



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO  
FACULTAD DE QUÍMICA

**EVALUACIÓN DE LA ACCIÓN ADHERENTE DEL MUCÍLAGO DE  
NOPAL *Opuntia ficus-indica* COMO COADYUVANTE EN EL  
USO DE INSECTICIDAS AGRÍCOLAS**

TESIS

Que como parte de los requisitos para  
obtener el Grado de

MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA AMBIENTAL

PRESENTA

**I.Q. CARMEN VIRGEN SALMÓN**

DIRIGIDA POR

**Dr. MIGUEL ANGEL RAMOS LÓPEZ**

Querétaro, Querétaro, 2019.



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Química

Maestría en Ciencia y Tecnología Ambiental

Evaluación de la acción adherente del mucílago de nopal *Opuntia ficus-indica* en el uso de insecticidas agrícolas

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de Maestro en Ciencia y Tecnología Ambiental

**Presenta:**

I.Q. Carmen Virgen Salmón

Dirigido por:

Dr. Miguel Angel Ramos López

Dr. Miguel Angel Ramos López  
Presidente

Dr. Víctor Pérez Moreno  
Secretario

Dr. Juan Campos Guillén  
Vocal

Dr. Mamadou Moustapha Bah  
Suplente

Dr. Rodolfo Figueroa Brito  
Suplente

Centro Universitario, Querétaro, Qro.  
Diciembre, 2019.  
México.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

## RESUMEN

Los coadyuvantes (en su mayoría productos químicos sintéticos) son usados en la agricultura por potenciar la acción de insumos destinados al manejo de plagas y/o enfermedades, facilitando su aplicación y estabilidad. Sin embargo, tienen efectos adversos sobre los seres vivos y el medio. Por ello, las opciones con menor impacto ambiental son necesarias; una de ellas es el uso de compuestos obtenidos de especies vegetales. En esta investigación se evaluó la capacidad adherente del mucílago del nopal (*Opuntia ficus-indica*) el cual por su contenido de polisacáridos de alto peso molecular y su disposición de redes tiene características de adherencia, que podrían mejorar la aplicación y por consiguiente el desempeño de insecticidas (botánico y sintético) asperjados sobre follaje de *Ficus benjamina*. Se evaluó la adherencia a través del área foliar cubierta con diferentes concentraciones de mucílago (0.004, 0.04, 0.4 y 4%). Con la solución al 0.4% se obtuvo la mayor área cubierta alcanzando 95%, seguida por la de 0.04% (58.4%), y las realizadas al 0.004, 4% y el control (agua) con 32.15, 30.2 y 32.40% respectivamente. En este trabajo se decidió utilizar la solución al 4% para obtener el formulado concentrado debido a que éste antes de emplearse debe diluirse. Por otra parte se evaluó la cobertura de los insecticidas comerciales Confidor, Cipermetrina 200 y PHC Neeem, obteniendo los siguientes resultados: PHC Neeem con la mayor área foliar cubierta (83.9%), seguido del Confidor (49.2%) y Cipermetrina 200 con 28.3% mientras que el control (sólo agua) alcanzó 32.4%. Se evaluó la adherencia del formulado de mucílago de nopal al 4% y del adherente comercial Dix 30 ambos a una concentración de 3mL/L obteniendo 96.9% y 94.9% respectivamente.

Al combinar los insecticidas tanto con el coadyuvante comercial (Dix 30) y con el formulado de mucílago, las áreas foliares cubiertas aumentaron en todos los casos, siendo las mayores las de Dix 30 + Confidor (99.73%), el formulado + Cipermetrina 200 (93.5), Dix 30 + PHC Neeem (92.99), formulado + PHC Neeem (89.11), Dix 30 + Cipermetrina 200 (87.37), siendo significativamente iguales. Se realizaron pruebas aceleradas de vida en anaquel tanto al formulado de mucílago al 4% como al coadyuvante comercial, después de 10 semanas de exposición para el formulado la cuenta para bacterias mesófilas, hongos y levaduras reveló ausencia de esos microorganismos y para el Dix 30 las bacterias mesófilas fueron de 8,000,000 ufc/mL y para de hongos 6 ufc/mL. Hubo degradación de color en ambas fórmulas, pasando de color verde a verde pardo para el formulado y de verde cristalino a incoloro para el Dix 30. Una vez realizadas las pruebas aceleradas, los resultados de cobertura foliar fueron: 99.25% para Dix 30 + Confidor, 90.68% para Dix 30 + nim, 87.05% para formulado con nim y 88.96% para mucílago + Cipermetrina 200.

Palabras clave: coadyuvante, adherente, mucílago, *Opuntia ficus-indica*, insecticidas.

## ABSTRACT

Adjuvants, that are mainly synthetic products, are used in agriculture, because they enhance the application and stability of agriculture products used in pest and disease management. Besides this advantage, they have adverse effects on both living organisms and environment. This is why alternatives with less environmental impact are needed. One of these alternatives is the use of compounds obtained from plants. In this investigation, the adherence capacity of *Opuntia ficus-indica* mucilage was evaluated, due to its characteristic adherence that comes from the content and arrangement of high molecular weight polysaccharides. Its adherence could improve the application and performance of insecticides (botanical and synthetic) sprayed on *Ficus Benjamina* leaves. Adherence was measured through the foliar covered area of different mucilage solutions: (0.004, 0.04, 0.4 y 4%). The largest area (95%) was obtained with 0.4% solution, followed by that of 0.04% (58.4%), and finally with 0.004, 4% and control (water) with 32.15, 30.2 and 32.40% respectively. In this work, it was decided to use the 4% mucilage solution in order to have a concentrated formulation, because it is needed to be diluted before use. It was also evaluated foliar area coverage for commercial insecticides Confidor, Cipermetrina 200 and PHC Neeem obtaining the following results: PHC Neeem with the biggest covered foliar area (83.9%), then Confidor (49.2%) and finally Cipermetrina 200 (28.3%), control (water) covered 32.4%. It was evaluated mucilage 4% formula and commercial adherent Dix 30, both at 3 mL/L, providing 96.6% and 94.9% foliar coverage, respectively. Mixing insecticides with commercial adjuvant Dix 30 and the mucilage formula, foliar covered area increases in all cases, giving the largest areas for Dix 30 + confidor (99.73%), mucilage formula + Cipermetrina 200 (93.5%), Dix 30 +PHC Neeem (92.99%), mucilage formula + PHC Neeem (89.11) and Dix 30 + Cipermetrina 200 (87.37%), that were statistically equal. Accelerated Shelf Life Tests were performed for the 4% mucilage formula and the commercial adjuvant, and after 10 weeks, the mucilage formula developed no bacteria, nor mold or yeast, while Dix 30 developed 8.000,000 ufc/mL bacteria and 6 ufc/ml for mold. It was observed a color degradation from green to dark green for the mucilage formula and from light green to colorless for Dix 30. Once ASLT were assessed, the results obtained for the covered foliar area were: 99.25% with Dix 30 + Confidor, 90.68% with Dix 30 + nim, 87.05% with mucilage formula + nim, and 88.96% with mucilage formula + Cipermetrina 200.

Key words: adjuvants, adherent, mucilage, *Opuntia ficus-indica*, insecticides.

## DEDICATORIAS

Dedico este trabajo, el tiempo invertido, las enseñanzas adquiridas, las experiencias vividas a mi familia:

A mis hijos, Pamela y José Miguel, por ser inspiración, fuerza y amor cada día.

A mis padres que tengo el gusto y honor de seguir disfrutando de ellos y quienes han sido ejemplo de superación, bondad y amor siempre.

A mis hermanas July y Paty, por su apoyo y cariño incondicional, de manera profesional y personal.

A mis amigos de siempre y a los nuevos amigos, de quienes siempre he recibido apoyo y cariño: Roberto Romero, Daniel Zamora, Arely Svetlana, Luis Vanegas, Lupita Rivas, Lety León, Martín Villanueva, Rocío Peña, Graciela Buchelli, Enrique Prida, Octavio García, José Luis Rocha Castro, Irma Cárdenas, Rocío Peña, Carlos Romero.

Gracias a Dios por la alegría de ver terminado este sueño pero particularmente por las numerosas bendiciones que recibo de Él día con día.

.....the wind beneath my wings.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para la elaboración del presente trabajo.

Al Dr. Miguel Angel Ramos López, por su incondicional apoyo, enseñanza, paciencia y confianza.

A mis sinodales Dr. Mamadou Moustapha, Dr. Víctor Pérez, Dr., Juan Campos, Dr. Rodolfo Figueroa por sus sugerencias y apoyo.

A mis compañeros del Laboratorio de Compuestos Naturales Insecticidas.

A la Dra. Dulce María Rivera Pastrana, por su apoyo para la liofilización del mucílago.

A la M.C. Erica Beatriz Álvarez Hidalgo, por su apoyo en la pruebas microbiológicas.

Al Dr. Sergio Romero y al Dr. Ramiro Pacheco por su disposición y ayuda.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
1. Antecedentes	1
1.1. Coadyuvantes agrícolas	1
1.1.1. Coadyuvantes adherentes	2
1.1.2. Coadyuvantes surfactantes	5
1.1.3. Coadyuvantes verdes	7
1.1.4. Ésteres de sucrosa	7
1.1.5. Surfactantes derivados de la glucosa	8
1.1.6. Biosurfactantes	9
1.2. <i>Opuntia ficus-indica</i>	10
1.2.1. Generalidades	10
1.2.2. Biología	11
1.2.3. Cultivo	13
1.3. Mucílago de <i>Opuntia ficus-indica</i> (Cactaceae)	13
1.4. <i>Ficus benjamina</i> (Moraceae)	16
1.5. Absorción foliar	19
1.6. Manejo de plagas	22
1.6.1. Control cultural	23
1.6.2. Control genético (Plantas resistentes a la plaga)	23
1.6.3. Productos naturales biológicos	24
1.6.4. Control botánico	25
1.6.5. Aceites	28
1.6.6. Jabones	29
1.6.7. Control químico	29
1.7. Confiabilidad Pruebas Aceleradas de vida en anaquel (ASLT)	31
2. Justificación	33
3. Hipótesis	34
4. Objetivos	35
4.1. Objetivo general	35
4.2. Objetivos particulares	35
5. Metodología	35



5.1.	Obtención del mucílago	35
5.2.	Caracterización del mucílago	36
5.2.1.	Humedad	36
5.2.2.	Espectro FT-IR	36
5.2.3.	Difracción de Rayos X (DRX)	36
5.3.	Determinación de la concentración de mucílago para el formulado adherente	36
5.4.	Evaluación de la adherencia de las diferentes concentraciones de mucílago	37
5.5.	Elaboración del formulado adherente en base de mucílago	37
5.6.	Comparación del desempeño del formulado de mucílago con un adherente comercial: Dix 30	37
5.7.	Pruebas aceleradas de vida en anaquel (ASLT) y estabilidad de las fórmulas	38
5.7.1.	ASLT	38
5.7.2.	Evaluación organoléptica. Degradación de color	38
5.7.3.	Pruebas microbiológicas	38
5.8.	Compatibilidad con insecticidas	38
5.9.	Análisis de resultados	39
6.	Resultados	39
6.1.	Obtención del mucílago	39
6.2.	Caracterización del mucílago	40
6.2.1.	Humedad	39
6.2.2.	Espectro FT-IR	40
6.2.3.	Difracción de rayos X	41
6.3.	Determinación de la concentración de mucílago para el formulado adherente	43
6.4.	Evaluación de la adherencia de las diferentes concentraciones de mucílago	43
6.5.	Compatibilidad con insecticidas	45
6.6.	Elaboración del adherente en base de mucílago	47
6.7.	Comparación del desempeño de la formulación de mucílago con un adherente comercial: Dix 30	47
6.8.	Prueba aceleradas de vida en anaquel (ASLT)	50
6.8.1.	Evaluación organoléptica. Degradación de color.	50
6.8.2.	Pruebas microbiológicas	53

6.9.	Evaluación de las fórmulas adherentes con insecticidas	59
7.	Conclusiones	61
8.	Bibliografía	62

Dirección General de Bibliotecas UAQ

## ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1 Descripción taxonómica de <i>Opuntia ficus-indica</i> (Cactaceae)	11
Cuadro 2 Descripción taxonómica de <i>Ficus benjamina</i> (Moraceae)	18
Cuadro 3 Porcentaje de área foliar cubierta por soluciones de mucílago de nopal <i>O. ficus- indica</i> a diferentes concentraciones	43
Cuadro 4 Porcentaje de área foliar cubierta por insecticidas químico sintéticos y botánico	45
Cuadro 5 Porcentaje de área foliar cubierta del formulado con mucílago de nopal y un coadyuvante comercial a diferentes concentraciones	48
Cuadro 6 Resultados de espectroscopia UV/VIS para muestras de adherente comercial y formulado con mucílago antes y después de las pruebas ASLT.	51
Cuadro 7 Resultados de pruebas microbiológicas realizadas a coadyuvante comercial, formulado con mucílago antes y después de ser sometidas a pruebas de estabilidad y mucílago liofilizado	53
Cuadro 8 Porcentaje de área foliar cubierta por insecticidas (dos químico sintéticos y uno botánico) tanto con formulado con mucílago y con coadyuvante comercial	59

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Nopal <i>Opuntia ficus-indica</i>	12
Figura 1a	Ejemplar de <i>Opuntia ficus-indica</i>	12
Figura 1b	Cladodio con aureola	12
Figura 1c	Espinas y flores de <i>Opuntia ficus-indica</i>	12
Figura 2	Ejemplo de estructura parcial propuesta para el mucílago de <i>Opuntia ficus indica</i>	15
Figura 3	<i>Ficus benjamina</i>	18
Figura 4	Espectro FT-IR para muestra de mucílago liofilizado	40
Figura 5	Difractograma de mucílago de nopal liofilizado	41
Figura 6	Difractograma de diferentes especies de <i>Opuntia</i>	42
Figura 7	Pruebas microbiológicas para Dix 30 antes de someterlo a pruebas de estabilidad	55
Figura 7a	Bacterias mesófilas en muestra de Dix 30 antes de la prueba ASLT	55
Figura 7b	Hongos y levaduras en muestra Dix 30 antes de la prueba ASLT	55
Figura 8	Dix 30. Pruebas microbiológicas después de pruebas ASLT. Recuento de bacterias mesófilas, hongos y levaduras	55
Figura 8a	Bacterias mesófilas en muestra de Dix 30 después de la prueba ASLT	55
Figura 8b	Hongos y levaduras en muestra Dix 30 después de la prueba de ASLT	55
Figura 9	Resultados de pruebas microbiológicas para el formulado de mucílago	56
Figura 9a	Bacterias mesófilas en muestra de formulado de mucílago (control y prueba)	56
Figura 9b	Hongos y levaduras en formulado con mucílago (control y prueba)	56
Figura 10	Resultado de pruebas microbiológicas para mucílago liofilizado	57
Figura 10a	Bacterias mesófilas mucílago liofilizado	57
Figura 10b	Hongos y levaduras en mucílago liofilizado	57

## 1. ANTECEDENTES

### 1.1. Coadyuvantes agrícolas

Los coadyuvantes agrícolas son productos que mejoran o facilitan la actividad de los agroquímicos o que modifican las características de la solución o el asperjado haciendo más eficiente la aplicación de ellos así como su biodisponibilidad; mejorando la solubilidad, volatilidad, gravedad específica, corrosión, vida media o la compatibilidad de los ingredientes activos, características de penetración y asperjado entre otros (Krogh *et al.*, 2002).

A pesar de que el uso de sustancias para mejorar la aplicación de agroquímicos y fitosanitarios data del siglo XVII con el uso de jabones para mejorar la adherencia de las sustancias utilizadas como insecticidas, es hasta la década de los 40's, cuando se impulsó el desarrollo de los coadyuvantes y se ha incrementado su uso en las últimas décadas dadas las necesidades de la agricultura como una estrategia para cubrir los requerimientos de calidad y cantidad de alimentos (Leiva, 2013).

Los coadyuvantes o simplemente adyuvantes son en su mayoría sustancias químicas sintéticas como mezclas de resinas acrílicas, ácidos policarboxílicos y sus sales, glicoles, aminas de ácidos grasos, entre otros (García-Nevárez y Tarango-Rivero, 2009; Leiva, 2013), cuyas propiedades son capaces de modificar el sustrato destino incrementando el área de contacto, mejorar la aplicación y rendimiento de insumos agrícolas modificando el patrón de rocío, gota, calidad de pulverización, reducir el fenómeno de deriva o prolongar la estancia del mismo en la planta favoreciendo la penetración del ingrediente activo a través de la cutícula del insecto y las estructuras de las plantas (Sazo *et al.*, 2008) así como mejorar la tasa del movimiento del plaguicida en la planta (absorción y penetración) (Castro *et al.*, 2013).

De acuerdo a Gómez (2013), las ventajas principales del uso de coadyuvantes son los efectos potenciadores y el consecuente impacto económico. La eficiencia de los coadyuvantes depende de muchos factores: climáticos como temperatura, viento, humedad, luz, lluvia; fisiología de la planta: estructura de la superficies de la hoja, espesor de la capa de cera en la cutícula; características de la mezcla formulada:

balance hidrofílico, concentración, volumen, pH, dureza de la solución; retención de la gota: si se adhieren o rebotan al tocar la superficie entre otros factores.

Los coadyuvantes pueden ser clasificados en dos grandes grupos: los que forman parte de la formulación y los que forman parte de asperjado (son agregados con la formulación en el tanque de asperjado) (Sazo, 2008; Gómez, 2013). Los primeros son llamados aditivos o inertes y los segundos sólo adyuvantes.

Dependiendo de la manera de actuar, así como de sus propiedades, los coadyuvantes se clasifican en surfactantes (catiónicos, aniónicos, anfotéricos o no iónicos dependiendo de qué parte de la molécula (positiva o negativa) se adicione al insumo agrícola (Castro *et al.*, 2013; INTAGRI, 2017) es decir al grupo hidrofílico, emulsificantes, dispersantes, humectantes, adherentes, penetrantes, detergentes, reguladores de pH, antiespumantes, desengrasantes, entre otros (García-Nevárez y Tarango-Rivero, 2009; Castro *et al.*, 2013; Leiva, 2013).

Aunque hay algunos coadyuvantes que pueden cumplir una o más funciones a la vez, los más utilizados son los surfactantes no iónicos y los reguladores de pH. El uso de los surfactantes no iónicos es importante ya que la tensión superficial es una característica determinante en la aplicación de productos agrícolas: al disminuir la tensión superficial, la cobertura de producto es mayor, ya que las gotas se hacen más planas, cubriendo un área mayor. En cuanto al uso de reguladores de pH su importancia radica en la necesidad de regular el pH y evitar la hidrólisis alcalina, es decir, evitar la reacción que tienen los grupos oxidrilos con los componentes activos de los productos agrícolas, bajando su eficiencia (García-Nevárez y Tarango-Rivero, 2009).

#### **1.1.1. Coadyuvantes adherentes**

Son incorporados para modificar alguna propiedad de la solución o del asperjado con el objetivo de evitar el lavado de la aplicación, ayudando a retener los insumos agrícolas por más tiempo sobre la hoja, disminuyendo el lavado por lluvia lo que ahorra posteriores aplicaciones, principalmente modifican la permeabilidad solubilizando la cutícula cerosa de la hoja (Boretto, 2019). Son normalmente usados

acompañando casi cualquier tipo de plaguicida. Mejoran la residualidad (Meredith, 2013)

Santiago-Sarubi (2015), quien trabajó con coadyuvantes siliconados (trisiloxanos) para el uso con fitosanitarios, cuyas características principales es actuar como tensoactivo, adherente, comenta que éstos actúan aumentando la afinidad con la cera cuticular y una rápida penetración vía estomática y por pared celular (penetrante) en donde concluyó que tanto que el tamaño de gota asperjada de suma importancia ya que influye en la posibilidad del encuentro de la aspersión que contiene el producto fitosanitario con el blanco. Así mismo, hay otros factores que influyen como el modo de acción del fitosanitario, tipo de formulación (concentrado emulsionable, suspensión concentrada, polvo soluble, polvo mojable, etc.), condiciones ambientales, características de la superficie, principalmente.

Ejemplos de ellos son: productos a base del pinoleno, ésteres acrílicos, emulsiones de polietileno. El pinoleno o también conocido como dimenteno (di-1*p*-menteno) es un polímero terpénico derivado de la resina de pino con actividad surfactante y antitranspirante. Son estructuras hidrocarbonadas e insaturadas, constituidas por varias unidades de isopreno (2-metil- 1,3, butadieno), que forma una estructura cíclica, aunque hay terpenos lineales (Brillante *et al.*, 2016).

Sus dobles enlaces conjugados los convierten en excelentes transportadores de electrones, por lo que participan en los procesos oxidativos de la mitocondria. Los terpenos son reconocidos por sus olores y sabores característicos (Morrison y Boyd, 1998).

Por su capacidad de formar películas, uno de sus usos es la aplicación sobre la superficie de las plantas. Esta película al ser permeable, permite el intercambio hídrico y la respiración, protege a la planta de los rayos UV y del calor, actúa como humectante, favorece la adherencia y la absorción de ingredientes activos. El polímero beta de pinoleno, incrementa el depósito de carbaril en hojas de tomate, así como reduce la proporción de pérdida o descomposición de éste en el follaje. Se piensa que este polímero está íntimamente ligado tanto con la dinámica de deposición como la habilidad de retención del follaje, es decir, el pinoleno modifica la fuerza de repulsión de la planta hacia el carbaril e incrementa la habilidad del

follaje de retenerlo. El mecanismo para reducir la tasa de descomposición se explica por la habilidad de la película de pinoleno para ocluir al plaguicida dentro de la estructura de la planta. Cuando se polimeriza por la acción de la luz solar, protege al plaguicida de la erosión por viento y lluvia, efectos de volatilización, fotodegradación, degradación enzimática, etc. (Blazquez *et al.*, 1970). A pesar de las características mencionadas y según estudios realizados por Rolando *et al.* (2014), el uso de pinoleno no mejora la penetración de ácido fosfórico, debido a que este tipo de polímero provee resistencia de los asperjados al lavado por lluvia y mejora la adhesión en plantas difíciles de mojar, pero no en la absorción de plaguicidas, siendo los adyuvantes organosilicados los mejores para este propósito, es decir, el pinoleno tiene la propiedad de formar películas que si bien ayudan a mantener a algunos plaguicidas por mayor tiempo en la superficie de la hoja, no son tan efectivos en el proceso de absorción a pesar de sus dobles enlaces conjugados. Otras moléculas utilizadas como adherente son los ésteres, que de manera general provienen de la reacción de ácidos carboxílicos con alcoholes en presencia de un catalizador (reacción de Fischer), a partir de cloruros y anhídridos de ácido, etc. Se caracterizan porque el carbono tiene alta carga positiva y los átomos de oxígeno negativa. La presencia del grupo carbonilo aumenta la densidad electrónica. Los ésteres pueden aceptar enlaces de hidrógeno de otros líquidos con enlaces de hidrógeno; por lo tanto, los ésteres de baja masa molecular son solubles en agua y los de mayor masa molecular son insolubles en agua. Pueden hidrolizarse a su ácido y alcohol de quienes proviene (Morrison y Boyd, 1998).

Son también parte de la formulación de coadyuvantes adherentes los ésteres derivados del ácido acrílico o ácido 2-propenoico, conocidos como acrilatos. Éstos se utilizan como polímeros, en la fabricación de resinas y recubrimientos, fibras acrílicas, adhesivos, aglomerantes, entre otros (Fernández *et al.*, 2015).

Emulsiones de polietileno: El polietileno se considera que es un termoplástico, es decir, que requiere calor para ser conformado y al enfriarse mantiene su forma. Propiedades de las resinas del polietileno como densidad, peso molecular promedio y distribución del peso molecular dependen del tamaño, estructura y uniformidad de la molécula, es decir dependen del monómero del que provengan y de las



condiciones de reacción como el grado de polimerización, entramado y las uniones puente. De aquí sus innumerables usos como aislantes eléctricos, formadores de película, recubrimientos, fabricación de adhesivos, etc. Particularmente en la agricultura y como parte de la formulación de adyuvantes, las películas de polietileno emulsionable son resistentes al agua y no afectan la transpiración de las hojas. De igual manera, algunos silicatos de aluminio y magnesio coloidales tienen la posibilidad de formar capas sobre las hojas, para que las aspersiones permanezcan retenidas por más tiempo en la superficie de la hoja y/o cuerpo de los insectos (Sazo *et al.*, 2008; Rodrigues y Sousa, 2009).

Otros materiales comúnmente usados como adherentes agrícolas son: nonilfenol etoxilado con óxido de etileno, polietilenglicol, polialcoholes y glicoles, ácidos orgánicos, entre otros (Arrospide, 2001).

### **1.1.2. Coadyuvantes surfactantes**

Son agentes activadores de superficies, son importantes ya que no sólo se utilizan para la preparación y mantenimiento de la estabilidad de las formulaciones, sino que también para mejorar el desempeño biológico del agroquímico, incrementando la absorción foliar de los fitosanitarios (Castro *et al.*, 2013). Es decir, este tipo de coadyuvantes modifican las propiedades físicas y químicas de las soluciones, incluyendo la tensión superficial, densidad, volatilidad y solubilidad. Estas a su vez modificarán el asperjado, mojado, retención y penetración en la hoja (Curran, 1999). Los surfactantes, al ser plastificantes, suavizan las ceras cristalinas que se encuentran en la cutícula de la hoja y esto incrementa la movilidad de los agroquímicos a través de la membrana (Schönherr *et al.*, 2000), dicho de otra manera, los surfactantes no sólo disminuyen la tensión superficial del asperjado, sino que también alteran o modifican la permeabilidad de la cutícula. (Serna-Rodríguez *et al.*, 2011; Brillante, 2016) han mostrado que el patrón formado por las partículas de una gota secándose, es modificado por surfactantes: a concentraciones altas de surfactantes, las partículas activas y el surfactante se concentran en el anillo del patrón de secado y esto hace que se promueva la absorción del pesticida. A concentraciones bajas de surfactante, el pesticida se sitúa

en el anillo y el adyuvante en el centro del depósito, esta pobre asociación repercute en una absorción baja del plaguicida.

Los coadyuvantes surfactantes se caracterizan por tener un grupo hidrofóbico junto a un grupo hidrofílico, es decir su estructura es anfifílica. El grupo hidrofóbico generalmente es una cadena larga de carbón e hidrógeno y el grupo hidrofílico es generalmente un grupo iónico o altamente polar. Dependiendo de la naturaleza del grupo hidrofílico los surfactantes pueden ser iónicos, catiónicos, no iónicos o anfóteros (Fernández-Cirelli *et al.*, 2008). De manera general, los surfactantes aniónicos contienen grupos sulfonatos, sulfatos o carboxilatos, el sulfonato de calcio alquilbenceno es comúnmente usado como coadyuvantes en muchas formulaciones agroquímicas, principalmente con ácidos o sales. En el caso de los surfactantes no-iónicos (más utilizados), su naturaleza hidrofílica la dan los grupos glicol éter o unidades de glucosa; son sintetizados de manera casi exclusiva por la adición de óxidos de etileno o propileno a alquilfenoles, ácidos grasos, alcoholes grasos, aminas grasas o amidas ácidas grasas (Castro *et al.*, 2013; Fernández-Cirelli *et al.*, 2008). En cuanto a los surfactantes catiónicos, el ión cuaternario de amonio es el responsable de su carácter hidrofílico, tienen propiedades bacteriostáticas y una alta adsorción en muchas superficies. Para el caso de surfactantes anfotéricos, contienen tanto grupos catiónicos como aniónicos. Son solubles en agua y tienen afinidad con otros surfactantes, sin embargo, el cambio en el pH afecta el mojado, la detergencia y la formación de espuma (Fernández-Cirelli *et al.*, 2008; García-Nevárez y Tarango-Rivero, 2009; Leiva, 2013).

Otro tipo de surfactantes son los organosiliconados, éstos son usados en lugar de o adicionalmente a los no-iónicos (Curran, 1999). Según Roggenbuck y Penner (2000), los mecanismos de acción de estos adyuvantes son: primero reduciendo la tensión superficial e incrementando el asperjado de la gota con lo cual se promueve una distribución uniforme en la superficie, que es de suma importancia cuando se usan insecticidas por contacto. Segundo: mejorando el asperjado de la superficie de la planta hacia el meristemo apical o a algún sitio de absorción particular. Tercero: modificando la relación de solubilidad entre el organosiliconado y el

insecticida ya que pueden incrementar y acelerar la absorción foliar a través de la cutícula de la planta.

La eficacia de los surfactantes depende del plaguicida y de la especie de planta. Finalmente, reduciendo la rapidez de lavado. Este tipo de adyuvantes se caracteriza por ser excelentes humectantes y penetrantes, así como por reducir la tensión superficial del asperjado a valores bajos (25 dinas/cm). Se usan en combinación de aceites metilados para cubrir las gotas por su efecto antievaporante (González-Acosta *et al.*, 2006; Rodrigues y Sousa, 2009).

### **1.1.3. Coadyuvantes verdes**

Son aquellos obtenidos de la síntesis de materiales provenientes de fuentes renovables naturales (animal o vegetal). La síntesis puede ser por modificación química (extracción, precipitación o destilación) no debe haber síntesis orgánica ni post-tratamientos; o utilizando comunidades bióticas como plantas, microorganismos, levadura, etc. Por lo tanto, es un tipo de surfactantes biodegradables y biocompatibles. Es decir, los surfactantes verdes son moléculas anfifílicas obtenidas de la naturaleza o sintetizadas con materias primas renovables, como por ejemplo los oligosacáridos (bajo peso molecular), lipopolisacáridos (alto peso molecular) triglicéridos, fuentes de carbohidratos y ácidos orgánicos (producidos por fermentación). Los triglicéridos/esteres conforman la parte hidrofóbica y los azúcares y aminoácidos la hidrofílica (Holmberg, 2001; Rebello *et al.*, 2014).

Un surfactante con uno de los bloques principales, la cabeza polar o la parte hidrofóbica obtenidos a partir de fuentes naturales pueden también ser llamados surfactantes naturales (Holmberg, 2001) como ésteres de ácidos grasos de azúcar ésteres de ácidos grasos o amidas de aminoácidos.

### **1.1.4. Ésteres de la sucrosa**

Adicionar una molécula de hidrocarburo (grupo hidrofílico ideal) a un derivado graso de un ácido graso o alcohol graso ha sido un reto. De esta adición surgen los surfactantes derivados del azúcar: la sucrosa, glucosa y sorbitol. Referente a los

ésteres de sorbitán, el tipo de éster obtenido (lauratos, oleatos, estearatos) con un determinado balance de valores hidrofílicos/lipofílicos depende del tipo y la cantidad de ácidos grasos usados. Para modificar estos materiales relativamente hidrofóbicos, se trata a los ésteres obtenidos con óxido de etileno para obtener ésteres etoxilados de sorbitán o polisorbato. Los ésteres de la sucrosa, usados en la industria cosmética y en la alimenticia por sus propiedades dermatológicas, tienen la complejidad de que su estructura es altamente funcional debido a los ocho grupos hidroxilos que compiten entre ellos al momento de la reacción de esterificación: sucrosa más ácido graso metil éster) para dar lugar a diferentes ésteres (mono, di, tri, tetra, penta) los cuales son hidrofóbicos, por lo que es necesario tener una selectividad mayor para obtener ésteres menos hidrofóbicos (Hill y Rhode, 1999).

#### **1.1.5. Surfactantes derivados de la glucosa**

La reacción de glucosidación (glucosa más alcohol para producir alquil glucósidos) es altamente selectiva y depende de las unidades de glucosa y de la cadena de alcohol usada. Los APG (alquilpoliglicósidos) son muy utilizados como detergentes para trastes, para aseo personal, limpiadores de superficies duras, agroquímicos y productos de limpieza industrial (Castro y Fernández, 2013).

Glucamidas de ácidos grasos. La síntesis de éstos compuestos requiere la reacción de la glucosa con metilamina bajo condiciones reductoras para formar el N-metil glucamina, después de esta reacción, este intermediario se convierte con un ácido graso metil éster a la correspondiente amida de ácido graso. Comparando los alquilpoliglicósidos y las glucoamidas, éstas últimas están compuestas sólo por una molécula de carbohidrato unida a la cadena del ácido graso, por lo cual son menos solubles y tienden a cristalizar en soluciones acuosas. Se usan en detergentes líquidos y en polvo (Hill y Rhode, 1999; Razanfindralambo *et al.*, 2012).

Tanto los alquilpoliglucósidos y las glucoamidas de ácidos grasos tienen características físico-químicas similares como tensión superficial, concentración de micelas, etc., aunque tienen diferencias en la producción de espuma. En cuanto a sus propiedades ecológicas, toxicológicas y dermatológicas, ambos grupos son considerados como surfactantes seguros. Adicionalmente, se ha demostrado que

los alquilpoliglicósidos (C8/10 a C12/14) pueden sustituir a los alquilfenol etoxilatos en las formulaciones de agroquímicos, soportan altas concentraciones de sal y han mostrado buenos resultados con adyuvantes de herbicidas (Holmberg, 2001; Razanfindralambo *et al.*, 2012). Algunos productos de cadena corta (C8/10 y C9/11) están aprobados por la USEPA (United States Environmental Protection Agency) como ingredientes inertes.

Derivados de alquil poliglicósidos como sulfatos y fosfatos, así como metil éster glucósido pueden modificar el balance hidrofílico/hidrofóbico.

Es decir, en los surfactantes base azúcar, la estructura anfifílica se da con la glucosa como fuente de carbono. En el caso de los alquil poliglicósidos, el producto es obtenido exclusivamente de materiales renovables (Holmberg, 2001).

#### **1.1.6. Biosurfactantes**

Se llaman bio-surfactantes a aquellos compuestos biológicos con alta superficie activa producida por microorganismos, plantas, animales, humanos (Christofi e Ivshina, 2002), son producidas en la superficie de células microbianas o excretadas extracelularmente y contienen una parte hidrofílica y una hidrofóbica (Vaz *et al.*, 2012). Tienen ventajas sobre los sintéticos en cuestión de toxicidad, alta biodegradabilidad, mejor compatibilidad con el medio, alta selectividad, actividad específica bajo condiciones de temperaturas extremas, pH, salinidad. Se requiere menor cantidad que los surfactantes químicos. Ejemplos: glicolípidos, lipopeptidos, fosfolípidos, antibióticos activadores de superficies, ácidos grasos/lípidos neutros, surfactantes poliméricos (Krogh *et al.*, 2002).

Los coadyuvantes, debido a sus características físico-químicas, pueden modificar el sustrato destino, mejorar la aplicación y comportamiento de productos o prolongar la estancia del mismo en la planta a través del incremento del área de contacto, la retención y la absorción, corregir problemas en el agua de aplicación, compatibilizar y estabilizar mezcla de productos, controlar la deriva, controlar la generación de espuma dentro del tanque. Así mismo, se favorece la penetración del ingrediente activo a través de la cutícula del insecto y las estructuras de las plantas (Sazo *et al.*,

2008). Con todo esto se reduce la cantidad de insumos usada con su consecuente ahorro económico, pero principalmente disminuyendo el impacto ambiental.

## **1.2. *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.**

### **1.2.1. Generalidades**

El nopal, *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae), ha cobrado especial relevancia a nivel mundial a través de los años, es ampliamente usado en diferentes industrias como la alimenticia por su alto contenido de fibra y calcio, en la cosmética por sus propiedades emolientes, en la farmacéutica por sus características emulsionantes y coagulantes, en la de construcción y restauración por su adherencia (Zamora-Carrillo, 2013; Durán-Herrera y De León-Castillo, 2017), en la de pinturas por el carmín de cochinilla (Reyes-Agüero *et al.*, 2015), en el tratamiento de aguas por su propiedad coagulante, como combustible etc. (Rodríguez-González, 2014), pero especialmente frente a la situación global de desertificación y de agua como recurso limitado (Stintzing y Carle, 2004). Es, por el consumo de frutos y el uso de los tallos como verdura (frescos) y como follaje (secos), entre las cactáceas la de mayor importancia agronómica (Kiesling, 1999).

Particularmente en México, ha sido parte esencial de su historia, cultura, sociedad y economía (Reyes-Agüero *et al.*, 2015). El primer registro formal de *O. ficus-indica* datan de la época prehispánica en México (Kiesling, 1999). Benson (1982) considera *O. megacantha* como sinónimo de *O. ficus-indica*; la diferencia es la presencia o no de espinas. Según Scheinvar *et al.*, 2011, se tiene colecta de nopales *Opuntia* spp desde hace 14,000-9,600 años.

El nopal tiene gran importancia agrícola. México es país líder en la producción y exportación de este vegetal, además de que se consume como verdura y se tiene la mayor superficie cultivada (SIAP, 2013).

La descripción taxonómica de *O. ficus-indica* realizada por Linneo la muestra el Cuadro 1.

Cuadro 1. Descripción taxonómica *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill

Taxonomía del nopal <i>Opuntia ficus-indica</i>	
Dominio	Eukaria
Reino	Plantae
Subreino	Viridiplantae
Infrareino	Streptophyta
Superdivisión	Embryophyta
División	Tracheophyta
Subdivisión	Spermatophytina
Clase	Magnoliopsida
Superorden	Caryophyllanae
Orden	Caryophyllales
Familia	Cactaceae
Género	<i>Opuntia</i>
Especie	<i>Opuntia ficus-indica</i>

Integrated Taxonomic Information System, 2018.

Existen más de 300 especies de nopal de las cuales 40% se producen en territorio mexicano. La especie *O. ficus-indica* es endémica de México (Trout, 2014).

### 1.2.2. Biología de *Opuntia ficus-indica*

*Opuntia ficus-indica* es una planta perene y suculenta. Está adaptada para reducir la pérdida de agua: provista de tallos suculentos, cutícula relativamente gruesa y cerosa, posee pocos estomas en comparación con otras plantas y presencia de espinas (Nobel, 2003).

Está formada por tallos y ramas en forma de raquetas, estas partes planas de la planta llamadas cladodios, tallos, pencas o filocladios reemplazan las hojas en la función fotosintética. Los cladodios están compuestos de parénquima medular blanco (tejido del núcleo) y de clorofila que contiene parénquima fotosintéticamente activo (tejido de la corteza), la parte exterior está cubierta de espinas (hojas modificadas) y pelos multicelulares o tricomas, ambos formando la aureola que es

característica en la familia Cactaceae (Nobel e Israel, 1993; Nobel 2003; Nobel *et al.*, 2005 Lozano, 2011). Los cladodios son ricos en calcio y fibra (Lozano, 2011). Algunas especies tienen grupos de pequeñas espinas llamadas gloquidios. Las espinas le sirven de protección mecánica contra herbívoros, reflejan la luz, dan sombra al cladodio y sobretodo reducen la pérdida de agua, están constituidas mayormente por polisacáridos. Los gloquidios están compuestos por celulosa cristalina (Pritchard, 1976). La aureola es el origen de las flores, precursoras del fruto, la tuna. Alcanza una altura entre 3 y 5 metros. Su reproducción es sexual, las flores son hermafroditas y se autopolinizan (Aquino-Bolaños *et al.*, 2012).

La Figura 1 muestra: 1a. ejemplar de *Opuntia ficus-indica*, 1b. cladodios con aureola y 1c. flores.



Figura 1a. Nopal *Opuntia ficus-indica*  
(Fuente propia).



Figura 1b. Cladodio con aureola  
(Fuente propia).

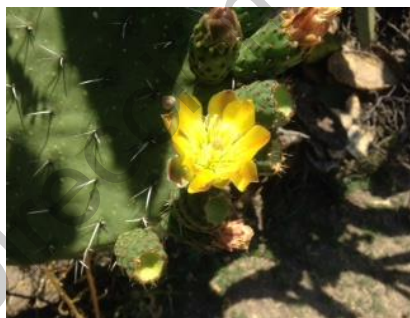


Figura 1c. Espinas y flores de *Opuntia ficus-indica*  
(Fuente propia).



### 1.2.3. Cultivo

Es un cultivo típico de zonas áridas y semiáridas, por sus escasos requerimientos de agua, su resistencia a altas y bajas temperaturas, así como su adaptación a diferentes tipos de suelo. Entre las ventajas de este cultivo están la conversión de agua en biomasa y ser fuente de hidratación para seres vivos (Maki-Díaz *et al.*, 2014), ayudar en la conservación del suelo contra la desertificación, abatir la contaminación atmosférica, consumir CO<sub>2</sub> por las noches en grandes cantidades, principalmente (Lozano, 2011).

Estudios hechos por Cui *et al.* (1993) soportan la afirmación de que *O. ficus-indica* es una especie muy productiva, ya que aún a niveles altos de CO<sub>2</sub>, usa de manera más eficiente el agua y la cantidad de CO<sub>2</sub> absorbida es mayor.

Aunque es una planta de fácil cultivo y adaptable a condiciones adversas, se debe resaltar que las condiciones ambientales afectan la composición de los cladodios, es decir la cantidad de agua, calidad de suelo, nutrientes presentes, pH, cantidad de CO<sub>2</sub> en el ambiente, temperatura, etc., los cuales están relacionados directamente con la calidad y composición de los cladodios (Stintzing y Carle, 2004; Lozano, 2011; Aquino-Bolaños *et al.*, 2012).

### 1.3. MUCÍLAGO DE *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae)

Las características y propiedades de los cladodios y por consiguiente del mucílago dependen en gran medida de las condiciones de cultivo y cosecha: temperatura, humedad, cantidad de agua, tipo de suelo, pH, edad de la planta, especie, etc. (Stintzing y Carle, 2004). Mientras la cantidad de nitrógeno en la fertilización disminuye, la cantidad de proteínas aumenta en los cladodios. Además, se ha visto que mientras más joven la planta, la cantidad de proteínas y fibra son mayores (Pimienta-Barrios, 1993).

Los cladodios están formados por la epidermis, espina y parénquima; constituidos por lípidos, grasas, lignina, celulosa y otros polisacáridos en materia seca, y en materia fresca, carbohidratos, proteínas, lípidos y sustancias fibrosas (Matsuhiro *et al.*, 2005; Sepúlveda *et al.*, 2007).

De manera general, se designa la composición química de los cladodios como polisacáridos de la pectina. El mucílago se encuentra en el parénquima de los cladodios. Se ha encontrado que el mucílago es un polisacárido neutro (Matsuhiro *et al.*, 2005). De acuerdo a Masschelein-Kleiner (1995), el mucílago contiene principalmente dos polímeros orgánicos naturales: amilasa y amilopectina. La amilasa es un polímero de la glucosa con unión 1-4 de tipo  $\alpha$  consigo misma, se encuentra formando una cadena helicoidal que en solución puede formar películas delgadas que al secar presentan cierta rigidez. Por su parte, la amilopectina también es polímero de la glucosa, pero con uniones 1-6, debido a su alto peso molecular, presenta viscosidad elevada en estado puro, pero altamente soluble en agua. Combinadas ambas y estando en solución acuosa, presentan cierto grado de cohesión.

Vargas-Rodríguez *et al.*, (2016), McGarvie y Parolis (1981), lo definen como una sustancia hidrocoloidal, heteropolisacárida con residuos de arabinosa, galactosa, ramnosa y xilosa como azúcares neutros, con estructura moleculares polielectrolitas altamente ramificadas y de alto peso molecular (millones de daltons) Por otro lado, Paulsen y Lund (1979) reportan que el extracto es una mezcla neutra de glicoproteínas y polisacáridos ácidos (L-arabinosa, D-galactosa, L-ramnosa, D-xilosa y ácido galactonúrico). Trachtenberg y Mayer (1981) reportan la misma composición, pero diferentes porcentajes de ácido galactonúrico, esto puede ser explicado por las condiciones externas de cultivo, así como la edad de los cladodios. El mucílago presenta una cadena principal lineal con repeticiones de  $\beta$  (1-4) D-ácido galacturónico y  $\alpha$  (1-2) L-ramnosa ligado con cadenas laterales de oligosacáridos  $\beta$  (1-6) D-galactosa unidos a (4) de L-ramnosa y residuos. (Espino-Díaz *et al.*, 2010). Ginestra *et al.*, (2009) también proponen la estructura del mucílago como unidades de ácido  $\alpha$  D-galacturónico unidas 1-2 a unidades de  $\beta$ -L-ramnosa enlazadas 1-4 con ramificaciones en el C-4, las ramificaciones de oligosacáridos de galactosa las cuales llevan L-arabinosa y C-xilosa como sustituyentes. La figura 2 muestra estructura propuesta para el mucílago de *Opuntia ficus-indica*.

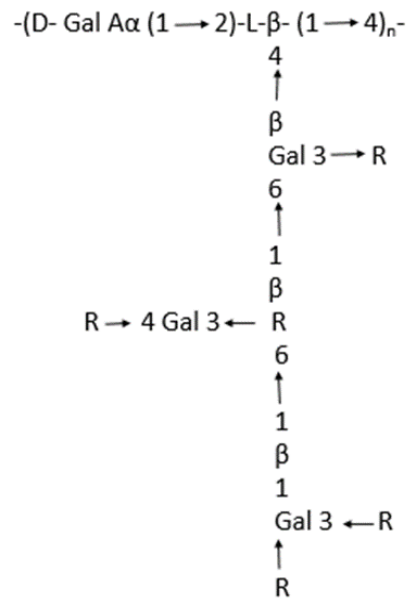


Figura 2. Ejemplo de la estructura parcial propuesta para el mucílago de *Opuntia ficus-indica*. Donde R representa arabinosa o xilosa. Tomada de Saéñz *et al.* (2004).

De acuerdo a estos autores, se puede concluir que el mucílago es un polisacárido de alto peso molecular del orden de  $10^6$  Da., cuya composición química está basada en azúcares neutros como: L-arabinosa (47%), D-xilosa (23%), D-galactosa (18%), L-ramnosa (7%) y por ácido D-galacturónico (5%). Esta composición alta en azúcares y disposición de las cadenas de los polisacáridos le confieren sus características y/o propiedades de viscosidad, sensación pegajosa al tacto, espesante, tiene gran capacidad de adsorción de agua y formación de geles, reemplazante de grasas en diversos alimentos, ligante de sabor, agente emulsificante, mejorador de textura, controlador de cristalización, estabilizante de emulsiones, inhibe la sinéresis, facilidad para la formación de películas que pueden aprovecharse en gomas y agentes espesantes, entre otras, además presenta comportamiento no-newtoniano, pseudoplástico y tixotrópico en suspensión (Figuroa-González, 2011; Rodríguez-González *et al.*, 2011; Rodríguez-Henao, 2017). Estudios de la capacidad emulsionante del mucílago del *O. ficus-indica*, han mostrado que reducen la tensión superficial e interfacial, estabiliza emulsiones tipo aceite-agua (Garti, 1993), aumenta la estabilidad y volumen, por lo que pudiera

usarse para mejorar texturas, estabilizar emulsiones, controlar cristalización, para crear películas comestibles, etc. (Saéñz *et al.*, 2006; Espino-Díaz *et al.*, 2010; Allegra *et al.*, 2016; Gheribi *et al.*, 2018). En la industria alimentaria ya se ha usado para hacer películas para conservar frutas (Del Valle *et al.*, 2005) usando algunos plastificantes como tween 20, glicerol, cera de abeja, en general polioles, probando su eficiencia en este sector también (Lira *et al.*, 2014; Gheribi R. *et al.*, 2018), así mismo, es usado como aglutinante y emulsificante. En el área de la medicina, se han identificado sus propiedades hipoglucemiante; en el tratamiento de aguas, se ha utilizado para disminuir la cantidad de metales pesados; en el área de construcción y restauración se usa como sellador y adherente, etc., entre otros usos (Vargas-Rodríguez *et al.*, 2015).

Su mayor aplicación ha sido en la fabricación de biopolímeros, ya que la intención de cambiar los polímeros sintéticos por materiales biodegradables, ha cobrado mayor importancia dado el impacto negativo al ambiente que tienen los productos sintéticos (Vargas-Rodríguez *et al.*, 2018).

En la agricultura, el nopal no ha sido aprovechado ampliamente, su mayor aplicación es como forraje para animales y para mejorar la filtración de agua en el suelo (Saéñz *et al.*, 2006), por lo que un potencial uso del mucílago dado que la tensión superficial puede ser disminuída por polímeros solubles en agua (Naod y Tsigé, 2012), podría ser en la fabricación de coadyuvantes agrícolas, particularmente adherentes.

#### **1.4. *Ficus benjamina* (Moraceae)**

*Ficus benjamina* pertenece a la familia Moraceae comunes en las zonas tropicales del mundo. Se caracteriza por ser árbol epífita con látex, con hojas alternas, raramente opuestas, sus flores son pequeñas y fruto encapsulado. Esta familia es originaria de regiones tropicales y subtropicales (Ibarra-Manríquez *et al.*, 2012). El género *Ficus sp.* está formado por alrededor de 750 especies en el mundo, esta cantidad lo posiciona como el género con mayor número de representantes arbóreos (Corlett, 1984; Piedra-Malagón *et al.*, 2006). La mayor diversidad se

encuentra en China, Bután, Camboya, India, Laos, Malasia, Nepal, Nueva Guinea, Filipinas, Tailandia y Australia donde es nativo, aunque hay algunas especies endémicas de México: *Ficus lapathifolia*, *Ficus petiolaris* y *Ficus pringlei* (González-Julián *et al.*, 2012; Ibarra-Manríquez *et al.*, 2012). En el continente americano se encuentra desde Estados Unidos hasta Argentina, en regiones donde no se registren heladas. Es uno de los géneros de plantas más importantes debido a su gran diversidad de especies, de las cuales 22 están registradas para México. En particular, *F. benjamina*, también conocido como laurel de la India, presenta copa ancha y frondosa, hojas lustrosas con ápice cuspida, de color verde brillante en el haz y más claras en el envés, de base de redondeada a picuda, enervación poco visible. Su tronco es de corteza lisa o escamosa, gris-blancuecina (González-Castañeda e Ibarra-Manríquez, 2012), normalmente con raíces aéreas. Puede alcanzar alturas de hasta 20 m. Es ampliamente cultivado como árbol de ornato por su amplia copa que sirve de abrigo y sombra, su reproducción puede ser por esquejes o por semilla, tiene crecimiento rápido, tolera exposiciones soleadas y a media sombra, soporta el frío si no es muy intenso por lo que se ha convertido en parte importante del paisaje urbano (González-Julián *et al.*, 2012). Su descripción taxonómica se muestra en el cuadro 2.

Taxonomía <i>Ficus Benjamina</i>	
Dominio	Eukaria
Reino	Plantae
Subreino	Viridiplantae
Infrareino	Streptophyta
Superdivisión	Embryiophyta
División	Tracheophyta
Subdivisión	Spermatophytina
Clase	Magnoliopsida
Superorden	Rosanae
Orden	Rosales
Familia	Moraceae
Género	<i>Ficus</i>
Especie	<i>Ficus benjamina</i>

Cuadro 2. Descripción taxonómica de *Ficus benjamina*  
Integrated taxonomic information system, 2018



Figura 3. *Ficus benjamina*  
(Fuente propia).

La figura 3 muestra ejemplar de *Ficus benjamina* con copa frondosa.

Más allá de su uso ornamental y de cercos vivos, *F. benjamina* posee otras cualidades importantes, como sus propiedades como auxiliar en desórdenes de la piel, antiinflamatorias, antimicrobianas, antipiréticas, hipotensoras, etc., que desde tiempos ancestrales se han aprovechado de los extractos de las hojas y tallos debido a los componentes como flavonoides, ácido ascórbico, alcaloides, triptenos, entre otros, responsables de sus características antimicrobianas y citotóxicas. Del látex de sus hojas se obtiene un tipo de caucho (Almahyl *et al.*, 2001; González-Castañeda e Ibarra-Manríquez, 2012; Imran *et al.*, 2014).

Además, *F. benjamina* se utiliza como biomonitor de contaminación. Se han hecho estudios de la susceptibilidad magnética en las hojas, determinando que existe una correlación entre los niveles de contaminación y las señales magnéticas, ya que las plantas son capaces de acumular metales dentro o en la superficie de los tejidos. Así que además de ornamental, funciona como barrera ambiental contra el polvo contaminado (Guzmán-Morales *et al.*, 2011; Aguilar-Reyes *et al.*, 2012).

Los insectos fitófagos asociados a *F. benjamina* representan una amenaza para él mismo como para otras especies con quienes coexiste, ya que no sólo es parte del paisaje urbano sino como cerco divisorio en algunos cultivos. Entre esta fauna entomológica dañina están los órdenes Thysanoptera y Hemiptera y las familias Aleyrodidae, Pseudococcidae (Narrea-Cango *et al.*, 2013; Sánchez-Flores *et al.*, 2017), principalmente la mosquita blanca *Singhiella simplex* (Hemiptera: Aleyrodidae), que provocan daños importantes como el conocido “dieback”, que es la muerte paulatina de las ramas (Fernández-Herrera, 2017).

### **1.5. ABSORCIÓN FOLIAR**

Al ser la hoja el principal órgano de absorción foliar, es también una de las principales causas de la dificultad de absorción de fitosanitarios por su fisiología y estructura, particularmente las de la cutícula de la planta, es decir, el espesor tanto de la capa cerosa como de la membrana cuticular. Éstas dependen, entre otros factores de las condiciones del medio ambiente, así, durante sequías el espesor de

la capa de cera se incrementa para reducir pérdidas de agua, y se reduce el espesor de la membrana cuticular, por lo que la entrada de los fitosanitarios se dificulta. Mientras que, bajo condiciones óptimas de humedad, el flujo xilemático permite la circulación de sustancias propias de las plantas y por consiguiente la entrada o “absorción” de agroquímicos (Miresmailli, Isman, 2014).

A pesar de los múltiples factores que afectan la constitución de la cutícula como la especie, tipo de órgano, factores genéticos fisiológicos y climatológicos, estado de desarrollo entre otros, todas las cutículas están constituidas principalmente de dos tipos de materiales lipofílicos: cutina y ceras cuticulares (Curran, 1999; Samuels *et al.*, 2008).

La cutícula que es una membrana continua, no celular, no viva, que recubre las partes aéreas de las plantas superiores. Es una membrana de carácter lipídico extracelular de gran importancia por ser responsable de funciones como: servir de aislante y protección, reducir la pérdida de agua (barrera hidrofóbica pero no completamente impermeable ya que hay paso de gases y agua) y difusión de gases, inducir el desprendimiento de gotas de agua y partículas de polvo así como de esporas para mantener limpia y seca la superficie de la planta o fruto, participar en las interacciones planta-insecto debido a sus propiedades antiadherentes y ayudar a evitar la proliferación de microbios patógenos, participar en la traducción de señales para la activación de genes específicos, controlar los cambios de temperatura así como proteger contra los rayos UV y proveer soporte mecánico; de manera indirecta participa en la formación de órganos impidiendo la adhesión incontrolada de las células epidérmicas (Tafolla-Arellano *et al.*, 2013). Seguido de la cutícula están células de la epidermis, cubiertas de pectina. La cutícula es más permeable a los cationes que a los aniones por su composición, generalmente ácidos grasos de cadena larga, liposolubles, que por naturaleza tienen carga negativa. Cuando está hidratada, se expande, separando las partículas cerosas lo que facilita la penetración. Una vez que han penetrado la cutícula, las prolongaciones plasmáticas de las células de la epidermis (ectocitodos) sirven como vía de excreción de sustancias, cuando los nutrimentos están aquí, son



translocados por un proceso de difusión y gasto de energía metabólica a las células epidérmicas. En la parte exterior de la membrana plasmática se encuentra la pared celular que está formada por celulosa, hemicelulosa y materiales fibrosos. La pared celular primaria está saturada con pectina que fortalece la estructura (Riederer y Schreiber, 2001; Riddick y Simmons, 2014).

La superficie de las hojas varía enormemente: desde las que cuentan con una superficie suave de cera amorfa hasta las superficies sumamente rugosas cubiertas de un recubrimiento de cristales cerosos epicuticulares. Por consiguiente, se puede decir que el mojado de las hojas depende de manera muy importante de la estructura de la superficie (Taylor, 2011).

Las funciones de la cutícula dependen de su composición química y no de su grosor. Está regulada tanto por factores bióticos como abióticos. (Tafolla-Arellano *et al.*, 2013). A pesar de los múltiples factores que afectan la constitución de la cutícula como la especie, tipo de órgano, factores genéticos fisiológicos y climatológicos, estado de desarrollo entre otros, todas las cutículas están constituidas principalmente de dos tipos de materiales lipofílicos: cutina y ceras cuticulares (Curran, 1999; Samuels *et al.*, 2008).

El éxito de las aplicaciones foliares depende de varios factores, entre los que se encuentran: pH de la solución, edad de la hoja, hora de aplicación, presencia de ceras, tipo de producto, dosis, etapa fenológica, compatibilidad, coadyuvantes, equipo, principalmente. Las aplicaciones foliares no sólo se utilizan para la fertilización, sino también para la aplicación de fitosanitarios (Serna *et al.*, 2007; Soria, 2008).

Según experimentos de Wang y Duan (2010), la proporción de adherencia de agua difiere según la especie debido a la morfología de éstas. Especies como *Cotoneaster microphyllis*, *Dichotomanthys tristaniaecacarpa*, *Pyracantha fortuneana* caracterizada por tener hojas pequeñas, ligeras, suaves y sin cutícula mostraron tener una adherencia mayor. La superficie hidrofílica de las hojas sin cutícula, favoreció a la adherencia de agua de lluvia. Especies como *Rhamnus leptophylla*, *Myrsine africana*, *Ligustrum sepervirens*, cuyas hojas son pequeñas con superficie

suave y capa rugosa promueve la hidrofobicidad resultando en una proporción de adherencia de agua baja.

En cuanto al mojado de la hoja, estudios hechos por Koch et al., (2008) sustentan que la superficie de las hojas están cubiertas por muchas estructuras como glándulas, tricomas, estomata, cera suave o cristales altamente cristalinos y todo este conjunto de estructuras son las responsables del mojado de la hoja.

El mojado de las hojas se explica de la siguiente manera: la capa de cristales de la cera epicuticular resulta en dos grupos de propiedades de mojado dependiendo de la tensión superficial del líquido; primero, si la tensión superficial es suficientemente baja, desplazará aire y penetrará entre los cristales, y el segundo efecto se da cuando la tensión superficial del líquido es tan alta que desplaza la capa de aire de entre la gota y la cera (Riddick and Simmons, 2014).

La retención del asperjado en la superficie foliar es otro aspecto importante en la absorción y actividad biológica de los agroquímicos (Santiago-Sarubi, 2015) ya que, si la gota no es optimizada, ésta se moverá en la hoja y pudiera caerse y perderse. Este efecto no es tan importante en las plantas con superficie con cera suave, ya que en éstas aún el agua puede retenerse y adherirse

## **1.6. MANEJO DE PLAGAS**

Para el manejo de plagas, tanto Perring et al. (2017) como Santana et al., (2017) proponen la combinación de diferentes tipos de control: cultural, genético, botánico, químico, biológico, filogenético, físico, legal, autocida, etológico; es decir, en lo posible, tratar de implementar el Manejo integrado de plagas.

Se define al manejo integrado de plagas como la utilización de varias tácticas de manera ecológicamente compatible con el objetivo de mantener poblaciones de artrópodos, patógenos, nematodos, malezas y otras plagas, en niveles por debajo de aquellos que causan daño económico, al mismo tiempo que aseguran protección contra daños al hombre y al medio ambiente (Cobbe, 1998; Stenberg, 2017).

El manejo integrado de plagas (MIP) es el conjunto de estrategias para controlar las plagas tomando en cuenta los conceptos de sistemas ecológicos y poblaciones. Es decir, las plagas no existen de manera aislada, sino que interactúan dentro de un sistema formado por productores, consumidores, descomponedores, etc., formando un ecosistema específico. El MIP trata, de manera preventiva más que correctiva, de controlar las poblaciones de plagas, manteniéndolas a niveles no dañinos económicamente hablando, promoviendo el uso de diferentes controles como el control cultural, biológico, etc., evitando el uso indiscriminado de insecticidas químicos sintéticos, siendo uno de sus objetivos modificar el ecosistema del que forman parte las plagas a manera de que los enemigos naturales de éstas tengan las condiciones adecuadas para aumentar la mortalidad de las plagas (Giraldo, 2003).

#### **1.6.1. Control cultural**

Grupo de técnicas como el conocimiento del cultivo, duración del cultivo, fechas más y menos susceptibles de ser atacado por plagas, tipo de cultivo, actividades previas y posteriores a la siembra como manejo de malezas, cercos vivos, riego y nutrición, manipulación del hábitat, cultivos trampa, entre otras utilizadas para mantener a las plagas por debajo de impacto económico. (Jiménez 2009; Stenberg, 2017).

#### **1.6.2. Control genético (Plantas resistentes a la plaga)**

A través del monitoreo, identificar las plantas no atacadas por la plaga y estudiar las condiciones físicas, ambientales y genéticas que le permiten desarrollar la resistencia a ellas. Se ha observado que los genes que determinan la resistencia están relacionados con la presencia y densidad de tricomas, que son estructuras parecidas a cabellos que proveen a la planta de defensas contra el ataque o la oviposición de la plaga. La manipulación de los tricomas así como de metabolitos secundarios es donde se ha puesto mayor atención para el estudio de la resistencia a las plagas (Jiménez 2009; Stenberg, 2017).

### 1.6.3. Productos naturales biológicos

El control biológico es una alternativa para el manejo integrado de insectos que sean clasificados como plaga por su daño económico. Su ingrediente activo son bacterias, hongos, nemátodos, protozoarios o virus así como sustancias producidas por microorganismos, es decir, el uso de enemigos naturales así como de organismos entomopatógenos (Carmona, 2002; Paredes *et al.*, 2013, Reyes-Tena *et al.*, 2015).

Los organismos entomopatógenos comúnmente usados son: hongos y bacterias.

Específicamente, la bacteria *Bacillus thuringiensis* (Bt) comúnmente usado en el control biológico de plagas, es aeróbica, gram positiva, se encuentra en los suelos y en las plantas. Durante su fase de esporulación, produce proteínas insecticidas para lepidópteros pero no tóxicas para humanos, algunos vertebrados y plantas, además de ser biodegradable. Dependiendo de la cepa es la especificidad para ciertos órdenes como Lepidoptera, Diptera y Coleoptera, aunque se están estudiando cepas hacia nemátodos, ácaros y adultos de mosca doméstica (Carmona, 2002; Mendoza *et al.*, 2012).

Las bacterias con actividad tóxica (*Bacillus thuringiensis*), se caracterizan por la presencia de cristales, que puede estar formados por diferentes proteínas Cry que son las responsables de la toxicidad hacia insectos. Dependiendo de la proteína es la toxicidad específica. La bacteria “agujera” las paredes del estómago de los insectos (Carmona, 2002; Jiménez, 2009; González-Maldonado, 2015; Lozano-Gómez, 2017).

También del género *Bacillus*: *Bacillus popilliae*, es efectiva para el control de gusanos blandos y larvas ya que las esporas de la bacteria persisten en el suelo por mucho tiempo y las larvas se alimentan de ella, dentro de su cuerpo se reproducen e interrumpen el ciclo de vida de los insectos (Nava-Pérez *et al.*, 2012).

Otra bacteria usada en el control de plagas es la bacteria *Saccharopolyspora spinosa*, que produce una toxina (spinosad) responsable de la excitación del sistema nervioso de los insectos.

Las bacterias *Streptomyces avermitilis* del suelo, afectan el sistema nervioso y causa parálisis. Se degradan fácilmente.

Otra alternativa para el control biológico son los hongos entomopatógenos (HE): *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* y *Nomuraea rileyi* (Carmona, 2002; García *et al.*, 2011). Están presentes en el suelo, mata moscas blancas, áfidos y otros insectos (Lozano-Gómez, 2017). El mecanismo de acción del hongo es que se asperjan las esporas y éstas se adhieren a la superficie de los insectos, geminan formando un tubo germinativo que por medio de procesos enzimáticos el tubo degrada la cubierta de los insectos y llega al interior de éstos. Estando dentro de los insectos, prolifera y hay formación de toxinas letales (Reyes-Tena *et al.*, 2015).

Otros hongos utilizados son *Metarhizium anisopliae*, *Paecilomyces fumoroseus*.

Nemátodos como *Steinernema feltiae*, *S. scaptriscar*, *S. riobravis*, *S. carpocapsae* y *Heterorhabditis heliothidis*, penetran a través del exoesqueleto y espiráculos del insecto, estando dentro, vacían una bacteria simbiótica en la sangre de los insectos que les causa la muerte.

Protozoarios como *Nosema locustae* y algunos virus de los grupos Granulovirus y Nucleopolu-hedrovirus también son usados como insecticidas (Badii y Abreu, 2006).

#### **1.6.4. Control botánico**

El control botánico es el basado en el uso de químicos extraídos de aceites esenciales, hojas, tallos, etc., usados por sus características, fumigantes, atrayentes y repelentes para control de plagas; sus residuos no son perjudiciales en los alimentos y se degradan rápidamente, sin embargo, son de corta duración, su eficacia es menor que la de los sintéticos y en ocasiones su extracción es costosa. Los insecticidas botánicos son mezclas de metabolitos secundarios que tienen ya sea sinergia o antagonismo en la mezcla y esto puede influir en la toxicidad de ésta.

Algunos de estos químicos tóxicos son producidos por las plantas como medio de defensa contra herbívoros que pueden ser almacenados o producidos en el momento.

Muchos de los insecticidas botánicos están hechos a base de aceites esenciales, que son usados como tóxicos, fumigantes, atrayentes y repelentes para control de plagas. En su mayoría son líquidos volátiles no aceitosos al tacto, extraídos de flores, frutos, hojas, raíces, semillas o corteza de las plantas. Algunos de estos aceites provienen del anís, canela, geranios, eucalipto, hisopo, menta, mostaza, romero, tomillo, romero, salvia, etc. (Miresmailli e Isman, 2014).

También son usados extractos vegetales como los de chile, ajo, D-limoneno, piretro, etc

Ejemplos de insecticidas de extractos vegetales son: orégano, ajo, cempasúchil, donde se extraen sus compuestos activos (timol, carvacrol, alicina, entre otros), la rotenona, extraída de raíces y tallos de algunas leguminosas actúa por vía estomacal, se degrada con la acción del sol y la temperatura, es tóxica para los peces y moderadamente tóxica para los humanos. Actúa inhibiendo la respiración celular (Zamora *et al.*, 2008).

La sabadilla es un alcaloide extraído de los lirios, su mecanismo de acción es causando parálisis muscular en los insectos. No es residual. (Adel y Sehnal 2000; Zamora *et al.*, 2008; Miresmailli e Isman, 2014).

El extracto de piretro, insecticida natural contenido en el crisantemo, es la oleorresina de *Tanacetum cinerariaefolium* cuyos principios activos son seis ésteres los cuales difieren en el sustituyente terminal de las cadenas laterales de los componentes ácidos y alcoholes, que le confieren su actividad biológica, producto de la reacción de los ácidos crisantémico y piretroico con los alcoholes piretrolona, cinerolona y jasmololona, los cuales se transforman por la reacción de los ácidos con el alcohol piretrolona (piretrina I y II).

Su degradación (hidrólisis de la función éster, principalmente seguida de la hidroxilación del grupo fenoxi) en el suelo es muy rápida aproximadamente entre 2

y 4 semanas. Son altamente tóxicas y repelentes para una gran diversidad de insectos y artrópodos, su mecanismo de acción es sobre el sistema nervioso causando parálisis inmediata (Pérez-López, 2012).

Un insecticida botánico importante es la Azaridactina (proveniente del árbol de nim), que es un tetranorditerpenoide ( $C_{35}H_{44}O_{16}$ ), cuya acción insecticida afecta el comportamiento, crecimiento, desarrollo y fisiología de los insectos, ya que inhibe la oviposición y el proceso de metamorfosis aunque también tiene efectos antialimentarios y causa esterilidad ya que altera la concentración de ecdisteroides y de la hormona juvenil, aumenta la proporción de huevecillos estériles afectando la fecundidad, limita el desarrollo de huevecillos, pupas y tasas de crecimiento, interrumpe la comunicación sexual, inhibe la muda y formación de quitina, entre otros (Cruz-Fernández *et al.*, 2004). Actúa contra algunos lepidópteros, homópteros, coleópteros, himenópteros, hemípteros, dípteros, ortópteros, y tisanópteros (Adel y Sehnael 2000). También actúa como repelente, tiene acción residual e interrumpe el ciclo vital de los insectos impidiendo su desarrollo y su multiplicación (apareo, producción de huevos y la fertilidad) degradación (Schneider *et al.*, 2004; Zamora *et al.*, 2008).

Adicional a lo anterior, tiene acción fertilizante de la tierra o sustrato de cultivo, es biodegradable, no es tóxico ni para las personas, ni para los animales, aunque se han reportado daños a los peces e invertebrados acuáticos (Devine *et al.*, 2008; Lozano-Gómez, 2017).

También son usados extractos vegetales como los de chile, ajo, D-limoneno, etc (Miresmailli e Isman, 2014)

Son considerados ambientalmente seguros por su baja toxicidad en humanos y su rápida degradación (Schneider *et al.*, 2004; Zamora *et al.*, 2008).

Ejemplos de insecticidas botánicos comerciales son: Bio die (Disagro): insecticida botánico que actúa por contacto e ingestión, no es sistémico, por lo que necesita de una aplicación generosa para obtener una cobertura óptima. Su fórmula está hecha con extracto de berberina, ricina, argemonina y terthienyl, pertenece a la familia

alcaloide + alquil sulfato. Se utiliza principalmente para el control de mosca blanca, áfidos, ácaros, escamas, trips, paratrioza, palomilla y gusano medidor (Hoja técnica Bio-die).

Biocrack plus (Arbitae) es un repelente natural formulado con extractos alelopáticos de liliáceas *Allium sativum* y compuestos que ejercen repulsión de insectos fitófagos y al mismo tiempo atrae insectos benéficos como polinizadores, parasitoides y depredadores. Su acción es afectando el comportamiento o la fisiología de los insectos fitófagos como: repulsión, inhibición de alimentación y oviposición, hiperexcitación del sistema nervioso del insecto, principalmente. Se complementa con extractos naturales de *Matricaria chamomilla*, *Ruta graveolens* (sinomonas) para atraer a los insectos benéficos. Reduce el estrés fisiológico por fitotoxicidad de productos convencionales, tiene efecto fitotónico, es decir que proporciona compuestos orgánicos útiles al crecimiento, desarrollo y fructificación (Monsreal-Ceballos *et al.*, 2017). Es útil para controlar mosca blanca, minador de la hoja, trips, picudos, paratrioza, chinches, entre otros (Hoja técnica Biocrack).

CinnAcar, su ingrediente activo es cinnamaldehído y ácido cinámico. Es un insecticida y acaricida botánico a base de extracto de canela que se puede aplicar al aguacatero, ajo, cebolla, cebollín, arándano, frambuesa, fresa, grosella, zarzamora, lima, limonero, madarino, naranjo, tangerina, toronjo y nopal principalmente, para combatir trips, ácaros, piojo harinosa, araña roja, entre otros (Ultraquímica Agrícola, S.A. de C.V.).

#### **1.6.5. Aceites**

Los aceites pueden ser de origen vegetal o mineral y son eficaces para controlar ácaros e insectos de cuerpo blando, ya sea congestionando o tapando los espiráculos causando la muerte por asfixia y por repelencia ya que irritan el cuerpo de los artrópodos. Sin embargo, algunos aceites son fitotóxicos, además de que la gran mayoría son productos sintéticos refinados del petróleo. Los de origen vegetal



como los obtenidos de semillas de algodón, canola y soya, son menos eficaces que los sintéticos.

#### **1.6.6. Jabones**

Los jabones se han usado desde hace muchos años en la fitosanidad y se piensa que la acción de los jabones sobre el insecto es por sofocación, es decir, el insecto muere por al bloquearse los espiráculos; otro mecanismo de acción es rompiendo la tensión superficial del agua, la cual entra a la tráquea y ahoga al insecto; una teoría más sobre el mecanismo de acción de los jabones es que matan a los insectos por deshidratación, esta pérdida de agua se debe al deterioro de la estructura y la permeabilidad de las membranas celulares (Jiménez, 2009). A pesar de ser menos efectivos que los insecticidas químicos sintéticos, no crean resistencia, limitando su impacto contra sus enemigos naturales (Butler *et al.*, 1993; Perring *et al.*, 2017), sin embargo, no tienen acción residual, es decir que una vez secándose no tienen ningún efecto sobre los insectos por lo que se recomienda la aplicación en horas del día donde la temperatura no sea tan alta y los rayos de sol no sean muy fuertes. Adicional a esto, los jabones tienen cierta fitotoxicidad, lo cual constituye una desventaja, sobre todo en plantas muy vulnerables o sensibles.

#### **1.6.7. Control químico**

El uso de insecticidas se ha hecho una práctica habitual en el cuidado de cultivos. Los métodos químicos son rápidos y efectivos, pero los insecticidas químicos sintéticos deben usarse con medida, considerando el tipo de plaga, el tipo y dosis de químicos sintéticos, estado de la planta, ya que el uso de insecticidas rompe el sistema biológico del cultivo y si el uso es constante, los insectos crean resistencia a ellos, siendo necesaria una cantidad mayor, combinación de químicos e inclusive químicos más fuertes o tóxicos. Además, el uso de químicos sintéticos provoca la muerte de otros insectos benéficos (Giraldo, 2003; López *et al.*, 2010). Adicionalmente, la efectividad de los insecticidas depende de la cantidad usada y la

aplicación, en el caso de la hembra oviposita en el envés de las hojas, se dificulta la aplicación y esto puede resultar en uso excesivo de insecticidas que deriva en impactos adversos a la salud humana y al ambiente, además de ser costoso.

Los insecticidas sintéticos más ampliamente usados son compuestos organoclorados, organofosforados, metilcarbamatos, neonicotinoides y piretroides. Éstos últimos son modificaciones estructurales de uno de los agentes de control de insectos más antiguo: efectivo pero inestable; las piretrinas del crisantemo *Dendrothema cinnabarinum* (Devine *et al.*, 2008; Jiménez, 2009; Mendoza *et al.*, 2011; Valarezo, 2011). Los organofosforados y los carbamatos actúan inhibiendo la acetilcolinesterasa y por consiguiente interrumpe la transmisión sináptica. El resto actúa en las membranas nerviosas alterando los mecanismos de los conductos o canales de sodio (Casida, 1980).

La acción de los insecticidas neonicotinoides es similar a los insecticidas derivados de la nicotina, que actúa en el sistema nervioso central, son agonistas del receptor nicotínico de la acetilcolina, depolarizando la célula post-sináptica debido a la entrada de iones sodio y calcio causando convulsiones, hiperexcitación y parálisis que llevan a la muerte del insecto en pocas horas. El imidacloprid es un ejemplo de insecticida sistémico residual con actividad por contacto e ingestión, absorbido por vía radicular foliar (Fernández-García, 2013)

La acción de los insecticidas sobre los insectos de cuerpo blando puede ser por contacto y sistémico (Flores-Alaña *et al.*, 2015), es decir el insecticida debe depositarse sobre el cuerpo del insecto a manera de tapar los espiráculos de éste, causando asfixia y su posterior muerte o puede ser ingerido al momento de comer de la salvia de las hojas.

El uso de insecticidas para la fitosanidad y cuidado de cultivos se ha incrementado, muchas veces sin el cuidado y/o consciencia que esto requiere. Se dice que la agricultura moderna es responsable de gran parte de la contaminación del agua del subsuelo, del aire, de la eutrofización de sistemas acuáticos, emanaciones de gas efecto invernadero y es fuente antropogénica de amonio causante de la lluvia ácida (Devine *et al.*, 2008).

Es así que el uso de insecticidas si bien está ampliamente difundido en el control de plagas, tiene efectos colaterales. García González et al., 2008 experimentaron para concluir que los insecticidas en particular imidacloprid, cipermetrina y nim son tóxicos para insectos benéficos, por ejemplo: aceite de nim altamente tóxico a *A. papilionis* y *L. dactylopii*.

Cipermetrina (0.1 kilogramos de i. a.): afectó la emergencia de adultos de *T. pretiosum* *T. atopovirilia* cuando se expusieron los huevos 16 horas.

Cipermetrina (0.1 kilogramos de i. a.) *T. brasiliensis* *C. carnea* (Chrysopidae) 74-89% de mortalidad en 24 horas. Moderadamente tóxicos (*T. brasiliensis*: La emergencia de adultos varía de 33 a 57% en huevos de 1 día. 4.1 a 38.1% de mortalidad de larvas). Es así que, la cipermetrina y el confidor están clasificados como insecticidas extremadamente tóxicos y moderadamente tóxicos de acuerdo a la clasificación toxicológica del INIAP 2011. El nim está considerado como ligeramente tóxico según la misma clasificación.

### **1.7. CONFIABILIDAD Y PRUEBAS ACELERADAS DE VIDA EN ANAQUEL (ASLT)**

Durante el procesamiento de desarrollo de un nuevo producto, se hacen necesarias acciones que permitan determinar la capacidad del mismo para cubrir requerimientos de confiabilidad, es decir, que cumpla con los requisitos que cubran las necesidades y/o expectativas para los que fue desarrollado, así como la vida en anaquel. La confiabilidad tiene que ver con el desempeño del nuevo producto, la estabilidad de la fórmula, la duración, el rendimiento, etc. Es así que éstos son sometidos a diferentes tipos de pruebas, entre las más comunes están: las pruebas físicas, químicas, ambientales, de condiciones de operación, aceleradas, funcionales principalmente (Reyes, 2006).

La vida de anaquel de un producto se entiende como la vida media o la vida útil, y es el tiempo en el que conservará sus propiedades fisicoquímicas, organolépticas, funcionales y en el caso de alimentos, nutricionales. Dicho de otra manera, el

periodo de tiempo en el que el producto pueda consumirse sin ninguna afectación (Ullín-Montejo *et al.*, 2006; González-González *et al.*, 2016).

Existen factores determinantes en la vida de anaquel de cualquier producto, y de manera general son: formulación, procesamiento, empaque, condiciones de almacenamiento. En cuanto a la formulación, la selección de ingredientes, así como su interacción son de gran importancia. El procesamiento tiene que ver con los cambios físicos y químicos que se promueven o evitan de la fórmula. El empaque es, además de la presentación del producto, la protección y la manera de manipulación del mismo. En cuanto a las condiciones de almacenamiento están consideradas temperatura, presión, humedad, luz a las que esté expuesto el producto tanto en el transporte como el almacenamiento mismo (Jiménez-Hernández *et al.*, 2009).

La vida de anaquel así como la estabilidad de los productos están determinados por las condiciones de almacenaje a las que serán expuestos en condiciones normales, pero dada la necesidad de desarrollar y lanzar nuevos productos en tiempos limitados, se realizan pruebas aceleradas (ASLT por sus siglas en Inglés: Accelerated Shelf-Life Tests) como medida indirecta para evaluar y estimar la estabilidad de nuevos proyectos así como para pronosticar el comportamiento de la nueva fórmula al paso del tiempo, para asegurar la calidad y seguridad, es así que se almacenan bajo condiciones controladas que incrementan la tasa de degradación que sufren las fórmulas comparadas con las condiciones normales de almacenaje (González-González *et al.*, 2016).

Las pruebas aceleradas son aplicables a cualquier proceso de deterioro que tenga algún modelo cinético, pudiendo ser químico, físico, bioquímico o microbiológico (Steele, 2004; Mizrahi, 2004).

Hay diferentes métodos de medir y de realizar las pruebas ASLT dependiendo del objetivo que se busque, por ejemplo, cambio en la concentración de un ingrediente específico en función del tiempo, cambio en las propiedades físico-químicas originales de la fórmula al paso del tiempo, etc. Uno de los métodos más comúnmente utilizados es someter la fórmula a condiciones ambientales mayores

(temperatura, humedad, luz) a las que típicamente estaría sometido, es decir, condiciones extremas para incrementar la velocidad de degradación química, biológica o los cambios físicos de un producto o formulación nueva de las que no se conoce su comportamiento, dicho de otra manera, conocer la estabilidad organoléptica, físico-química y microbiológica con el objetivo de estimar la confiabilidad, estabilidad de los ingredientes en la fórmula y el período de vida útil o fecha de caducidad de la misma (Labuza, 1982; Jiménez-Hernández *et al.*, 2009). Este método es el que se utilizó en este trabajo.

De acuerdo a la NOM 073SSA-1-2014 Estabilidad de fármacos y medicamentos, así como remedios herbolarios, la estabilidad se refiere a los requisitos físicos, químicos y biológicos que una formulación debe cumplir a lo largo de su vida útil.

Las pruebas se hacen necesarias dado que la formulación estará expuesta a factores extrínsecos como tiempo, temperatura, luz y oxígeno, humedad, acción de microorganismos, así como a factores intrínsecos como incompatibilidad física, química, reacciones internas por la interacción de los ingredientes, etc.

## **2. JUSTIFICACIÓN**

A pesar de la importancia de la agricultura como proveedora de alimentos, se le considera un sector altamente contaminante, debido tanto al tipo de agricultura (intensiva) como al uso desmedido de productos químicos sintéticos como insecticidas, acaricidas, fertilizantes, coadyuvantes etc., que si bien favorecen el manejo de plagas, la prevención y/o eliminación de enfermedades, incrementan la producción, etc. también tienen efectos adversos al ecosistema como emisión de gases tipo invernadero, degradación del suelo, pérdida de la diversidad, contaminación por agroquímicos, entre otros (Oesterheld, 2008).

Dentro de esta industria, los coadyuvantes agrícolas, que por lo general son productos químicos sintéticos como resinas acrílicas, aminas de ácidos carboxílicos, etc. (Leiva, 2013), son de suma importancia ya que tienen la finalidad

de mejorar la aplicación y eficiencia de insumos agrícolas como fertilizantes, insecticidas, acaricidas, etc., dado que modifican algunas propiedades del sustrato destino manteniendo los insumos por más tiempo, evitando desperdicio por deriva, haciendo que se extiendan y adhieran de manera más uniforme, principalmente (García-Nevárez y Tarango- Rivero, 2009; Leiva, 2013).

Por otro lado, la investigación sobre las propiedades, características y usos de productos naturales, en particular del nopal *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae), se vuelve cada más relevante y útil. En muchas industrias como la alimenticia, de construcción, farmacéutica, cosmética, etc., es ya utilizado (Durán-Herrera y De León-Castillo, 2007), por sus características que le confiere su composición química de redes alternas de polisacáridos de alto peso molecular (Figueroa-González, 2011), lo que da pauta a continuar con el estudio de sus propiedades para aprovechamiento en otras industrias.

Ante esta problemática, la necesidad imperiosa de disminuir los impactos negativos por el uso indiscriminado de agroquímicos, aunado con el prometedor y continuo estudio de las propiedades y aplicaciones de productos naturales, ambos factores impulsan la intención de probar la característica adherente del mucílago del nopal *O. ficus- indica* como una alternativa más segura como adherente para insecticidas agrícolas.

### **3. HIPÓTESIS**

El mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica* funcionará como adherente agrícola botánico que mejore el desempeño de insecticidas sintéticos y botánicos.

## 4. OBJETIVOS

**4.1. Objetivo general:** Desarrollar un adherente botánico de uso agrícola a base de mucílago de nopal *Opuntia ficus-indica*.

### 4.2 Objetivos particulares:

Evaluar la acción adherente del mucílago del nopal como coadyuvante agrícola.

Identificar y establecer la concentración adecuada del mucílago como la de los ingredientes inertes para formulación del adherente botánico agrícola.

Evaluar la estabilidad de la fórmula adherente con mucílago de nopal.

Determinar la compatibilidad de la fórmula con dos tipos de insecticidas (botánico y sintético).

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1. Obtención del mucílago

Extracción el mucílago del nopal. La extracción del mucílago se realizó siguiendo las metodologías propuestas por Pérez et al. (2010) y Rodríguez-González et al. (2011, 2014), que consisten en:

Retirar las espinas, lavar el cladodio con agua destilada. Licuarlo con agua en proporción 1:3 m/v (mucílago:agua). Una vez obtenida una mezcla homogénea, calentar durante media hora con agitación a temperatura de entre 80 y 85°C. Llevar a temperatura ambiente y posteriormente agregar alcohol etílico (en volumen 1:3) para facilitar la precipitación del mucílago. Filtrar a vacío y una segunda vez por gravedad.

Finalmente, y para mantener sus propiedades y características, se conserva en refrigeración a 4°C para finalmente someterlo a liofilización.

La etapa de obtención de mucílago es muy importante dado que ella influirá tanto en el rendimiento como en la calidad del mucílago, materia prima del formulado.

Para el cálculo del rendimiento, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ rendimiento} = \frac{\text{peso mucílago}}{\text{peso inicial cladodios}} * 100$$

## 5.2 Caracterización del mucílago.

**5.2.1 Humedad.** Para la determinación de humedad, se pesó una muestra de mucílago fresco, y se introdujo al horno solar durante una semana. Al término de este tiempo, se sacó la muestra y se obtuvo su peso de nueva cuenta. El cálculo se realizó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ humedad} = \frac{\text{peso final cladodio}}{\text{peso inicial cladodio}} * 100$$

### 5.2.2. Espectro FT-IR

Muestra del mucílago liofilizado fue analizada por la espectroscopia FT-IR en los laboratorios del CEACA (Centro de Estudios Académicos sobre Contaminación Ambiental) de la facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro. El espectrofotómetro utilizado fue marca Perkin Elmer, modelo Spectrum 100

### 5.2.3. Difracción de Rayos X (DRX)

La muestra liofilizada fue analizada en el campus Aeropuerto de la Universidad Autónoma de Querétaro, donde se utilizó un difractor Bruker D8 Avance, con una radiación monocromática de Cu K $\alpha$  en el rango de 10-80° en 2 $\theta$ , con una velocidad de incremento de 0.01° y un tiempo de permanencia de 1 segundo y longitud de onda de  $\lambda = 1.54 \text{ \AA}$ .

## 5.3. Determinación de la concentración de mucílago para el formulado adherente

Se prepararon diferentes soluciones de mucílago-agua destilada para identificar la adecuada concentración para utilizar en el bioensayo, empezando con una solución de 0.004% con incrementos logarítmicos sin rebasar el 40%.

A pesar de la solubilidad del mucílago, las concentraciones trabajadas requirieron de la homogenización con ultrasonido, debido a la alta viscosidad y adherencia,



principalmente. Las soluciones se preservaron en refrigeración (4°C) para asegurar su calidad al momento de su posterior uso.

#### **5.4. Evaluación de la adherencia de las diferentes concentraciones de mucílago**

Se utilizaron 10 hojas de *Ficus Benjamina* por tratamiento. La decisión del uso de esta especie fue hecha en base a la disponibilidad, distribución, ser propensa al ataque de diferentes insectos, pero principalmente por su fisiología: la superficie del haz es cerosa, representa un reto importante para los coadyuvantes agrícolas.

Para calcular el porcentaje de área foliar cubierto, se fijaron 10 hojas de *F. Benjamina* a una placa de unicel, se etiquetaron y posteriormente se asperjaron 0.5 mL de cada uno de los tratamientos aplicados a 15 cm de distancia. Se tomaron fotografías para posteriormente medirlas con el software Image J.

#### **5.5. Elaboración del formulado adherente a base de mucílago**

La selección de los ingredientes para la elaboración de la formulación se hizo con base a las características propias de los ingredientes como la del mucílago, buscando la estabilidad, conservación y manejo del mucílago, así como el desempeño del mismo. La formulación del adherente contiene ingredientes inertes como: diluyentes, conservadores y emulsificantes.

#### **5.6. Comparación del desempeño del formulado de mucílago con un adherente comercial: Dix 30**

El coadyuvante comercial utilizado fue Dix 30 alquil éter polioxietilénico con ocho moléculas de etileno y sal sódica de lauril sulfato (Agroquímica Rivas, S.A. de C.V.)

Se asperjaron las hojas (10 por tratamiento) con 0.5 mL de la fórmula de mucílago y diferentes concentraciones del adherente comercial. Para el cálculo del área cubierta, se fotografiaron y posteriormente se midió el área con el programa Image J.

## **5.7. Pruebas aceleradas de vida en anaquel (ASLT) y estabilidad de las fórmulas.**

### **5.7.1. ASLT**

Para probar la estabilidad de la fórmula, fue sometida a pruebas aceleradas (ASLT) por 10 semanas lo cual corresponde a un aceleramiento 11 veces más rápido a las condiciones normales, con intensidad de luz de 4,000 lumens y temperatura de 54°C y humedad 60%, según metodología propuesta por Kanngiesser, (2018). Para conseguir las condiciones citadas se construyó una cámara provista con focos y recipientes de agua. Las características que se observaron fueron principalmente color, olor, apariencia, presencia de precipitado y finalmente evaluación microbiológica.

### **5.7.2. Evaluación organoléptica. Degradación de color**

Se evaluó COA de las muestras a las 2, 4, 6, 8 y 10 semanas. Para contrastar resultados, las muestras fueron analizadas con la técnica espectroscópica UV/VIS, realizada en espectrofotómetro HP 8453.

### **5.7.3. Pruebas microbiológicas**

Para la evaluación microbiológica, se buscaron bacterias mesófilas, hongos y levaduras de acuerdo al procedimiento descrito en la NOM-092-SSA-1-1994.

## **5.8. Compatibilidad con insecticidas**

Se utilizaron insecticidas comerciales, uno de origen botánico PHC Neeem fabricado por PHC México cuyo ingrediente activo es obtenido de *Azadirachta indica* y los sintéticos: Cipermetrina 200. Además, se evaluaron la compatibilidad de éstos con la formulación de mucílago a diferentes concentraciones (según indican las recomendaciones del proveedor).

Para calcular el porcentaje de área foliar cubierto se fijaron 10 hojas de *F. Benjamina* a una placa de unicel, se etiquetaron y posteriormente se asperjaron 0.5mL de cada uno de los tratamientos a 15 cm. de distancia. Se tomaron fotografías para posteriormente medirlas con el software Image J.

## 5.9. Análisis de resultados

Los resultados obtenidos fueron analizados con un análisis de varianza de una vía y con una prueba de Tukey con una significancia de 0.05 con el paquete estadístico Minitab 15.

## 6. RESULTADOS

### 6.1 Obtención del mucílago

Rendimiento:

El rendimiento fue del 0.89%, calculado por diferencia de peso inicial y final y expresado en porcentaje.

El rendimiento obtenido de 0.89% es mayor al obtenido por Pérez et al. 2010 quienes obtuvieron un valor de 0.86%, posiblemente debido a que una vez hecho el filtrado, se refrigeró la mezcla por 24 horas, lo que pudo haber promovido la floculación.

Como se ha comentado, la cantidad de mucílago depende de muchos factores como la edad de la planta, el momento del cultivo, las condiciones del mismo etc. Vargas-Rodríguez et. al., (2016) reportan rendimiento del 0.35% para cladodios de 2 meses y de 0.92% para cladodios de 2 años. Estos mismos autores, en otro estudio, reportan rendimiento de 0.472%. Por otro lado, Cai et. al., (2007) obtuvieron rendimientos de 0.654 y 0.671%. a diferentes temperaturas. Esto demuestra también que las condiciones de extracción influyen en el rendimiento.

Por otro lado, Mendoza et al., (2014), obtuvieron diferentes rendimientos dependiendo de la proporción de etanol usado y la edad del cladodio: que fueron del 0.30% para cladodios menores de un año con relación 1:3 mucílago:etanol, hasta 0.84% para cladodios de 1 año con relación mucílago:etanol 1:3.

## 6.2. Caracterización del mucílago

### 6.2.1. Humedad

La humedad de los cladodios después de una semana en horno solar fue de 68.83%.

### 6.2.2. Espectro IR

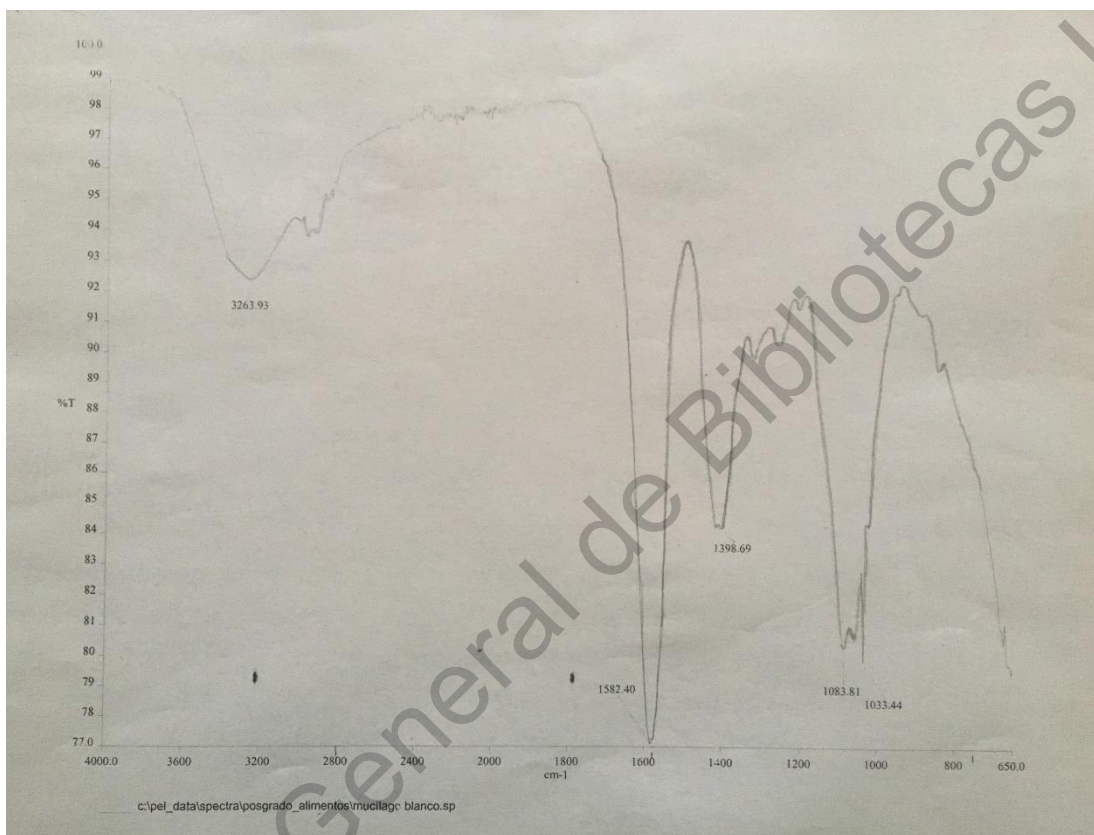


Figura 4. Espectro FT-IR para muestra de mucílago liofilizado.

La figura 4 muestra el espectro realizado en la presente investigación al mucílago liofilizado. Se encontraron bandas en  $3,263.93 \text{ cm}^{-1}$  que corresponde a estiramiento de OH de ácido carboxílico (ácido galacturónico), cuya banda para el carbonilo apareció como una banda intensa en  $1582 \text{ cm}^{-1}$  y en  $1033.44 \text{ cm}^{-1}$  el estiramiento simétrico en éteres que coinciden con los resultados obtenidos por Delgado-Arroyo et al. (2018) a muestras de residuos resinosos de *O. ficus-indica*, quienes reportaron las frecuencias  $3,331 \text{ cm}^{-1}$  O-H y/o N-H; a  $1,414 \text{ cm}^{-1}$  (C-H);  $1,370 \text{ cm}^{-1}$  (C-H);  $1,034 \text{ cm}^{-1}$  (C-H),. Por otra parte Rodríguez-González et al. (2014), también encontraron bandas a  $3,405.68 \text{ cm}^{-1}$  que corresponden al estiramiento OH del alcohol presente

en el ácido carboxílico, mientras que de  $1,324.29\text{ cm}^{-1}$  -  $1,252.34\text{ cm}^{-1}$  se asocia con la vibración C-H,  $1,084.27$ - $1,046.47\text{ cm}^{-1}$  asociados a las vibraciones C-C y C-O de las moléculas de mucílago, respectivamente.

Otras señales encontradas en el liofilizado de mucílago fueron a  $1,582.4\text{ cm}^{-1}$  correspondiente a la torsión en el plano H-N-H; a  $1,398.69\text{ cm}^{-1}$  el pico que corresponde a torsión simétrica C-H (metilos); por otro lado, Contreras-Padilla et al., (2004) realizaron espectro FT-IR a muestras de cladodios de *O. ficus indica* a diferentes etapas de maduración, encontrando las siguientes señales:  $1,425, 872, 717\text{ cm}^{-1}$  vibración asimétrica de carbonato de calcio;  $1,613, 1,317, 780\text{ cm}^{-1}$ : tensión asimétrica y simétrica de OCO;  $1,460, 1,049, 890\text{ cm}^{-1}$  : tensión asimétrica carbonatos;  $485$  tensión fuera del plano del enlace Mg-O. resultados que difieren los encontrados en el espectro del liofilizado. Comparando los espectros, se identificaron en el género *Opuntia ficus-indica* componentes similares en frecuencias cercanas, principalmente alrededor de  $3,000\text{ cm}^{-1}$ , que corresponden a vibraciones C-O, O-H, -COOH, que pueden explicarse por la presencia de la cadena de ácido urónico, base de la composición del mucílago. Por consiguiente, de esta comparación, se pudo inferir la existencia de moléculas de carbohidratos y ácido urónico así como la presencia de monosacáridos y glucosa ( $1,085$ - $1,045\text{ cm}^{-1}$ ).

### 6.2.3. Difracción de rayos X

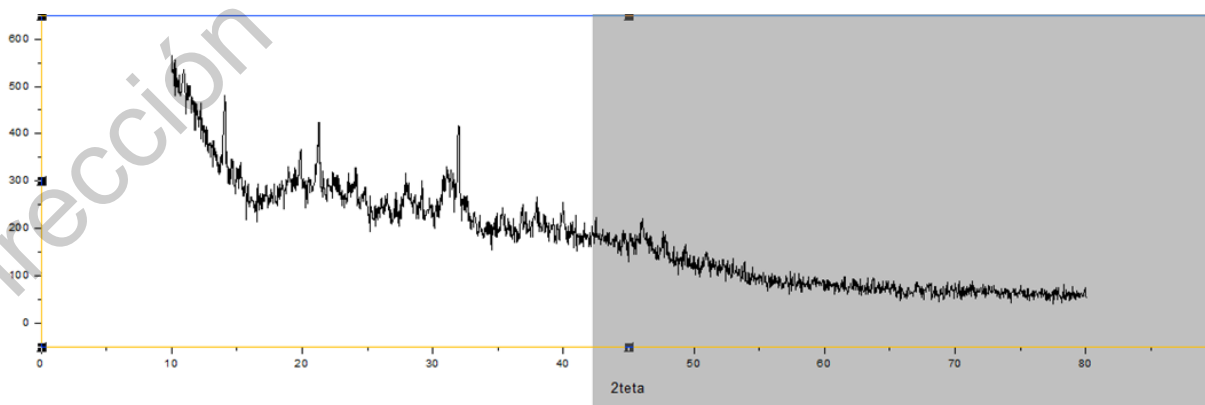


Figura 5. Difractograma de mucílago de nopal liofilizado.

La figura 5 muestra el difractograma realizado a la muestra de liofilizado de nopal donde se pudo interpretar que las difracciones de Bragg son representativos de materiales amorfos, es decir que el mucílago obtenido no fue es un cristal puro. Sin embargo, presentó difracciones características del calcio, que comparándolo con el banco ICDD coincide con el oxalato de calcio (wedellite) (0870655), reportado por Rodríguez-García et al. (2007) quienes obtuvieron el siguiente difractograma de especies *Opuntia* realizado en donde concluyeron la presencia de oxalato de calcio también.

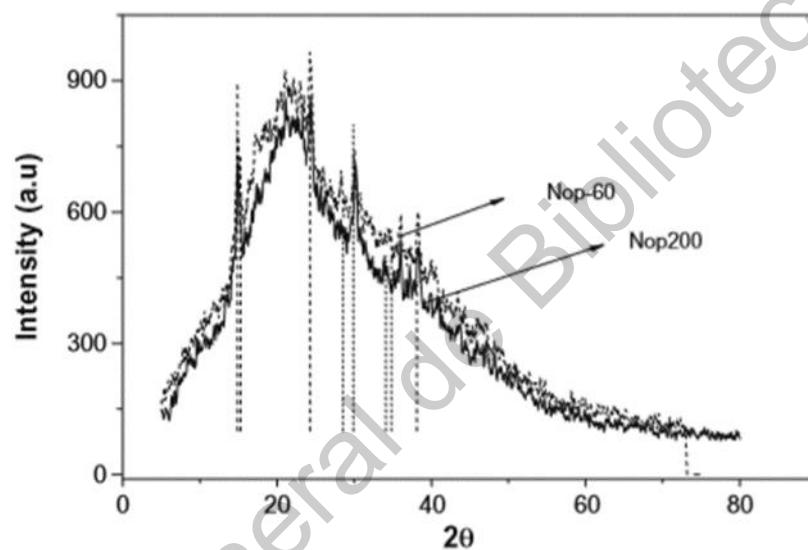


Figura 6. Difractograma de diferentes especies de *Opuntia*( Rodríguez-García et al., 2007)

La figura 6 muestra el difractograma realizado por Rodríguez- García et al. (2007) a diferentes especies de *Opuntia*, evidenciándose la existencia de oxalato de calcio.

Así mismo, Contreras-Padilla et al. (2014), quienes trabajaron con los cladodios de *O. ficus indica* a diferentes edades de maduración (fresco como incinerados), encontraron la presencia de oxalato de calcio monohidratado (whewellite) identificado con PDF # 20-02331 JCPDS-ICDD, oxalato de calcio monihidratado (whewellite), carbonato de calcio, óxido de magnesio, bicarbonato de calcio-magnesio y peroxydifosfato de potasio y fairchildite. La diferencia con el encontrado

en el mucílago liofilizado (oxalato de calcio dihidratado) puede explicarse debido a que la muestra liofilizada no fue incinerada como la de estos investigadores.

### 6.3 Determinación de la concentración de mucílago para el formulado adherente

Se prepararon soluciones a partir de una concentración de 0.004% con incrementos logarítmicos hasta 40%. La solución al 40% es demasiado espesa y viscosa por lo que su manipulación es muy complicada. La solución al 4% mostró viscosidad elevada y de difícil manipulación en cuanto a solubilidad, por lo que se determinó que ésta fuera la mayor concentración a usar.

### 6.4. Evaluación de la adherencia de las diferentes concentraciones de mucílago

Se evaluó la adherencia de las soluciones al 0.004, 0.04, 0.4, 4 % de mucílago, y asperjando 0.50mL de cada solución a 10 hojas de *Ficus Benjamina* a una distancia de 15 cm. Para el cálculo del área cubierta, se tomaron fotos y se evaluaron con el programa ImageJ. Los resultados se muestran en el cuadro 3.

Cuadro 3. Porcentaje de área cubierta de soluciones de mucílago de nopal *Opuntia ficus indica* a diferentes concentraciones.

TRATAMIENTO	% ÁREA CUBIERTA
Mucílago 0.004%	32.15 ± 2.14 C
Mucílago 0.04%	58.40 ± 19.9 B
Mucílago 0.4%	95.00 ± 3.9 A
Mucílago 4%	30.20 ± 4.0 C
Agua	32.40 ± 13.1 C

Los resultados son el promedio de 10 datos. Se realizó análisis de varianza de una vía y comparación de Tukey. Letras diferentes significan diferencia significativa entre tratamientos,  $p < 0.0001$ .

Los resultados después de asperjar diferentes soluciones de mucílago mostraron que el porcentaje del área foliar cubierta aumentó con la concentración, en todos los casos excepto para la concentración más alta al 4% que tuvo porcentaje de cobertura foliar igual que la solución con la concentración menor y que el control.

Después del comparativo hecho a las diferentes soluciones de mucílago y del control, se observó que los tratamientos con las soluciones de mucílago al 0.04%, y al 0.4% fueron diferentes a los tratamientos con las soluciones de mucílago al 0.004% y al 4%, los cuales fueron estadísticamente iguales al control.

Los resultados indicaron que tanto en las concentraciones al 0.004% así como al 4%, la acción adherente del mucílago se pierde y fue estadísticamente igual que asperjar solamente agua. En el caso de la solución al 0.004%, dado que la cantidad de mucílago fue muy baja la cobertura fue mínima, lo que sugiere que se perdió la acción adherente por la disolución; por otra parte, con la solución al 4% se observó que ésta estuvo muy espesa lo que influyó a que no se pudiera extender y ni cubrir bien el área foliar. La mayor cobertura se obtuvo con la solución al 0.4% que cubrió el 95% del área total de las hojas.

De acuerdo a Masschelein-Kleiner (1995), el mucílago de nopal *O. ficus indica*, al estar compuesto por polímeros naturales (amilasa y amilopectina), forma películas con cierto grado de rigidez y cohesión lo que explica el comportamiento de las soluciones diluídas y concentrada mostrando una mayor o menor área foliar cubierta.

Otros autores coinciden en que la composición alta en azúcares y la disposición de sus cadenas contribuyen a sus características de viscosidad y espesante del mucílago del nopal, (Trachtenberg y Mayer, 1981; Espino-Díaz *et al.*, 2010; Vargas-Rodríguez *et al.*, 2016) lo que coincidió con la concentración al 4% en este trabajo que permaneció en un área muy específica de la hoja sin extenderse de manera importante.

El porcentaje de área foliar cubierta en este trabajo se pudo observar como una medida indirecta de la adhesión del mucílago en el área foliar. Por otra parte se sostiene que el mucílago tiene además capacidad emulsionante y facilidad de formación de películas dadas por su adherencia y viscosidad (Saéñz *et al.*, 2006;



Espino-Díaz *et al.*, 2010; Allegra *et al.*, 2016; Gheribi *et al.*, 2018), por lo que a pesar de que no se han reportado muchas aplicaciones del mucílago de nopal *O. ficus-indica* en el área agrícola, en la industria alimentaria éste ha sido utilizado para hacer películas para la conservación de frutas.

A pesar de que la adherencia de la solución al 4% fue de 30.20 %, menor que la mostrada por las soluciones al 0.04% y 0.4%, Vargas Rodríguez *et. al.*, (2018) usaron soluciones al 5% para pruebas de adhesividad. Por otro lado, los reportes que se tiene sobre el uso de mucílago como película (biopelícula en alimentos), han usado proporciones 1:50, como lo reportan Vargas-Rodríguez *et. al.*, (2018).

### 6.5. Compatibilidad con insecticidas

Se probó adherencia de la formulación de mucílago con diferentes insecticidas: Confidor (imidacloprid) que pertenece al grupo cloronicotinoide, que actúa de manera sistémica, por contacto y por ingestión, eficaz contra insectos chupadores.

Cipermetrina 200, que pertenece a la familia de los piretroides, neurotóxico que actúa por contacto e ingestión.

PHC Neeem, insecticida botánico, extracto de *Azadirachta indica*.

Los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 4.

Cuadro 4. Porcentaje de área foliar cubierta por insecticidas químicos sintéticos y botánico.

TRATAMIENTO	% ÁREA FOLIAR CUBIERTA
Confidor	49.2 ± 7.20 B
Cipermetrina	28.3 ± 0.49 C
Nim	83.9 ± 8.60 A
Agua	32.4 ± 13.10 C

Los resultados son el promedio de 10 datos. Letras diferentes significan tratamientos estadísticamente diferentes,  $p < 0.0001$

Los resultados indicaron que el nim por sí mismo, tuvo una cobertura foliar alta (83.9%) debido su composición ya que al ser un producto vegetal cuenta con

compuestos que pudieron actuar como adherentes, seguido por el confidor, el agua y la cipermetrina, ésta última tuvo la menor cobertura, incluso inferior que el agua (cuadro 4).

Los porcentajes de área foliar cubierta obtenidos en esta prueba, pudieron deberse a las diferentes viscosidades de cada uno de esos productos. En el caso de los insecticidas asperjados en este trabajo, el porcentaje de área foliar cubierta resultó ser menor para los casos de cipermetrina (consistencia ligera cuya viscosidad es de 1.25 g/mL a 20°C) y el confidor (consistencia espesa con densidad de 1.17 g/cm<sup>3</sup> a 20°C y 1.1495 g/cm<sup>3</sup> a 40°C) (ficha de datos de seguridad Bayer), sin embargo, aunque ambos tuvieron coberturas inferiores al 50%, fueron estadísticamente diferentes. Es decir, insecticidas con baja y alta viscosidad resultaron en porcentaje de área foliar cubierta baja, menor del 50%. En cuanto al nim, que presentó una cobertura foliar alta, (superior al 80%), es probable que haya sido debido a alguna de sus propiedades físico-químicas, principalmente la viscosidad. En este sentido, el aceite esencial presenta una viscosidad de 51.6 cP. Arias et al., (2009) calcularon la viscosidad del aceite de nim obtenido de semillas teniendo un valor de 51.6 cP. Mientras que el aceite extraído de la misma planta tiene una viscosidad Saybolt de 235cSt, característica que le confiere al aceite propiedades adherentes o de fijación en las plantas (Hidalgo- León, 2002).

Tanto la cipermetrina como el control fueron estadísticamente iguales, la consistencia de este insecticida es parecida a la del agua: viscosidad de 1.25 g/mL a 20°C y 1 g/ mL (Pubchem, 2019) respectivamente, característica que puede influir en su comportamiento como se comprobó con los datos de porcentaje de cobertura foliar.

Otro autor como Santiago-Sarubi (2015), concluye en su trabajo que hay diversos factores que influyen en el modo de acción del fitosanitario, principalmente el tipo de formulación (concentrado emulsionable, suspensión concentrada, polvo soluble, polvo mojable, etc.), lo que explica los resultados obtenidos en este trabajo ya que las características físicoquímicas de los tres insecticidas son muy distintas, así como los resultados obtenidos.

## 6.6. Elaboración del adherente en base de mucílago

Para la selección de ingredientes para el formulado, se tomó en cuenta las características propias de cada uno de ellos, compatibilidad con el mucílago, estabilidad de la mezcla, logrando la siguiente formulación:

Mucílago de nopal *Opuntia ficus-indica*..... 4%  
Inertes (conservadores, emulsionantes, solventes, vehículo, impurezas) .... 96%

El porcentaje de ingrediente activo se determinó con base a las pruebas de área foliar cubierta, concentración de mucílago manipulable, propósito de obtener un formulado concentrado, recomendaciones de proveedores de insumos agrícolas, principalmente.

Para el Dix 30, los ingredientes activos (alquil éterpolioxietilénicos con 8 moléculas de etileno y sal sódica de lauril sulfato equivalentes a 300g de i.a./L) corresponden al 29.55% y los ingredientes inertes (diluyente y colorante) representan el 70.45%

## 6.7. Comparación del desempeño de la formulación de mucílago con un adherente comercial: Dix 3

Los resultados de la cobertura del adherente comercial comparado en la formulación de mucílago se muestran en el cuadro 5.

Cuadro 5. Porcentaje de área foliar cubierta del formulado con mucílago de nopal y un coadyuvante comercial a diferentes concentraciones.

TRATAMIENTO	% ÁREA FOLIAR CUBIERTA
Fórmula con mucílago 3 mL L <sup>-1</sup>	96.9 ± 4.6 A
Dix 30 1 mL L <sup>-1</sup>	94.9 ± 5.0 A
Dix 30 3 mL L <sup>-1</sup>	94.9 ± 5.2 A
Agua mL L <sup>-1</sup>	32.4 ± 13.1 B

Los resultados son el promedio de 10 datos. Letras diferentes significan tratamientos estadísticamente diferentes,  $p < 0.0001$

El análisis mostró que todos los tratamientos si bien son distintos al control, el cual tuvo la menor área foliar cubierta (menor al 35%), son estadísticamente iguales. Es decir, tanto el formulado con mucílago como la fórmula comercial a diferentes concentraciones, incrementaron sustancialmente el área foliar cubierta obteniendo resultados cercanos al 100%. (Cuadro 5).

En otras palabras, el desempeño del formulado con mucílago de nopal tuvo un desempeño estadísticamente igual al coadyuvante comercial Dix 30. Este resultado demostró que la formulación propuesta tiene ventajas importantes en el sentido ecológico sobre la formulación comercial sin comprometer su acción adherente. Esto debido a que la FAO y la OMS autorizan el uso de materiales vegetales ya sea para emplearse como fertilizantes y acondicionadores del suelo, para el control de plagas y enfermedades de las plantas, como ingrediente de origen no agrícola, o empleados para la elaboración de productos de origen agrícola, dado a la baja o nula toxicidad que representan tanto para el medio como para el ser humano. De hecho, tanto el nopal como el mucílago son empleados en diversas industrias como la farmacéutica, de cosméticos y sobre todo alimentaria (Saénz *et al.*, 2006; Espino-Díaz *et al.*, 2010; Allegra *et al.*, 2016; Gheribi *et al.*, 2018). En cambio, el dix 30, al ser un producto comercial sintético, representa cierto riesgo al ambiente ya que por sus ingredientes y concentración, puede, si es inhalado presentar sensación de quemazón, dificultad respiratoria, dolor de garganta, pérdida del conocimiento, si es ingerido, dolor abdominal, diarrea, náuseas, dolor de garganta; al contacto con los ojos, enrojecimiento, dolor, visión borrosa y si hay contacto con la piel, enrojecimiento, quemaduras cutáneas, dolor, En cuanto a la dosis letal media en ratas es de 2,000mg/kg, en conejos (dermal) >5,000 mg/kg; y en cuanto al medio ambiente, es tóxico para organismos acuáticos y afecta el crecimiento de las plantas siendo su categoría toxicológica IV; de acuerdo a información de la hoja de seguridad Rivas, 2017.

A pesar de que no se han reportado muchas aplicaciones en el sector agrícola para el mucílago de nopal *O. ficus-indica*, en la industria alimentaria es utilizado para

hacer biopelículas para la conservación de frutas, debido tanto a su capacidad emulsionante como a su facilidad de formación de películas, ambas resultado de su adherencia y viscosidad (Saéñz *et al.*, 2006; Espino-Díaz *et al.*, 2010; Allegra *et al.*, 2016; Gheribi *et al.*, 2018). Son estas características deseables de utilizar en la elaboración del coadyuvante para una mayor cobertura de área foliar y mejor aprovechamiento de insumos. En este trabajo, el área foliar cubierta fue una medida indirecta de la adherencia, ésta se vio mejorada tanto con la capacidad del mucílago de formar películas, como con las características de los ingredientes de la formulación.

El coadyuvante comercial utilizado Dix 30 es un alquil éter polioxietilénico con ocho moléculas de etileno y sal sódica de lauril sulfato (Agroquímica Rivas, S.A. de C.V.), tiende también a formar películas sobre las superficies asperjadas en las concentraciones sugeridas por el fabricante por su naturaleza surfactante (Hoja de seguridad Rivas, 2017).

De acuerdo a Krogh *et al.*, (2002); Sazo *et al.*, (2008); García-Nevárez y Tarango-Rivero, (2009); Leiva, (2013), dentro de las diferentes clases de coadyuvantes, los surfactantes son comúnmente utilizados ya que al romper la tensión superficial de las gotas, hacen que éstas se “aplanen” y se cubra una mayor superficie foliar. En cuanto a los adherentes, los beneficios obtenidos son que los insumos permanezcan por mayor tiempo en la superficie foliar, situación muy conveniente en condiciones de viento o lluvia, ya que disminuyen la tensión superficial para facilitar el mojado de la parte aérea de la planta y forman una película uniforme, asegurando una cobertura de los plaguicidas en la superficie de las hojas.

Estas características se vieron demostradas en este trabajo ya que, en el comparativo de asperjar un coadyuvante comercial, el formulado con mucílago y el control, el área foliar cubierta tanto del coadyuvante comercial como del formulado con mucílago, alcanzaron áreas foliares cubiertas muy altas, arriba del 90% y estadísticamente iguales contrastando con la cobertura del control que fue del 32.4%. Es decir, los ingredientes de la fórmula, permiten potenciar el efecto adherente del mucílago de nopal promoviendo una aplicación tan eficiente como la del comercial, comportándose como coadyuvantes adherentes y/o surfactantes.

De acuerdo con los trabajos de Massaro et al., (2016), concluyeron que el uso de coadyuvantes (polímeros de alto peso molecular al 18% y polímeros de estabilización al 12%, formulados como alcohol lineal graso etoxilado al 30% en dosis de 150cc/100 litros calificados como antideriva aumentaron el tamaño de la gota.

Aunque las conclusiones de Santiago-Sarubi (2015) en su trabajo de comparación del efecto del uso de coadyuvantes siliconados (trisiloxanos) que actúa principalmente como tensoactivo y adherente para el uso con fitosanitarios a una concentración de 1mL /1000mL con la ausencia de coadyuvantes, resultan en que el tamaño de gota asperjado es menor con coadyuvantes que sin ellos y por consiguiente el peso también lo es debido a la modificación en la densidad del agua; en cuanto al tiempo de evaporación fue menor para el uso de coadyuvantes y la superficie ocupada fue sustancialmente mayor, resalta la necesidad de complementar esta acción con otras sustancias. Es decir, el menor tamaño de gota, además del efecto tensoactivo del coadyuvante que hace reducir el ángulo de contacto en la relación superficie líquido-sólido, hace que la superficie expuesta de la mezcla de agua y surfactante siliconado aumente, lo que reduce el tiempo de evaporación de la gota (menor cantidad concentrada).

El desempeño de la fórmula de mucílago es igual o mejor que el del adherente comercial. La ya probada adherencia del mucílago se potenció con la inclusión de otros ingredientes emulsificantes, la sinergia para romper la tensión superficial del agua resulta en una cobertura casi del 100%. Naod y Tsige, (2012) reportan que la tensión superficial puede ser disminuída por polímeros solubles en agua.

## **6.8. Pruebas aceleradas de vida en anaquel (ASLT)**

### **6.8.1. Evaluación organoléptica. Degradación de color.**

De las observaciones a las pruebas aceleradas de vida en anaquel (ASLT) se reportaron cambios en color, olor, apariencia, los resultados obtenidos fueron los siguientes: las muestras identificadas como “prueba” presentaron degradación de color, comparadas con las muestras identificadas como “control”. Es así que el Dix

30 (P), a las dos semanas de prueba pasó de color verde brillante a verde claro, y a la cuarta semana se tornó incoloro. El olor y la apariencia se mantuvieron sin cambios a lo largo de las 10 semanas de prueba.

En cuanto al formulado de nopal, la muestra identificada como prueba sufrió un ligero cambio en color a las 4 semanas, de su color original verde oscuro cambió a verde pardo, que se mantuvo a lo largo del resto de la prueba. Kanngiesser, (2018), propuso que, en sólidos, la tendencia al cambio de color es más lenta que en líquidos. Así mismo, sugirió que la tasa de aceleración de la degradación de color es afectada por la matriz y el tipo de colorante empleado. Estas observaciones coinciden con lo sucedido con las muestras evaluadas en la presente investigación, ya que el formulado de nopal es un líquido más espeso que el adherente comercial. En cuanto al olor, ninguna muestra tuvo algún cambio ni el adherente comercial (control y prueba) ni el formulado de nopal (control y prueba) durante las 10 semanas de prueba.

En cuanto la apariencia, ambas muestras de Dix 30 se mantuvieron sin cambios a lo largo de la prueba, sin embargo, el formulado con mucílago, tanto la muestra control como la prueba, presentaron un ligero cambio al cabo de 2 semanas: de ser un líquido espeso homogéneo a ser un líquido espeso con tendencia a precipitar. A las 4 semanas, ambas muestras presentaron un ligero precipitado sin que hubiera separación de fases que se mantuvo hasta el término de la prueba. Este comportamiento no es adjudicable a las condiciones de luz, temperatura y humedad a las que fueron expuestos, sino a la naturaleza del mucílago y por ser una emulsión, ya que ambas muestras se comportaron de manera similar

Los resultados del análisis de espectroscopia UV/VIS arrojaron los siguientes resultados:

Cuadro 6. Resultados de espectroscopía UV/VIS para muestras de adherente comercial y formulado con mucílago antes y después de las pruebas ASLT, leídas a  $\lambda = 501\text{nm}$ .

<b>MUESTRA</b>	<b>%Transmitancia</b>	<b>Absorbancia</b>
Formulado con mucílago (C)	81.635	-1.9119
Formulado con mucílago (P)	79.3744	-1.8996
Dix 30 (C)	85.6345	-1.9326
Dix 30 (P)	90.1477	-1.9549

Comparando los resultados obtenidos de las muestras control y prueba para el adherente comercial, el porcentaje de transmitancia es menor para la muestra (C) (85.6345%), es decir, que la luz es absorbida en mayor proporción dada las características de la muestra, principalmente concentración de colorante, comparado con el valor de 90.1477% de transmitancia para la muestra (P). Para el análisis del formulado con mucílago, el efecto es contrario, la muestra prueba es más colorida (79.3744%) que el control (85.6345%), por tal motivo los valores de transmitancia son 79.3744 u 85.6345% respectivamente. (Cuadro 6).

Paladino et al. (2008) realizaron análisis espectroscópicos para medir tanto la absorbancia y la intensidad de color como variables en la tendencia a la oxidación en vinos, encontrando que la absorbancia incrementaba debido a la oxidación del sustrato. Resultados parecidos se obtuvieron con el formulado de mucílago, donde la absorbancia incrementó en la muestra sometida a la prueba. Sin embargo, para el Dix 30, la absorbancia disminuyó. Con los análisis uv/vis se pueden cuantificar indirectamente las concentraciones de los componentes naturales oxidados durante la exposición a temperaturas e intensidad de luz como fue el caso de las pruebas a las que fueron sometidas las muestras en la presente investigación.



### 6.8.2. Pruebas microbiológicas

Los resultados de las pruebas microbiológicas se muestran en el cuadro 7.

Cuadro 7. Resultados de pruebas microbiológicas realizadas a coadyuvante comercial, formulado con mucílago antes y después de ser sometidas a pruebas aceleradas de vida en anaquel y mucílago liofilizado.

<b>MUESTRA</b>	<b>BACTERIAS MESÓFILAS AEROBIAS (ufc/mL)</b>	<b>HONGOS (ufc/mL)</b>	<b>LEVADURAS (ufc/mL)</b>
Dix 30 (C)	5,800,000	ausentes	ausentes
Dix 30 (P)	8,000,000	6	ausentes
Formulado con mucílago (C)	ausentes	ausentes	ausentes
Formulado con mucilago (P)	ausentes	ausentes	ausentes
Liofilizado de nopal	40 (*)	ausentes (*)	ausentes (*)

(\*) ufc/0.1 g donde ufc = unidad formadoras de colonias. (C) Control: muestra conservada a 4°C.

(P) Prueba: muestra sometida a pruebas aceleradas de vida en anaquel (54°C, 60% humedad y 2,000 lumens durante 10 semanas).

Es importante conocer la presencia de bacterias mesófilas, dado que éstas, al descomponer la materia orgánica a temperaturas de entre 30 y 40°C, son consideradas como organismos indicadores, dando cuenta de alguna alteración incipiente, en la fórmula. En la industria alimentaria, el recuento de bacterias es por demás importante porque la presencia de microorganismos en la mayoría de los alimentos, excepto en los fermentados que es deseable una gran multiplicación bacteriana, es considerada como inadecuada para el consumo humano, por ejemplo algunos vegetales enlatados las bacterias son las responsables del llamado

“flat sour”, lo que le da sabor medicinal al producto, coloración negra si hay presencia de hierro disuelto, hay disminución de pH y mal sabor (Gómez-Sánchez, 2007).

La presencia de hongos y levaduras, a pesar de que pueden estar ampliamente distribuidos en la naturaleza de muchos productos inclusive alimentos, también pueden ser agentes contaminantes teniendo diversas repercusiones como el deterioro fisicoquímico ya que al utilizar carbohidratos, ácidos orgánicos, proteínas y lípidos en su metabolismo, alteran el sabor y color en la superficie de los productos contaminados, además de que pueden sintetizar metabolitos tóxicos termoresistentes con capacidad para alterar sustratos desfavorables, creando así condiciones propicias para el crecimiento de bacterias patógenas (NOM -111-SSA1-1994, bienes y servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos.). Es ésta la importancia de su medición en productos que maneje el hombre por la posibilidad de contaminación.

Los resultados de las pruebas microbiológicas de acuerdo a la metodología descrita en la NOM -092-SSA1-1994. Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias hongos y levaduras en placa tanto para las muestras control (C) (conservadas a 4°C) como para las muestras prueba (P) (después de haber sido sometidas a la prueba acelerada durante 10 semanas a temperatura de 54°C, intensidad de luz de 2000 lumens y humedad del 60%) mostraron que la fórmula comercial (C), desarrolló crecimiento de microorganismos, a pesar de mantenerse a 4°C, para la cuenta de bacterias mesófilas de 5,800,000 ufc/mL (Fig. 10a) y en cuanto a hongos y levaduras se refiere, éstos estuvieron ausentes (Fig. 10b).

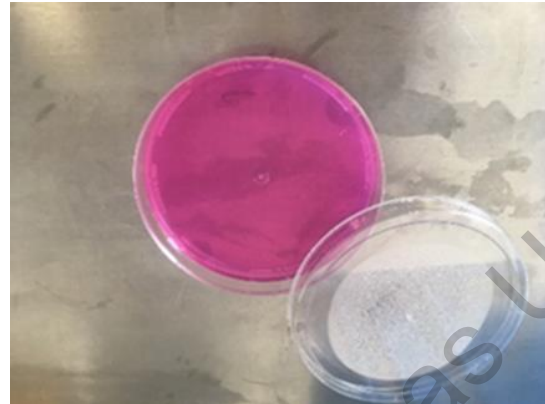


Figura 7. Pruebas microbiológicas

para Dix 30 antes de someterlo a pruebas aceleradas de vida en anaquel.

7a).Bacterias mesófilas en muestra. 7b) Hongos y levaduras en muestra

La figura 7 muestra: 7a. Resultados de las pruebas microbiológicas realizadas a la muestra Dix 30 control (conservada a 4°C), en donde se ve el crecimiento de bacterias mesófilas, 7b. Prueba para hongos y levaduras sin crecimiento.

La muestra del coadyuvante comercial sometida a la prueba incrementó la cantidad de bacterias para alcanzar un total de 8,000,000 (Fig. 8a.) para el caso de hongos la cuenta fue 6 ufc/mL y levaduras ausentes (Fig. 8b.).



Figura 8. Dix 30 Pruebas microbiológicas después de pruebas aceleradas de vida en anaquel. 8a).Recuento de bacterias mesófilas. 8b). Hongos y levaduras.

El número de microorganismos incrementó después de la prueba debido a que las condiciones de temperatura, luz y humedad probablemente favorecieron el desarrollo de éstos. A pesar de que no se cuenta con especificaciones para estos productos agrícolas, si bien la presencia de microorganismos no es una característica deseable, sin embargo, no afectó el desempeño de la fórmula.

En cuanto al formulado con mucílago, ninguna muestra (control o muestra sometida a pruebas aceleradas de vida en anaquel) desarrolló bacterias (Fig 9a.) u hongos y levaduras (Fig. 9b.).

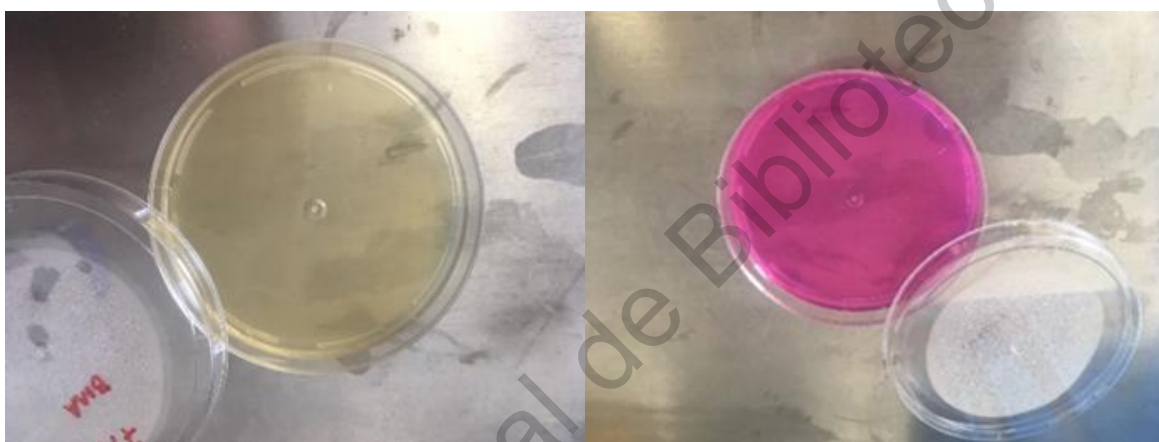


Figura 9. Pruebas microbiológicas del formulado de mucílago (control y prueba).  
9a). Bacterias mesófilas 9b). Hongos y levaduras.

La figura 9 muestra resultados de pruebas microbiológicas: 9a. Recuento de bacterias mesófilas en formulado con mucílago tanto para la muestra control como para la prueba. 9b. Recuento de hongos y levaduras para la muestra control y prueba.

Comparando la formulación con mucílago con algunos alimentos, de acuerdo a la NOM 111 y 112 de bienes y servicios, las especificaciones son, por ejemplo, para alimentos con  $\text{pH} \leq$  igual 4.6, mesofílicos anaerobios negativo, mesofílicos aerobios negativo, mohos y levaduras viable negativo ufc/g.

Para mermeladas y purés, jaleas y ates mesofílicos aerobios 50 ufc/g, mohos y levaduras menos de 10 ufc/g.

Para productos cárnicos cocidos de acuerdo a la NOM-213-SSA1-2002, Productos y servicios. Productos cárnicos procesados. Especificaciones sanitarias. Métodos de prueba, la cuenta de mesófilos aerobios permitidos va de 10,000 a 60,000 ufc/g, es decir está dentro de cualquiera de estas especificaciones, lo que demostró que la selección, así como la cantidad de conservadores asegura el no desarrollo de microorganismos en el formulado.

Sandoval-Iturbide et al., (2008) fabricaron productos de panadería con harina de nopal, a las mantecadas les realizaron análisis microbiológicos obteniendo los siguientes resultados:

Hongos y levaduras: <10ufc vs. 50ufc/g NOM -147-SSSA-1994

Bacterias mesofílicas aerobias <100 ufc/g vs 10,000 ufc/g

Coliformes totales <3 NMO7g vs. <9 NMP/g. Si bien en las muestras no se analizaron coliformes totales, el resto de los conteos cumplen con las normas para alimentos.

En cuanto al mucílago liofilizado presentó 40 ufc/0.1g de muestra (Fig. 10a.) y no hubo desarrollo para hongos y levaduras (Fig. 10b).



Figura. 10. Pruebas microbiológicas a muestra de mucílago liofilizado. 10a). Bacterias mesófilas. 10b). Hongos y levaduras.

La figura 10 muestra resultados de pruebas microbiológicas: 10a) Recuento de bacterias mesófilas en muestra de mucílago liofilizado y 10b). Recuento de hongos y levaduras en muestra de mucílago liofilizado.

Estos resultados fueron de esperarse ya que, al ser un producto botánico, es susceptible de contener cierta cantidad de bacterias, además que el manejo de la extracción no fue realizado en condiciones estériles. A pesar de estas condiciones, una vez en la formulación esta cantidad de bacterias disminuyó debido a los ingredientes de la fórmula y sus características específicas, conservadores principalmente.

Al no haber un producto comercial con las características botánicas del formulado con mucílago, éste se comparó con algunas especificaciones para alimentos; así, según la NOM-093-SSA1-1994, Bienes y servicios, prácticas de higiene y sanidad en la preparación de alimentos que ofrecen en establecimientos, para ensaladas verdes crudas o de frutas, la cuenta total permitida de mesofílicos aerobios es 150,000 ufc/g., encontrándose en la muestra liofilizada de mucílago 40 ufc/0.1g , cumpliría con estas especificaciones.

## 6.9. Evaluación de las fórmulas adherentes con insecticidas

Cuadro 8. Porcentaje de área foliar cubierta por insecticidas (dos insecticidas químicos sintéticos y uno botánico) tanto con formulado con mucílago y con coadyuvante comercial Dix 30.

TRATAMIENTO	% ÁREA FOLIAR CUBIERTA (antes de la prueba acelerada)	% ÁREA FOLIAR CUBIERTA (después de la prueba de acelerada)
Formulado con mucílago + Confidor	76.03 ± 4.80 C	75.73 ± 2.83 C
Formulado con mucílago + Cipermetrina	93.5 ± 6.42 AB	88.96 ± 1.99 B
Formulado con mucílago + Nim	89.11 ± 3.83 B	87.05 ± 2.14 B
Dix 30 + Confidor	99.73 ± 0.49 A	99.25 ± 2.71 A
Dix 30 + Cipermetrina	87.37 ± 4.16 B	86.32 ± 4.05 B
Dix 30 + Nim	92.99 ± 1.66 AB	90.68 ± 0.70 B
Agua	32.4 ± 13.08 D	31.5 ± 14.65 D

Los resultados son el promedio de 10 datos. Se realizó análisis de varianza de una sólo vía y comparación de Tukey. Letras diferentes significan tratamientos estadísticamente diferentes,  $p < 0.0001$

El comparativo entre tratamientos muestra que, al coincidir por lo menos una letra, los tratamientos iniciales contra los tratamientos después de haber sido sometidos a la prueba de estabilidad fueron estadísticamente iguales en todos los casos. Esto significa que las fórmulas no presentaron cambios importantes en su desempeño después de haber sido expuestas a luz y calor, por lo puede decirse que son estables, tanto la comercial como la botánica. Estos resultados concluyen que los ingredientes seleccionados aportan las características buscadas de manera suficiente para proteger al ingrediente activo y permitir que el desempeño no tenga ninguna afectación.

Las pruebas aceleradas de estabilidad y vida en anaquel sirven para pronosticar el comportamiento de nuevas fórmulas al paso del tiempo. De esta manera, se sometió a estas pruebas el formulado con mucílago tanto por contener ingrediente botánico susceptible a degradación y/o descomposición como para conocer su estabilidad al ser una formulación nueva. Cambios en las características físicas y/o en el desempeño serían indicativos de que la fórmula no es estable o que sufre algún tipo de deterioro, por lo que no podrían ser lanzados al mercado.

A pesar de que el formulado con mucílago, así como el Dix 30 sufrieron degradación de color, esto no afectó el desempeño de ninguna, es decir que los componentes responsables de la adherencia y/o formación de película no son sensibles al calor y a la luz.

Boretto (2019) Concluye en su trabajo que casi en todos los tratamientos en donde aplicó un coadyuvante siliconado obtuvieron mejora en la densidad de impacto por  $\text{cm}^2$  comparado con los testigos sin coadyuvante, así como se incrementó el nivel de impacto de fungicidas (cyporconazol trifloxistrobin) con la incorporación de coadyuvantes.

No se tiene reportado desempeño de mucílago de nopal como coadyuvante en el uso de insecticidas, sin embargo, sí con el uso de biofertilizantes, es así que Zamora-Carrillo (2013) concluye que el uso de coadyuvantes botánicos a base de sábila *Aloe vera* L. y tuna *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller mejoran sustancialmente el efecto de biofertilizantes en aplicaciones foliares, en particular en el cultivo de col *Brassica oleracea* var. *Capitata* que se vieron reflejados en altura de planta, mayor diámetro del tallo, mayor peso y diámetro de la col, aceleración del ciclo de cultivo. El tratamiento con tuna obtuvo el mayor rendimiento en cuanto a producción, estos resultados debido a una mejor absorción foliar. Estos resultados permiten extrapolar la idea de que el desempeño con insecticidas pudiera ser similar, ya que se basa en la capacidad que tienen las hojas de absorber sustancias a través de sus estructuras, así como en las características de los insumos.

Tejeda-Reyes et al., (2017) probaron diferentes insecticidas contra *Melanaphis sacchari* (Zehntner) como imidacloprid sulfoxaflor, flupyradifurone, spirotetramat y



afidopyropen con un adyuvante (Inex-A a concentración de  $1\text{ mL L}^{-1}$ ), dando resultados favorables en cuestión del control de la plaga por debajo de umbral económico como consecuencia del incremento de la residualidad de los insecticidas aún después de 21 DDA.

## 7. CONCLUSIONES

El efecto adherente del mucílago de nopal *Opuntia ficus-indica* puede ser utilizado como coadyuvante agrícola ya que soluciones de mucílago de nopal *Opuntia ficus-indica* tienen efecto adherente desde concentraciones de 0.004%. La mayor adherencia se presentó en la solución con concentración 0.04%, medida de manera indirecta por el área foliar cubierta.

La selección de inertes fue adecuada tanto en características como en cantidad, ya que fueron compatibles entre sí y con el mucílago, además de que mejoraron la aplicación de este último. Se utilizó la solución de mucílago al 4% por la intención de tener un formulado concentrado y por la facilidad de manejo. El restante 96% de inertes conservó las características del mucílago.

El formulado de mucílago al 4% es una fórmula estable ya que después de ser sometido a pruebas aceleradas de vida en anaquel, los resultados de adherencia no sufrieron efectos adversos, además de que no hubo desarrollo de microorganismos después de las 10 semanas.

El formulado con mucílago es compatible con los tres diferentes insecticidas utilizados (Confidor, Cipermetrina 200 y PHC Neeem), sin embargo, con la Cipermetrina 200 fue con el insecticida que se obtuvo la mayor área foliar, seguida por el PHC Neeem y finalmente el Confidor.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- Adel M. M., Sehna F. 2000. Azadirachtin potentiates the action of ecdysteroid against RH-2485 in *Spodoptera littoralis*. *Journal Insect Physiology*, 46:267-274.
- Allegra A., Inglese P., Sortino G., Settanni L., Todaro A., Liguori G. 2016. The influence of *Opuntia ficus-indica* mucilage edible coating on the quality of 'Hayward' kiwifruit slices. *Postharvest Biology and Technology*, 120:45–51.
- Almahyl H., Rabmani M., Aspollah-Sukari M., Manaf-Ali A. 2001. The Chemical Constituents of *Ficus benjamina* Linn. and their Biological Activities. *Pertanika Journal Science & Technology*, 11 (1): 73 – 81.
- Aguilar-Reyes B., Cejudo-Ruiz R., Martínez-Cruz J., Bautista J., Gofuitchaichivili A., Carvallo C., Morales J. 2012. *Ficus benjamina* leaves as indicator of atmospheric pollution a reconnaissance study. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 56 (3): 879-887.
- Arias D., Vázquez G., Acosta W, Montañez L., Álvarez V. 2009. Determinación del Azadiractina de los aceites esenciales del árbol de Neem (*Azadirachta Indica*). *Revista de Ingeniería UC*, 16 (3):22-26.
- Arrospide G. 2004 Criterios para la aplicación de aditivos y coadyuvantes. [www.calister.com.uy/.../1311182916Criterios\\_para\\_el\\_uso\\_de\\_Aditivos\\_y\\_Coadyuvantes](http://www.calister.com.uy/.../1311182916Criterios_para_el_uso_de_Aditivos_y_Coadyuvantes). Consultado el 26 Abril, 2018.
- Aquino-Bolaños E., Chavarria-Moctezuma Y., Chávez-Servia J. L., Guzmán-Gerómimo R., Silva-Hernández E., Verdalet-Guzmán I. 2012. Caracterización fisicoquímica de siete variedades de tuna (*Opuntia* spp.) color rojo-violeta y estabilidad del pigmento de las dos variedades con mayor concentración. *Investigación y ciencia*, 55:3-10.
- Badii M. H., Abreu J. L. 2006. Control biológico, una forma sustentable de control de plagas. *International Journal of Good Conscience*, 1 (1):82-89.
- Benson L. 1982. *The Cacti of United States and Canada*. Stanford University Press. Stanford. 100-115.
- Blazquez C. H., Vidyarthi A. D., Sheehan T. D., Bennet M. J., McGrew G. T. 1970. Effect and Food Chemistry of pinolene (beta pinene polymer) on carbaryl foliar residues. *Journal of Agricultural* 18 (4):681-684
- Boretto D. Evaluación del coadyuvante siliconado Speed Wet NG como mejorador de la eficiencia de mojado en aplicaciones de fungicida en maní. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos de la Nación Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria AER INTA General Cabrera Centro Regional Córdoba. <http://www.speedagro.com.ar/desarrollo.html>, consultado Mayo, 2019.

- Brillante L., Belfiore N., Gaiotti F., Lovat L. 2016. Comparing Kaolin and Pinolene to Improve Sustainable Grapevine Production during Drought. PLoS One. 11(6):e0156631.
- Butler Jr. G .D., Henneberry T. J., Stansly P. A., Schuster D. J. 1993. Insecticidal effect of selected soaps, oils, and detergents on the sweetpotato whitefly. Florida Entomologist, 76:162–167.
- Cai W., Gu Xiaohong, Tang J. 2007. Extraction, purification, and characterization of the polysaccharides from *Opuntia milpa alta*. Carbohydrate Polymer, 71:403-410.
- Carmona A. 2002. Aislamiento y caracterización parcial de una cepa de *Bacillus thuringiensis* tóxica a *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera:Noctuidae). Biagro, 14 (1):3-10
- Casida J. 1980. Pyrethrum flowers and Pyrethroid insecticides. Environmental Health Perspectives, 34:189-202.
- Castro M., Ojeda C., Fernández A. 2013. Advances in surfactants for agrochemicals. Environmental Chemistry Letters. 12:85-95.
- Cerra H., Fernández M.C., Horak C., Lagomarsino M., Torno G., Zarankin E. Manual de microbiología aplicada a las industrias farmacéutica, cosmética y de productos médicos. Asociación Argentina de microbiología. División de alimentos, medicamentos y cosméticos. Subcomisión de buenas prácticas. [www.libreroonline.com/argentina/libros/389806/hector-cerra-maria-cristina-fernandez](http://www.libreroonline.com/argentina/libros/389806/hector-cerra-maria-cristina-fernandez), consultado Agosto, 2019.
- Christofi N., Ivshina I. B. 2002. Microbial surfactants and their use in field studies of soil remediation. Journal of Applied Microbiology, 93(6):915–929.
- Cobbe R. 1998. Manejo Integrado de plagas, una propuesta para América Latina. Documento para la FAO. <http://www.bvsde.paho.org/bvsapc/e/fulltext/plagas/plagas.pdf>, consultado el 26 de Abril, 2016.
- Corlett R. T. 1984. The Phenology of *Ficus benjamina* and *Ficus microcarpa* in Singapore. Journal of the Singapore National Academy of Science, 13:1-2.
- Contreras-Padilla M., Rivera-Muñoz E. M., Gutiérrez-Cortez E., Real del López A., Rodríguez-García M. E. 2014. Characterization of crystalline structures in *Opuntia ficus-indica* Journal Biological Physics, 41:99–112.
- Cui M., Miller P. M. Nobel. P. S. 1993. CO<sub>2</sub> exchange and growth of the Crassulacean acid metabolism plant *Opuntia ficus-indica* under elevated CO<sub>2</sub> in open-top chambers. Plant Physiology, 103:519-524.
- Curran W. 1999. Adjuvants for Enhancing Herbicide Performance. Penn State Extension. Agronomy Facts, 37, 1-6.

- Cruz-Fernández M. y Del Angel-Sánchez R. 2004. El árbol de Nim, establecimiento y aprovechamiento en la Huasteca Potosina. INIFAP-CIRNE. Campo experimental Huichihuayán y Campo experimental Ébano. Folleto Técnico. 3:7-11.
- Delgado-Arroyo F., León-Silva U., Saldívar-Guerrero R., Huacuz-Villamar J. M. 2018. Eliminación de humedad en aceites minerales aislantes mediante un residuo resinoso de *Opuntia ficus-indica*. Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica, 6 (33):2-11.
- Del Valle V., Hernández-Muñoz P., Guarda A., Galotto M. J. 2005. Development of a cactus-mucilage edible coating (*Opuntia ficus-indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf-life. Food Chemistry, 91:751–756.
- Devine G., Dominique E., Ogusuku E., Furlong M. 2008. Uso de insecticidas: Contexto y consecuencias ecológicas. Revista de Perú Salud Pública, 25 (1):74-100.
- Durán-Herrera A., De León-Castillo R. 2017. *Opuntia ficus-indica* mucilage (OFIM) as internal curing enhancer in self consolidating concrete. Revista Romana de materiales, 47 (4): 532-540.
- Espino-Díaz M., Ornelas-Paz J. J., Martínez-Tellez M. A., Santillán C., Barbosa-Canovas G. V., Zamudio-Flores P. B., Olivas G. I. 2010. Development and characterization of edible films based on mucilage of *Opuntia ficus-indica* (L.). Journal of Food Science, 75 (6):347–352.
- Fernández-Cirelli A., Ojeda C., Castro M. J. L., Salgot M. 2008. Surfactants in sludge- amended agricultural soils. A review. Environmental Chemistry Letters, 6:135–148
- Fernández-García E. 2013. Resistencia a insecticidas en *Bemisia tabaci* (Gennadius): nivel de resistencia, resistencias cruzadas y mecanismos implicados. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cartagena. Departamento de Producción Vegetal.13-16
- Fernández-Herrera E., Moreno-Salazar S. F., Rentería-Martínez M. E., Arratia-Castro A. A., Villar-Luna E. 2017. Causal agent of dieback in *Ficus benjamina* L. in Mexico. Revista Chapingo serie Horticultura [en línea] 2017, XXIII (Septiembre-Diciembre)  
<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60952516006>> ISSN 1027-152X, consultado 22 de Noviembre, 2017.
- Fernández V., Sotiropoulos T., Brown P. 2015. Formulaciones y Adyuvantes en: Fertilización Foliar, Principios Científicos y Práctica de Campo. Asociación Internacional de la Industria de Fertilizantes (IFA). Paris, Francia. 37–48.
- Figueroa-González J. J., Sugly I., Domínguez-Canales, Zegbe-Domínguez J., Alvarado-Nava D., Mena-Covarrubias J. 2011. Extracción y purificación de

mucílago de nopal. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, 21:1-2.

Flores-Alaña L., Geraud-Pouey F., Chirinos D. T., Meléndez-Ramírez, L. 2015. "Efectividad de algunos insecticidas para el control de *Bemisia tabaci* (Gennadius) en tomate, *Solanum lycopersicum* L", Interciencia, 40 (2): 121.

García C., González B., Butista N. 2011. Patogenicidad de aislamientos de hongos entomopatógenos contra *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) y *Epilachna varivestis* (Coleoptera: Coccinellidae). Revista Colombiana de Entomología, 37 (2):217-222.

García-Nevárez G., Tarango-Rivero S. 2009. Coadyuvantes y aspersiones foliares. INIFAP, 28: 4-22.

Garti N., Reichman D. 1993. Hydrocolloids as food emulsifiers and stabilizers. Food Structure, 12 (4): 411-426.

Ginestra G., Parker M., Bennett R., Robertson J., Mandalari G., Narbad A., Lo Curto R., Bisignano G., Faulds C., Waldron K. 2009. Anatomical, Chemical, and Biochemical Characterization of Cladodes from Prickly Pear *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 57(21):10323-30.

Gheribi R., Puchot L., Verge P., Jaoued-Grayaa N., Mezni M., Habibi Y., Khwaldia K. 2018. Development of Plasticized Edible Films from *Opuntia ficus-indica* Mucilage: A Comparative Study of Various Polyol Plasticizers. Carbohydrate polymers, (190):204-211.

Giraldo-Ávila G., Manejo integrado de plagas 2003. CIAT Centro Internacional de Agricultura Tropical. Proyecto Comunidades y Cuencas. <https://storage.googleapis.com/portalfruticola/2017/09/MANEJO-INTEGRADO-DE-PLAGAS-2.pdf>, consultado el 26 Abril, 2018.

Gómez C. 2013 Adherentes químicos para recubrir celulosa de la hoja palmítica en la producción bananera. <http://www.santarosapapelbanano.jimdo.com>, consultado el 22 de Enero, 2018.

Gómez-Sánchez A. I. 2007. Microorganismos de importancia en el tratamiento térmico de alimentos ácidos y de alta acidez. Universidad de las Américas. Puebla. Temas selectos de Ingeniería de Alimentos, 24-32.

González-Acosta A., Del Pozo-Núñez E., Galván-Piña B., González-Castro A., González-Cárdenas J. C. 2006. Extractos vegetales y aceites minerales como alternativa de control de mosca blanca (*Bemisia spp.*) en berenjena *Solanum melongena* L. en el Valle de Culiacán, Sinaloa, México. Revista UDO Agrícola, 6(1):84-91.

González-Castañeda N., Ibarra-Manríquez G. 2012. Flora del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. ISBN 968-36-3108-8. Instituto de Biología, UNAM. 102:1-230.

- González-González G., Pirovani M., Piagentini A., Ulin-Montejo F., Miranda-Cruz E., Osorio-Osorio R., Maldonado-Enríquez J. Salinas-Hernández R. 2016. Cinética de cambios sensoriales y vida de anaquel de carambola mínimamente procesada. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 39 (4):393-402.
- González-Julián P., Carapia-Ruiz V., Muñoz-Viveros A., Castañeda-García C. 2012. "Registro de la mosca blanca del ficus, *Singhiella simplex* (Singh, 1931) (Hemiptera: Aleyrodidae), en México" <http://www.entomologia.socmexent.org/revista/entomologia/2012/SM/1488-1493.pdf>, consultado Agosto, 2017.
- González-Maldonado M. B., Gurrola-Reyes J. N., Chaírez-Hernández I. 2015. Productos biológicos para el control de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Revista Colombiana de Entomología*, 41(2):200-204.
- Guzmán-Morales J., Morton-Bermea O., Hernández-Álvarez E., Rodríguez-Salazar M. T., García-Arreola M. E., Tapia-Cruz V. 2011. Assessment of Atmospheric Metal Pollution in the Urban Area of Mexico City, Using *Ficus benjamina* as Biomonitor. *Bull Environment Contamination Toxicology*, 86:495-500
- Hoja de seguridad Confidor, Bayer. <https://www.environmentalscience.bayer.es/-/media/prfspain/product-msds/confidor-20-ls-fds-02012015.ashx>, consultado 10 de Agosto, 2019.
- Hoja de seguridad DIX 30 Rivas. 2017. Agroquímicos Rivas, S.A. de C.V. <http://www.agroquimicosrivas.com/assets/msds-dix-30-2017.pdf>, consultado 10 Agosto, 2019.
- Hidalgo-León M. 2002 Tesis doctoral: Obtención de aceite de semilla de nim por extracción de gasolina natural. Estudio preliminar. Universidad de Guayaquil. Facultad de ciencias químicas. Tesis para optar por el título de Doctora en Química y farmacia.
- Hewitt, A. 2005. Pesticide Chemistry and Adjuvants. *Research Gate*, 132-135.
- Hill K., Rhode O. 1999. Sugar-based surfactants for consumer products and technical applications. *F. Lipids*, 101 (1):25-33.
- Holmberg K. 2001. Natural surfactants. *Colloid and Interfase Science*, 6 148:159.
- Ibarra-Manríquez G., Cornejo-Tenoria G., González-Castañeda N., Piedra-Malagón E. M., Luna A. 2012. El género *Ficus* (Moraceae) en México. *Botanical Sciences*, 90 (4): 389-452.
- Imran M., Rasool N., Rizwan K., Zubair M., Riaz M., Zia-UI-Haq M., Rana U. A., Nafady A., Jaafar H. Z. 2014. Chemical composition and Biological studies of *Ficus benjamina*, *Chemistry Central Journal*, 8 (1):1-10.
- INTAGRI, 2017. Coadyuvantes para Potencializar el Rendimiento de Plaguicidas. Serie Fitosanidad Núm. 94. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 8 p. Extraído de <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/coadyuvantes-para->

potencializar-el-rendimiento-de-los-plaguicidas, consultado 15 de Noviembre, 2017.

Integrated Taxonomic Information System. <https://www.itis.gov/>, consultado 15 de Abril, 2018.

Jiménez-Hernández J. del C., Alamilla-López N. E., López-Cerino M. 2009. Pruebas de vida acelerada en confiabilidad. Universidad Tecnológica de la Mixteca Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Temas de Ciencia y Tecnología, 33-37.

Jiménez M. E. 2009. Métodos de control de plagas. Universidad Nacional Agraria. <https://core.ac.uk/display/35166262>, consultado Mayo, 2018.

Kanngiesser I. 2018. Accelerated shelf-life testing of natural colours in model food system. BINDER GmbH, Im Mittleren Osch 5, 78532 Tuttlingen, Germany <https://www.binder-world.com/es/content/download/113911/3097351/file/>, consultado Julio 2018.

Kiesling R. 1999. Origen, domesticación y distribución del *Opuntia ficus-indica*. Instituto de botánica Darwinion. Argentina. [http://jpacd.org/downloads/Vol3/RAC\\_2.pdf](http://jpacd.org/downloads/Vol3/RAC_2.pdf), consultado 10 Abril, 2018.

Koch K., Bhushan B., Barthlott W. 2008. Diversity of structure, morphology and wetting on plant surfaces. *Soft Matter*, 4:1943-63.

Krogh K. A., Halling-Sorensen B., Mongensen K., Wejrup K. V., 2002. Environmental properties and effects of nonionic surfactant adjuvants in pesticides: a review. *Chemosphere*. Elsevier. 50 (7): 871-901.

Labuza T. P. 1982. Shelf-life Dating of Foods, Westport, CT, Food & Nutrition Press Inc., 41-50.

Leiva D. 2013. Ámbito de recomendación de aditivos o coadyuvantes en pulverizaciones agrícolas. INTA pergamino, 1-11.

Lira-Vargas A. A., Corrales-García J. J. E., Valle-Guadarrama S., Peña-Valdivia C. B., Trejo-Márquez M. A. 2014. Biopolymeric films based on cactus (*Opuntia ficus-indica*) mucilage incorporated with gelatin and bees wax. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 16:51-70.

López S., Riquelme M., Botto E. 2010. Integración del control biológico y químico de la mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Revista Colombiana de Entomología*, 36 (2): 190-194.

Lozano L. 2011. Ecofisiología de la tuna (*Opuntia ficus-indica* (L.Mill.)). *Horticultura Argentina*, 30 (72): 37-52.

Lozano-Gómez, M. F. 2017. Recopilación de las Pruebas de Eficacia de Fungidas Biológicos y Extractos Vegetales para el Control de *Mildeo Polvoso Sphaerotheca Pannosa* Var. *Rosae*) en Cultivo de Rosa de la Empresa The Elite Flower SAS (Doctoral dissertation).

- McGarvie D., Parolis H. 1981. The acid-labile, peripheral chains of the mucilage of *Opuntia ficus-indica*. Carbohydrate Research, 94 (1): 57-65.
- Maki-Díaz, Peña-Valdivia C., García-Nava R., Arévalo-Galarza M. L., Calderón-Zavala G., Anaya-Rosales S. 2014. Características físicas y químicas del nopal verdura *Opuntia indica* para exportación y consumo nacional. Agrociencia, 49 (1): 31-51.
- Massaro R. A., Kahl M. Behr E., Bernal G. 2016. Evaluación del efecto de un coadyuvante antideriva con distintas técnicas de pulverización en barbecho químico. Inta EEA Oliveros. 137:141
- Masschelein-Kleiner, L. 1995. Ancient Binding Media, Varnishes and Adhesives, ICCROM, 92907711949789290771197 <https://www.iccrom.org/publication/ancient-binding-media-varnishes-and-adhesives>, consultado Agosto 2017.
- Matsuhira B., Lillo L., Saénz C., Urzú C., Zárate O., 2005. Characterization of the mucilage from fruits of *Opuntia ficus-indica* Carbohydrate Polymers. 63: 263-267.
- Meredith M. 2013. Methods for Evaluating the Adherence of Spreader-Sticker Adjuvants. Conference: International Society for Agrochemical Adjuvants. At Foz do Iguacu, Brazil.
- Mendoza B., Gómez E., Hernández E., Rodríguez A., Chavarría N. 2014. Elaboración y caracterización de películas biodegradables a partir de mucílago de nopal-caseinato de sodio y mucílago de nopal-pectina. Ciencias Agropecuarias, 129-135.
- Miresmailli S., Isman M. B. 2014. Botanical insecticides inspired by plant-herbivore chemical interactions. Review. Trends in Plant Science. Cell press, 19(1): 29-36.
- Mizrahi S. 2004. Understanding and measuring the shelf-life of food. Accelerated shelf-life tests 317-352.
- Morrison R. T., Boyd R. N. 1998. Química Orgánica. Ed. Addison Wesley Iberoamericana, 5ta. Edición. ISBN 968 444 340 4.
- Narrea-Cango M., Vergara-Cobián C., Malpartida-Zevallos J. 2013. Insectos fitófagos asociados a *Ficus benjamina* L. y *A. F. microcarpa* L. (Urticales: Moraceae) en Lima, Perú. Ecología Aplicada, 12 (2):67-74.
- Naod G., Tsige G. 2012. Comparative Physico-Chemical Characterization of the Mucilages of Two Cactus Pears (*Opuntia* spp.) Obtained from Mekelle, Northern Ethiopia. Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology, 3:79-86.
- Nava-Pérez E.; García-Gutiérrez C., Camacho-Báez J.; Vázquez-Montoya E. 2012. Bioplaguicidas: una opción para el control biológico de plagas. Ra Ximhai, 8(3):17-29.



- Nobel P.S., Israel A. 1993. Cladode development, environmental responses of CO<sub>2</sub> uptake, and productivity for *Opuntia ficus-indica* under elevated CO<sub>2</sub>. Journal of Experimental Botany, 45 (272): 295-303.
- Nobel P. S. 2003. Ecofisiología de *Opuntia ficus-indica*. El Nopal (*Opuntia spp.*) como Forraje. FAO Producción y protección vegetal. 169:17-24. [www.fao.org/docrep/007/y2808s/y2808s06.htm](http://www.fao.org/docrep/007/y2808s/y2808s06.htm). consultado 24 de Abril de 2018.
- Nobel P. S., Pimienta-Barrios E., Zañudo Hernández J., Ramírez-Hernández B. 2005. Historical aspects and net CO<sub>2</sub> uptake for cultivated Crassulacean acid metabolism plants in México. Annals of Applied Biology. 140:133 -142.
- Norma Oficial Mexicana NOM-092-SSA1-1994. Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias hongos y levaduras en placa.
- Norma Oficial Mexicana NOM-093-SSA1-1994, Bienes y servicios. Prácticas de higiene y sanidad en la preparación de alimentos que se ofrecen en establecimientos fijos.
- Norma Oficial Mexicana NOM-111-SSA1-1994. Bienes y servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos.
- Norma Oficial Mexicana NOM-213-SSA1-2002. Productos y servicios. Productos cárnicos procesados. Especificaciones sanitarias. Métodos de prueba.
- Norma Oficial Mexicana NOM-073-SSA-1-2014. Estabilidad de fármacos y medicamentos, así como remedios herbolarios.
- Oosterheld M. 2008. Impacto de la agricultura sobre los ecosistemas. Fundamentos ecológicos y problemas más relevantes. Asociación Argentina de Ecología. Ecología Austral, 18:337-346.
- Paladino S., Nazralla J., Vila H., Genovart J., Sánchez M. L., Maza M. 2008. Oxidación de los vinos tintos: influencia del pH. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, XL (2):105-112
- Paredes D., Campos, M., Cayuela, L. 2013. El control biológico de plagas de artrópodos por conservación: técnicas y estado del arte Ecosistemas, 22(1):56-61.
- Paulsen B. S., Lund S. P. 1979. Water soluble polysaccharides of *Opuntia ficus-indica*. Phytochemistry, 18:569–571.
- Pérez-López E. 2012. Plaguicidas botánicos: Una alternativa a tener en cuenta. Fitosanidad. 16 (1):51-59.
- Pérez N., Charua D., Fernández S. 2010. Extracción y purificación del mucílago y goma de nopal para su uso en conservación. Mediateca INAH 2:156-166 ISBN: 978-607-484-649-2 file:///C:/Users/Admin/Downloads/5473-10064-1-PB%20(1).pdf. consultado el 22 de Junio, 2017.

- Perring T., Stansly P., Liu T. X., Smith H., Andreason S. 2017. Whiteflies: Biology, Ecology and Management. Global Pests of tomato. Chapter 4. Sustainable Management of Arthropod Pests of Tomato. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-802441-6.00004-8>, consultado 26 de Abril, 2018.
- Piedra-Malagón E., Ramírez-Rodríguez R., Ibarra-Manríquez G. 2006. El género *Ficus* (Moraceae) en el estado de Morelos, México. *Acta Botánica Mexicana*, 75:45-75.
- Pimienta-Barrios E., Vegetable cactus (*Opuntia*), in: Williams, J. T. (Ed.). 1993. Pulses and Vegetables, Chapman & Hall, 177-191.
- Pritchard, H. N., Hall, J. A. 1976. The chemical composition of glochids from *Opuntia*. *Canadian Journal of Botany*, 54:173–176.
- Pubchem. US National Library of Medicine. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/> consultado 6 Mayo, 2019.
- Razanfindralambo H., Blecker C., Paquot M. 2012. Carbohydrate-based surfactants: Structure-activity relationships. *Advances in Chemical Engineering*. Belgium. 215-228.
- Rebello S., Asok A. K., Mundayoor S., Jisha M. S. 2014. Surfactants: toxicity, remediation and green surfactants. *Environmental Chemistry Letters*, 12:275-287
- Reyes P. 2006. Curso de confiabilidad [https://www.icicm.com/files/CURSO\\_CONFIABILIDAD.doc](https://www.icicm.com/files/CURSO_CONFIABILIDAD.doc) , consultado Septiembre 2019.
- Reyes-Agüero J. A., Aguirre-Rivera J. R., Hernández H. 2015. Notas sistémicas y una descripción detallada de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill (Cactaceae). *Agrociencia* 39: 395-408.
- Reyes-Tena A., Rincón-Enríquez G., López-Pérez L., Evangelista-Martínez A., Quiñones-Aguilar E. 2015. Lucha entre microbios: una herramienta para el control de enfermedades de plantas. *Revista Digital Universitaria*, 16 (11):3-10.
- Riederer M., Schreiber L. 2001. Protecting against water loss: analysis of the barrier properties of plant cuticles. *Journal of Experimental Botany*. 52(363):2023-2032.
- Riddick E., Simmons A. 2014. Plant trichomes have mixed impacts on predatory insects. *Pest Managements Science*, 70 (11):1668.
- Rodrigues da Cunha J., Sousa Alves G. 2009. Características físico-químicas de soluciones acuosas como adyuvantes de uso agrícola. *Interciencia*, 34(9):655-659.
- Rodríguez-González S., Martínez-Flores H. E., Ornelas-Núñez J. L., Garnica-Romo M. G. 2011. Optimización de la extracción del mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*). XIV Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería 2011 Querétaro, Qro.

- Rodríguez-González S., Macías-Rodríguez L. I., Chávez-Moreno C., Zavala-Mendoza E., Garnica-Romo E., Chacón-García L., Martínez-Flores H. E. 2014. Extraction and Characterization of Mucilage from Wild Species of *Opuntia*. *Journal of Food Process Engineering*. 37.
- Rodríguez-Henao Y. 2017. Tesis "Evaluación del mucílago de nopal *Opuntia ficus-indica* como agente estabilizante en nectar de maracuyá *Passiflora edulis*. Universidad La Salle, Facultad de Ingeniería. Bogotá.
- Rolando C., Gaskin R., Horgan D., Williams N., Bader M. K. F. 2014. The use of adjuvants to improve uptake of phosphorous acid applied to *Pinus radiata* needles for control of foliar *Phytophthora* diseases..*New Zealand Journal of Forestry Science*, 44:8 2-7.
- Roggenbuck F. C., Penner D. 2000. Mode of action organosilicone adjuvants. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2000.527.6>, consultado Enero, 2019.
- Samuels L., Kunst L., Jetter R. 2008 Sealing plant surfaces: cuticular wax formation by epidermal cells. *Annual Review of Plant Biology*, 59:683707.
- Saéncz C., Berger H., Corrales-García J., Galletti L., García de Cortázar V., Higuera I., Mondragón C., Rodríguez Félix., Sepúlveda E., Varnero M. T. 2006. Utilización agroindustrial del nopal. *Boletín de Servicios Agrícolas FAO*, ISBN 92-5-305518-9 ISSN 1020-4334.
- Saéncz C., Sepúlveda E., Matsuhiro B. 2004. *Opuntia* spp. mucilage's: a functional component with industrial perspectives. *Journal of Arid Environments*, 57 (3): 275-290.
- Sánchez-Flores O., Carapia-Ruíz V., García-Martínez O., Villarea-Quintanilla J. 2017. Moscas blancas y sus plantas hospederas en Tepeaca, Puebla, México. *Southwestern Entomologist*, 42 (2):605-608.
- Sandoval-Iturbide A., Navarro-Cruz A. R., Ávila-Sosa Sánchez R., Lazcano-Hernández M., Dávila-Márquez R. M., 2008. Elaboración de un producto de panificación utilizando harina de nopal viejo o pie de cría (*Opuntia ficus indica*). <http://respyn2.uanl.mx/especiales/2008/ee-08-2008/indez.html>, consultado Agosto, 2019.
- Santana-Espinoza S., Flores-Gallardo H., Domínguez-Martínez P. 2017. Recomendaciones para el control de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en el cultivo de maíz. INIFAP. Num. 97.
- Santiago-Sarubbi C. A. 2015. Efecto de los surfactantes siliconados en el tamaño y evaporación de la gota de aspersion. Escuela de Graduados Ing. Agr. Alaabero Soriano. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- Sazo L., Araya J. E., De la Cerda J., 2008. Efecto del coadyuvante siliconado e insecticidas en el control del chanchito blanco de la vid, *Pseudococcus viburni* (Hemiptera: Pseudococcidae). *Ciencia e Investigación Agraria*. 35 (2): 215-222.

- Scheinvar L., Gallegos-Vázquez C., Olalde-Parra G., Sánchez-Cordero V., Linaje M., Gaytán A., Matías-Hernández H., Mena-Mendieta M., Rivera-Fuentes B.R. 2011. Estado del conocimiento de las especies del nopal (*Opuntia spp.*) productoras de xoconostles silvestres y cultivadas. Instituto de Biología UNAM, 2:15.
- Schneider M., Smagghe G., Pineda S., Viñuela E. 2004. Action of insect growth regulator insecticides and spinosad on life history parameters and absorption in third instar larvae of the endoparasitoid *Hyposoter didymator*. Biological Control, 31:189-198.
- Schönherr J, Baur P., Uhlig B. A. 2000. Rates of cuticular penetration of 1-naphthylacetic acid (NAA) as affected by adjuvants, temperature, humidity and water quality. Plant Growth Regulation, 31:61-74
- Sepúlveda E., Saénz C., Aliaga E., Aceituno C. 2007. Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia spp.* Journal of Arid Environments, 68 (4): 534-545.
- Serna-Rodríguez J. R., Castro-Brindis R., Colina-León M. T., Sahagún-Castellanos J., Rodríguez-Pérez J. E. 2011. Aplicación foliar de ácido glutámico en plantas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Revista Chapingo Serie Horticultura, 17 (1):9-13.
- Skoog, Holler, Nieman. Principios de Análisis Instrumental - (5ta Edición). Capítulos 12 y 16, pags 307:334 infrarrojo 409:434SIAP (Servicio de información agropecuaria y pesquera) 2013 <http://www.sinarefi.org.mx>. consultado 20 Junio, 2017.
- Simal-Gandara J., Simal-Lozano J. y Paseiro-Losada P. 1989. Los aditivos conservadores de los productos alimenticios Departamento de Química Analítica, Nutrición y Bromatología. Facultad de Farmacia. Universidad de Santiago de Compostela.
- Soria N. 2008. Nutrición foliar y defensa natural. XI Congreso Ecuatoriano de la ciencia del suelo. 1:10.
- Pittinger C., Sellers J., Janzen D., Koch D., Roothgeb M. 1993. Environmental life-cycle inventory of detergent-grade surfactant sourcing and production. Journal of the American Oil Chemists' Society, 70 (1):1:15
- Steele R. 2004. Understanding and measuring the shelf-life of food. Woodhead Publishing limited. Cambridge England.
- Stenberg J. 2017. A conceptual framework for integrated pest management. Trends in plant Science. Cell Press Reviews, 22 (9): 759-766.
- Stintzing F., Carle R. 2004. Cactus stems (*Opuntia spp.*): A review on their chemistry, technology and uses. Molecular Nature Food Resource, 49:175-194.

- Tafolla-Arellano J., González-León A., Tiznado-Hernández M., Zacarías-García L., Báez-Sañudo R. 2013. Composición, fisiología y biosíntesis de la cutícula en plantas. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36 (1):3-12.
- Taylor P. 2011. The wetting of leaf surfaces. *Colloid and Interface Science*, 16:326-334.
- Tejeda-Reyes M. A., Díaz-Nájera J. F., Rodríguez-Maciél J. C., Vargas-Hernández M., Solís-Aguilar J. F., Syvar-Serna S., Flores-Yáñez J. A. 2017. Evaluación en campo de insecticidas sobre *Melanaphis sacchari* (Zehntner) en sorgo. *Southwestern Entomologist*, 42 (2):545-550.
- Trachtenberg S., Mayer A. M. 1981. Composition and properties of *Opuntia ficus-indica*. *Phytochemistry*, 20:2665–2668.
- Teoh A., Subramaniam P. 2011. “Forum Project Report No. 952, Stability of Natural Colours in Model Food Systems”, October 2011, Leatherhead Food Research.
- Teoh A. 2010 “Predicting the stability of natural colours in food products, A review”, *AgroFOOD Industry hitech*, September/October 2010, 21 (5):20-23.
- Trout K. 2014. *Cactus Chemistry By Species*. [http://www.troutsnotes.com/wp-content/uploads/2014/11/CactusChemistryBySpecies\\_2014\\_Light1.pdf](http://www.troutsnotes.com/wp-content/uploads/2014/11/CactusChemistryBySpecies_2014_Light1.pdf), consultado el 20 de Octubre, 2017.
- Ullín-Montejo F., Salinas-Hernández R., González-Aguilar G. 2009. Estimación de vida útil mediante análisis de datos censurados y pruebas de vida acelerada. *Conference: XIV Foro Nacional de Estadística*. Vol. 1.
- Valarezo C. O., Muñoz C. X. 2011. Insecticidas de uso agrícola en el Ecuador. *Revista Técnica*, 402:3-6.
- Vargas-Rodríguez, L., Arroyo-Figueroa, G., Herrera-Méndez, C. H., Pérez-Nieto, A., García-Vieyra, M. I., Rodríguez-Núñez, J. R. 2016. Propiedades físicas del mucílago de nopal. *Acta Universitaria Multidisciplinary Scientific Journal*, 26(NE-1).
- Vargas-Rodríguez L., Gamiño-Arroyo Z., Fuentes-Ramírez R., Contreras-López D. 2018. Mucilago de nopal y su aplicación en la obtención de biopolímeros. *Naturaleza y Tecnología*. Universidad de Guanajuato, 5 (1): 24-34.
- Vaz D. A., Gudina E. J., Alameda E. J., Teixeira J. A., Rodrigues L. R. 2012. Performance of a biosurfactant produced by a *Bacillus subtilis* strain isolated from crude oil samples as compared to commercial chemical surfactants. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 89:167–174.
- Wang Z. H, Duan C. D. 2010. How do Plant Morphological Characteristics, Species Composition and Richness Regulate Eco-hydrological Function. *Journal of Integrative Plant Biology*, 52 (12):1086-1099.

Zamora M. C., Martínez A., Nieto M. S., Schneider M. I., Figueroa J. I., Pineda S. 2008. Actividad de algunos insecticidas biorracionales contra el gusano cogollero. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31 (4):351-357.

Zamora-Carrillo N. 2013. Evaluación de coadyuvantes botánicos y abono orgánico (biol) enriquecido con minerales en el cultivo de col (*Brassica oleracea* va. *Capitata*). Tesis de maestría en Ing. Agronómica. Centro de estudios de posgrado. Maestría en Agroecología y Ambiente. Ambato, Ecuador. 2013.

Dirección General de Bibliotecas UAQ