



Universidad Autónoma Chapingo

Departamento de Fitotecnia

Instituto de Horticultura

**PROPAGACIÓN POR FRACCIONES MÍNIMAS, INJERTO Y
EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DEL MUCÍLAGO DE *Opuntia*
spp. COMO ENRAIZADOR**

TESIS

**Que como requisito parcial
para obtener el grado de:**

Maestro en Ciencias en Horticultura

Presenta:

Axayacatl Cuevas Coeto

Bajo la supervisión de: Dr. Alejandro F. Barrientos Priego



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
AREA DE EXAMENES PROFESIONALES



Chapingo, Estado de México, junio de 2018

Propagación por fracciones mínimas, injerto y evaluación del potencial del mucílago de *Opuntia* spp. como enraizador

Tesis realizada por Axayacatl Cuevas Coeto bajo la supervisión del comité indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Horticultura

DIRECTOR:

Dr. Alejandro F. Barrientos Priego

ASESOR:

Dr. Raúl Nieto Ángel

ASESOR:

Dr. Jesús A. Cuevas Sánchez

CONTENIDO

RESUMEN	11
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 <i>Situación general de la problemática</i>	1
1.2 <i>Hipótesis</i>	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 <i>Importancia de los nopales</i>	5
2.2 <i>El Mucílago de Opuntia spp.</i>	6
2.3 <i>Opuntia spp: Su importancia antropocéntrica</i>	9
2.4 <i>Valor nutritivo de los nopales para la alimentación humana</i>	10
3. MATERIALES Y MÉTODOS	12
3.1 <i>Fase 1</i>	12
3.1.1 Selección de genotipos para portainjerto	12
3.1.2 Selección del material para la fase 1	12
3.1.3 Experimento 1- Método de propagación por fracciones mínimas con riego frecuente	14
3.1.4 Experimento 2- Modificación al método de propagación por fracciones mínimas:	16
3.1.5 Experimento 3- Método de propagación por fracciones mínimas con riego limitado	20
3.1.6 Experimento 4- Método de propagación por fracciones con materiales sobresalientes del experimento 3	21
3.2 <i>Fase 2</i>	25
3.2.1 Experimento 5- Injerto de la variedad comercial ‘Reyna’ sobre ‘Camueza II’ y ‘Xoconostle Cuaresmeño’	25
3.2.2 Experimento 6- Injerto de la variedad comercial ‘Reyna’ sobre ‘Camueza II’ y ‘Xoconostle Cuaresmeño’	26
3.3 <i>Fase 3</i>	27

3.3.1 Experimento 7- Evaluación experimental del potencial del mucílago extraído de cladodios de nopal, en el enraizamiento de estacas de arándano	27
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
4.1 Fase 1.....	30
4.1.1 Experimento 1- Método de propagación por fracciones mínimas con riego frecuente	30
4.1.2 Experimento 2- Modificación al método de propagación por fracciones mínimas	32
4.1.3 Experimento 3- Método de propagación por fracciones mínimas con riego limitado	34
4.1.4 Experimento 4- Método de propagación por fracciones mínimas con materiales sobresalientes del experimento 3	36
4.2 Fase 2.....	40
4.2.1 Experimento 5- Injerto de la variedad comercial ‘Reyna’ sobre ‘Camueza II’ y ‘Xoconostle Cuaresmeño’	40
4.2.2 Experimento 6- Injerto de la variedad comercial ‘Reyna’ sobre ‘Camueza II’ y ‘Xoconostle Cuaresmeño’	42
4.3 Fase 3.....	44
4.3.1 Experimento 7- Evaluación experimental del potencial del mucílago extraído de cladodios de nopal, en el enraizamiento de estacas de arándano	44
5. CONCLUSIONES	49
6. LITERATURA CITADA	50
7. BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES CONSULTADAS	53

LISTA DE CUADROS

CUADRO 1. USOS REPORTADOS DE <i>OPUNTIA</i> SPP.....	11
CUADRO 2. DISTRIBUCIÓN COMPLETAMENTE AL AZAR EN LA CAMA 1 DE FRACCIONES MÍNIMAS DE NOPAL.	22
CUADRO 3. DISTRIBUCIÓN COMPLETAMENTE AL AZAR EN LA CAMA 2 DE FRACCIONES MÍNIMAS DE NOPAL.	22
CUADRO 4. DISTRIBUCIÓN COMPLETAMENTE AL AZAR EN LA CAMA 3 DE FRACCIONES MÍNIMAS DE NOPAL.	23
CUADRO 5. TRATAMIENTOS INVOLUCRADOS EN LA EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL POTENCIAL DE ENRAIZAMIENTO DE MUCÍLAGO EXTRAÍDOS DE CLADODIOS DE DOS ESPECIES DE NOPAL (<i>OPUNTIA FICUS-INDICA</i> Y <i>OPUNTIA JOCONOSTLE</i>), EN ESTACAS DE ARÁNDANO (<i>VACCINIUM CORYMBOSUM</i>).	29
CUADRO 6. PRUEBA DE TUKEY ($\alpha=0.05$) PARA PROPÁGULO ENRAIZADO (PE) DEL EXP.3. ..	34
CUADRO 7. PORCENTAJE DE ENRAIZAMIENTO, EXPERIMENTO 3.	35
CUADRO 8. PRUEBA DE TUKEY ($\alpha=0.05$) PARA PROPÁGULO ENRAIZADO (PE) DEL EXP.4. ..	36
CUADRO 9. PORCENTAJES DE ENRAIZAMIENTO CON RELACIÓN AL TOTAL DE PROPÁGULOS DE NOPAL, OBTENIDOS POR GENOTIPO DE LOS MATERIALES SOBRESALIENTES DEL EXPERIMENTO 3.	37
CUADRO 10. RESUMEN DE LOS EXPERIMENTOS 5 Y 6, PORCENTAJE DE PRENDIMIENTO DE INJERTOS DE NOPAL POR GENOTIPO.	42
CUADRO 11. RESUMEN DE LOS EXPERIMENTOS 5 Y 6, PORCENTAJE DE PRENDIMIENTO DE INJERTOS DE NOPAL POR TIPO DE INJERTO.	43
CUADRO 12. PROCEDIMIENTO ANOVA (TUKEY CON $\alpha= 0.05$) PARA EVIDENCIA DE PRENDIMIENTO (EP) Y TIPO DE INJERTO (TI).	44
CUADRO 13. PROCEDIMIENTO ANOVA (TUKEY CON $\alpha= 0.05$) PARA EVIDENCIA DE PRENDIMIENTO (EP) Y GENOTIPO (GE).....	44
CUADRO 14. PRUEBA DE TUKEY ($\alpha=0.05$) PARA NÚMERO DE HOJAS (NH).	45
CUADRO 15. PRUEBA DE TUKEY ($\alpha=0.05$) PARA HOJAS VERDES (HV).	46
CUADRO 16. PRUEBA DE TUKEY ($\alpha=0.05$) PARA EVIDENCIA DE ENRAIZAMIENTO (EE).....	47

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. MAPA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS MATERIALES SELECCIONADOS EN CAMPO SAN MARTÍN, CHAPINGO, MÉXICO.....	14
FIGURA 2. EXPERIMENTO 1-FRACCIONES MÍNIMAS DE ACUERDO CON BARRIENTOS Y BRAUER (1964).	16
FIGURA 3. CORTE LONGI-TRANSVERSAL DE UN CLADODIO DE NOPAL.....	18
FIGURA 4. FRACCIONES MÍNIMAS CON CORTE LONGI-TRANSVERSAL DEL CLADODIO DE NOPAL.....	19
FIGURA 5. SIEMBRA DE PROPÁGULOS DE NOPAL POR EL MÉTODO MODIFICADO.....	19
FIGURA 6. PROPÁGULO DE NOPAL ESTABLECIDO DEL EXPERIMENTO 4.	24
FIGURA 7. EXPERIMENTO 4, CAMAS DE ESTABLECIMIENTO DE FRACCIONES MÍNIMAS DE NOPAL.....	24
FIGURA 8. TIPOS DE INJERTO SUGERIDOS EXP. 4 DE NOPAL.	25
FIGURA 9. MATERIALES INVOLUCRADOS EN EL EXPERIMENTO 7: ESTACAS DE ARÁNDANO, FUNGICIDA, RADIX 10000®, NAVAJAS, CLADODIOS DE DOS ESPECIES DE NOPAL Y MUCÍLAGO.	28
FIGURA 10. MUCÍLAGO EXTRAÍDO DE <i>OPUNTIA JOCONOSTLE</i> MEDIANTE RASPADO INTERNO DE CLADODIOS SECCIONADOS LONGITUDINALMENTE POR EJE MEDIO.	28
FIGURA 11. ESTACAS DE ARÁNDANO INMERSAS EN MUCÍLAGO EXTRAÍDO DE CLADODIOS DE <i>OPUNTIA JOCONSTLE</i> , MOLIDO CON TODO Y AREOLAS.	30
FIGURA 12. DESHIDRATACIÓN EN FRACCIONES MÍNIMAS DE CLADODIO DE NOPAL.	31
FIGURA 13. PUDRICIÓN EN FRACCIONES MÍNIMAS DE CLADODIO DE NOPAL.	31
FIGURA 16. ATAQUE DE GRANA COCHINILLA EN FRACCIONES MÍNIMAS DE NOPAL.	32
FIGURA 17. FRACCIONES MÍNIMAS DE CLADODIO DE NOPAL POR MÉTODO MODIFICADO DESHIDRATADAS Y PODRIDAS.	33
FIGURA 18. DAÑOS DERIVADOS DE LA FRAGMENTACIÓN DE CLADODIOS DE NOPAL.....	33
FIGURA 19. INJERTO TIPO “V” RECIÉN REALIZADO. ‘REYNA’/‘CAMUEZA II’.	40
FIGURA 20. INJERTO TIPO “V” A LOS 10 DÍAS. ‘REYNA’/‘XOCONOSTLE CUARESMEÑO’.....	41
FIGURA 21. INJERTO H (HORIZONTAL) ANTES DE LA APLICACIÓN DEL PEGAMENTO. ‘REYNA’/‘CAMUEZA II’.....	41
FIGURA 22. INJERTO H (HORIZONTAL) A LOS DIEZ DÍAS. ‘REYNA’/‘XOCONOSTLE CUARESMEÑO’.....	42

DEDICATORIA

A mi madre, por todo, por sus consejos, por sus regaños, por su amor y su motivación, y quien, desde algún lugar, allá junto a las estrellas, me cuida a mí y a mis otros dos luceros.

AGRADECIMIENTOS

Al CONACyT, por brindarme la oportunidad y el apoyo para la realización de esta investigación.

A la Universidad Autónoma Chapingo, por haberme brindado la oportunidad de desarrollarme como estudiante y como ser humano y por haberme dado el honor de pertenecer a ella.

A mis queridos maestros, quienes con sus enseñanzas en clases y fuera de ellas, me guían en mi trayecto.

Al Dr. Alejandro F. Barrientos Priego por todo el conocimiento que compartió, por el apoyo sincero y por estar siempre dispuesto a ayudar.

Al Dr. Raúl Nieto Ángel, cuyo apoyo y disposición fueron clave para la finalización de este este proyecto de vida.

Al Dr. Jesús Axayacatl Cuevas Sánchez, por haberme mostrado que, para todo hombre, así como para todo científico, la humildad y el trabajo son la base de la vida.

Al Dr. Juan Martínez Solís, sin cuyo apoyo no hubiese sido posible la realización de este trabajo.

A mi padre, Jesús Axayacatl Cuevas Sánchez, por el amor, la disciplina, las horas en vela y porque serán siempre mi mejor ejemplo a seguir.

A mis hijos, Axel Amadeus Cuevas Espinoza y Leah Rubí Cuevas Rocillo, por ser lo más grande en mi vida y mi motivación para ser una mejor persona cada día.

A mi amada esposa, la M.C. Zeltzin Itzel Rocillo Aquino, por ser persona con la que aprendo a vivir cada día, por su amor, comprensión y ternura.

A mis hermanos, Jesús Cuevas Coeto y Ena Icelle Cuevas Coeto, por los grandes momentos juntos, el apoyo y su cariño incondicional.

A mis tíos, Nestor Miguel Coeto Osorio y Cesar Coeto Osorio, por formar parte importante de mi vida.

Al Ing. Marco Antonio Arzate Ramírez, cuya amistad ha formado parte importante de mi vida como persona y como profesional.

A mis colegas Diego Moya Uribe, Alan Meza Juárez y Edgar Montoya, cuya amistad siempre ha sido fortaleza ante las adversidades escolares y personales.

Y a todas las personas quienes de alguna u otra manera formaron parte de mi desarrollo profesional y sin quienes no hubiese sido posible cumplir este sueño.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre Axayacatl Cuevas Coeto

Fecha de nacimiento 27 de enero de 1986

Lugar de nacimiento México, D.F.

C.U.R.P. CUCA860127HDF

Profesión Ingeniero agrónomo, Esp. En Fitotecnia

Cédula profesional 10461087

Desarrollo académico

Bachillerato Escuela Preparatoria Oficial Núm. 100

Licenciatura Universidad Autónoma Chapingo

Propagación por fracciones mínimas, injerto y evaluación del potencial del mucílago de *Opuntia* spp. como enraizador

Propagation by minimum fractions, grafting and evaluation of the potential of the mucilage of *Opuntia* spp. as a rooting

RESUMEN

Con la finalidad de incrementar la magnitud y calidad del subconjunto vegetal útil a través del uso de materiales resistentes a sequía, se evaluaron 18 materiales de *Opuntia*. La presente investigación se dividió en 3 fases generales. La primera fase consistió en la evaluación experimental de la propagación de 18 genotipos de nopales por el método de fracciones mínimas clásico y modificado, este último, realizando cortes longitudinales-transversales, con la finalidad de incrementar el número de propágulos obtenidos por cladodio, en los que se evaluó el porcentaje de enraizamiento. Los materiales más sobresalientes, con relación al total de propágulos obtenidos por genotipo fueron: 'Xoconostle Cuaresmeño' y 'Camueza II', ambos con 100 % de enraizamiento en el experimento 4. En la segunda fase se evaluó experimentalmente el uso de dos tipos de injerto (horizontal y tipo "V"), utilizando la variedad comercial 'Reyna' como injerto y los 2 materiales seleccionados en la primera fase como patrones. Se evaluó el prendimiento de los injertos con las variables Genotipo (GE) y Tipo de Injerto (TI), en la que 'Xoconostle Cuaresmeño' y 'Camueza II', evidenciaron 57.3 y 33.3 % respectivamente. Se realizó la prueba de medias para las variables GE y TI, concluyendo que no hubo diferencias significativas entre los tipos de injertos, pero sí entre genotipos, siendo 'Xoconostle Cuaresmeño' el más sobresaliente. Las primeras dos fases se desarrollaron bajo condiciones de invernadero, mismo que fue diseñado para simular condiciones de sequía. Finalmente, en la tercera fase se evaluó el potencial del mucílago de *Opuntia ficus-indica* y *Opuntia joconostle*, utilizando el diseño estadístico completamente al azar, con 15 repeticiones, para promover el enraizamiento de estacas de arándano, destacando como mejor método, el que involucró a la segunda especie de cuyos cladodios se extrajo el mucílago por molienda con todo y areolas e inmersión de las estacas en éste durante diez minutos, previa hechura de cinco cortes en la base de éstas.

Palabras clave: Arándano, Injertación, Mucílago, Nopal y Propagación.

ABSTRACT

In order to increase the magnitude and quality of the useful plant subset through the use of drought-resistant materials, 18 *Opuntia* materials were evaluated. The research was divided into 3 general phases. The first phase consisted of the experimental evaluation of the propagation of 18 nopal genotypes by the classical and modified minimum fractions method, the latter, by making longitudinal-transversal cuts, in order to increase the number of propagules obtained per cladode, in which the percentage of rooting was evaluated. The most outstanding materials, in relation to the total number of propagules obtained by genotype, were: 'Xoconostle Cuaresmeño' and 'Camueza II', both with 100 % rooting in experiment 4. In the second phase, the use of two types of grafts (horizontal and type "V") was evaluated experimentally, using the commercial variety 'Reyna' as scion and the 2 materials selected in the first phase as rootstocks. The grafts were evaluated with the Genotype (GE) and Graft Type (TI) variables, in which 'Xoconostle Cuaresmeño' and 'Camueza II' had 57.3 and 33.3 % respectively. The mean test was performed for the GE and TI variables, concluding that there were no significant differences between the types of grafts, but between genotypes, with 'Xoconostle Cuaresmeño' being the most outstanding. The first two phases were developed under greenhouse conditions, which were designed to simulate drought conditions. Finally, in the third phase the potential of *Opuntia ficus-indica* and *Opuntia joconostle* mucilage was evaluated using a completely randomized statistical design, with 15 repetitions, to promote the rooting of the blueberry stakes, with the best method being the one that involved the second species, from which the mucilage was extracted from its cladodes by grinding with everything and areolas and immersion of the stakes in this for ten minutes, after making five cuts at their base.

Key words: Blueberry, Grafting, Mucilage, Nopal and Propagation.

1. INTRODUCCIÓN

Desde que el ser humano evidenció capacidad para distinguir en la naturaleza aquellos organismos (entre éstos las plantas) que le resultaban útiles para satisfacer una cierta necesidad (alimento, leña, entre otras), su interés por determinar las formas de propagación de éstas se incrementó. Si bien la agricultura no fue un descubrimiento, sino uno de los resultados más trascendentales de la evolución cultural desarrollada por algunos grupos humanos, la capacidad de observación evidenciada por algunos individuos les hizo descubrir ciertos procesos vinculados a la vida de las plantas existentes en su entorno, cuyo conocimiento desarrollado poco a poco, finalmente condujo a definición de la tecnología necesaria para su cultivo en lugares frecuentemente más cercanos a los sitios en los que, aún como nómadas, vivían nuestros ancestros, antes de consolidar a la agricultura como la estrategia básica conducente a la llamada civilización.

Dentro de los procesos vinculados al origen y desarrollo de la agricultura, la germinación, evidenciada por estructuras a las que con el tiempo se les llamó “semillas”, así como la formación de raíces en otras estructuras (entre éstas los cladodios o tallos modificados de los nopales), de las plantas silvestres como un mecanismo para propiciar su sobrevivencia, fueron dos de los descubrimientos más importantes que, con el tiempo, permitieron el control de la propagación de los recursos vegetales.

1.1 Situación general de la problemática

La situación de la producción agrícola en nuestro México, como en el mundo, son cada vez más graves, complicándose aún más con el cambio climático acelerado, una de ella es la escasez cada vez mayor del agua para la producción agrícola, por lo que es necesario buscar nuevas alternativas que permitan producir en condiciones de falta de agua. El uso de variedades tolerantes a la sequía es una excelente alternativa para combatir dicho problema, ya sea mediante la obtención de nuevas variedades o bien con el uso de portainjertos.

Las especies pertenecientes al género *Opuntia* se distribuyen en diferentes tipos de ambientes, pero cuando se asocian con diferentes especies del mismo género, en un área determinada forman el llamado matorral crasicaule (Rzedowski, 1978) mejor conocido como “nopalera” (Miranda & Hernández-X., 1963). Este tipo particular de vegetación predomina en el Desierto Chihuahuense y en la Cuenca del Río Balsas (Rzedowski, 1978) donde se cree es centro de origen del género (Rebman & Pinkava, 2001). Existen, también, nopaleras desarrollándose como cercas vivas, en huertos familiares y en plantaciones comerciales (Colunga García-Marín, Hernández Xolocotzi, & Castillo Morales, 1986). Aún no se cuentan con datos que sustenten la región de origen del género *Opuntia*, sin embargo, México es un importante centro de diversificación de este género (Bravo-Hollis & Sánchez-Mejorada, 1991).

Actualmente, la producción de nopales en nuestro país se encuentra ampliamente distribuida en muchos ambientes ecológicos, con condiciones edáficoclimáticas diversas (Gallegos-Vásquez *et al* , 2011).

Las técnicas tradicionales de propagación, para el caso del género *Opuntia*, empleadas en el establecimiento de las viejas nopaleras que se encuentran actualmente en producción, no fueron las más adecuadas, al no contar con un sistema de selección del material estricto, y no tener un control sobre los materiales empleados para la obtención de las nuevas plantas, ya que se sigue empleando material vegetal deriva de una poda, o bien, que no se conoce el estado de sanidad de los mismos.

Para el caso de los nopales, si bien la propagación asexual tiene muchas ventajas, como la rápida generación de una nueva planta, la obtención de materiales homogéneos y que, por ser clones, se mantienen las características de la planta madre, también existen grandes desventajas, dentro de las cuales sobresalen la pérdida de la diversidad genética, y el riesgo de “arrastrar” problemas fitosanitarios y de deficiencias. Es también importante mencionar en este punto que, en los sistemas de multiplicación tradicional de nopales, se

utilizan cladodios de plantas previamente seleccionadas, a veces de unas pocas dentro de una población determinada, por lo que es necesario utilizar muchos cladodios para poder propagar o bien, renovar una plantación, de acuerdo con Barrientos y Brauer (1964), la propagación por fracciones mínimas resulta una opción más viable.

Así entonces, la propagación por fracciones mínimas puede ayudar a reducir la cantidad de material necesario para la multiplicación de propágulos, reduciendo costos por mano de obra, el espacio destinado para dicha multiplicación, y principalmente, se puede llevar una mejor selección del material a propagar, por lo que se puede asegurar mejores plantaciones y con ello mejores rendimientos. De la misma forma, el mejoramiento genético, con el uso de portainjertos tolerantes a condiciones de sequía, puede ayudar a la inserción de nopales tuneros o verdura en zonas con condiciones edafoclimáticas más adversas de las que ya se encuentran. Con el uso de taxa “silvestres” es posible, en cierta medida, ayudar a las variedades comerciales a sostener una óptima producción, ya que existen materiales que presentan resistencia a condiciones de sequía muy adversas, por lo que es importante la conservación de la enorme diversidad genética que existe en los muchos nopales con los que aún contamos hoy día.

El presente trabajo se realizó con el fin principal de detectar uno o más genotipos silvestres, que puedan ser utilizados como portainjertos para la producción de nopal tunero y verdura, así como el de ofrecer una alternativa a la compra de enraizadores comerciales. Así entonces, como primera fase, se seleccionaron 18 genotipos, uno de ellos es Reyna, una variedad ampliamente utilizada en la producción comercial de tuna, y el resto, son materiales poco investigados y que se presumen conservan aún características silvestres. Los materiales se propagaron con el método de fracciones mínimas simple y modificado. Se analizó el enraizamiento de los propágulos obtenidos, para posteriormente seleccionar los genotipos sobresalientes, los cuales se propagaron para obtener material suficiente para poder injertar. En la segunda fase se analizó el prendimiento de injertos de nopal de una variedad comercial sobre materiales silvestres, esto

utilizando 2 tipos de injerto (horizontal y tipo “V”). Finalmente, la tercera etapa consistió en evaluar el poder enraizador del mucílago de nopal.

1.2 Hipótesis

1.- La modificación al método de propagación por fracciones mínimas ayudará a incrementar en un 100 % el número de propágulos obtenidos por cladodio.

2.- Será posible el prendimiento de injertos de nopal sobre genotipos “silvestres” de nopal, en condiciones de muy poca humedad.

3.- El mucílago de nopal evidenciará un efecto positivo en el enraizamiento de estacas.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia de los nopales

En los nopales, la reproducción sexual, si bien nos brinda la gran ventaja de la diversidad genética, la cual es sumamente importante para la obtención de nuevos materiales, sin embargo, posee una desventaja, ya que las plantas obtenidas por semillas tardan más tiempo en entrar a producción (hasta 5 años). Además, tratándose de especies de polinización cruzada, las plantas resultantes de la propagación sexual son altamente heterogéneas (FAO, 2001). Es también de mencionar que las semillas de estas especies presentan latencia, dificultando el proceso de germinación, el cual es muy lento y en ocasiones complicado (Kaur, Kaur, & Sharma, 2012).

En las plantaciones comerciales de nopales, la reproducción asexual resulta ser la más conveniente, ya que se reduce el tiempo para que éstas entren a producción (en promedio 6 meses, dependiendo del genotipo), además de obtener plantaciones más uniformes, lo que se traduce en mejor manejo y homogenización de las labores de cultivo (Luna Vázquez, 2001). La selección de las plantas madre es más controlada, ya que se pueden detectar individuos dentro de una población que presenten características favorables, las cuales se presentarán en las nuevas plantas.

La caracterización taxonómica de estas especies es complicada, debido a que la mayoría de los sistemas de clasificación contienen errores en conceptos de género y especie, generando mucha sinonimia, además que su origen reciente las hace estar en estado activo de evolución y por lo tanto de diferenciación. Así mismo, la variación interespecífica puede deberse no sólo a cambios genéticos sino también a las diferencias en las condiciones ambientales, las cuales afectan la talla, coloración de la flor, longitud de espinas, etc. dando lugar a confusiones (Reyes-Agüero, Aguirre-Rivera, & Hernández, 2005). Esto se agrava debido a la gran hibridación, bajo condiciones naturales, producto de la inexistencia de barreras ontogenéticas que lo impidan; además que la mayoría de los híbridos

son fértiles y la mayor parte (63.3 %) de los nopales actuales son poliploides, lo que evidencia el origen de muchas especies y/o variedades por este fenómeno, aunque por lo general los híbridos reflejan codominancia de caracteres de ambos antecesores. Muñoz-Urias *et al.* (2008) concluyeron que la hibridación en la porción Zacatecana-Potosina no es común entre especies silvestres de *Opuntia*. Así mismo, la antigua y continua selección de plantas por sus frutos y tallos, han perpetuado muchas variedades ligeramente diferentes, dando como resultado un gran polimorfismo en este género (Scheinvar *et al.*, 2011).

Muchos han sido los estudios dirigidos a la formación de nuevas variedades que toleren, en cierta medida, las condiciones adversas que se presentan en gran parte del nuestro territorio nacional, por otra parte, también se han investigado materiales que son utilizados por su alta productividad, calidad de cladodios y frutos, principalmente. La visión que algunos productores sobre intensificar la producción de nopal con genotipos sin espina, altamente susceptibles a la sequía. Ante esta situación, se necesitan identificar genotipos de nopal que se adapten a las condiciones de la sequía y ataques de plagas, características comunes en las plantaciones a cielo abierto.

En mucha de la literatura disponible se menciona cómo se debe desarrollar la técnica de propagación por fracciones mínimas (Barrientos y Brauer, 1964), pero no se mencionan aspectos básicos como son el riego (frecuencia y/o volumen), bajo qué condiciones de luz se deben “curar” los cladodios destinados en la propagación, o bien, cuáles son las alternativas a considerar para evitar los problemas de pudriciones o deshidratación al desarrollar dicha técnica. Por ello, es importante retomar el tema, para tratar de complementar el conocimiento relativo a la propagación de fracciones mínimas, con la finalidad de que productores e investigadores puedan llevarla a cabo con mayor éxito.

2.2 El Mucílago de *Opuntia* spp.

Por su amplia distribución geográfica, asociada a climas del grupo B (Bs y Bw), los cuales tienen la mayor representación en más del 60 % del territorio de

nuestro país, las más de 200 especies de *Opuntia* spp., han evidenciado la gran importancia antropocéntrica. No obstante, las múltiples formas de uso de los nopales, el potencial de aprovechamiento de los nopales continúa incrementándose, tal es el caso del mucílago estudiado en la presente investigación.

De acuerdo con Vargas Rodríguez et al. (2016), el mucílago de nopal (*Opuntia* spp.), obtenido de sus cladodios, es una sustancia hidrocoloidal, heteropolisacárida (con residuos de arabinosa, galactosa, ramnosa y xilosa como azúcares neutros); sus estructuras moleculares son polielectrolitas (Majdoub, Sadok & Deratani, 2001), altamente ramificadas (MacGarvie & Parolis, 1979) y con peso molecular (PM) en el orden de los millones de Da (3×10^6 Da en Cárdenas, Higuera & Goycoolea, 1997; 4.3×10^6 Da en Trachtemberg & Mayer, 1981).

Las aplicaciones a escala doméstica del mucílago con fundamento en conocimiento empírico son muy diversas. Algunas de ellas han sido aproximadas a publicaciones científicas. Sáenz, Sepúlveda y Matsuhira (2004) comentaron, por ejemplo: 1) En área de salud para el control de glicemia (además, Laurenz, Collier & Kutti [2003] realizaron estudios preclínicos en cerdo como modelo biológico; Alarcón-Aguilar [2003] identificaron y aislaron un polisacárido con propiedad hipoglucemiante; Basurto, Lorenzana & Magos [2006] hicieron una revisión de la literatura precisando en algunos casos para el mucílago sobre la acción de hipoglucemiante), colesterolemia, protección de mucosa gástrica ulcerada, analgésico, anti-inflamatorio y antiviral (herpes simple tipo), atributo en el que la viscosidad del mucílago es de especial interés; 2) Tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados, coliformes fecales y mal olor; 3) Construcción y pinturas, la adición del mucílago como adhesivo natural en la cal, con la finalidad de restaurar y proteger edificios históricos; 4) Agricultura, mejorando la infiltración de agua en suelo; 5) Alimenticia, como aglutinante de sabores y sustituto de grasas; exhibe también fuerte capacidad emulsificante. Por último, 6) Las biopelículas comestibles de mucílago de *Opuntia ficus indica* para

prolongar la vida de anaquel de las fresas ha sido de las aplicaciones más innovadoras para esta sustancia (Vargas Rodríguez *et al.*, 2016).

No obstante existir diversos reportes relativos a la composición química y propiedades físicas del mucílago de nopal, siguen siendo especialmente insuficientes los relativos al potencial para promover el enraizamiento de estacas, situación que, entre otros aspectos se debe a que:

1. Hasta donde se sabe, sólo se ha evaluado parcialmente el efecto del mucílago de especies de otras familias, entre las que destaca *Aloe vera*, conocida comúnmente como Sábila, actualmente ubicada en la familia Xanthorrhoeaceae.
2. El impacto del medio ecológico, en particular del clima, en la cantidad y calidad del mucílago producido por distintas especies de *Opuntia* spp., lo cual, de acuerdo con McGarvie y Parolis (1981 a y b) evidencia la necesidad de determinar la heredabilidad (h^2) de este carácter.
3. Adicionalmente, Naod y Tsige (2012), discutieron que; la abundancia y la calidad (inherente a la composición) del mucílago del nopal, varían con la especie, la edad del cladodio, estación climática y la topografía del lugar de plantación (el tipo de suelo, lluvia, temperatura, etc.), dificultando esta multitud de factores la comparación o correlación de materiales mucilaginosos, incluso mostrándose algunas veces abruptamente diferentes. Otras razones más son la diversidad de especies y variedades de nopal a estudiar, así como también las imprecisiones en la identificación taxonómica del nopal.
4. Aún es impreciso el conocimiento relativo a la distribución de las fitohormonas dentro del cladodio, suponiéndose que, debido a que las *areolas* son zonas meristemáticas, es en torno a éstas donde probablemente se localice una mayor cantidad de los llamados reguladores del crecimiento.

2.3 *Opuntia* spp: Su importancia antropocéntrica

En acuerdo con la CONABIO, el nopal ocupa un lugar preponderante en nuestra cultura, tanto en la vegetación como por la cantidad de usos que se le ha dado. Los antiguos pobladores recolectaban las pencas por la facilidad con que se propagan, y los frutos para comerlos frescos o conservarlos secos. De esta manera, con el tiempo favorecieron ciertos nopales en su entorno natural y como parte importante de su alimentación. Al desarrollarse la agricultura e incrementarse el cultivo de las milpas, la vegetación natural comenzó a ser removida de manera selectiva, preservando sólo aquellas plantas silvestres que proporcionaban algún beneficio. Así, se favorecieron las variantes agradables o de mayor interés y utilidad de acuerdo con los criterios culturales de cada pueblo.

Donde las verduras son escasas, los nopalitos son un alimento central; se sirven preparados con carne de venado o guajolote. Las flores son guisadas en regias salsas y los xoconostles se comen crudos o cocinados. Con las tunas se elaboran jugos y dulces varios, además de una bebida fermentada llamada colonche o vino de tuna. El uso que antiguamente se daba a las pencas como alimento para guajolotes se hizo extensivo al ganado traído por los españoles, generando la aparición de potreros en donde se fomenta el crecimiento de nopales a los que, cuando el alimento escasea, se les queman las espinas para emplearlos como forraje. Actualmente algunos productos tradicionales cuentan con una amplia comercialización y se desarrollan innovaciones para responder a mercados en expansión.

Algunos trabajos de investigación orientados a diversificar los usos de esta planta, han revelado que, de las partes vegetativas (cladodio y pericarpio) ,del mesocarpio y semillas, es factible obtener una gran diversidad de compuestos químicos (aceites comestibles, vitaminas, azúcares, pectinas, colorantes, etc.) que pueden ser utilizados para elaborar una gran diversidad de subproductos, como jugos, néctares, vinos, licores, miel tipo maple, alcohol industrial, vinagres,

aromatizantes, aceites para el consumo humano, pasta, harina forrajera, entre otros.

2.4 Valor nutricional de los nopales para la alimentación humana

En los nopalitos encontramos dos tipos de fibra con propiedades benéficas. La fibra insoluble, que se mantiene dura o entera por lo que contribuye al buen funcionamiento del aparato digestivo, lubricando sus paredes interiores y las fibras solubles, que forman parte de la baba, captan agua y contribuyen a regular los niveles de colesterol y glucosa en la sangre. El valor nutricional de las tunas es comparable a frutos como la manzana o la naranja en cuanto a su contenido de vitamina C. Su valor calórico se debe a que predominan azúcares reductoras como la glucosa y la fructosa. Los xoconostles tienen un alto contenido de proteínas y vitamina C. En cuanto a su valor nutricional, estos frutos combinan los beneficios tanto del nopalito como de la tuna.

Cuadro 1. Usos reportados de *Opuntia* spp.

Uso	Estructura involucrada	Observaciones
Alimento humano y de otros animales	Cladodios y frutos (tunas)	Rico en Fibra, Potasio, Magnesio, vitaminas A y C
Purificador de agua	Mucílago	Extraído de los cladodios o de los frutos favorece la aglomeración de las partículas contaminantes del agua sucia
Medicinal	Cladodios	Incorporado a bebidas verdes, tiene efecto hipoglucemiante
Doméstico: Adherente de pinturas	Cladodios	Por sus propiedades el mucílago promueve la fijación de pinturas
Industrial: Elaboración de Bioetanol	Cladodios y Frutos	A través fermentación y destilación
Cerca viva	Planta	Preferentemente los materiales con espinas más abundantes y largas
Ornamental	Planta (con o sin flores)	Muchas especies de este género tienen aspectos muy interesantes
Promotor de enraizamiento	Mucílago	La factibilidad de este importante uso se cotejó en este trabajo

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se dividió en 3 fases generales, la primera corresponde a la propagación por fracciones mínimas, la segunda a los injertos y la tercera a la evaluación del potencial del mucilago de nopales como enraizador.

3.1 Fase 1

3.1.1 Selección de genotipos para portainjerto

Se seleccionaron 18 genotipos de la nopalera del Campo Agrícola Experimental del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo (Indicados en verde en la Figura 1), basándose en características fenotípicas que se apegaran más a las especies en estado silvestre, es decir, tallos más robustos, fibrosos y con mayor presencia de espinas, número de frutos y tamaño de los mismos, ya que se considera que las especies más silvestres de este género presentan gran número de frutos con tamaño considerablemente menor al de las variedades comerciales, como Reyna, la variedad comercial que se utilizó como injerto (Indicada en amarillo en la Figura 1).

Los genotipos utilizados fueron: Roja Toluca, Zaponopal Rojo, Zaponopal, Xoconoxtle Chivo, Xoconostle Cuaresmeño, Reyna, Camueza II, Cardón Blanco, Charola, Roja Jalpa, Amarilla sin espinas, Tapón Coral, Blanca Cilindro, Mantequilla, Cacalote, Amarilla plátano, Rojo Papas, y Burrón Amarilla.

De las plantas madre, se seleccionaron tallos para su propagación en camas de siembra bajo condiciones de invernadero.

3.1.2 Selección del material para la fase 1

Los cladodios seleccionados de las plantas madre fueron aquellos que presentaron buenas características morfológicas y de sanidad para poder considerarse como material de propagación, a saber:

- i) Buen vigor.
- ii) Libres de plagas y enfermedades.
- iii) Sin malformaciones físicas.
- iv) De 1 a 2 años de edad.
- v) De 30 cm de largo y 20 cm de ancho.
- vi) Con buen grosor y succulencia.

Estas características fueron muy importantes para la selección de las pencas que se utilizaron para la propagación, para obtener éxito en la técnica de propagación por fracciones mínimas, para esto, también se realizaron los cortes tratando de dañar lo menos posible a las plantas madres procurando que fueran del menor diámetro posible para que cicatrizase más rápidamente, además de haber desinfestado la herramienta antes de usar en cada corte para evitar el contagio de enfermedades dentro de la nopalera.

La literatura indica que las pencas deberán de ser tratadas con caldo bordelés al 2 %, sin embargo, en este experimento no se aplicó buscando que los propágulos estuvieran sometidos a condiciones más adversas, ya que en ocasiones los productores no cuentan con los medios para aplicar mayores insumos.

Surco 8	Surco 9	Surco 10	Surco 11	Surco 12	Surco 13	Surco 14	Surco 15	Surco 16	Surco 17
57 Xoconostle Colorado	65 Fiusha	73 Xoconostle Chivo	81 Roja Libertad	89 Sabor Sandía	97 Ficus	105 Cadón Blanco	113 Chapeada	121 Mantequilla	129 Rojo Papas
58 Xoconostle Amarillo el Llano	66 Amielada	74 Xoconostle Cuaresmeño	82 El Sitio	90 Blanca Mantequilla II	98 Roja Miquihuan	106 Charola	114 Tapón Coral	122 Blanca San José	130 Burrona amarilla
59 Amarilla Olorosa	67 Apastillada	75 Blanca San José	83 Amarilla Jarro	91 Verdura Naranja Hgo.	99 San Pedreña	107 Roja Jalpa	115 Burrona Larga	123 Morada 2	131 Rojo Cosalima
60 Blanca Sapota	68 Blanca Cilindro	76 Burrona Larga	84 Reyna	92 Blanca La Gavia	100 Xoconostle Del Borrego	108 Pelón Blanco	116 Amarilla Santa Bárbara	124 Naranjita	132 Amarilla Zacatecas
61 Roja Tardía	69 Blanca Pepino	77 Blanco Zacatecas	85 Roja La Palma	93 Amarilla Zacatecas	101 Jartona	109 San Pedreña	117 Blanca Cilindro	125 Rojo Malitzi	
62 Chicle	70 Iris II	78 Cenizo	86 Roja Coralina	94 Amarilla Plátano	102 Rosada	110 Amarilla Sin Espinas	118 Virginia I	126 Cacalote	
63 Roja Toluca	71 Mielosa	79 Xoconostle Blanco	87 Xoconostle Q. Blanco Hidalgo	95 Sangre de Toro	103 Iris	111 Morada San Martín	119 Tuna Rosa	127 Tapón Amarillo	
64 Zaponopalli rojo	72 Zaponopalli	80 RojoCristal	88 Xoconostle Alimonado	96 Tapón Liso Hgo.	104 Camueza II	112 Manza	120 Amarilla Calabaza	128 Amarilla Plátano	

Figura 1. Mapa de la distribución de los materiales seleccionados en campo San Martín, Chapingo, México.

Los tallos se dejaron “curar” durante 15 días en campo, bajo la sombra de las plantas madre, de manera tal el sol no incidiera tan directamente para evitar que las pencas se curvaran (esta información se sabe por empirismo, más no se ha evaluado experimentalmente); posteriormente fueron trasladados al invernadero donde se cortaron en fracciones mínimas simples y modificadas.

3.1.3 Experimento 1- Método de propagación por fracciones mínimas con riego frecuente

El primer experimento se realizó con los 18 materiales seleccionados anteriormente y bajo las condiciones antes mencionadas, siguiendo la

metodología indicada por Barrientos y Brauer (1964) relativo a la propagación de especies de *Opuntia* por el método de fracciones mínimas, el cual consiste en lo siguiente:

1.- Una vez habiendo seleccionado los materiales y estando convenientemente deshidratados. Las pencas se cortaron en fracciones mínimas, respetando las areolas, que es en donde se ubican las yemas de donde surgirán las raíces y dará origen a la nueva planta, dejando por lo menos una areola de un lado y por lo menos una del otro lado (Figura 2).

2.- Aunque la literatura recomienda que a los propágulos obtenidos de la fragmentación de los tallos se traten con caldo bordelés, en este experimento se excluyó este paso, dado que se pretendía someter a las fracciones mínimas al mayor estrés posible para seleccionar a los materiales más resistentes.

3.- Las fracciones se colocaron en la cama de siembra, de tal manera que una de las caras con areolas estuviera en completo contacto con la tierra o sustrato.

4.- Se distribuyeron en 3 camas (cada cama = un bloque), y dentro de cada cama se sembraron en un arreglo completamente al azar.

Es importante mencionar que el invernadero en que se encuentran las camas de siembra de cemento fue diseñado para proporcionar condiciones de sequía extrema, es decir, altas temperaturas y poca (o relativamente poca) humedad relativa.

Los riegos fueron los siguientes: Uno antes de realizar la siembra, y después de la primera semana los riegos se intercalaron un día sí y otro no, durante 30 días.

El efecto de luz fue un factor muy importante, y en este experimento no se colocó sombra dentro o fue del invernadero de ningún tipo.



Figura 2. Experimento 1-Fracciones mínimas de acuerdo con Barrientos y Brauer (1964).

La idea de este primer experimento fue la de evaluar el porcentaje de enraizamiento. Se monitorearon los propágulos cada tercer día en busca de raíces que pudieran haber brotado. Del total de propágulos (45 por genotipo) se calcularía el porcentaje de enraizamiento en cada genotipo seleccionado.

3.1.4 Experimento 2- Modificación al método de propagación por fracciones mínimas

Se pensaba que fraccionando los cladodios de manera longi-transversal podría multiplicarse el número de propágulos (el doble al obtener dos caras por tallo). En este segundo experimento se utilizaron los 18 materiales seleccionados anteriormente y bajo las condiciones antes mencionadas, modificando la metodología indicada por Barrientos y Brauer (1964) relativo a la propagación de especies de *Opuntia* por el método de fracciones mínimas, de la siguiente forma:

1.- Las pencas se cortan de manera longi-transversal (Figura 3), respetando las areolas, que es en donde se ubican las yemas de donde surgirán las raíces y dará origen a la nueva planta, dejando por lo menos una areola por cada fracción, como se muestra en la imagen (Figura 4).

2.- En este segundo experimento tampoco se aplicó caldo bordelés, dado que se pretendía someter a las fracciones mínimas al mayor estrés posible para seleccionar a los materiales más resistentes.

3.- Las fracciones se colocaron en la cama de siembra, de tal manera que la cara con areolas estuviera hacia el sustrato.

4.- Se distribuyeron en 3 camas (cada cama = un bloque), y dentro de cada cama se sembraron en un arreglo completamente al azar.

Es importante mencionar que el invernadero en que se encuentran las camas de siembra de cemento fue diseñado para proporcionar condiciones de sequía extrema, es decir, altas temperaturas y poca (o relativamente poca) humedad relativa.

Los riegos fueron los siguientes: Uno antes de realizar la siembra, y después de la primera semana los riegos se intercalaron un día sí y otro no, durante 30 días.



Figura 3. Corte longi-transversal de un cladodio de nopal.

El efecto de luz fue un factor muy importante, y en este experimento no se colocó sombra dentro o fue del invernadero de ningún tipo.



Figura 4. Fracciones mínimas con corte longi-transversal del cladodio de nopal.



Figura 5. Siembra de propágulos de nopal por el método modificado.

De igual manera, la idea en el segundo experimento fue la de evaluar el porcentaje de enraizamiento. Se monitorearon los propágulos cada tercer día en busca de raíces que pudieran haber brotado. Del total de propágulos (45 por genotipo) se calcularía el porcentaje de enraizamiento en cada genotipo seleccionado.

3.1.5 Experimento 3- Método de propagación por fracciones mínimas con riego limitado

El tercer experimento se realizó con los 18 materiales seleccionados previamente y bajo las condiciones antes mencionadas, y con la técnica de fracciones mínimas antes explicada, siendo establecido de la siguiente manera:

- 1.- Después de la colecta, se dejaron curar los materiales durante 15 días, después fueron trasladados al invernadero para poder fraccionarlos.
- 2.- Los materiales se cortaron en fracciones mínimas.
- 3.- Se sembraron de manera superficial en las camas dentro del invernadero, dejando una o más areolas expuestas en la parte superior y una o más areolas expuestas al suelo.
- 4.- El arreglo utilizado es por bloque completamente al azar, distribuidos en tres camas de siembra.

En esta ocasión los riegos fueron muy limitados, realizando un riego pesado en las camas antes de la siembra, y suspendiendo el riego durante 65 días, al notar que algunos de los materiales comenzaban a emitir raíces, se comenzó a regar, una vez por semana durante 15 días, y después cada tercer día.

Es importante mencionar que antes de la instalación de este experimento se sombreó el área que abarcaba las camas de siembra, ya que, según observaciones realizadas durante los primeros 2 experimentos, los propágulos que se encontraban bajo la sombra de la estructura metálica del invernadero, presentaron mejor enraizamiento.

En el tercer experimento se evaluó el porcentaje de enraizamiento. Se monitorearon los propágulos cada tercer día en busca de raíces que pudieran haber brotado. Del total de propágulos (45 por genotipo) se calculó el porcentaje de enraizamiento en cada genotipo seleccionado.

3.1.6 Experimento 4- Método de propagación por fracciones con materiales sobresalientes del experimento 3

El cuarto experimento se realizó con los 3 materiales seleccionados del experimento 3 (Método de propagación por fracciones mínimas con riego limitado) más la variedad Reyna (Testigo), bajo las condiciones antes mencionadas, siguiendo la metodología indicada por Barrientos y Brauer (1964) relativo a la propagación de especies de *Opuntia* por el método de fracciones mínimas, de la siguiente forma:

1.- Los materiales fueron deshidratados. Las pencas se cortaron en fracciones mínimas, respetando las areolas, que es en donde se ubican las yemas de donde surgirán las raíces y dará origen a la nueva planta, dejando por lo menos una areola de un lado y por lo menos una del otro lado (Figura 6).

2.- Las fracciones se colocaron en la cama de siembra, de tal manera que una de las caras con areolas estuviera en completo contacto el suelo o sustrato, quedando cada propágulo completamente superficial, no enterrados.

4.- Se distribuyeron en 3 camas (cada cama = un bloque), y dentro de cada cama se sembraron en un arreglo completamente al azar (Figura 7), ver (Cuadros 1, 2 y 3).

Es importante mencionar que el invernadero en que se encuentran las camas de siembra de cemento fue diseñado para proporcionar condiciones de sequía extrema, es decir, altas temperaturas y poca (o relativamente poca) humedad relativa; sin embargo, al igual que en el experimento anterior, el área de las camas de siembra, dentro del invernadero, se sombrearon, para mejorar las condiciones en que se encontraban los propágulos. Los riegos fueron los siguientes: Uno inmediatamente después de realizar la siembra; después se suspendió el riego durante 65 días, una vez aparecidas la mayoría de las raíces se continuó con el riego cada cinco días. Después de los siguiente 30 días se comenzó a regar cada tercer día.

Cuadro 2. Distribución completamente al azar en la cama 1 de fracciones mínimas de nopal.

CAMA I				
Hilera / Columna	1	2	3	4
8	'Reyna'	'Xoconostle Cuaresmeño'	'Reyna'	'Camueza II'
7	'Camueza II'	'Cacalote'	'Reyna'	'Cacalote'
6	'Camueza II'	'Xoconostle Cuaresmeño'	'Cacalote'	'Reyna'
5	'Reyna'	'Camueza II'	'Xoconostle Cuaresmeño'	'Cacalote'
4	'Xoconostle Cuaresmeño'	'Camueza II'	'Cacalote'	'Xoconostle Cuaresmeño'
3	'Camueza II'	'Xoconostle Cuaresmeño'	'Camueza II'	'Reyna'
2	'Xoconostle Cuaresmeño'	'Cacalote'	'Reyna'	'Cacalote'
1	'Camueza II'	'Cacalote'	'Xoconostle Cuaresmeño'	'Reyna'

Cuadro 3. Distribución completamente al azar en la cama 2 de fracciones mínimas de nopal.

CAMA II				
Hilera / Columna	1	2	3	4
8	'Cacalote'	'Xoconostle Cuaresmeño'	'Camueza II'	'Reyna'
7	'Xoconostle Cuaresmeño'	'Reyna'	'Cacalote'	'Xoconostle Cuaresmeño'
6	'Camueza II'	'Xoconostle Cuaresmeño'	'Reyna'	'Cacalote'
5	'Reyna'	'Cacalote'	'Camueza II'	'Xoconostle Cuaresmeño'
4	'Cacalote'	'Camueza II'	'Xoconostle Cuaresmeño'	'Reyna'
3	'Camueza II'	'Reyna'	'Cacalote'	'Camueza II'
2	'Cacalote'	'Xoconostle Cuaresmeño'	'Camueza II'	'Reyna'
1	'Xoconostle Cuaresmeño'	'Cacalote'	'Camueza II'	'Reyna'

Cuadro 4. Distribución completamente al azar en la cama 3 de fracciones mínimas de nopal.

CAMA III				
Hilera / Columna	1	2	3	4
8	'Reyna'	'Camueza II'	'Cacalote'	'Xoconostle Cuaresmeño'
7	'Camueza II'	'Reyna'	'Camueza II'	'Cacalote'
6	'Xoconostle Cuaresmeño'	'Cacalote'	'Reyna'	'Camueza II'
5	'Reyna'	'Cacalote'	'Xoconostle Cuaresmeño'	'Reyna'
4	'Xoconostle Cuaresmeño'	'Camueza II'	'Cacalote'	'Xoconostle Cuaresmeño'
3	'Cacalote'	'Reyna'	'Camueza II'	'Reyna'
2	'Xoconostle Cuaresmeño'	'Cacalote'	'Reyna'	'Xoconostle Cuaresmeño'
1	'Camueza II'	'Xoconostle Cuaresmeño'	'Cacalote'	'Camueza II'



Figura 6. Propágulo de nopal establecido del experimento 4.



Figura 7. Experimento 4, camas de establecimiento de fracciones mínimas de nopal.

En el cuarto experimento se evaluó el porcentaje de enraizamiento. Se monitorearon los propágulos cada tercer día en busca de raíces que pudieran haber brotado. Del total de propágulos (24 por genotipo) se calculó el porcentaje de enraizamiento en cada genotipo sobresaliente.

3.2 Fase 2

3.2.1 Experimento 5- Injerto de la variedad comercial 'Reyna' sobre 'Camueza II' y 'Xoconostle Cuaresmeño'

La segunda fase consistió en injertar la variedad comercial 'Reyna', sobre los materiales enraizados, producto del experimento 4, que fueron utilizados como parte de la fase 2; es decir, fueron utilizados como portainjertos, el modelo (Bloques completos al azar) fue el mismo .

Se utilizaron dos tipos de injerto, horizontal (H) y tipo "V" (V), materiales alternadamente (Injerto horizontal y Tipo "V"), y se distribuyeron al azar. Los injertos fueron cubiertos con una película de Resistol 5000® al 100 %, para evitar la deshidratación, la entrada de patógenos en la herida y en cierta medida, evitar a que el injerto se moviera.

El prendimiento se consideró a los 10 días después de haber realizado el injerto.

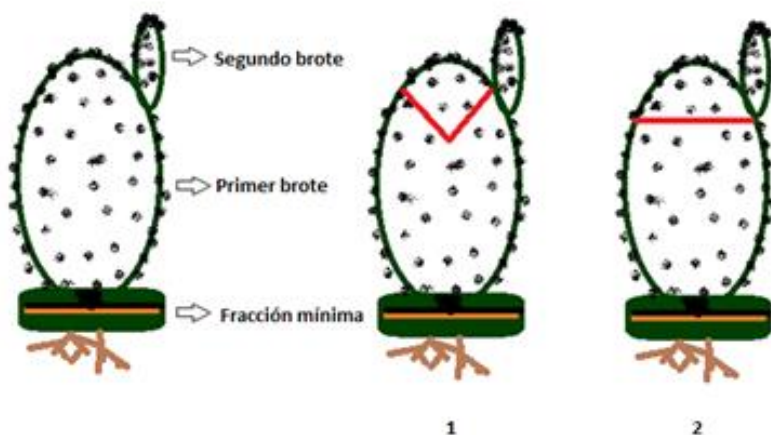


Figura 8. Tipos de injerto sugeridos Exp. 4 de nopal.

Los datos se evaluaron junto con los del experimento 6.

3.2.2 Experimento 6- Injerto de la variedad comercial ‘Reyna’ sobre ‘Camueza II’ y ‘Xoconostle Cuaresmeño’

El experimento 6 se llevó a cabo justo después de tomados los datos del experimento 5, y se realizó injertando sobre los materiales establecidos para el experimento 5, bajo las mismas condiciones, esto es: dos tipos de injerto, horizontal (H) y tipo “V” (V), materiales alternadamente (Injerto horizontal y Tipo “V”), y se distribuyeron al azar. Los injertos también fueron cubiertos con una película de Resistol 5000® al 100 %, para evitar la deshidratación, la entrada de patógenos en la herida y en cierta medida, evitar a que el injerto se moviera.

El prendimiento se consideró a los 10 días después de haber realizado el injerto.

Para este experimento fueron utilizados los propágulos del experimento 4 (Método de propagación por fracciones con materiales sobresalientes del experimento 3) igual que en el experimento anterior, es decir, una vez terminado el experimento 5, se cortaron los brotes secundarios (originados de las fracciones mínimas) y se dejaron crecer durante 20 días.

Posteriormente, se repitieron los injertos, pero esta vez invirtiendo el orden, es decir, fueron utilizados como portainjertos los materiales alternadamente (Injerto horizontal y Tipo “V”), y nuevamente se distribuyeron al azar.

Para el análisis de los datos, de conjuntaron los resultados de las observaciones de los experimentos 5 y 6. Utilizando el programa SAS, se obtuvieron los siguientes datos para la prueba de media con relación al tipo de injerto utilizado:

Así entonces, en los experimentos 5 y 6, se injertaron 2 genotipos, 74 (‘Xoconostle Cuaresmeño’) y 104 (‘Camueza II’), distribuidos en 3 camas de siembra (Bloques), utilizando 2 tipos de injerto (Horizontal y Tipo “V”). La Unidad Experimental fue cada genotipo (GE) con cada tipo de injerto (TI), con 8 repeticiones por cama (por experimento), dando un total de 48 repeticiones por genotipo por tipo de injerto, 96 observaciones por experimento, es decir, 192 en total.

Se realizó la prueba de medias con el procedimiento Tukey con $\alpha = 0.05$ para las variables genotipo (GE) y tipo de injerto (TI).

3.3 Fase 3

3.3.1 Experimento 7- Evaluación experimental del potencial del mucílago extraído de cladodios de nopal, en el enraizamiento de estacas de arándano

Para la evaluación del este experimento se utilizaron 2 especies de nopal, *Opuntia ficus-indica* (domesticada) y *Opuntia joconostle* (silvestre).

La extracción del mucílago se efectuó de dos formas:

1. Manualmente, mediante el raspado con cuchara de cladodios jóvenes (< 1 año) previamente seccionados mediante cortes longitudinales medios.
- 2) Mecánicamente, mediante molido en licuadora doméstica de cladodios con todo y espinas (areolas) de muestras de las dos especies indicadas.

Las estacas de arándano (*Vaccinium corymbosum*), fueron obtenidas directamente en campo, en la localidad de Vista Hermosa, perteneciente a la comunidad de Xocoyolo (Municipio de Cuetzalan), ubicada en la Sierra Norte del Estado de Puebla, cultivado en asociación con maíz, en la parcela del campesino Miguel Baez.



Figura 9. Materiales involucrados en el experimento 7: Estacas de arándano, fungicida, Radix 10000®, navajas, cladodios de dos especies de nopal y mucílago.

El experimento se estableció en el Laboratorio del Banco Nacional de Germoplasma Vegetal, ubicado en el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, con base al diseño Completamente al Azar, involucrando 24 tratamientos (Cuadro 5), donde:

- Cada Unidad Experimental (UE) estuvo compuesta por 24 estacas, cada una con uno de los tratamientos.



Figura 10. Mucílago extraído de *Opuntia joconostle* mediante raspado interno de cladodios seccionados longitudinalmente por eje medio.

Cuadro 5. Tratamientos involucrados en la evaluación experimental del potencial de enraizamiento de mucílago extraídos de cladodios de dos especies de nopal (*Opuntia ficus-indica* y *Opuntia joconostle*), en estacas de arándano (*Vaccinium corymbosum*).

Tratamientos
1. Testigo. Estaca Vegetativa Basal (EVB)
2. Testigo. Estaca Vegetativa Apical (EVA)
3. Testigo. Estaca Reproductiva basal (ERB)
4. Estaca Reproductiva Apical (ERA)
5. EVB/ Mucílago de <i>O. ficus-indica</i> extraído mediante molido con areolas/ 10 min
6. EVA/Mucílago de <i>O. ficus-indica</i> extraído mediante raspado de cladodios divididos / 10 min.
7. EVB/ Mucílago de <i>O. ficus-indica</i> extraído mediante molido con areolas/ 20 min
8. EVA/Mucílago de <i>O. ficus-indica</i> extraído mediante raspado de cladodios divididos / 20 min.
9. EVB/ Mucílago de <i>O. joconostle</i> extraído mediante molido con areolas/ 10 min
10. EVA/Mucílago de <i>O. joconostle</i> extraído mediante raspado de cladodios divididos / 10 min.
11. EVB/ Mucílago de <i>O. joconostle</i> extraído mediante molido con areolas/ 20 min
12. EVA/Mucílago de <i>O. joconostle</i> extraído mediante raspado de cladodios divididos / 20 min.
13. ERB/ Mucílago de <i>O. ficus-indica</i> extraído mediante molido con areolas/ 10 min
14. ERA/Mucílago de <i>O. ficus-indica</i> extraído mediante raspado de cladodios divididos / 10 min.
15. ERB/ Mucílago de <i>O. ficus-indica</i> extraído mediante molido con areolas/ 20 min
16. ERA/Mucílago de <i>O. ficus-indica</i> extraído mediante raspado de cladodios divididos / 20 min.
17. ERB/ Mucílago de <i>O. joconostle</i> extraído mediante molido con areolas/ 10 min
18. ERA/Mucílago de <i>O. joconostle</i> extraído mediante raspado de cladodios divididos / 10 min.
19. ERB/ Mucílago de <i>O. joconostle</i> extraído mediante molido con areolas/ 20 min
20. ERA/Mucílago de <i>O. joconostle</i> extraído mediante raspado de cladodios divididos / 20 min.
21. EVB/ Radix
22. EVA/Radix
23. ERB/Radix
24. ERA/Radix



Figura 11. Estacas de arándano inmersas en mucílago extraído de cladodios de *Opuntia joconstle*, molido con todo y areolas.

Después de concluir la toma de datos para las variables Número de Hojas (NH), Color de Hojas (CH), Hojas Verdes (HV) y Evidencia de Enraizamiento (EE), el análisis estadístico de los mismos se efectuó mediante el software SAS ver. 9.2, utilizando los comandos ANOVA y pruebas de medias, según Tukey ($\alpha=0.05$).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Fase 1

4.1.1 Experimento 1- Método de propagación por fracciones mínimas con riego frecuente

Primeramente, al no contar con datos relativos al manejo de los propágulos, en el experimento 1 se regó con bastante frecuencia, por lo que se presentaron problemas de pudriciones por un lado y de rápida deshidratación por el otro. De igual manera, no se había instalado la malla sombra dentro del invernadero, por lo que las fracciones de tallos estuvieron expuestos.



Figura 12. Deshidratación en fracciones mínimas de cladodio de nopal.



Figura 13. Pudrición en fracciones mínimas de cladodio de nopal.

Ataque de plagas: Grana cochinilla

En las primeras fases de desarrollo (Figura 14), las plantas muestran alta susceptibilidad al ataque de este insecto, por lo que muchas de las variedades evaluadas fueron rápidamente “consumidas” por la citada plaga.

El insecto muestra un alto grado de sensibilidad, como temperatura media de cerca de 20 °C, humedad relativa de 40 % y sobre todo muy baja precipitación pluvial. Las lluvias “lavan” o desprenden la cochinilla; el viento es importante sólo para la dispersión, pero un fuerte viento puede desprenderlas y de esto resulta que jamás podrán clavar de nuevo su estilete, lo que les producirá la muerte.



Figura 14. Ataque de grana cochinilla en fracciones mínimas de nopal.

Debido a lo anterior, el experimento 1 fue eliminado (no se tomaron datos para evaluar) y se avanzó con el segundo experimento.

4.1.2 Experimento 2- Modificación al método de propagación por fracciones mínimas

Al cortar los cladodios de forma longi-transversal, las fracciones mínimas quedaron mayormente expuestas, por lo que se deshidrataron rápidamente, por otro lado, al sólo contar con areolas en una sola cara, no hubo forma de que brotara una nueva planta (Figura 15). Por otra parte, los propágulos que lograron sobrevivir más tiempo (2 semanas) se pudrieron eventualmente.



Figura 15. Fracciones mínimas de cladodio de nopal por método modificado deshidratadas y podridas.

Además de lo anterior, el proceso de extracción de las fracciones mínimas por este método, implica lastimar más a los tallos que se destinan en la propagación (Figura 16).

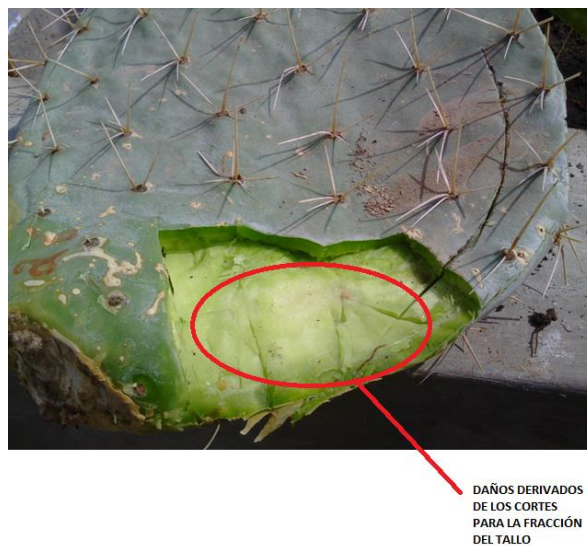


Figura 16. Daños derivados de la fragmentación de cladodios de nopal.

De igual manera, el experimento 2 no fue considerado en la toma de datos, ya que casi la totalidad de los propágulos se perdieron por pudriciones y deshidratación. Cabe mencionar que, dado que sólo se contó con un lado con areola, es imposible que surgieran nuevas plantas con esta modificación del método sugerido por Barrientos Pérez y Brauer Herrera (1964).

4.1.3 Experimento 3- Método de propagación por fracciones mínimas con riego limitado

Cuadro 6. Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para propágulo enraizado (PE) del Exp.3.

Genotipo	Observaciones	Media	Agrupamiento
74	40	0.92500	a
104	40	0.80000	a b
126	40	0.70000	a b
110	40	0.57500	b c
130	40	0.37500	c d
129	40	0.30000	c d e
73	40	0.27500	d e
121	40	0.22500	d e
106	40	0.22500	d e
84	40	0.20000	d e
63	40	0.20000	d e
128	40	0.17500	d e
64	40	0.15000	d e
114	40	0.10000	d e
117	40	0.10000	d e
105	40	0.10000	d e
72	40	0.05000	e

Cuadro 7. Porcentaje de enraizamiento, experimento 3.

No .	Genotipo	Nombre	Número total de propágulos	Propágulos enraizados	Enraizamiento (%)
1	63	‘Roja Toluca’	40	9	22.5
2	64	‘Zaponopal rojo’	40	6	15.0
3	72	‘Zaponopal’	40	2	5.0
4	73	‘Xoconostle Chivo’	40	11	27.5
5	74	‘Xoconostle Cuaresmeño’	40	37	92.5
6	104	‘Camueza II’	40	32	80.0
7	105	‘Cardón Blanco’	40	4	10.0
8	106	‘Charola’	40	9	22.5
9	107	‘Roja Jalpa’	40	1	2.5
10	110	‘Amarilla Sin Espinas’	40	22	55.0
11	114	‘Tapón Coral’	40	4	10.0
12	117	‘Blanca Cilindro’	40	4	10.0
13	121	‘Mantequilla’	40	9	22.5
14	126	‘Cacalote’	40	28	70.0
15	128	‘Amarilla Plátano’	40	7	17.5
16	129	‘Rojo Papas’	40	12	30.0
17	130	‘Burrona Amarilla’	40	16	40.0
18	84	‘Reyna’	40	8	20.0

De este experimento se seleccionaron los 3 materiales que presentaron mayor porcentaje de enraizamiento: ‘Xoconostle Cuaresmeño’, ‘Camueza II’ y ‘Cacalote’, mismos que demostraron, tras el análisis estadístico de los datos, ser iguales, en cuanto a su capacidad de enraizamiento.

La variedad Reyna presentó un porcentaje de enraizamiento bastante inferior con relación a los tres materiales seleccionados, lo cual pudiera ser explicado debido

a que dichos genotipos han sido menos utilizados por el hombre (comparados con variedades comerciales). Por otra parte, la variabilidad interespecífica, el nivel de ploidía también pueden afectar, tanto en el contenido como en la traslocación de hormonas de enraizamiento (Schneider, 1999 y Reyes-Agüero *et al.*, 2005). Por lo que pudiera suponerse que la variación genética de cada genotipo afectó directamente el potencial de enraizamiento de los genotipos.

Dentro del conocimiento empírico regional, se considera que es necesario proteger las fracciones mínimas con algún fungicida como el Caldo Bordelés, sin embargo, en esta investigación no se hizo así, con la idea de utilizar el menor número de insumos y encontrar una propuesta de propagación que resulte más atractiva para los productores. La gran mayoría de los propágulos se pudrieron o deshidrataron con gran velocidad, sin embargo, sí se encontraron materiales que no necesitan de dicho tratamiento.

4.1.4 Experimento 4- Método de propagación por fracciones mínimas con materiales sobresalientes del experimento 3

Cuadro 8. Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para propágulo enraizado (PE) del Exp.4.

Genotipo	Observaciones	Media	Agrupamiento
74	24	1.00000	a
104	24	1.00000	a
84	24	0.04167	b
126	24	0.00000	b

Cuadro 9. Porcentajes de enraizamiento con relación al total de propágulos de nopal, obtenidos por genotipo de los materiales sobresalientes del experimento 3.

Genotipo	Nombre	Número total de propágulos	Propágulos enraizados	Enraizamiento (%)
74	'Xoconostle Cuaresmeño'	24	24	100
104	'Camueza II'	24	24	100
126	'Cacalote'	24	0	0.0
84	'Reyna'	24	1	4.1

De este experimento los que presentaron mejor enraizamiento fueron 'Xoconostle Cuaresmeño' y 'Camueza II'.

La variedad Reyna, presentó un porcentaje de enraizamiento bastante inferior, estadísticamente, con relación a los cuatro materiales seleccionados, lo cual pudiera ser explicado debido a que dichos genotipos han recibido mayor presión de selección antropogénica, dirigida a la homogeneidad en la producción de las estructuras consideradas de mayor importancia antropocéntrica; cladodios para su consumo en fresco, o bien de sus frutos. Por otra parte, la variabilidad interespecífica, el nivel de ploidía también pueden afectar, tanto en el contenido como en la traslocación de hormonas de enraizamiento (Schneider, 1999 y Reyes-Agüero, 2005). Al respecto, Muñoz (1985), refiere amplia variación en el número y forma de los cromosomas de especies de *Opuntia* spp., algunas de las cuales son diploides $2N = 2X = 22$ cromosomas, reportando a *Opuntia ficus-indica* como octaploide, con $2N=8X=88$ cromosomas, información de particular importancia en los programas de mejoramiento genético y en la presente investigación, ya que es probable que los niveles de ploidía estén correlacionados con los atributos de los cladodios y consecuentemente con el mucílago contenido en éstos.

Respecto a las diferencias entre las especies en su estado silvestre y domesticado, Pernés (1983): “Las plantas silvestres (entre éstas *Opuntia joconostle*) presentan un conjunto de caracteres tendentes a asegurar una dispersión máxima de sus propágulos, mientras que las plantas domesticadas presenta un conjunto de caracteres que aseguran precisamente lo contrario (es decir, ¡la no dispersión!); los “intereses” de la reproducción de la planta silvestre y los del agricultor son exactamente contrapuestos. Para asegurarse la máxima oportunidad de alcanzar la siguiente generación la planta silvestre tiene “interés” en escalonar la dispersión de sus propágulos maduros a lo largo del tiempo y el espacio. Por el contrario, si lo que quiere es una recolección “rentable”, el agricultor tiene interés en “juntar” en el mínimo de espacio y de tiempo el máximo de estructuras de su interés”.

Según el mismo autor, esta oposición de los “intereses” de la reproducción de la planta silvestre y los del agricultor, volvemos a encontrarla en muchos otros caracteres biológicos. “Si se compara la planta cultivada con la planta silvestre de la cual deriva uno repara en que esta última no se presta, ni mucho menos, a una recolección tan fácil. El mijo silvestre (Pernés,1983), por ejemplo, presenta individuos portadores de centenares de pequeñas espigas que alcanzan la madurez de forma muy escalonada, mientras que las plantas de mijo doméstico portan como máximo una decena de espigas sostenidas por gruesos tallos. De hecho, el mijo silvestre presenta cierto número de características que permiten una dispersión eficaz de los granos a lo largo de un periodo grande de tiempo y a lo ancho de los grandes espacios. Efectivamente, los granos están unidos a la “espiga” por un corto pedúnculo que se rompe fácilmente; de esta forma pueden soltarse sin más a medida que van alcanzando la madurez. Además, van provistos de largas sedas que permiten que el grano sea dispersado por el viento. De modo inverso, los granos de mijo doméstico están fuertemente unidos por un pedúnculo largo, mientras que las sedas faltan casi por completo”.

De acuerdo con Engleman (1993): “La autodispersión se favorece en las plantas silvestres, debido a, por ejemplo, la germinación de semillas sin testa (*Cucurbita*),

frutos fuertemente protegidos (*Zea*), o bien el enraizamiento de estolones (*Agave*), cladodios (*Opuntia*), o tubérculos (*Solanum*). Así, mientras a las especies vegetales silvestres les es inherente un escalonamiento en la germinación (o enraizamiento de sus propágulos), porque les da más posibilidades para que algunas plántulas encuentren condiciones favorables para autoreproducirse, ¡al hombre le interesa lo contrario!, homogeneizar, de ser posible, todo el ciclo biológico de las especies de mayor interés, para tener el control en la obtención de diversos satisfactores (alimento, medicina, productos industrializables, etc.)

Respecto a la heterogeneidad inherente al crecimiento de las plantas silvestres, continúa diciendo Pernés (1983), en la obra citada: “Sucedee así, por ejemplo, en la germinación de semillas o enraizamiento de propágulos. En el caso de los cereales silvestres, la conspicua heterogeneidad de la germinación da más posibilidades para que algunas plántulas encuentren condiciones favorables. Así, las “semillas” (en realidad frutos llamados cariósides) de los cereales silvestres poseen numerosos dispositivos que retardan y hacen heterogéneo el momento de la germinación. Los frutos van provistos de envolturas gruesas que deben ser degradadas lentamente antes de que se libere la plántula; hay además numerosos mecanismos químicos de inhibición de la germinación; las necesidades de crecimiento de la plántula aseguradas por las sustancias almacenadas en el interior del grano son satisfechas de forma sólo gradual, ya que las sustancias de reserva son —en una proporción relativamente elevada— proteínas, es decir, sustancias no fácilmente movilizables... Por el contrario, el cultivador tiene necesidad de que las semillas que arroja al campo previamente labrado y preparado germinen rápida y conjuntamente; de esta forma podrán adelantarse a las malas hierba, y el campo quedará cubierto uniformemente de cereales, lo que facilitará la cosecha. De ahí que las “semillas” de los cereales domesticados deben presentar pocos mecanismos retardatarios de la germinación y que sus envolturas hayan de ser débiles, mientras que las reservas deberán contener una proporción considerable de glúcidos.

En el caso de las cactáceas, entre éstas las especies silvestres que integran al género *Opuntia* spp., su autosupervivencia, estrechamente vinculada a la capacidad de sus cladodios para enraizar y propagar a las plantas madre que los produjeron, lo que resulta probable como promotor de enraizamiento de estacas como método de propagación somática de diversos recursos vegetales.

4.2 Fase 2

4.2.1 Experimento 5- Injerto de la variedad comercial ‘Reyna’ sobre ‘Camueza II’ y ‘Xoconostle Cuaresmeño’

Los datos obtenidos, resultados del experimento 5 se analizaron junto con los resultados del experimento 6.



Figura 17. Injerto tipo “V” recién realizado. ‘Reyna’/‘Camueza II’.



Figura 18. Injerto tipo “V” a los 10 días. ‘Reyna’/’Xoconostle Cuaresmeño’.



Figura 19. Injerto H (Horizontal) antes de la aplicación del pegamento. ‘Reyna’/’Camueza II’.

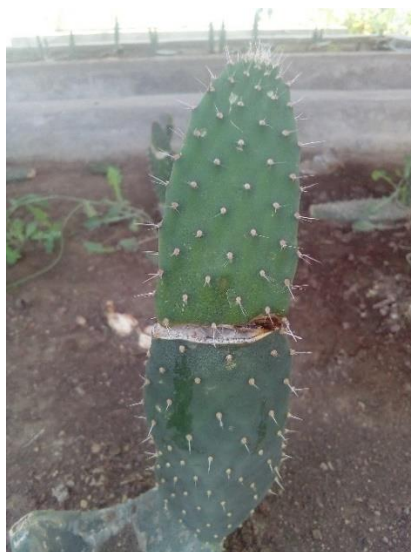


Figura 20. Injerto H (Horizontal) a los diez días. ‘Reyna’/‘Xoconostle Cuaresmeño’.

4.2.2 Experimento 6- Injerto de la variedad comercial ‘Reyna’ sobre ‘Camueza II’ y ‘Xoconostle Cuaresmeño’

Cuadro 10. Resumen de los experimentos 5 y 6, porcentaje de prendimiento de injertos de nopal por genotipo.

Experimento	Injerto	‘Xoconostle Cuaresmeño’	‘Camueza II’
5	H	15	8
	V	11	5
6	H	17	10
	V	12	9
Total:		55	32
Prendimiento (%)		57.3	33.3

El éxito del prendimiento de un injerto depende, en gran medida, de la afinidad que tenga este con el portainjerto (Valentini, 2003), en tal sentido, se puede deducir que el genotipo ‘Xoconostle Cuaresmemos’ es más afín con la variedad

comercial ‘Reyna’. Por otro lado, los tallos que sirvieron como patrones del genotipo ‘Camueza II’ fueron más delgados y más angostos comparados con los de ‘Xoconostle Cuaresmeño’, por lo que se dificultó más la inserción del injerto, y en ocasiones, al manipular los tallos para su unión, se llegaron a lastimar, lo que también pudo afectar el prendimiento de las partes.

Cuadro 11. Resumen de los experimentos 5 y 6, porcentaje de prendimiento de injertos de nopal por tipo de injerto.

Experimento	Genotipo	Injerto H	Injerto V
5	‘Xoconostle Cuaresmeño’	15	11
	‘Camueza II’	8	5
6	‘Xoconostle Cuaresmeño’	17	12
	‘Camueza II’	10	9
Total:		50	37
Prendimiento (%)		52.1	38.5

Si bien la experiencia del injertador, así como la afinidad y compatibilidad influyen en el éxito del prendimiento del injerto, resulta igual de importante la selección del Tipo de Injerto empleado (Mendez, 2011). Del cuadro anterior destaca el tipo “H” que resultó ser, no sólo presentó mayor porcentaje de prendimiento, además resultó más fácil de llevar cabo, ya que dicho tipo de injerto implica un solo corte, lo que lo hizo más sencillo y más rápido de realizar.

La utilización del injerto tipo “V” se complicó, en gran medida, por la necesidad de manipular aún más los tallos de nopal que se deseaban injertar dado que debían realizarse dos cortes, labor que se dificultó aún más por la presencia de las espinas, lo delgado de los tallos y por la disposición de los tejidos propios de los tallos, que muchas veces desviaron la navaja, provocando que los cortes quedaran irregulares.

Cuadro 12. Prueba Tukey ($\alpha= 0.05$) para evidencia de prendimiento (EP) y tipo de injerto (TI).

TI	Observaciones	Media	Agrupamiento
Horizontal	96	0.50000	a
Tipo "V"	96	0.39583	a

Con la prueba de medias se comprobó que si bien, a través del análisis de los datos por porcentaje de prendimiento el Tipo de Injerto 'H' resultó mejor, estadísticamente ambos tipos son iguales.

Cuadro 13. Prueba Tukey ($\alpha= 0.05$) para evidencia de prendimiento (EP) y genotipo (GE).

GE	Observaciones	Media	Agrupamiento
'Xoconostle Cuaresmeño'	96	0.55208	a
'Camueza II'	96	0.34375	b

Después del análisis de los datos con el sistema SAS, se comprueba que el genotipo 'Xoconostle Cuaresmeño' es estadísticamente diferente (con mejor prendimiento) al genotipo 'Camueza II'.

4.3 Fase 3

4.3.1 Experimento 7- Evaluación experimental del potencial del mucílago extraído de cladodios de nopal, en el enraizamiento de estacas de arándano

Cuadro 14. Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para número de hojas (NH).

Tratamiento	Observaciones	Media	Agrupamiento
21	24	11.7083	a
19	24	11.4583	a
9	24	10.1667	a b
20	24	9.5417	b c
24	24	9.4167	b c d
8	24	8.8333	b c d e
23	24	8.1250	c d e f
11	24	7.8333	c d e f g
13	24	7.7917	d e f g
1	24	7.7083	d e f g
12	24	7.5833	e f g
17	24	7.5000	e f g
7	24	7.4583	e f g
2	24	7.2917	e f g
6	24	7.1667	e f g
22	24	7.1667	e f g
5	24	7.1250	e f g
14	24	7.0833	f g
3	24	7.0833	f g
16	24	6.7917	f g
4	24	6.6250	f g
18	24	6.5833	f g
16	24	6.5833	f g
10	24	6.3333	g

Los tratamientos, 21 (Estacas Vegetativas Basales / Radix 10000®) y 19 (Estaca Reproductiva Basal / Mucílago de *O. joconostle* extraído mediante molido con areolas, sumergiendo y agitando sus estacas reproductivas en éste durante 20 min) presentaron, estadísticamente, el mismo número de hojas. Lo cual se debió, probablemente, a que el efecto de las fitohormonas, contenidas en el mucílago extraído en el tratamiento 19, afecten el comportamiento y por tanto la brotación de las yemas vegetativas que se encontraban en las estacas, de igual manera en que el producto comercial Radix 10000® lo hizo.

Cuadro 15. Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para hojas verdes (HV).

Tratamiento	Observaciones	Media	Agrupamiento
19	24	9.6667	a
21	24	9.4167	a
13	24	7.5000	b
9	24	7.4583	b
20	24	7.1250	b c
24	24	6.9583	b c d
8	24	6.5833	b c d e
1	24	6.3750	b c d e f
23	24	6.0833	b c d e f
11	24	6.0833	b c d e f
5	24	5.8333	c d e f
16	24	5.7917	c d e f
6	24	5.7083	c d e f
4	24	5.7083	c d e f
7	24	5.7083	c d e f
17	24	5.7083	c d e f
12	24	5.5833	d e f
22	24	5.5000	d e f
2	24	5.4583	e f
14	24	5.3750	e f
15	24	5.2083	e f
3	24	5.0883	F
18	24	5.0000	F
10	24	4.9167	f

El vigor con que brotan las yemas vegetativas puede evidenciarse, en cierta medida, a través del color de las hojas, y son señal de la eficiencia del sistema radical de las plantas. Para el caso estricto de las raíces producto de la propagación por estacas, como es el caso, el número de hojas y el color de las mismas denotan la salud de las nuevas plantas (Arroyo, 2013), por lo que la presencia de hojas verdes puede interpretarse como señal de que el enraizamiento de las estacas ha sido exitoso.

Nuevamente, los tratamientos 19 (Estaca Reproductiva Basal / Mucílago de *O. joconostle* extraído mediante molido con areolas, sumergiendo y agitando sus estacas reproductivas en éste durante 20 min), y 21 (Estacas Vegetativas

Basales / Radix 10000®), evidenciaron ser estadísticamente iguales, esta vez para la variable Hojas Verdes.

Cuadro 16. Prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para evidencia de enraizamiento (EE).

Tratamiento	Observaciones	Media	Agrupamiento
21	24	22.6250	a
19	24	20.0417	a b
9	24	19.3333	b c
5	24	18.7500	b c d
4	24	17.4167	b c d e
11	24	17.2917	c d e
18	24	17.0000	c d e
7	24	16.9583	c d e
23	24	16.8333	c d e
10	24	16.7917	c d e
14	24	16.6667	d e
16	24	16.5833	d e
22	24	16.5833	d e
17	24	16.5000	d e
8	24	16.4167	d e
24	24	16.3333	d e
15	24	16.2083	d e
2	24	16.1250	d e
6	24	16.0417	e
20	24	15.8750	e
12	24	15.8333	e
1	24	15.7500	e
13	24	15.6667	e
3	24	15.2500	e

En el análisis de los datos se encontró que el tratamiento 19 (Estaca Reproductiva Basal / Mucílago de *O. joconostle* extraído mediante molido con areolas, sumergiendo y agitando sus estacas reproductivas en éste durante 20 min), y el tratamiento 21 (Estacas Vegetativas Basales / Radix 10000®), evidenciaron efectividad en el enraizamiento de estacas de arándano (*Vaccinium corymbosum*), y son estadísticamente iguales.

Finalmente, en relación con los tratamientos evaluados en esta investigación, un aspecto importante a considerar, es que, basándonos en la definición de areola, como regiones tisulares meristemáticas típicas de Cactaceae, que pueden contener espinas o promover la formación de yemas reproductivas, es pertinente indicar que, es probable que estas regiones involucren un mayor contenido de fitohormonas, razón por la cual, en particular en aquellas especies que, siendo silvestres, su sobrevivencia demanda una mayor capacidad reproductiva a través de sus cladodios.

5. CONCLUSIONES

5.1 Derivada de los 4 experimentos de la fase 1:

No es posible el enraizamiento con las modificaciones planteadas al método tradicional de propagación por fracciones mínimas de cladodios de nopal.

5.2 Derivada de la fase 2:

Es posible utilizar Xoconostle cuaresmeño y Camueza II como portainjertos de variedades comerciales que sean menos resistentes a las sequías.

5.3 Derivada de la fase 3:

El mucílago extraído de cladodios de nopal (*Opuntia joconostle*) ofrece una valiosa oportunidad para promover el enraizamiento de estacas de Arándano (*Vaccinium corymbosum*) y probablemente para la reproducción somática de otras especies.

6. LITERATURA CITADA

- Barrientos Pérez, F., & Brauer Herrera, O. (1964). Multiplicación vegetativa del nopal a partir de fracciones mínimas de una planta. Chapingo, México: Colegio de Postgraduados.
- Bravo-Hollis, H., & Sánchez-Mejorada, H. (1991). *Las Cactáceas de México* (Vol. 3). México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Colunga García-Marín, P., Hernández Xolocotzi, E., & Castillo Morales, A. (1986). Variación morfológica, manejo agrícola y grados de domesticación de *Opuntia* spp. en el Bajío Guanajuatense. *Agrociencia*, (65), 7–45.
- Del-Campo, R. M. (1957). *Las Cactáceas entre los Mexicanos. Cactáceas y Suculentas Mexicanas*. 2: 27-38.
- Engleman, Mark. (1993). *Anatomía de semillas*. 35. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- FAO. (2001). *Cactus (Opuntia spp.) as forage*. (C. Mondragón-Jacobo & S. Pérez-González, Eds.), *Estudios FAO: Producción y protección vegetal No. 169*. FAO.
- Gallegos-Vásquez, C., Barrientos-Priego, A. F., Reyes-Agüero, J. A., Núñez-Colín, C. A., & Mondragón-Jacobo, C. (2011). Clusters of commercial varieties of cactus pear and xoconostle using UPOV morphological traits. *Journal of Professional Association for Cactus Development*, 13, 10–22.
- Kaur, M., Kaur, A., & Sharma, R. (2012). Pharmacological actions of *Opuntia ficus indica*: A review. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 2(7), 15–18. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2012.2703>
- Luna Vázquez, J. (2001). Producción intensiva de nopal de verdura. S.L.P., México: SAGARPA-INIFAP-CIRNE.
- Mendez, R. & Bonelli, D. (2011). *Injerto en Frutales*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Provincia de La Rioja, Argentina.

- Miranda, F., & Hernández-X., E. (1963). Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Botanical Sciences*, (28), 29–179.
<https://doi.org/10.17129/botsci.1084>
- Muñoz-Urias, A., García, V. A. & Pimienta, B. E. (1985). Relación entre el nivel de ploidía y variables anatómicas y fisiológicas en especies silvestres y cultivadas de nopal tunero. *Memorias del 6° Congreso Nacional y 4° Congreso Internacional del Nopal*. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México.
- Muñoz-Urias, A.; Palomino-Hasbach, G., Terrazas, T.; García-Velázquez, A.; & Pimienta-Barrios, E. (2008). Variación anatómica y morfológica en especies y entre poblaciones de *Opuntia* en la porción sur del desierto Chihuahuense. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 83:1-11. Sociedad Botánica de México. México.
- Pernés, J. (1983). La genética de la domesticación de los cereales. *La Recherche*. 29 (3): 964-974. París, Francia.
- Rebman, J. P., & Pinkava, D. J. (2001). *Opuntia Cacti of North America : An Overview*. *The Florida Entomologist*, 84(4), 474–483.
<https://doi.org/10.2307/3496374>
- Reyes-Agüero, J. A., Aguirre-Rivera, J. R., & Hernández, H. M. (2005). Systematic notes and a Detailed description of *Opuntia ficus-indica* (L) Mill. (CACTACEAE). *Agrociencia*, 39(4), 395–408.
- Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México* (Primera ed). México, D.F.: Limusa.
- Scheinvar, L., Gallegos Vázquez, C., Olalde Parra, G., Sánchez Cordero, V., Linaje, M., Gaytán, A., ... Rivera Fuentes, R. (2011). Estado del conocimiento de las especies del nopal (*Opuntia* spp.) productoras de xoconostles silvestres y cultivadas. México: Instituto de Biología-UNAM-CONABIO. Retrieved from http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/centrosOrigen/Opuntia/Informe_Fin

al/Informe final Opuntia.pdf

Valentini, G. & Arroyo, L. (2003). La injertación en frutales, *Boletín de Divulgación Técnica n 14.25*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Provincia de La Rioja, Argentina. INTA

Villaseñor, J.L. (2016). Catálogo de las plantas vasculares nativas de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. Universidad Autónoma Metropolitana, 87 (2016): 559-902

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*, 26(NE-1), 8–11. <https://doi.org/10.15174/au.2016.839>

7. BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES CONSULTADAS

- Barthlott, W. (1979). *Cacti: botanical aspects, descriptions and cultivation*. Standley Thornes. London, 250.
- Bregman, R.L. and Bouman, F. (1983). Seed germination in Cactaceae. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 86: 357-374.
- Cruz-Miranda, F. M. (2010). Importancia y cuidado del germoplasma de nopal caso: Nopalera Experimental de Chapingo. *Memorias del IX Simposium Taller Nacional y II Internacional de Producción del Nopal y Maguey*. México.
- Cullman, W., Gotz, E. and Groner, G. (1987). *The Encyclopaedia of Cacti*. Timber press. Portland, Oregon, 339.
- Fuller, D. and Fitzgerald, S. (1987). Conservation and commerce of cacti and other succulents. Traffic (U.S.A.) *World Wildlife Fund*. Washington D.C.
- Gallegos-Vázquez, C., Barrientos-Priego, A.F., Reyes-Agüero, J. A., Núñez-Colín, C. A., and Mondragón-Jacobo, A. (2011). Clusters of commercial varieties of cactus pear and xoconostle using UPOV morphological traits. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 13: 10–22.
- Guerrero-Muñoz, P., Zavaleta-Mancera, H. A., Barrientos-Priego, A. F., Gallegos-Vázquez, C.; Núñez-Colín, C. A., Valadez-Moctezuma, E. y Cuevas-Sánchez, J. A. (2006). Técnica para el estudio de la micromorfología interna de semillas duras en *Opuntia*. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29 (2): 37-43. Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. Chapingo, México.
- Guevara-Figueroa T., Jiménez-Islas H., Reyes-Escogido, M. A., Mortensen, A. G., Laursen, B. B., Lin, L. W., De León-Rodríguez, A., Fomsgaard, I.S. and Barba, D. A. (2010). Proximate composition, phenolic acid, and flavonoids characterization of commercial and wild nopal (*Opuntia* spp). *Journal of Food Composition and Analysis*, 23: 525-532.

- Haselton, S.E. (1946). *Epiphyllum handbook*. Abbey Garden Press. Pasadena, California, USA.
- Hernández-Urbiola, M. I., Contreras-Padilla, M., Pérez-Torrero, E., Hernández-Quevedo, G., Rojas-Molina, J. I., Cortes, M. E. and Rodríguez-García, M. E. (2010). Study of Nutritional Composition of Nopal (*Opuntia ficus indica* cv Redonda) at different Maturity Stages. *The Open Nutrition Journal*, 4:11-16.
- Hunt, D. (2013). *CITES Cactaceae checklist*. Royal Botanic Gardens Kew, UK. Recuperado de <http://www.kew.org>
- Lee, J. C., Kim, H. R., Kim, J. and Jang, Y. S. (2002). Antioxidant Property of an Ethanol Extract of the Stem of *Opuntia ficus-indica* var Saboten. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 50: 6490-64968.
- López-Palacios, C., Peña-Valdivia, C. B., Reyes-Agüero, J. A. and Rodríguez-Hernández, A. I. (2012). Effects of domestication on structural polysaccharides and dietary fiber in nopalitos (*Opuntia* spp.). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 59(6): 1015-102.
- McMahan, L.R. (1987). *A brief history of the cactus and succulent trade, Conservation and commerce of cacti and other succulent*. World Wildlife Fund, Washington D.C. Fuller & S. Fitzgerald
- Goycoolea, F. M. and Cárdenas, A. (2003). Pectins from *Opuntia* spp.: a short review. *Journal of the Association for Cactus Development*, 5:17-29.
- Reyes-Santiago, J. (2013). *Conservación y restauración de cactáceas y otras plantas suculentas mexicanas. Manual Práctico*. SEMARNAT-CONAFOR.
- Reyes-Santiago, J. (1994). Propagación de Cactáceas Mexicanas: Una alternativa para la conservación de especies amenazadas y en peligro de extinción. *Memoria del Encuentro Internacional sobre el impacto de la Biotecnología en el desarrollo sustentable*. OEA. pp. 107-119.

- Reyes-Santiago, J. (1997). Cultivo y Propagación como plantas de ornato. *Suculentas Mexicanas: Cactáceas*. 68-77. CONABIO, México, D.F.
- Rodríguez, G.L. y Apezteguia, R.R. (1985). *Cactus y Otras Suculentas en Cuba*. 84. Habana. Cuba. Científica Técnica.
- Sánchez-Mejorada, H. (1982). Problemas en el control del comercio de las cactáceas. *Cactáceas y Sucentas Mexicanas*. 37: 27-31.
- Simerda, B. (1990). Effective way of propagating endangered cacti. *British Cactus & Succulent. Society*. 8(1):9-12.
- García-Osuna, H.T. (2013). *Identificación de pectinas y mucílago de cuatro variedades de nopal (Opuntia ficus-indica L. Miller) y validación de su actividad hipoglucémica* (Tesis doctoral). Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, Nuevo León.
- López-Palacios, C., Peña-Valdivia, C. B., Reyes-Agüero, J. A. and Rodríguez-Hernández, A. (2012). Effects of domestication on structural polysaccharides and dietary fiber in nopalitos (*Opuntia* spp.). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 59(6): 1015-1026.
- Luo, C., Zhang, W., Sheng, C., Zheng, C., Yao, J. and Miao, Z. (2010). Chemical composition and antidiabetic activity of *Opuntia* Milpa Alta extracts. *Chemistry & Biodiversity*, 7(12):2869-2879.
- Magallanes-Quintanar, R., Valdez-Cepeda, R. D., Blanco-Macías, F., Márquez-Madrid, M., Ruíz-Garduño, R. R., Pérez-Veyna, O., García-Hernández, J. L., Murrillo-Amador, B., Martínez-Rubin, De Celis E. (2004). Compositional Nutrient Diagnosis in Nopal (*Opuntia ficus indica*). *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 6: 78-89.
- McGarvie, D., Parolis, H. (1981). Methylation analysis of the mucilage of *Opuntia ficus-indica*. *Carbohydrate Research*, 88 (2): 305-314