a representative of Mexico's identity in the world. Its distribution ranges from the arid and semi-arid zones of North America and Mexico to Colombia and Venezuela. Recently this genus has been classified within the family Asparagaceae, subfamily Agavoidea. Of the eight genera, it has the highest number of species, of which 125 of the 166 are found in Mexico. This crop had not presented significant phytosanitary problems, but currently presents a risk of contracting diseases because it is a monoculture. Pests and diseases have the opportunity to settle on the site and colonize the crop, within the pests that drastically affect the magueyeras areas are suckers and borers.

Among the latter, the agave weevil (*Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal) is one of the main pests of the agave, the damage generated is pine cone boring and the presence of the larvae, besides being a natural vector of bacteria, for example *Erwinia cartovora*. In the last years agave cultivation has presented important phytosanitary problems, in which the control programs apply cultural and agrochemical methods. However, the indiscriminate use of pesticides has led to the emergence of more resistant insect populations, in addition to causing a negative environmental impact. Currently, new alternatives are being sought for pest insect management, among which are the use of semiochemical substances that act in chemical communication between organisms. Among these substances are the aggregation pheromones, which properly intervene in the interaction within the same species, so that the control of pests using semiochemicals has been booming in recent years, with *Agave* being a crop in which this strategy of pest fighting is promising.

## Agave, Pheromones, etológico control, *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal

### 1 Introducción

El género *Agave* es sin duda un representante de la identidad de México en el mundo, su distribución contempla desde las zonas áridas y semiáridas de Norteamérica y México hasta Colombia y Venezuela. Este cultivo no había presentado problemas fitosanitarios considerables, pero actualmente presenta riesgo de contraer enfermedades por ser un monocultivo. Las plagas y enfermedades tienen la oportunidad de establecerse en el sitio y colonizar al cultivo, dentro de las plagas que afectan drásticamente a las zonas magueyeras se encuentran los chupadores y barrenadores. Entre estos últimos, el picudo del agave (*Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal) es una de las principales plagas, los daños que genera es el barrenamiento y la presencia de las larvas en las piñas, además de ser un vector natural de bacterias por ejemplo de *Erwinia cartovora*.

Ante lo anterior, los últimos años el cultivo de agave ha presentado importantes problemas fitosanitarios, en los cuales los programas de control aplican métodos culturales y agroquímicos. Sin embargo, el uso indiscriminado de plaguicidas ha dado origen a la aparición de poblaciones de insectos más resistentes, además de causar un impacto ambiental negativo. Actualmente se están buscando nuevas alternativas de manejo de insectos plagas entre las que se encuentran el uso de sustancias semioquímicas las cuales actúan en la comunicación química entre organismos. Entre estas sustancias se encuentran las feromonas de agregación, las cuales propiamente intervienen en la interacción dentro de una misma especie, por lo cual el control de plagas usando semioquímicos ha tenido auge los últimos años, siendo el *Agave* un cultivo en el cual esta estrategia de combate de plaga es promisorio.

## 2. Generalidades del *Agave* en México

El género *Agave* es sin duda un representante de la identidad de México en el mundo, su distribución contempla desde las zonas áridas y semiáridas de Norteamérica y México hasta Colombia y Venezuela (CIATEJ, 2015). Específicamente en México se encuentran el 75 % de las especies que crecen en el continente americano y un 55 % son endémicas (Castro-Díaz & Guerrero-Beltrán, 2013). Recientemente a este género se le ha clasificado dentro de la familia Asparagaceae, sub familia Agavoidea. De los ocho géneros, es el que posee mayor número de especies de las cuales 125 de las 166 se encuentran en México (CIATEJ, 2015).

Entre los estados representativos de la Republica Mexicana en los que se cultiva esta especie se encuentran: Jalisco, Zacatecas, Guanajuato, Oaxaca, Michoacán, Nayarit, Puebla México, Guerrero y Morelos, los cuales en conjunto hasta el 2016 reportaron un volumen de producción nacional de 1.88 millones de toneladas (SIAP, 2016). Cabe destacar que el principal productor de agave es el estado de Jalisco (concentra el 80 % de agaves tequileros) el cual genero en el 2015 un millón 340 mil 811 toneladas con un valor de alrededor de 6 millones de pesos, lo cual demuestra que este cultivo genera una gran derrama económica derivada de su cadena productiva (SEDAGRO, 2016).

En México este genero ha sido aprovechado por diversos pueblos indígenas y mestizos desde hace siglos, desde entonces representa uno de los recursos naturales más importantes desde el punto de vista económico, cultural y social (García-Mendoza, 2013). Estudios etnobotánicos recientes hacen mención de los usos antropocéntricos y de las estructuras morfológicas de la planta para la obtención de diversos productos, entre los que se encuentran: fibras textiles, forrajes, gusanos de maguey, jarabes de agave, bebidas fermentadas (savia de la inflorescencia, jugo de hojas crudas o de piñas cocidas) como el pulque y bebidas destiladas (tequila, mezcal y bacanora) (Colunga-GarcíaMarín & Zizumbo-Villarreal, 2007; Castro-Díaz & Guerrero-Beltrán, 2013; García-Mendoza, 2007; Muñiz-Márquez, Rodríguez-Jasso, Rodríguez-Herrera, Contreras-Esquivel & Aguilar-González, 2013) (tabla 7.1).

**Tabla 7.1** Principales usos socioeconómicos del Agave

Productos	Especie de agave	Referencia bibliografica
Tequila	<i>A. tequilana</i> Weber var. Azul	Bautista <i>et al.</i> , 2001; Narváez y Sánchez, 2009; Castro-Díaz y Guerrero-Beltrán, 2013.
Mezcal y Bacanora	<i>A. angustifolia</i> Haw., <i>A. karwinski</i> Zucc., <i>A. marmorata</i> Roezl, <i>A. potatorum</i> Zucc., <i>A. americana</i> L. var. <i>oaxacensis</i> Gentry, <i>A. cupreata</i> Trel. & Berger, <i>A. rhodacantha</i> Trel., <i>A. salmiana</i> Otto ssp. <i>crassispina</i> (Trel.) Gentry, <i>A. wocomahi</i> Gentry, <i>A. durangensis</i> Gentry y <i>A. maximiliana</i> Baker	De León <i>et al.</i> , 2006; Castro-Díaz y Guerrero-Beltrán, 2013; Colunga-GarcíaMarín y Zizumbo-Villarreal, 2007.
Gusanos rojo y blanco, forrajes	<i>A. salmiana</i> , <i>A. shawii</i> Engelm., <i>A. atrovirens</i> Karw., <i>A. avellanidens</i> Trel. y <i>A. kerchovei</i> Lem, <i>A. bovicornuta</i> Gentry, <i>A. angustifolia</i> Haw. y <i>A. fourcroydes</i>	Castro-Díaz y Guerrero-Beltrán, 2013; Colunga-García Marín y Zizumbo-Villarreal, 2006.
Pulque	<i>A. salmiana</i> Otto ex Salm., <i>A. mapisaga</i> Trel., <i>A. atrovirens</i> Karw. ex Salm. <i>A. ferox</i> Koch, <i>A. hookeri</i> Jacobi, y <i>A. americana</i> L.	Colunga-García Marín y Zizumbo-Villarreal, 2007.
Jarave de agave, y miel	<i>A. salmiana</i> , <i>A. Mapisaga</i> , <i>A. Atrovirens</i> , <i>A. Ferox</i> y <i>A. scabra</i>	Narváez y Sánchez, 2009; Alanís y González, 2011; Castro-Díaz y Guerrero-Beltrán, 2013.

Con respecto a las bebidas destiladas, el tequila es uno de los productos más tradicionales de México y cuenta con la denominación de origen (DOT) controlada, lo que significa que el tequila producido en México, y no en otros lados, tiene derecho a llamarse así. Hasta el 2014 registro una producción total de 242.4 millones de litros de tequila, de los cuales el 71% se destinó a la exportación siendo Estados Unidos el principal consumidor, seguido de Francia, España y Brasil.

La aceptación del tequila ha sido importante que los países asiáticos han abierto sus importaciones en el aumento de la producción y exportación de esta bebida. En el mercado a nivel internacional está presente en más de 120 países posicionándolo como una de las bebidas más reconocidas en el mundo, gracias al esfuerzo y trabajo conjunto realizado entre la cadena productiva Agave-Tequila y el gobierno Mexicano (CIATEJ, 2015). Este producto representa uno de los símbolos de México y ha contribuido a abrir las puertas a otro producto derivado del agave: el Mezcal, el cual se ha hecho lugar en el mercado internacional y ganando popularidad en el mundo. Por otra parte, el pulque, resultado de la fermentación alcohólica del aguamiel tienen una relevancia regional ya que es consumida por poblaciones indígenas y mestizas de muchas regiones del país, esta bebida alcohólica posee características probióticas, la cual fue documentada desde épocas prehispánicas y actualmente se conoce el efecto benéfico de consorcios microbianos sobre el sistema digestivo (Cervantes-Contreras & Pedroza-Rodríguez, 2007).

El pulque como bebida representante del México prehispánico ha disfrutado y sorteado diversas vicisitudes, desde su prohibición en los años veinte, auge económico en el siglo XIX, baja producción en 1953 por falta de mercado, el consumo de otras bebidas alcohólicas (cerveza, vino, tequila o brandy), precios bajos y la escasez de plantaciones han desplazado al pulque perjudicando su presencia, por lo anteriormente descrito se puede decir que este producto no es rentable y es escasamente producido. Por ello es importante fomentar la cultura y el uso racional del agave para su producción en continuo de aguamiel y/ pulque con la finalidad de incrementar su valor comercial y posible escalamiento a nivel industrial (Gonzales, Vega & Hurtado, 2015; Muñiz-Márquez *et al.*, 2013).

La importancia del agave no solo se centra como una planta generadora de bebidas, si no también como una fuente que sintetiza y almacena productos con alto valor agregado como lo son la miel, néctar y fructanos o inulina (García-Cúbelo, López, Bocourt, Collado, Albelo & Núñez, 2015; Godínez-Hernández; Aguirre-Rivera; Juárez-Flores; Ortiz-Pérez & Becerra-Jiménez, 2016). En México estos productos son generados por empresas las cuales han demostrado tener potencial para la producción de fructanos, así como el desarrollo de procesos de producción y comercialización para satisfacer la demanda nacional de azúcares prebióticos, incluso algunas realizar exportaciones a países como Europa, Asia y EUA contribuyendo a la producción y al desarrollo de productos alimenticios funcionales derivados de agaves (Ávila, 2013).

Por otra parte, las larvas del agave, gusano rojo (chinicuil) y blanco es un alimento en la gastronomía tradicional, nutricionalmente posee siete aminoácidos esenciales y un valor energético de 607.9 kcal/100 g (Castro-Díaz & Guerrero-Beltrán, 2013), son muy apreciados y buscados por la población local y por personas ajenas a las zonas. En específico, el precio de los gusanos blancos crudos o vivos dentro de la temporada es de \$600 a \$700 pesos por litro, dependiendo de la disponibilidad, fuera de temporada el precio se eleva hasta los \$1000 ó \$ 1200 pesos. Con respecto al gusano rojo, es considerado como un platillo exótico, su precio en estado fresco es de \$ 500 pesos por kilo en temporada y de \$700 pesos en los meses en los que su producción escasea (Miranda, Quintero & Ramos, 2011). Ambas larvas constituyen una fuente de ingreso económico temporal para las habitantes de las comunidades ubicadas en regiones áridas y semiáridas del centro de México (Mendoza-Mendoza, Gómez-Hernández, Ávila-Ramírez, Hernández-Domínguez & Rodríguez-Marín, 2016).

### 3. Plaga del agave, *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal

Sin duda los productos obtenidos del *agave* tienen una importancia cultural y económica y social, sin embargo existe un problemática que afecta de manera directa al cultivo, la presencia de plagas insectiles, malezas y enfermedades, las cuales disminuyen su rentabilidad al afectar la cantidad y calidad de cosecha, además de incrementar los costos de producción derivados de las medidas preventivas y correctivas para controlar dichos problemas (CRT, 2004). Con respecto a las plagas insectiles, la de mayor importancia económica de acuerdo a lo reportado al acuerdo nacional emitido en el diario oficial de la federación es el picudo del agave, *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Figura 7.1), el cual afecta al cultivo (80 %) en todo su proceso de producción.

Los daños principales son el barrenamiento (piña y pencas) ocasionado por las larvas, por otra parte los adultos, además de alimentarse de los tejidos del agave pueden ser un vector natural de hongos y bacterias fitopatógenas, por ejemplo de *Erwinia cartovora*. La relación entre la infestación del insecto con la pudrición por presencia de las bacterias es que en las plantas que presentan síntomas de pudrición del cogollo hay adultos y ocasionalmente larvas de picudos (Solís, 2001; Bravo *et al.*, 2004; Espinosa *et al.*, 2005). Esta plaga es considerada una especialista en sus hábitos alimentario, ya que solo utiliza plantas pertenecientes a la familia de las Asparagaceae y Dracaenaceae las cuales tienen importancia ecológica y ornamental, entre principales cultivos que afecta se encuentran: el henequén, sisal, agaves pulqueros, mezcaleros y tequileros (Rodríguez-Rebollar *et al*, 2012).

**Figura 7.1** Picudo del agave (*Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal); larva (a), adulto (b) y daños (c y d)



Fuente: SENACICA

El control de *S. acupunctatus* Gyllenhal con medios químicos no ha sido exitoso debido a que las larvas y adultos se alojan dentro de los tejidos de la planta, y por lo tanto los insecticidas tiene poco o nulo contacto con el producto, los daños y pérdidas que origina esta plaga sobre el cultivo del agave se consideran de importancia (Rodríguez-Rebollar *et al*, 2012).

Se ha reportado que esta plaga hasta el 2013 ha afectado a más de 40 millones de plantas de agave los últimos 15 años y 90 millones de plantas son susceptibles a ser afectadas. Debido a lo anterior, es necesario buscar mejores alternativas de control que puedan ser incluidas dentro de un manejo integrado para este insecto, por ello la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) ha emitido un acuerdo para establecer la campaña y medidas fitosanitarias que deberán aplicarse para el control y su caso erradicación del picudo del agave, así como disminuir el daño de enfermedades asociadas a dicha plaga, estas acciones requieren de mayor investigación y desarrollo que contribuyan a controlar el problema, o en el mejor de los casos a eliminar estos factores que afectan al cultivo del agave.

De no tomarse acciones necesarias e inmediatas, el cultivo del agave está expuesto a ser afectado considerablemente en zonas regionales y productoras, ocasionando daños o pérdidas como tal del cultivo, así como subsecuentes consecuencias en sus productos, tales como el incremento en los precios de tequila y mezcal, disminución de las exportaciones y la generación de productos de alto valor agregado; de manera regional, la desaparición de bebidas ancestrales y manjares culinarios, Además del impacto ecológico que representaría su disminución o ausencia.

#### **4. Uso de modificadores del comportamiento, feromonas para el control biológico**

La aplicación de fungicidas de forma indiscriminada ha dado origen a la aparición de poblaciones de insectos cada vez más resistentes a estos productos, impacto ambiental negativo, afectando a los enemigos naturales, contaminación de los mantos freáticos y el aire (Dietz *et al.*, 1991; Namesny, 2007). Ante lo anterior, es trascendental el uso de una técnica alternativa para disminuir los daños y garantizar la sustentabilidad, seguridad ambiental y calidad de los productos.

El control etológico recientemente está tomando auge, como referente se encuentra su uso en cultivos de Mosca mediterránea de la fruta (*Ceratitis capitata*), Cogollero del maíz (*Spodoptera frugiperda*), Mosca del melón (*Dacus cucurbitae*) Picudo del banana, palma y papaya (*Rhynchophorus palmarum*). Su principio radica en la represión de plagas que aprovechan, de alguna manera, las reacciones de comportamiento de los insectos (Blanco 2004; Cox 2004; Jutsum & Gordon, 1988; Namesny, 2007). El comportamiento se debe a estímulos que se producen como mecanismos de comunicación entre las misma especie. Los mensajes que se envían y reciben pueden ser de orientación, de alarma o atracción sexual. Desde el punto de vista práctico el control etológico incluyen la utilización de atrayentes en trampas y cebos, repelentes, inhibidores de alimentación, feromonas, entre otras sustancias con efectos similares (Cox, 2004; Jutsum & Gordon, 1988; Phillips, 1997).

La feromonas son moléculas orgánicas (acetatos, aldehídos, alcoholes, cetonas, terpenoides, entre otros.) secretadas por un individuo con el fin de provocar un comportamiento determinado en otro individuo de la misma u otra especie, en el cual se produce una reacción respuesta (cambio en el comportamiento) (Blanco, 2004; Namesny, 2007; Pérez, 1997). Son biológicamente activas en cantidades mínimas (por ejemplo  $10^{-14}$  mg), pueden estar formadas por un solo compuesto, pero por lo regular son una mezcla de compuestos con un peso molecular bajo (80 a  $300 \text{ g mol}^{-1}$ ) (Blanco, 2004; Phillips, 1997).

Estos modificadores del comportamiento pueden ser sexuales; es decir que atraen insectos del sexo opuesto, de agregación; las cuales concentran insectos de la misma especie y de señalamiento; indicar caminos o rutas que deben seguir otros individuos; también existen de alarma, que dispersan poblaciones de insectos; atrayentes letales, antiagregación, reconocimiento, espaciamiento, reguladores de desarrollo, etc. (Blanco, 2004; Chiri, 1989, Jutsum & Gordon, 1988; Phillips, 1997).

**Tabla 7.2** Comparación entre feromonas e insecticidas

Factores	Feromona	Insecticida
Toxicidad	No es tóxico para mamíferos y peces	Toxico
Efecto sobre enemigos naturales	Ninguna	Sí, plagas secundarias
Contaminación	Ninguna	Sí
Resistencia o tolerancia	Ninguna	Sí
Aplicaciones	1-2 veces/año	Muchas veces
Densidad de población	Menos efectiva en densidades altas	Efectivas en altas densidades
Tamaño del área tratada	Mayor efectividad en campos grandes	Efectividad en campos chicos
Época de aplicación	Periodo de vuelo	Todo el tiempo
Clima	Afectada	Afectada
Selectividad	Insectos específicos	Ninguna

Fuente: Blanco, 2014

Las feromonas son las más estudiadas y utilizadas en un programa de control de plagas, proporcionan ciertas ventajas con respecto al uso de insecticidas (tabla 7.2) entre las que se encuentran su bajo costo, facilidad de manejo y transporte, alta sensibilidad y protección al ambiente (Blanco, 2004; Pérez, 1997). Se usan para el monitoreo de poblaciones endémicas (la distribución, abundancia de las plagas, actividad estacionalidad) y determinar el momento oportuno para aplicar otros métodos de muestreo o de control (Blanco, 2004; Phillips, 1997 & Namesny, 2007).

En la práctica, el uso de este método emplea una estructura para retener insectos (trampa) y un liberador de feromonas (dispositivo) (tabla 7.3), y su éxito está en función del conocimiento del comportamiento del insecto, así como la adecuada elección de dispositivos y las trampas, las cuales deben ser eficaces para la captura, por ello las características físicas (tipo de trampa, color, tamaño), altura a la que son colocadas, número y posición son determinantes. Por otra parte, los dispositivos deben ser diseñados considerando la liberación controlada de sustancia activa en cantidades necesarias considerando los principios farmacéuticos, donde se regula la cantidad y velocidad de liberación de un compuesto.

**Tabla 7.3** Estructuras y liberadores de feromonas

<b>Trampa</b>	Comerciales: Alada, Delta, Lindgren, Cabo de tubo, Aplicaciones, Nadel, MacPhail y balde.
	Caseras: Botellas, galones de plástico y cubetas.
<b>Dispositivo</b>	Estructuras laminadas: películas de polímeros adheridas. Tapones: elaborados de corcho o plástico, filtros de algodón Tabletas o cápsulas. Hojuelas.

Fuente: Blanco, 2014

El uso de feromonas ha tenido exitosas aplicaciones, entre las que se encuentran:

**Manejo:** Defoliador (*Orgyia pseudotsugata*) del pino Oregon en Norteamérica para su oportuna detección y monitoreo anual del insecto (Manson & Wickman, 1991). **Disminuir daños:** Polillas (*Pthorimaea operculella* y *Tecia solanivora*).

**Disminuir costo y uso de químicos:** Cultivos de papa en Costa Rica (Rodríguez *et al*, 1991).

**Combate:** *Pectinophora gossypiella* en cultivos de algodón en Estados Unidos, Pakistán, Egipto y Perú (Carde & Minks, 1995).



**Interrupción del apareamiento:** *Grapholita molesta*, Busck en arboles de melocoton en la Península del Niágara (Trimble *et al.* 2001), *Planococcus ficus* en Viñedos de California (Walton, Daane, Bentley, Millar, Larsen & Malakar-Kuenen, 2005) y en arboles de pera en Australia (Il'chev, Stelinski, Williams & Gut, 2006).

**Captura de masiva:** Feromonas de agregación, principalmente en insectos como medio para encontrar su pareja o explorar un hospedero.

**Trampeo,** Uso en *Dendroctonus* spp., *Ips* spp., *Scolytus* spp., *Metamasius* en caña (uso restringido en Costa Rica), *Cosmopolites sordidus* en banano y *Rhynchophorus palmarum* en palma aceitera (Chinchilla y Oehlschlager 1993).

En México desde hace 15 años se usan feromonas a nivel comercial, se utilizan para el control de plagas hortícolas como el gusano alfiler (*Keiferia lycopersicella*), palomilla espalda de diamante (*Plutella xylostella*) y gusano soldado (*Spodoptera exigua*), en frutales, para el combate de palomilla de la manzana (*Cydia caryana*) y gusano rosado (*Pectinophora gossypiella*) (Namesny, 2007) y en asparagaceae se ha utilizado para el combate y mitigación de *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal. Los estudios y aplicaciones de feromonas en agave para el combate del picudo han sido fundamentados por investigaciones enfocadas a identificar los principios activos de las plantas, así como el comportamiento y los activos generados por los insectos. Los resultados indican que las asparagaceae generan compuestos atractivos para los picudos los cuales se han identificado como  $\gamma$ -terpineno (atractivo para hembras),  $\alpha$ - pineno (para machos), linalol y 3 careno (ambos sexos) en cultivos de henequén (Valdez-Rodríguez *et al.*, 2004).

Por otra parte, investigaciones de Ruiz-Montiel *et al.*, 2008, revelan y han identificado que los machos del picudo del agave genera una feromona de agregación compuesta por al menos dos alcoholes y dos cetonas (2-metil-4-heptanona y la 2-metil-4-octanona) las cuales son atractivas para ambos sexos. En campo se ha demostrado que los compuestos generados por la planta son atractivos a los picudos del agave, las mayores capturas de insectos se obtuvieron cuando se combinaron las dos cetonas. Esto sugiere que los compuestos volátiles de la planta hospedera atraen al insecto o sinergizan la respuesta con la presencia de la feromona (Rodríguez-Rebollar *et al.*, 2012), tal y como describe Jaffé *et al.* (1993) al probar una feromona de agregación para el picudo del cocotero, reportando que es más efectiva con la presencia de volátiles de la planta hospedera, ya que la liberación de feromona de agregación por los curcuionidos ocurre justo cuando se alimentan del sustrato. Ante lo anteriormente descrito, el control de plagas en agave es esencial el uso de feromonas de agregación y una fuente de alimento (piñas troceadas) para hacer mas eficientes las capturas (figura.)

Investigaciones en el 2012, realizadas por Azuara-Domínguez y colaboradores consideraron para el trampeo de *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal utilizar el tejido de *Agave tequilana* F.A.C. Weber var. azul (piña o cabeza) en estado fermentado y el compuesto sintético 2-metil-4- octanona (feromona) en diferentes combinaciones usando un diseño experimental en bloques completamente al azar y analizar los compuestos volátiles que se generaban durante el proceso usando la técnica de Micro extracción en Fase Solida. Como resultados reportaron que las trampas cebadas con la feromona y cabeza en estado fermentado, capturaron más picudos que los otros tratamientos, además en ellas identificaron los siguientes volátiles: acetato de etilo, etanol, 2-butanol, y ácido acético, estos compuestos liberados por la fermentación son atractivos y producen sinergia en la respuesta del picudo del agave hacia su feromona de agregación. Finalmente el grupo de investigación concluyó que el material fermentado es una alternativa viable para optimizar el trampeo de *S. acupunctatus* en campo.

En el mismo año (2012), las investigaciones se habían centrado en la identificación de compuestos, sin embargo era necesario conocer las proporciones adecuadas en la cual se podía tener un efecto mayoritario en la captura de *S. acupunctatus* Gyllenhal. Ante esta incógnita Rodríguez-Rebollar *et al.* 2012 realizaron experimentos en campo para evaluar el efecto de las proporciones (1:1, 1:2, 1:4, 2:1 y 4:1) y la dosis (50, 100, 150, 200, 350, y 500 mg) de 2-metil-4-heptanona y la 2-metil-4-octanona en la captura de los picudos. Los resultados mostraron que las diferentes proporciones de los dos componentes feromonales no afectaron las capturas de los insectos, pero que las trampas con 2-metil-4-octanona tuvieron mayores capturas que trampas cebadas con la combinación de los dos compuestos. Ante esto, los mismos autores indican que desde el punto de vista práctico, el hecho de que un solo compuesto sea suficiente en la atracción de picudos resulta conveniente, ya que reduce los costos de producción de un cebo comercial. Además también encontraron que la dosis no afectó las capturas de trampas cebadas con la feromona y que las trampas cebadas con los compuestos feromonales sintéticos capturaron más hembras que machos, esto último ya había sido reportado por Ruiz-Montien *et al.* 2008 y García Coapio, 2009, en estudios de *S. acupunctatus*.

Para 2016, Figueroa-Castro y colaboradores centraron su investigación en el estudio del radio de atracción de trampas cebadas con feromona sintética y tejido de agave para la captura de *S. acupunctatus*, mediante la técnica de captura-marcaje-liberación y recaptura, además también evaluaron la distancias entre trampas para el monitoreo de este insecto. Los resultados obtenidos mostraron que las trampas cebadas con feromona sintética y tejido de agave atrajeron a *S. acupunctatus* hasta en un rango de 120 m. Adicionalmente, encontraron que el punto cardinal en donde se liberaron los insectos afectan la recaptura de los picudos y en cuanto a distancia entre trampas, reportaron que las trampas colocadas a las mayores distancias entre sí (100, 200 o 250 m) capturaron más picudos que las trampas colocadas a menores distancias. Finalmente concluyeron que para el monitoreo de *S. acupunctatus* se sugiere usar estas trampas cebadas con feromona sintética y tejido de agave a una densidad de una trampa por cada 6 hectáreas de agave tequilero.

Actualmente, el uso de feromonas aun es muy restringido, incluso en la agricultura mas desarrollada, entre los problemas que enfrentan se encuentran: La calidad y su idoneidad sobre la posible variabilidad de las especies, la adecuación de tipos de trampas, presencia simultánea de varias plagas y la necesidad de realizar planteamiento en grandes superficies. Por lo cual es importante generar información de los requerimientos ecológicos y biológicos de cada especie a combatir, conocer cuál es el efecto de la tasa de liberación del componente sobre la captura, influencia de tipo y color de la trampa, altura a la que se debe colocar y su densidad optima (Rodríguez-Rebollar *et al.* 2012; Huxman *et al.* 1997).

Ante lo anterior el uso de feromonas para el combate de *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal es prometedor, además tiene oportunidades de investigación sobre el cultivo, el insecto y el medio que lo rodea para un mejor entendimiento con la oportunidad de evitar la disminución o desaparición por plagas de una planta representante de México

## Anexos

Tabla 7.4 Principales usos socioeconómicos del Agave

Productos	Especie de agave	Referencia bibliografica
Tequila	<i>A. tequilana</i> Weber var. Azul	Bautista <i>et al.</i> , 2001; Narváez y Sánchez, 2009; Castro-Díaz y Guerrero-Beltran, 2013.
Mezcal y Bacanora	<i>A. angustifolia</i> Haw., <i>A. karwinski</i> Zucc., <i>A. marmorata</i> Roezl, <i>A. potatorum</i> Zucc., <i>A. americana</i> L. var. <i>oaxacensis</i> Gentry, <i>A. cupreata</i> Trel. & Berger, <i>A. rhodacantha</i> Trel., <i>A. salmiana</i> Otto ssp. <i>crassispina</i> (Trel.) Gentry, <i>A. wocomahi</i> Gentry, <i>A. durangensis</i> Gentry y <i>A. maximiliana</i> Baker	De León <i>et al.</i> , 2006; Castro-Díaz y Guerrero-Beltran, 2013; Colunga-GarcíaMarín y Zizumbo-Villarreal, 2007.
Gusanos rojo y blanco, forrajes	<i>A. salmiana</i> , <i>A. shawii</i> Engelm., <i>A. atrovirens</i> Karw., <i>A. avellanidens</i> Trel. y <i>A. kerchovei</i> Lem, <i>A. bovicornuta</i> Gentry, <i>A. angustifolia</i> Haw. y <i>A. fourcroydes</i>	Castro-Díaz y Guerrero-Beltran, 2013; Colunga-GarcíaMarín y Zizumbo-Villarreal, 2007.
Pulque	<i>A. salmiana</i> Otto ex Salm., <i>A. mapisaga</i> Trel., <i>A. atrovirens</i> Karw. ex Salm. <i>A. ferox</i> Koch, <i>A. hookeri</i> Jacobi, y <i>A. americana</i> L.	Colunga-GarcíaMarín y Zizumbo-Villarreal, 2007.
Jarave de agave, y miel	<i>A. salmiana</i> , <i>A. Mapisaga</i> , <i>A. Atrovirens</i> , <i>A. Ferox</i> y <i>A. scabra</i>	Narváez y Sánchez, 2009; Alanís y González, 2011; Castro-Díaz y Guerrero-Beltran, 2013.
Fibras textiles y fuente de saponinas	<i>A. lechuguilla</i> , <i>A. funkiana</i> Koch & Bouché), <i>A. fourcroydes</i> Lem.) y <i>A. sisalana</i> Perrine.	Alanís y González, 2011; Castro-Díaz y Guerrero-Beltran, 2013; Colunga-GarcíaMarín y Zizumbo-Villarreal, 2007.

Tabla 7.5 Comparación entre feromonas e insecticidas

Factores	Feromona	Insecticida
Toxicidad	No es tóxico para mamíferos y peces	Toxico
Efecto sobre enemigos naturales	Ninguna	Sí, plagas secundarias
Contaminación	Ninguna	Sí
Resistencia o tolerancia	Ninguna	Sí
Aplicaciones	1-2 veces/año	Muchas veces
Densidad de población	Menos efectiva en densidades altas	Efectivas en altas densidades
Tamaño del área tratada	Mayor efectividad en campos grandes	Efectividad en campos chicos
Época de aplicación	Periodo de vuelo	Todo el tiempo
Clima	Afectada	Afectada
Selectividad	Insectos específicos	Ninguna

Fuente: Blanco, 2014

Tabla 3 Estructuras y liberadores de feromonas

Trampa	Comerciales: Alada, Delta, Lindgren, Cabo de tubo, Aplicaciones, Nadel, MacPhail y balde.
	Caseras: Botellas, galones de plástico y cubetas.
Dispositivo	Estructuras laminadas: películas de polímeros adheridas. Tapones: elaborados de corcho o plástico, filtros de algodón Tabletas o cápsulas. Hojuelas.

Fuente: Blanco, 2014

## 5. Agradecimiento

A la Universidad Politécnica de Pachuca (UPP) y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

## 6. Conclusiones

El tema combate de plagas con feromonas para el cultivo del agave es una estrategia nueva y prometedora la cual permite el monitoreo de insectos sin causar deterioro en el ambiente ni afectar otras especies, por lo cual su inclusión en programas de manejo integral de plagas es prometedora, además posee diversas oportunidades de investigación entre las que se encuentran; obtener mas información acerca de la biología del picudo, la influencia de las condiciones ambientales sobre su comportamiento y dispersión, lo cual ayudaría al rescate y prevención de plagas en familias Asparagaceae y Dracaenaceae.

## 7. Referencias

Alanís, G. J. & M. González. (2011). Formas de uso de los magueyes (*Agave* spp.) en Nuevo León, México. *RESPYN*. 5:287-299.

Ávila, F. A. (2013). Prebióticos: Alternativas mexicanas. *Horizonte Sanitario*, 12(1): 4-6.

Azuara-Dominguez, A., Cibrián-Tovar, J., Terán-Vargas, A. P., Tafoya-Rangel, F., Vega-Aquino, P. & Blanco, C. A. (2012). Trapping *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Curculionidae) with Fermented Tequila Agave, and Identificación of the Attractant Volatiles. *Southwestern Entomologist*, 37(3): 340-349.

Bautista, M., L. García, R. Salcedo & Parra, L. A. (2001). Azúcares en agaves (*agave tequilana* weber) cultivados en el estado de Guanajuato. *Acta Universitaria*, 11:33-38.

Blanco, H. (2004). Las feromonas y sus usos en el manejo integrado de plagas. M

Carde, R. T., Minks, A. K. (1995). Control of moth pests by mating disruption: Successes and constraints. *Annual Review of Entomology*, 40: 559-85.

Castro-Díaz, A. S & Guerrero-Beltrán J. A. (2013). El agave y sus productos. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 7-2: 53-61.

Cervantes-Contreras, M., Pedroza-Rodríguez, A. M. (2007). El pulque: características microbiológicas y contenido alcohólico mediante espectroscopia Raman. *Publicación Científica en Ciencias Biomédicas*, 5(8):101-212

Chiri, A. (1989). Utilización del control etológico. In Andrews, K; Quesada, JR. Eds. Manejo integrado de plagas en la agricultura: estado actual y futuro. Honduras, Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano. p. 267-282.

CIATEJ. (2015) Ciencia y Tecnología del Tequila: Avances y perspectivas. 2ª Edición. Cap 2, pag 17.

Colunga-García, Marín, P. & Zizumbo-Villarreal, D. (2007). Tequila and other Agave spirits from West-Central Mexico: current germplasm diversity, conservation and origin. *Biodiversity and Conservation*, 66: 1653-1667.

- Cox, P. D. (2004). Potential for using semiochemical to protect stored products from insect infestation. *Journal of Stored Products Research*, 40:1-25.
- CRT. (2004). Actualización de la base de datos y diagnóstico fitosanitario de *Agave tequilana* Weber var. azul en la denominación de origen tequila. Consultado 01-08-2017 en [http://www.crt.org.mx/images/documentos/inventarioa\\_gave2010b.pdf](http://www.crt.org.mx/images/documentos/inventarioa_gave2010b.pdf).
- De León, A. L., González, A. P., Barba, P., Escalante & López, M. G. (2006). Characterization of volatile compounds of mezcal, an ethnic alcoholic beverage obtained from *Agave salmiana*. *Journal of Agricultural, Food Chemistry*, 54:1337-1341.
- Figuerola-Castro, P., Rodríguez-Rebolla, H., Gonzales-Hernandez, H., Solís-Aguilar, J. F. & Del Real-Laborde, J.I. (2016). Attraction range and inter-trap distance of pheromone-baited traps for monitoring *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Dryophthoridae) on blue agave. *Florida Entomologist*, 99(1): 94-100.
- García-Curbelo, Y., G. López, M., Bocourt, R., Collado, Nereyda Albelo, N. & Nuñez, O. (2015). Caracterización estructural de los fructanos de *Agave fourcroydes* (Lem.) con potencialidades como prebiótico. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 49(1): 75-80
- García, M. & Abisaí, J. (2007). Los agaves de México. *Ciencias*, 87: 14-23.
- Godínez-Hernández, C. I., Aguirre-Rivera, J. R., Juárez-Flores, B. I., María D. Ortiz-Pérez, M. D. & Becerra-Jiménez, J. (2016). Extraction and characterization of *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck fructans, *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 22 (1): 60-72.
- González, E. C., Vega, L. N. & Hurtado, P. J. (2015). La ruta del pulque. *Boletín Científico de las ciencias económico administrativas del ICEA*, 3(6).
- Il'ichev, A. L., Stelinski, L. L., Williams, D. G. & Gut, L. J. (2006). Sprayable microencapsulated sex pheromone formulation for mating disruption of oriental fruit moth (Lepidoptera: Tortricidae) in Australian peach and pear orchards. *Journal of Economic Entomology*. 99(6): 2048-54.
- Judson, A. R. & Gordon, R. F. (1989). Insect pheromones in plant protection. New York, US, John Wiley & Sons. P. 369.
- Livier, R. (2016). El agave es un producto prioritario en el agro de Jalisco. Secretaría de Desarrollo Rural. Información obtenida el 10 Agosto de 2017, <https://seder.jalisco.gob.mx/prensa/noticia/1333>.
- Mason, R. R. & Wickman, B. E. (1991). Integrated pest management of the Douglas-fir tussock moth. *Forest Ecology and Management*, 39: 119-130.
- Mendoza-Mendoza, B., Gómez-Hernández, E., Ávila-Ramírez, M. C., Hernández-Domínguez, E. M. & Rodríguez-Marín, M. L. (2016). Biotecnología y Alimentos en Hidalgo: Transitando a la Biotecnología. In Amalgama Arte Editorial S. A. De C. V (Ed.). Aprovechamiento Integral de Maguey (*Agave* spp.) en el Altiplano Hidalguense (pp. 57-71). México.
- México News. 2014. Más Alla del Tequila y El Mezcal, Los derivados del agave están en auge. Información obtenida del: <http://www.mexiconewsnetwork.com/es/gastronomia/agave-mexico/>.

- Miranda, R. G., Quintero S. B. & Ramos R., B. (2011). La recolección de insectos con fines alimenticios en la zona turística de Otumba y Teotihuacán, Estado de México, *Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*, 9(1): 81-100.
- Muñiz-Márquez, D. B., Rodríguez-Jasso, Raúl Rodríguez-Herrera R. M., Contreras-Esquivel, J. C. & Aguilar-González, C. N. (2013). Artisanal Production of Aguamiel: Traditional Mexican Beverage, 5(10): 12-19.
- Namesny, A. (2007). Feromonas, modernas herramientas para el control de plagas. *Revista de Horticultura*. 199: 36-41.
- Narváez, J. A. & Sánchez, L. F. (2009). Agaves as a Raw Material: Recent Technologies and Applications. *Recent Patents on Biotechnology*, 3:185-191.
- Perez, M. I. (1997). Principales métodos biotecnológicos empleados en el control de plagas. *Los artropodos y el hombre*, 20: 27-140.
- Phillips, T. (1997). Semiochemical of stored-product Insects: Research and Applications. *Journal of Stored Products*, 33 (1):17-30.
- Rodríguez, C. L., Lépiz, C. S. & Pérez, D. (1991). Efecto de la distancia entre trampas, sobre la captura de las palomillas de la papa (Lep: Gelechiidae). *Manejo Integrado de Plagas*, 20-21: 47-48.
- Ruiz-Montiel, C., G. García-Coapio, J. C. Rojas, E. A. Malo, L. Cruz-López, I. del Real, & H. González-Hernández. 2008. Aggregation pheromone of *Scyphophorus acupunctatus* (Coleoptera: Curculionidae). *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 127: 207-217.
- SEDAGRO, Secretaria de Desarrollo Agropecuario, gobierno del estado de jalisco, autor, livier. rosales, 28/10/16, <https://seder.jalisco.gob.mx/prensa/noticia/1333>).
- SIAP. 2016. Anuario estadístico de la producción agrícola. Información obtenida de: [http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola\\_siap\\_gb/ientidad/index.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/ientidad/index.jsp).
- Trimble, R. M., Pree, D. J. & Carter, N. J. 2001. Integrated control of oriental fruit moth (Lepidoptera: Tortricidae) in peach orchards using insecticide and mating disruption. *Journal of Economic Entomology*, 94: 276-285.
- Valdés-Rodríguez, S., Ramírez-Choza, J. L., Reyes-López, J. & Blanco-Labra, A. (2004). Respuesta del insecto max (*Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae)) hacia algunos compuestos atrayentes del henequén. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.), 20: 157-166.
- Vaughn M. W., Kent M. D., Walter J. B., Millar, J. G., Larsen, T. E. & Malakar-Kuenen, R. (2006). Pheromone-Based Mating Disruption of *Planococcus ficus* (Hemiptera: Pseudococcidae) in California Vineyards. *Journal of Economic Entomology*, 99 (4): 1280- 1290.

**Apéndice A . Consejo Editor Universidad Politécnica de Pachuca**

CORTÉS-MÁRQUEZ, Sandra Kristal. PhD.  
Universidad Politécnica de Pachuca, México

MARTÍNEZ-MACÍAS, Gerardo. MsC.  
Universidad Autónoma de Guadalajara, México

OLAYA-ESCALONA, Yadira. MsC.  
Instituto de Capacitación Educativa Especializada, México

VÁZQUEZ-CHACÓN, Verónica. MsC.  
Universidad Politécnica de Pachuca, México

OLIVEIRA, Carlos André. PhD.  
Instituto MORFT, España

AHUMADA-MEDINA, Albino. PhD.  
Universidad Politécnica de Pachuca, México

CALLEJA-ARRIAGA, Wilfrido. PhD.  
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, México

NIÑO DE RIVERA Y OYARZABAL, Luis. PhD.  
Instituto Politécnico Nacional, ESIME Culhuacán, México

ROBLES-CAMARILLO, Daniel. PhD.  
Universidad Politécnica de Pachuca, México

BERBER-SOLANO, Tania Paloma. PhD.  
Universidad Autónoma de Nuevo León, México

GALLARDO-HERNÁNDEZ, Ezequiel Alberto. PhD.  
Instituto Politécnico Nacional, ESIME Zacatenco, México

VERA-CÁRDENAS, Edgar Ernesto. PhD.  
Instituto Tecnológico de Pachuca, México

LUIS-RAYA, Gilgamesh. PhD.  
Universidad Politécnica de Pachuca, México

FALCÓN-LÉON, Martha Patricia. PhD.  
Universidad Politécnica de Pachuca, México

MARTÍNEZ-PÉREZ, Armando Irvin. PhD.  
Universidad Politécnica de Pachuca, México

TORRES-GALLEGOS, Edgar Augusto. PhD.  
Instituto Tecnológico de Monterrey campus Edo. de México

VÁZQUEZ-GARCÍA, Rosa Ángeles. PhD.  
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México

REYES-VALDERRAMA, María Isabel. PhD.  
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México

ZAVALA-DE PAZ, Jonny Paul. PhD.  
Universidad Politécnica de Querétaro, México

ISAZA-BOHORQUEZ César Augusto. PhD.  
Universidad Politécnica de Querétaro, México

ANAYA-RIVERA, Ely Karina. PhD.  
Universidad Politécnica de Querétaro, México

CASTILLO-VELÁSQUEZ, Francisco Antonio. PhD.  
Universidad Politécnica de Querétaro, México

GARCÍA-VÁZQUEZ, Juan Pablo. PhD.  
Universidad Autónoma de Baja California, Campus Mexicali, México

MARTÍNEZ-VARGAS, Anabel. PhD.  
Universidad Politécnica de Pachuca, México

CRUZ-LEÓN, Jorge Stefan. MsC.  
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México

HERNÁNDEZ-DOMÍNGUEZ, Carmin. MsC.  
Instituto Tecnológico Superior del Oriente del Estado de Hidalgo, México

RODRÍGUEZ-FLORES, Jazmín. MsC.  
Universidad Politécnica de Pachuca, México

VARELA-CALOS, Enrique. PhD.  
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México

MIRANDA-ROMAGNOLI, Pedro. PhD.  
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México

CASTRO-ESPINOZA, Félix Agustín. PhD.  
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México

SANTOS-SÁNCHEZ, Omar Jacobo. PhD.  
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México

ROBLES-CAMARILLO, Daniel. PhD.  
Universidad Politécnica de Pachuca, México

LIZAMA-PÉREZ, Luis Adrián. PhD.  
Universidad Politécnica de Pachuca, México

SALGADO-RAMÍREZ, Julio César. PhD.  
Universidad Politécnica de Pachuca, México



FLORES-ABAD, Ángel. PhD.  
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México

RIVERO-JUÁREZ, Joaquín. PhD.  
Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez, México

ORTIZ-VERDIN, Alondra Anahi. PhD.  
Universidad Politécnica de Querétaro, México

FUENTES-SILVA, Carlos. PhD.  
Universidad Politécnica de Querétaro, México

ESPINOZA-QUESADA, Eduardo Steed. PhD.  
CONACYT - LAFMIA CINVESTAV, México

ABUNDIS-FONG, Hugo Francisco. PhD.  
CONACYT - Universidad del Istmo, México

CAMPOS-MERCADO, Eduardo. PhD.  
CONACYT - Universidad del Istmo, México

BENÍTEZ-MORALES, José Gerardo. PhD.  
Universidad Politécnica de Pachuca, México

MUÑOZ-PALACIOS, Filiberto. PhD.  
Universidad Politécnica de Pachuca, México

RAMOS-FERNÁNDEZ, Julio César. PhD.  
Universidad Politécnica de Pachuca, México

TREJO-MACOTELA, Francisco Rafael. PhD.  
Universidad Politécnica de Pachuca, México

LÓPEZ-TORRES, María del Rosario. PhD.  
Universidad Politécnica de Tulancingo, México

LOERA-CORRAL, Octavio. PhD.  
Universidad Autónoma Metropolitana, México

## **Apéndice B . Consejo Editor ECORFAN**

Berenjeii -Bidisha, PhD.  
Amity University, India

Peralta Ferriz- Cecilia, PhD.  
Washington University, E.U.A

Yan Tsai- Jeng, PhD.  
Tamkang University, Taiwan

Miranda Torrado- Fernando, PhD.  
Universidad de Santiago de Compostela, España

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

Hira- Anil , PhD.  
Simon Fraser University, Canada

Villasante – Sebastian, PhD.  
Royal Swedish Academy of Sciences, Suecia

Navarro Frómeta -Enrique, PhD.  
Instituto Azerbaidzhan de Petróleo y Química Azizbekov, Rusia

Beltrán Morales -Luis Felipe, PhD.  
Universidad de Concepción, Chile

Araujo Burgos -Tania, PhD.  
Universita Degli Studi Di Napoli Federico II, Italia

Pires Ferreira Maranhão- José , PhD.  
Federal University of Maranhão, Brasil

Raúl Chaparro- Germán , PhD.  
Universidad Central, Colombia

Gandica de Roa- Elizabeth, PhD.  
Universidad Católica del Uruguay, Montevideo

Quintanilla Cóndor- Cerapio, PhD.  
Universidad Nacional de Huancavelica, Peru

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

Tutor Sánchez -Joaquín PhD.  
Universidad de la Habana, Cuba.

Núñez 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

