



# UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

---

---

*INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E  
INGENIERÍA  
CENTRO DE INVESTIGACIONES QUIMICAS*

*“Caracterización fisicoquímica de semillas de  
Cylindropuntia imbricata; Opuntia matudae;  
O. heliabravoana; O. joconostle y O. ficus-indica  
cultivadas en el estado de Hidalgo”*

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**QUÍMICO**

**PRESENTA: Elizabeth Pérez Cruz**

**Asesores: Dr. Francisco Prieto García  
Dr. Santiago Filardo Kerstupp**

Pachuca de Soto, Hidalgo, Abril 2007



**Este trabajo se realizó en el Centro  
de Investigaciones de Química de la Universidad  
Autónoma del Estado de Hidalgo en los Laboratorios  
de pruebas y de alimentos.**



**Parte de los resultados de este trabajo fueron presentados en el III Encuentro “Participación de la mujer en la ciencia” celebraron en Leon Guanajuato en Mayo 2006.**



**Parte de los resultados de este trabajo fueron aceptados para su publicación en Enero 2007 en la Revista BIOGRO de Venezuela (Referencia: 0616) y en igual fecha en la Revista Peruana de Biología (Referencia: 43-050)**

## *DEDICATORIAS*

En primer lugar a mi Emmanuel salvador porque estuvo conmigo en las buenas pero sobre todo en las malas, el intercedió por mi ante Dios para que este aquí cumpliendo mi sueño.

A mi xita Digo porque gracias a su ejemplo de trabajo y fortaleza sin olvidar todo el amor y cariño que me brindo por mas de 21 años estoy hoy aquí y aunque no esta presente de forma física se encuentra en mi mente y mi corazón ndunthi ri jamädi.

No puedo olvidar a mi zuzu Lila gracias por su amor y cariño incondicional, Gracias a usted tomé la decisión de iniciar este proyecto y su motivación me alentó a terminar este trabajo de investigación. Su vida es un ejemplo a seguir para mi. Es mi orgullo mas grande la quiero mucho zuzu Lila ndunthi ri jamädi.

A mis padres todo es posible gracias a ustedes a su cariño y educación, su ejemplo, su confianza, su apoyo incondicional e incluso los sacrificios que tuvieron que hacer para que tuviera lo necesario, sus desvelos y cansancios siempre dispuestos a dar lo mejor luchar contra el mundo si fuera necesario. No tengo palabras apara agradecerles, solo puedo decirles que este logro es suyo. Doy gracias a Dios por haberme dado a los mejores padres del mundo los amo mucho.

A mi hermana por creer en mi y motivarme a lograrlo te quiero mucho y me encantaría que estuvieras en este momento compartiendo mi alegría, con la gente que realmente te quiere: tu familia.

A mi tío Juanito porque sin su apoyo y aliento a seguir hubiese sido muy difícil concluir este trabajo, gracias por la tranquilidad que me daba al saber que usted estaba cuidando a mis abuelitos y a nuestros padres no tengo con que pagarle solo puedo decirle gracias por ser mi hermanito el mejor hermanito que pude tener, lo quiero mucho.

A mi madrina Juanita por tener siempre las palabras que necesitaba escuchar, porque hablar con usted siempre es muy reconfortante, gracias por quererme aun sin conocerme por creer en mí y ser mi segunda mamá espero no decepcionarla, Dios la bendiga siempre.

A mi tía Sabi y tío Jacinto por enseñarme a amar mi tierra y mis raíces con su ejemplo, por retarme a llegar siempre más alto y sobretodo por cuidar de su hermanita siempre, ndunthi ri jamädi.

A mis tíos: Chabelo, Benito, Otilio, Juan Ángeles, Emilio y Ricardo por creer en mi incluso sin entender muy bien lo que hacia, y apoyarme incondicionalmente este logro es suyo también, los quiero mucho.

A mis tías: Ceci, Julia, Estela, Maty, Abe, lili, Aure y Mary por todo su cariño, consejos y apoyo durante estos 21 años las quiero mucho.

A Miriam por ser siempre mi hermana mayor y enseñarme a amar mi cultura y mis tradiciones por creer siempre en mí y apoyarme en todo momento te quiero mucho primita.

A Dianita por todo el cariño y apoyo que he recibido de parte suya, por ser un gran ejemplo a seguir, Mil gracias.

A mis primos: Rosi, Rosio, Luz, Kikis, Lucy, Osvaldo, Luisito, Carlos y Javier por su cariño apoyo y comprensión por ser parte de mi ejemplo a seguir los quiero mucho.

A mis primitos: Ana, Nene, Sandy, Zul, Tonita, Mayita, Chuchito, Dany, Uli, Migue, Pelón, Tico, chuchin, Quitian, Richi, Jamón y Lolo, porque son el futuro de la familia y nada me dará mas gusto que ver que experimentan la sensación de este momento los quiero mucho.

A mi niña Yue por ser una lucecita en mi vida, Te quiero mucho Diosito te bendiga siempre.

A mis amigos: Ehecatl, Viry, Ary, Asu, Deyssi, Pili, Eric, Portillo, Marco, Alvaro y Adiel gracias por creer en mi y compartir momentos muy divertidos los quiero mucho.

Pao, Fer, Bertin, Rosita, Lucy y Agus por creer en mí y apoyarme en todo momento, no podía olvidar a Ubaldo que se nos adelanto, esto es por ti.

Por ultimo a mis amiguis (Chino y Luís) y a las personas que no creyeron en mi por que me retaron a demostrarles lo contrario.

## AGRADECIMIENTOS

- Al Dr. Francisco Prieto García, por brindarme la oportunidad de formar parte de su equipo de trabajo, por su confianza y apoyo. Fue una bendición trabajar con usted.
- A la Q. Maria Aurora Méndez y Judit Prieto Méndez por toda la ayuda brindada para llevar a cabo esta investigación. Me hicieron sentir como en familia al trabajar con ustedes.
- A la Dra. Leia Scheinvar por sus certeras opiniones y consejos durante la realización del trabajo y durante la revisión final.
- Al Dr. Santiago Filardo Kerstup por todo su apoyo en cuanto se refiere al género Opuntia.
- A la Dra. Alma Delia Roman por el apoyo para la realización de este trabajo de investigación Gracias.
- A mis Amiguis: Chino, Ñoñis, Padrino, Mamiriki y Pío por su apoyo, su ayuda, por escucharme cuando lo necesitaba así como a todas esas aventuras compartidas tan divertidas, gracias por tantos momentos juntos jamás los olvidare.
- A Hazel y Llelys, Marisol, Ely, lore, Arian, Martín, Alelhi, Chowy y anita gracias por su amistad y por su cariño Melissa no los olvidara.

# ÍNDICE

	<i>Página</i>
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
I. Introducción	1
II. Antecedentes	2
II.1. Las cactáceas en el mundo.	2
II.1.2. Importancia de los nopales.	5
II.2. Las Opuntias o nopales	8
II.2.1. <i>Opuntia matudae</i> sp.	10
II.2.2. <i>Opuntia heliabravoana</i> Scheinvar	14
II.2.3. <i>Opuntia joconostle</i> sp.	18
II.2.4. <i>Cylindropuntia imbricata</i> sp.	21
II.2.5. <i>Opuntia ficus indica</i> sp.	26
II.3. Importancia económica de las Opuntias.	29
II.4. Estados que cultivan Opuntias en nuestro país.	32
II.5. Ciclo vegetativo de las Opuntias.	35
III. Objetivos	37
III.1. Objetivos Generales	37
III.2. Objetivos específicos	37



IV. Metodología experimental	38
IV.1. Muestras. Obtención y preparación.	38
IV.2. Análisis físicos y otras determinaciones	38
IV.2.1. Determinación de humedad	39
IV.2.2. Determinación de cenizas	40
IV.2.3. Determinación de densidad por peso hectolitro	41
IV.2.4. Determinación de densidad por peso de mil granos	41
IV.2.5. Determinación de densidad por índice de flotación	42
IV.2.6. Determinación de dureza por abrasión	42
IV.2.7. Determinación de volumen unitario	43
IV.3. Análisis proximal	43
IV.3.1. Determinación de grasas	44
IV.3.2. Determinación de proteínas	45
IV.3.3. Determinación de carbohidratos	46
IV.3.4. Determinación de azúcares	47
IV.3.5. Determinación de fibras totales	48
IV.3.6. Determinación del contenido de metales	49
IV.4. Análisis y distribución del tamaño de partículas	50
IV.5. Análisis por microscopia electrónica de barrido	50
IV.6. Análisis estadísticos y de correlación	51
V. Resultados y discusión	53
V.1. Resultados de los análisis físicos	53

V.1.1. Densidad, dureza y volumen de semillas	56
V.2. Resultados del análisis proximal	60
V.2.1. Resultados de humedad, cenizas, grasas, fibra bruta, proteína y carbohidratos.	61
V.2.2. Resultados de análisis de metales	65
V.3. Evaluación del tamaño y distribución de Partículas	71
V.4. Análisis de microscopía electrónica de barrido	74
V.5. Análisis de correlaciones estadísticas	79
VI. Conclusiones	83
VII. Bibliografía	85

## ÍNDICE DE TABLAS

	<i>Página</i>
II.1.A. Géneros y especies reconocidas para la familia de las cactáceas y los representados en México.	3
II.1.B. Géneros Mexicanos de cactáceas según Bravo (Bravo 1978, 1991).	4
V.1. Evaluación de parámetros físicos de los granos o semillas de las tres variedades de Opuntias en estudio.	57
V.2. Resultados de los análisis proximales.	61
V.3. Resultados de los análisis proximales	64
V.4. Contenidos de metales y elementos tóxicos en las semillas estudiadas	66
V.5. Distribución y tamaños de partículas promedios.	74
V.6. Vectores característicos para las variables fisicoquímicas en semillas.	80

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<i>Página</i>
II.1. <i>Opuntia matudae</i> sp. Plantas con diferentes colores de frutos	11
II.2. <i>Opuntia matudae</i> Scheinvar. Cladodio juvenil característico de esta especie	12
II.3. <i>Opuntia matudae</i> Scheinvar. Flor	12
II.4. <i>Opuntia matudae</i> Scheinvar. Fruto (tamaño natural)	13
II.5. <i>O. heliabravoana</i> Scheinvar- Hábito. Pachuca, Hidalgo	14
II.6. <i>Opuntia heliabravoana</i> Scheinvar. Cladodio característico con frutos amarillos. Pachuca, Hidalgo	15
II.7. <i>O. heliabravoana</i> Scheinvar. Vista interior de una flor	17
II.8. <i>O. heliabravoana</i> Scheinvar. Frutos.	17
II.9. <i>O. joconostle</i> F.A.C. Weber. Cladodio con botones florales y una flor en antesis, vista exterior. Valle del Mezquital, Hidalgo	19
II.10. <i>O. joconostle</i> F.A.C. Weber. Flor en antesis. Vista interior. Valle del Mezquital, Hid	20
II.11. <i>O. joconostle</i> F.A.C. Weber. Frutos rosados	21
II.12. <i>Cylindropuntia imbricata</i> , tronco	22
II.13. <i>Cylindropuntia imbricata</i> DC. Flores apicales, púrpuras	24

II.14.	<i>Cylindropuntia imbricata</i> DC. Frutos inmaduros y maduros	25
II.15.	<i>Opuntia ficus indica</i> . Arbusto	26
II.16.	<i>Opuntia ficus indica</i> . Frutos	27
II.17.	<i>Opuntia ficus indica</i> . Areolas	28
II.18.	<i>Opuntia ficus indica</i> . Frutos recolectados	31
V.1.	Fotografía de las semilla de Opuntias	53
V.2.	Microfotografía de la semilla de O .Heliabravoana a) Corte longitudinal y b) Corte transversal	54
V.3.	Microfotografía de la semilla de O .Xoconostle. a) Corte longitudinal y b) Corte transversal	54
V.4.	Microfotografía de la semilla de O. Ficus. a) Corte longitudinal y b) Corte transversal	55
V.5.	Microfotografía de la semilla de O. Matudae. a) Corte longitudinal y b) Corte transversal	55
V.6.	Microfotografía de la semilla de O. Imbricata. a) Corte longitudinal y b) Corte transversal	55
V.7.a.	Gráfica comparativa de los valores de densidad de las variedades de semillas medidas por DPH vs DPMG	59
V.7.b.	Gráfica comparativa de los valores de densidad de las variedades de semillas medidas por DPH vs DIF	60

V.8.	Gráfica comparativa de los valores de: a) humedad y cenizas, b) grasas, proteínas y fibras de las variedades de semillas	63
V.9.	Correlación de contenidos de CH y almidones en variedades de semillas	65
V.10.	Gráfica de biacumulación de metales esenciales en las variedades de semillas	68
V.11.	Gráfica de biacumulación de oligoelementos y metales tóxicos en las variedades de semillas	70
V.12.	Gráfica de biacumulación de plomo en las variedades de semillas	71
V.13.	Distribución y tamaños de partículas. a) <i>O. Xoconostle</i> , b) <i>O. Ficus</i>	72
V.13.	Distribución y tamaños de partículas., c) <i>O. Heliabroavoana</i> , d) <i>C. Imbricata</i>	73
V.13.	Distribución y tamaños de partículas. e) <i>O. Matudae</i>	74
V.14.	Morfología del endospermo de las semillas de Opuntias. a) <i>O. Ficus</i> , b) <i>O. Heliabravoana</i> , c) <i>C. Imbricata</i> , d) <i>O. Xoconostle</i> y e) <i>O. Matudae</i>	75
V.15.	Microfotografía que muestra la morfología de los gránulos de almidón contenidos en el endospermo de las semillas en estudio. a) <i>O. Xoconostle</i>	76
V.15.	Microfotografía que muestra la morfología de los gránulos de almidón contenidos en el endospermo de las semillas en estudio. b) <i>O. Ficus</i> , c) <i>O. Heliabravoana</i> .	77

V.15.	Microfotografía que muestra la morfología de los gránulos de almidón contenidos en el endospermo de las semillas en estudio. d) <i>O.Imbricata</i> , e) <i>O.Matudae</i> .	78
V.16.A.	Distribución de componentes principales tomando en cuenta las variables fisicoquímicas. a) Distribución de las muestras entre el CP1 y CP2	81
V.16.B.	Distribución de componentes principales tomando en cuenta las variables fisicoquímicas. b) Distribución de las muestras entre el CP1 y CP3	81

## I. INTRODUCCIÓN.

La familia de las cactáceas está integrada por alrededor de 2000 especies distribuidas en el Continente Americano, desde Canadá hasta la Patagonia, aunque han sido introducidas y se han adaptado en lugares de clima desértico o muy secos, como los del Mediterráneo (en Europa y Asia), Australia y África. También se encuentran cactáceas cultivadas por aficionados y en jardines botánicos de todo el mundo.

Las condiciones geográficas de México, con su tan particular relieve, variados tipos de suelo y la presencia del Trópico de Cáncer en su territorio, han favorecido la diversificación de estas plantas, dando lugar a endemismos en zonas de gran riqueza biológica y en otras muy restringidas. Un número importante de estas plantas son endémicas (aquellas que solo se encuentran en cierta región geográfica y que son originarios de ella) y su desaparición significa la pérdida total, a nivel mundial.

Pueden mencionarse las regiones donde abundan cactáceas: el Desierto Chihuahuense, al norte, la región de Tehuacan-Cuicatlán, y el Valle de Mezquital en el centro del país; y la región de Tehuantepec, en Oaxaca (tomado de <http://espanol.geocities.com>).

Entre otros usos de las cactáceas, podemos referir que la mayoría de los nopales mexicanos son ampliamente utilizados como alimento humano y como forraje, principalmente por sus cladodios y frutos (xoconostles y tunas); las pitayas (frutos del género *Stenocereus*) y pitahayas (frutos del género *Hylocereus*), también forman parte de la



dieta del hombre y de muchos animales (tomado de <http://www.botanical-online.com>). En lugares áridos y ventosos se utilizan las cactáceas para fijar el suelo y prevenir la erosión de las lluvias. Este uso se hace muy adecuado en los cultivos que se llevan a cabo en forma de terrazas (tomado de <http://www.botanical-online.com>). También se usan los nopales picados como abono verde.

## **II. ANTECEDENTES**

### **II.1. Las cactáceas en el mundo.**

Admiradas por sus atractivas flores, sus extravagantes formas o sus erizadas púas, han sido ampliamente explotadas en jardinería, lo que ha llevado a muchas de ellas a encontrarse al borde de la extinción (tomado de <http://www.botanical-online.com>).

Los géneros y especies reconocidas para la familia de cactáceas, y en particular los representados en México se muestran a continuación en la tabla II.1.A. (tomado de <http://espanol.geocities.com>).

Por otra parte, según clasificación de Bravo (Bravo, 1978; 1991), se señalan entre los géneros mexicanos de cactáceas, 54 géneros terrestres, 30 géneros endémicos y 12 géneros epífitos o trepadores. En la Tabla II.1.B. se observan dichos géneros.

**Tabla II.1.A. Géneros y especies reconocidas para la familia de las cactáceas y los representados en México.**

1. <i>Acanthocereus</i>	10 especies, 5 en México, 3 endémicas
2. <i>Aporocactus</i>	2 – 3 especies, endémicas de México.
3. <i>Ariocarpus</i>	6 especies, todas presentes en México
4. <i>Astrophytum</i>	6 especies, todas en México, endémicas
5. <i>Cephalocereus</i>	4 – 6 especies, todas en México, en
6. <i>Coryphanta</i>	56 especies todas en México, endémicas
7. <i>Echinocactus</i>	6 especies, todas en México, endémicas
8. <i>Echinocereus</i>	45 especies, 43 en México, 33 endémicas
9. <i>Ferocactus</i>	23 especies, todas en México. endémicas
10. <i>Hylocereus</i>	16 especies, 4 en México, 2 endémicas
11. <i>Lophophora</i>	2 especies, ambas en México, endémicas
12. <i>Mammillaria</i>	Cerca de 200 especies, con alto grado de endemismo
13. <i>Mitrocereus</i>	Género monotípico, endémico de México
14. <i>Myrtillocactus</i>	4 especies, 3 endémicas de México
15. <i>Neobuxbaumia</i>	8 especies, todas endémicas de México
16. <i>Nopalea</i>	7 – 8 especies, 6 endémicas de México
<b>17. <i>Opuntia</i></b>	<b>200 especies, 100 en México</b>
18. <i>Pachycereus</i>	8 especies, todas endémicas de México
19. <i>Peniocereus</i>	20 especies, 17 en México, 15 endémica
20. <i>Pereskiaopsis</i>	6 especies, 5 endémicas de México
21. <i>Pilocereus</i>	35 especies, 11 en México
22. <i>Polaskia</i>	2 especies, endémicas de México
23. <i>Selenicereus</i>	29 especies, 17 en México, 12 endémicas
24. <i>Stenocactus</i> ( <i>Echinofossulocactus</i> )	10 especies, todas endémicas de México
25. <i>Stenocereus</i>	20 especies, 20 en México, 17 endémicas

Tabla II.1.B. Géneros Mexicanos de cactáceas según Bravo (Bravo 1978, 1991).

Géneros Terrestres		Géneros Endémicos	Géneros Epífitos o Trepadores
<i>Pereskia</i>	<i>Astrophytum</i>	<i>Wilcosia</i>	<i>Heliocereus</i>
<i>Peresklopsis</i>	<i>Echinocactus</i>	<i>Aporocactus</i>	<i>Aporocactus</i>
<i>Opuntia</i>	<i>Hamatocactus</i>	<i>Morangya</i>	<i>Morangaya</i>
<i>Nopalea</i>	<i>Ancistrocactus</i>	<i>Cryptocereus</i>	<i>Hylocereus</i>
<i>Nyctocereus</i>	<i>Echinomastus</i>	<i>Pterocereus</i>	<i>Wilmatea</i>
<i>Penicereus</i>	<i>Culmania</i>	<i>Escontria</i>	<i>Selenicereus</i>
<i>Neoevancia</i>	<i>Oemea</i>	<i>Hellabravoa</i>	<i>Cryptocereus</i>
<i>Wilcosia</i>	<i>Normanbokea</i>	<i>Pachycereus</i>	<i>Weberocereus</i>
<i>Acanthocereus</i>	<i>Thelocactus</i>	<i>Miltrocereus</i>	<i>Epiphyllum</i>
<i>Pterocereus</i>	<i>Noelloydia</i>	<i>Machaerocereus</i>	<i>Nopalxochia</i>
<i>Escontria</i>	<i>Azteklum</i>	<i>Rathbunia</i>	<i>Disocactus</i>
<i>Heliabravoa</i>	<i>Turbinicarpus</i>	<i>Neobuxbaumia</i>	<i>Rhipsalis</i>
<i>Pachycereus</i>	<i>Epithelanthia</i>	<i>Backebergia</i>	
<i>Mitrocereus</i>	<i>Strombocactus</i>	<i>Neodawsonia</i>	
<i>Stenocereus</i>	<i>Obregonia</i>	<i>Polaskia</i>	
<i>Carneglea</i>	<i>Lechtenbergia</i>	<i>Astrophytum</i>	
<i>Lophocereus</i>	<i>Ariocarpus</i>	<i>Echinomastus</i>	
<i>Machaerocereus</i>	<i>Pelecyphora</i>	<i>Cumarinia</i>	
<i>Rhatbunia</i>	<i>Ferocactus</i>	<i>Normamboquia</i>	
<i>Neobuxbaumia</i>	<i>Stenocactus</i>	<i>Aztequium</i>	
<i>Backebergia</i>	<i>Mammillopsis</i>	<i>Turbinicarpus</i>	
<i>Cephalocereus</i>	<i>Escobaria</i>	<i>Strombucactus</i>	
<i>Myrtillocactus</i>	<i>Neobesseyia</i>	<i>Obregonia</i>	
<i>Polaskia</i>	<i>Dolichothele</i>	<i>Pelecyphora</i>	
<i>Bergerocactus</i>	<i>Mammillaria</i>	<i>Cochemiea</i>	
<i>Echinocereus</i>	<i>Cochemiea</i>	<i>Neobesseyia</i>	
<i>Melocactus</i>	<i>Coryphantha</i>	<i>Dolichotelle</i>	

En esta misma referencia (Bravo, 1978; 1991), se reconocen 836 especies mexicanas con 280 variedades.

### **II.1.2. Importancia de los nopales.**

En zonas ganaderas la mayoría de los expertos recomiendan plantar árboles y arbustos para proveer de fuentes vivas de forraje de modo que los rebaños puedan sobrevivir en los períodos de escasez asociados a sequías prolongadas. En la selección de plantas para la nutrición animal en áreas secas, los criterios más importantes son la tolerancia a sequía y la palatabilidad para los animales. Sin embargo, la capacidad de adaptación de los forrajes a tierras marginales, la facilidad de propagación, la persistencia, el rendimiento, alta digestibilidad, y el contenido de N son también importantes. Las especies del género *Opuntia* llenan todos estos requerimientos. El ganado, alimentado y acostumbrado desde que nace, a comer nopales, no muere en épocas de sequía por cuanto el mucílago del nopal impide su deshidratación (Sáenz, 2006). Más importante aún, los nopales son considerados como alimento humano aceptable; sin embargo, se necesita más información sobre su valor nutritivo, su utilización como alimento animal, manejo, establecimiento y su integración en los sistemas pastorales y agropastorales (Anónimo, 1979).

La mayoría de las cactáceas, son aprovechadas en la alimentación humana, principalmente por sus frutos. Por ejemplo los frutos de la *Opuntia ficus-indica* o higuera chumba, cuyas bayas ya fueron fundamentales durante los viajes de los colonizadores hispanos a América como fuente de alimento y para evitar el escorbuto, se comen también actualmente en la región mediterránea, donde las peculiares características climáticas han supuesto que la planta se adapte a la

perfección, siendo de particular interés Túnez, Argelia, Marruecos, Turquía, Israel y en Italia, en la isla de Sicilia. En América las especies de nopales silvestres utilizados, además de la anterior, es muy variada, desde la *Opuntia megacantha jitomatilli* que se utiliza en lugar de los tomates hasta la *Opuntia robusta var. robusta* cuyas cortezas se comen fritas, sustituyendo a las patatas. Muchos más géneros de cactáceas son utilizadas como alimento a parte de este, como *Acanthocereus*, *Cephalocereus*, *Hylocereus*, etc de los cuales, a parte de los frutos también se aprovechan la semillas que se comen asadas o se machacan para preparar tortas (Anónimo, 1994).

La especie sin espinas, nopal para verdura o (nopalito): *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. es probablemente originaria de las zonas áridas y semiáridas de México, se considera como una forma cultivada de la especie *Opuntia streptacantha* Lem. (Scheinvar, 1986) o de la *O. megacantha* (Bravo, 1978),, originaria de los estados de San Luis Potosí, Guanajuato, Aguascalientes y Zacatecas. El crecimiento y producción están íntimamente relacionados con los cuidados que se da a la planta en los lugares en donde se ha adaptado. Actualmente la especie cultivada se encuentra ampliamente distribuida en los estados del centro del país (Borregos *et* Burgos, 1986) y en muchos países de todo el mundo, desde México llegando a la Argentina. Se considera como centro de diversificación de este género el área del Golfo de México y el Caribe, debido al gran número de especies y a la gran variabilidad genética que se encuentra en dicha zona.

La *Opuntia ficus-indica* se cultiva actualmente en mayor grado en el centro del país, destacando como mayores productores las localidades de: Milpa Alta, en el Distrito Federal; Tlalnepantla, Estado de Morelos; San Martín de las Pirámides, Estado de México; y Estado de Puebla. También se ubica en estados del norte como: Durango, Zacatecas, Nuevo León, Querétaro y San Luis Potosí. Además, se cultiva aunque en menor proporción, en estados del sur como Querétaro y Oaxaca. El nopal para verdura se localiza según la clasificación de la FAO en zonas templadas, semiáridas y tropical seca, en donde las formaciones forestales son de bosques templados de coníferas y latifoliadas, arbustos y selvas bajas caducifolias.

Generalmente el nopal para verdura crece en suelos arcillosos derivados de rocas ígneas y calizas, con un pH neutro o ligeramente alcalino, en terrenos pedregosos. Los terrenos bajo cultivo requieren de gran cantidad de materia orgánica, principalmente estiércol de bovinos, lo cual incrementa la producción, retiene la humedad y enriquece el suelo, aumentando su fertilidad y contribuyendo a su restauración y protección, por lo que además se considera como un buen estabilizador de terrenos desnudos y erosionados. El nopal para verdura se presenta desde el nivel del mar hasta los 2.600 m de altura. Su distribución natural es en laderas, terrenos planos y valles. Las plantaciones mas grandes se encuentran en laderas al sur de la ciudad de México y norte del estado de Morelos, el cultivo requiere de áreas con exposiciones soleadas durante la mayor parte del día (Anónimo, 1988).

Muchas cactáceas son cultivadas o aprovechadas en estado salvaje por sus hojas para alimentar el ganado y constituyen un recurso fundamental al encontrarse en zonas muy áridas donde la presencia de plantas más tiernas es prácticamente nula. Muchas de estas especies son aprovechadas para construir cercados donde guardar los animales o separar los campos. En lugares áridos y ventosos se utilizan para fijar el suelo y prevenir la erosión de las lluvias que normalmente se producen de forma torrencial en algunas épocas del año. Este uso se hace muy adecuado en los cultivos que se llevan a cabo en forma de terrazas (Barros *et Buenrostro*, 1998).

Admiradas por sus atractivas flores, sus extravagantes formas o sus erizadas púas, han sido ampliamente explotadas en jardinería, lo que ha llevado a muchas de ellas a encontrarse al borde de la extinción.

## **II.2. Las Opuntias o Nopales.**

Los nopales pertenecen al género *Opuntia* Mill. y reciben diferentes nombres comunes en diferentes lugares del mundo: Tuna, Nopal, Tunera, Chumbera, *Opuntia* Cactus, etc.

Los frutos de la *Opuntia* spp. son conocidos como tunos, tunas, higos pico, higos chumbos, cactus pera, figo da India, etc.

Los segmentos verdes y articulados del tallo, cladodios, reciben el nombre común de pencas o palas. Las espinas pequeñas y molestas, que aparecen en la base de las espinas grandes, son típicas del género,

son llamados glóquidas o ahuates (del náhuatl) (Borregos *et* Burgos, 1986).

Se considera que en México, existen más de 100 especies y variedades del género *Opuntia*. Estas especies, conocidas comúnmente como nopales son unas cactáceas muy resistentes a la sequía y son importantes desde el punto de vista económico por su valor comestible, ya sea en el caso de sus pencas o de sus frutos, tanto para el humano como para el ganado (López, 1977).

Dentro de los frutos llamados tunas, algunos son ácidos como el "Xoconostli" que significa en náhuatl tuna agria y a la que se le ha encontrado un alto contenido de ácido ascórbico.

Xoconostles son tunas ácidas de algunas especies de *Opuntia*. Persisten unidas a cladodios 6 a 8 meses, cuyas paredes son de hasta  $\frac{3}{4}$  del ancho total; semillas en el centro del fruto, funículos secos. Presentan gran potencial económico debido a sus múltiples usos como verdura, condimento, fruta fresca, dulces cristalizados, forraje y poseen propiedades medicinales (a ser comprobadas): hipoglucemiantes, control del colesterol y peso corporal (Scheinvar, 1999).

Este fruto no entra en estado de putrefacción tan rápidamente como la tuna dulce (tomado de <http://cueyatl.uam.mx/olivareshidalgo.html>) y pueden persistir sobre los cladodios hasta por un año o más.

En el presente trabajo se estudian las semillas de tres especies mexicanas de *Opuntias* productoras de xoconostles: *Opuntia matudae* sp., *Opuntia heliabravona* sp., y *Opuntia joconostle* sp. Una especie del



género *Cylindropuntia* : *C. imbricata* cuyos frutos ácido también son llamados de xoconostles y se usan así como los xoconostles anteriormente referidos y finalmente, una especie de *Opuntia* que no produce xoconostles y sí tunas, pero que sirve de término de comparación: *O. ficus-indica*.

No se han encontrado reportes que realicen una evaluación fisicoquímica de composición de las semillas en estas variedades. Un reporte de caracterización de semillas es el realizado sobre semillas de *Okenia hypogaea* (conocida popularmente como cacahuate cimarrón) donde se encuentran resultados de interés como posible utilidad de estas semillas como alimento (Bello *et al.*, 2001). En cuanto a semillas de Opuntias, sin especificar de que especies en particular, se reportan trabajos acerca de extracciones de aceites vegetales (Saenz *et al.*, 2006); otros trabajos solamente se refieren a la morfología de las semillas de Opuntias (Filardo, 2002; Peña, 2005).

### **II.2.1. *Opuntia matudae* sp. Scheinvar**

**Nombre común:** xoconostle cuaresmiño; xoconostle colorado con espinas; joconoxtle barrilillo; joconoxtle chapeadito (Bravo, 1991).

**Hábito:** Arbustiva, de 1.5-4.5 m de altura.

**Tronco:** definido, ancho.

**Cladodios:** angostamente obovados, de 20-25 cm de largo y 10-15.5 cm de ancho, verde-azuloso algo grisáceo, generalmente con manchas purpúreas al rededor de las aréolas (figura II.1).

**Aréolas:** en 13-14 series espiraladas, distantes ca. 2 cm entre sí. Fielto grisáceo-negrusco. Gloquídios de 2-3 mm de largo, castaño-rosados (figura II.2).

**Espinas:** 1-8, generalmente en todas las aréolas, desiguales, de 0.7-3.5 cm de largo, muy delgadas, flexibles, algunas torcidas, las inferiores reflejas, algunas con la base doblada, la mediana o la superior más larga, generalmente entrelazadas las unas con las otras, las superiores por rectas, divergentes, de color blanco-grisáceo o amarillento, con el ápice translúcido.



Figura II.1. *Opuntia matudae* sp. Plantas con diferentes colores de frutos (Foto: S. F. Kerstup)



Figura II.2. *Opuntia matudae* Scheinvar. Cladodio juvenil característico de esta especie (Foto: S. F. Kerstup)

**Flor:** de 5-7 cm de largo y hasta 8 cm de diámetro en la antesis, amarilla brillante con manchas rojas, pasando con el tiempo a rosado y rojo (figura II.3).



Figura II.3. *Opuntia matudae* Scheinvar. Flor (Foto: S. F. Kerstup).

**Grano de polen:** poliédrico, periporado, suprareticulado, de 174-160  $\mu\text{m}$  de diámetro, poros 6-8, con membrana escabrosa, exina de ca. 11 $\mu\text{m}$  de espesor, endexina mucho más delgada que la ectexina.

**Fruto:** elipsoide a piriforme, de 2.5-4 cm de largo y 1.5-2.5 cm de ancho, externamente verde-purpúreo y pulpa rosa-rojiza, con cicatriz umbilical profunda; Aréolas sin espinas, con lana grisácea y gloquídeos castaño-rojizos (figura II.4).



Figura II.4. *Opuntia matudae* Scheinvar. Fruto (tamaño natural).Funiculos con semillas (Foto: S. F. Kerstup)

**Semillas:** discoides, de ca. 4 mm de largo, 3 mm de ancho y 2 mm de espesor, blanquecinas con tonos rosados; arilo lateral de ancho irregular, bien marcado; taza del hilo lateral, poco profunda.

**Usos:** cladodios y frutos comestibles y medicinales.



## II.2.2. *Opuntia heliabravoana* Scheinvar

**Nombres comunes:** xoconostle blanco; tetechal; nopal chaparro; duraznillo blanco (Scheinvar, 1999).

**Hábito:** planta cespitosa, generalmente con 0.58-1.30 m de altura, clones extendidos hasta 4 m.

**Tronco:** Ausente (figura II.5).

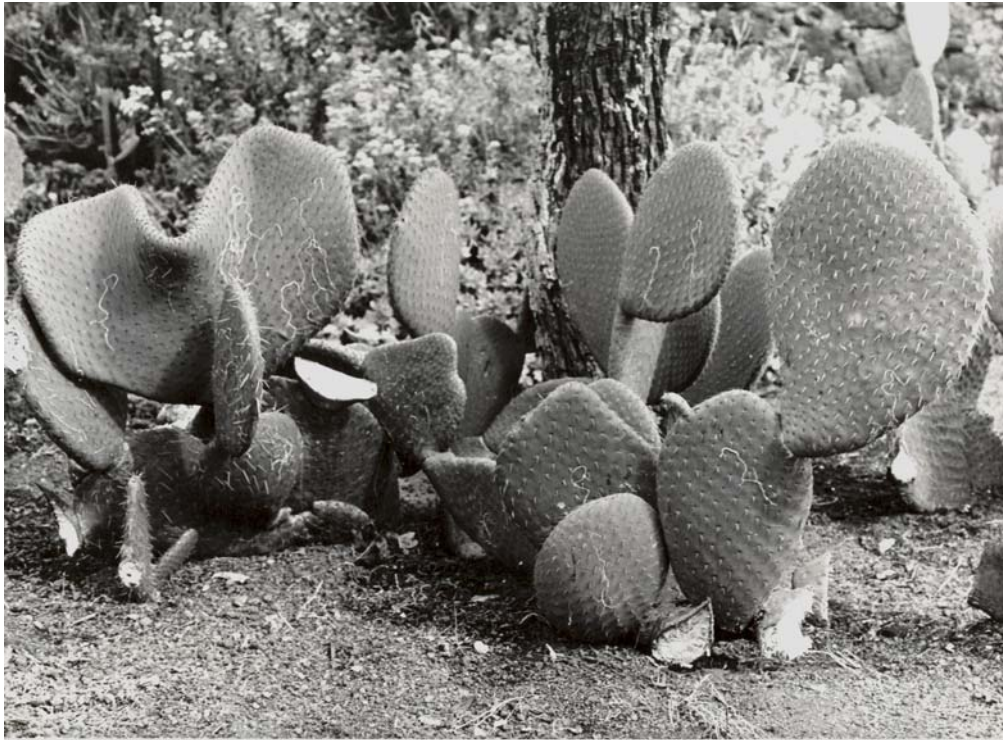


Figura II.5. *O. heliabravoana* Scheinvar- Hábito. Pachuca, Hidalgo.

**Cladodios:** glabros, anchamente obovados a subcirculares, el ápice cordiforme o redondeado, emarginados, base angostada, de 21-50 cm de

largo x 15-40 cm de ancho, de color verde lomón, algo amarillentos (figura II.6).

**Aréolas:** hundidas, 18-21 series espiraladas, las inferiores dispuestas transversalmente, distantes 0.8 a 2 cm entre sí, de 2-3 mm de diámetro, con fileto de color crema hasta gris-negruzco; gloquídeos amarillos, de 2-4 mm de largo.



**Figura II.6.** *Opuntia heliabravoana* Scheinvar. Cladodio característico con frutos amarillos.  
Pachuca, Hidalgo

**Espinas:** rígidas, aciculares, aplanadas en la base, de color blanco-amarillento, con la base y ápice ambarinos, de 1-2 espinas, dispuestas en la parte superior de la aréola, de 0.4-1.3 cm de largo, adpresas sobre el cladodio.

**Flor:** de unos 6 cm de diámetro en antesis; pericarpelo casi globoso, de 2.5-3.2 cm de largo x 2.5-2.8 cm de ancho, con aréolas dispuestas en 8 series de espirales, color verde-amarillento con ancha estría central rojiza en los segmentos exteriores. Segmentos interiores amarillos pasando al segundo día a color salmón. Filamentos y anteras amarillas. Estilo amarillo con tintes rosados; lóbulos del estigma 10, verdes, 5 mm de largo (figura II.7).

**Granos de polen:** esférico, periporado, suprareticulado, con diámetro que varía de 34-40  $\mu\text{m}$ , poros 10 o más, distribuidos homogéneamente sobre la superficie del grano, con un diámetro de 12-20  $\mu\text{m}$ , exina de 7.5-10  $\mu\text{m}$  de grosor, con ectexina generalmente más gruesa que la endexina.

**Fruto:** globoso, como de 3 cm de diámetro, umbilicado, verde-amarillento, con manchas de color salmón cuando maduros. Espinas ausentes; gloquidios amarillos abundantes (figura II.8).

**Semilla:** globosa, angulada, de 2.5-3 mm de diámetro; arilo lateral bien formado, angosto; hasta 90 en un solo fruto.

**Usos:** Usada como cerca viva. Tuna agria (xoconostle), comestible. Cladodios chamuscados sirven de forraje.



Figura II.7. *O. heliabravoana* Scheinvar. Vista interior de una flor.

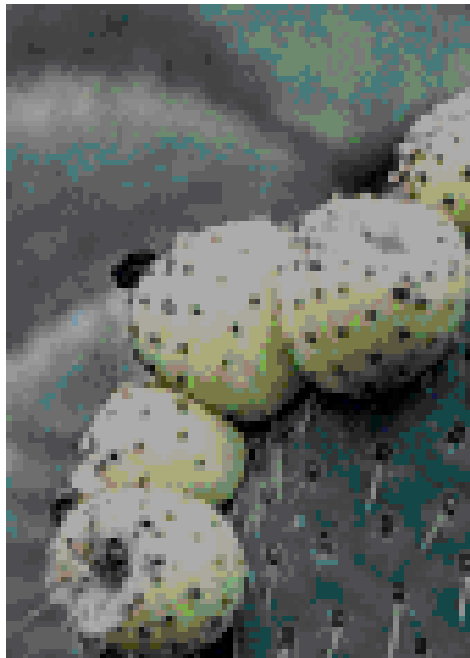


Figura II.8. *O. heliabravoana* Scheinvar. Frutos.



### II.2.3. *Opuntia joconostle*

**Nombre común:** xoconostle; joconostle blanco; joconostle cenizo; xoconostle de burro; nopal tempranillo; tuna xoconostle (Bravo, 1991).

**Hábito:** arbustiva, hasta 2.5 m de altura.

**Tronco:** bien definido, ca. 20 cm de ancho, corteza grisácea.

**Cladodios:** obovados, de 18-28 cm de largo, de 11.5-18.5 cm de ancho y ca. 1.5-3 cm de espesor, de color verde, recubierto de una capa cerosa grisácea, con 9 a 12 series espiraladas. de aréolas.

**Aréolas:** en 7-9 (-12) series espiraladas, angostamente piriformes, de 2-3 mm de largo y 1-2 mm de ancho, con fieltro corto, negruzco.

**Espinas:** 1 (-2) (-4) (-6), principalmente en los bordes, ausente en la parte inferior de los cladodios, blancas, rígidas, desiguales, de 2-15 mm de largo, blancas, el ápice ambarino.

**Cladodios juveniles:** tubérculos prominentes, aréolas con fieltro marrón-grisáceo claro y hoja basal subulada erecta, rosada a rojiza.

**Flor:** amarilla, de 6.5-8 cm de largo; pericarpelo obovado, de ca. 3.8 cm de largo y 2.3 cm de ancho, con aréolas dispuestas en 8 series espiraladas, distantes 3 mm entre sí, con escama basal crasa; segmentos exteriores del perianto deltoides, el ápice acuminado y bordes dentados, amarillo-verdosos con amplia estría mediana purpúrea,; segmentos interiores amarillo claros; estambres alcanzan 1/3 inferior del perianto, filamentos y anteras blancos; estilo cuneiforme, ca. 2 cm de largo, blanco en la base y rosado en la parte superior, lóbulos del estigma 5, papillosos, de ca. 4 mm

de largo, amarillo claro verdosos con estría mediana rosada (figura II.9 y II.10).

**Grano de polen:** poligonal, con 8 lados, de 60 a 73  $\mu\text{m}$ , 12 a 13 poros, muros glabros.

**Fruto:** subgloboso, a veces piriforme, de 2-4 cm de diámetro o de largo, con la cicatriz floral ligeramente hundida a hundida, estriada, cáscara muy delgada, verde pasando a rosa rojizo cuando madura; aréolas muy chicas, dispuestas en 6 series espiraladas, piriformes, distantes 1 cm entre sí y la series distantes 1.5 cm entre sí, lana marrón, espinas ausentes; pulpa muy ácida, ligeramente perfumada, blanco rosada y rosa rojizo alrededor de las semillas. Cámara ovárica céntrica, de 2 x 3 cm (figura II.11).



Figura. II.9. *O. joconostle* F.A.C. Weber. Cladodio con botones florales y una flor en antesis, vista exterior. Valle del Mezquital, Hidalgo.

**Semillas:** rosadas, anguladas, de ca. 1.5 mm de diámetro; arilo lateral de desigual ancho, con un mucrón característico; taza del hilo lateral subbasal.

**Usos:** en San Luis Potosí, municipio de Mexquitic, Paso Blanco, se utiliza esta planta en gárgaras como remedio para dolor de garganta e inflamación de las anginas.



Figura II.10. *O. joconostle* F.A.C. Weber. Flor en antesis. Vista interior. Valle del Mezquital, Hidalgo.



Figura II.11. *O. joconostle* F.A.C. Weber. Frutos rosados.

#### II.2.4. *Cylindropuntia imbricata* Haworth

**Nombres comunes:** Cardón, abrojo, choya, coyonostle, El fruto: xoconostle (Bravo, 1991).

**Hábito:** arbustivo, de 1-4 m de altura, ramosa.

**Tronco:** bien formado, ramificado, con ramas verticiladas casi horizontales, de ca. 20 cm de largo y 3 cm de ancho (figura II.12).





Figura II.12. *Cylindropuntia Imbricata*, tronco.

**Hojas:** subuladas, de 1-2 cm de largo, verde con tintes purpúreos, caducas con el tiempo.

**Glóquidas:** amarillentas, retrobarbadas, caducas con facilidad.

**Espinas:** 6-12, subuladas, retrobarbadas, desiguales, de 2.5-3 cm de largo, no diferenciadas en radiales y centrales, no muy entrelazadas, recubiertas de una vaina papirácea de color pajizo, que se desprende con facilidad.

**Flores:** dispuestas hacia la extremidad de las ramas, de 3.8-6 cm de largo y diámetro en la antesis. Pericarpelo obcónico, de ca. 2 cm de largo, con tubérculos prominentes, uniformemente repartidos; aréolas con escama basal subulada, de 1-1.4 cm de largo, de color verde claro con el ápice rojizo, con lana, glóquidas amarillentas, caducas con facilidad; espinas 3-8, desiguales, pajizas, recubiertas de vaina papirácea de igual color,; espinas setosas escasas, hasta de 2 cm de largo. Segmentos exteriores del perianto obovados a anchamente oblongos, ápice apiculado, margen ondulado, bordes casi enteros o finamente dentados, dispuestos en 2 series espiraladas, de 1.2-1.5 cm de largo y ca. 1.1 cm de ancho en la parte superior, amarillo-verdosos con tintes purpúreos, más claros en los bordes, y en la parte mediana verde-amarillentos. Segmentos interiores escasos, oblanceolados a angostamente obovados, con el ápice escotado y redondeado, a veces mucronado, margen lacerado hacia el ápice finamente dentado, de 1.2-2.2 cm de largo y ca. 0.5 cm de ancho en la parte superior, purpúreos a rosado. Estambres con filamentos rectos a introrsos, de ca. 1 cm de largo, purpúreo. Estilo cilíndrico, ligeramente angostado en la base, de 1.4-1.7 cm de largo y de 3-5 mm de ancho, purpúreo con la base más clara, lóbulos del estigma 6-8, de ca. 6 mm de largo, amarillentos (figura II.13).



Figura II.13. *Cylindropuntia imbricata* DC. Flores apicales, púrpuras

**Grano de polen:** esférico, tectado, de 130-135  $\mu\text{m}$  de diámetro, con 10-12 (14) poros, equinulado punctibaculado, exina de ca. 6  $\mu\text{m}$  de grosor, la ectexina mucho más gruesa que la endexina..

**Fruto:** semicarnoso, ácido, subgloboso, elipsoide u obovoide, de 3-4 mm de largo o de diámetro, a veces mayor, amarillo-verdoso, con paredes más anchas que la cavidad que contiene las semillas, recubierto de tubérculos imbricados, a veces prominentes, con aréolas provistas de lana amarillenta, glóquidas cortas, sin espinas, a veces prolífico formando longas cadenas de decenas de frutos (figura II.14).



Figura II.14. *Cylindropuntia imbricata* DC. Frutos inmaduros y maduros.

**Semillas:** abundantes, discoides a piriformes, bien formadas, ligeramente anguladas, de 3-5-5 mm de largo o de diámetro y 1.5-2 mm de espesor ; arilo angulado o redondeado.

**Usos:** planta ornamental. Los frutos ácidos son xoconostles utilizados como condimento en los frijoles y moles de olla. El tallo sirve de antorcha y su llama es muy larga, usada en épocas prehispánicas para prender el fuego nuevo al final de cada siglo de 52 años. Actualmente sus tallos secos son considerados por los campesinos como excelente leña. Estos tallos barnizados son utilizados para hacer lámparas, mesitas, marcos de cuadros, etc. (información tomada de <http://www.semarnat.gob.mx>).



### II.2.5. *Opuntia ficus indica*.

**Nombre común:** La especie conocida comúnmente como “nopalito” es originaria de las zonas áridas y semiáridas de México (información tomada de <http://www.cueyalt.uam.mx>).

**Habito:** Es un arbusto perenne afile de la familia de las cactáceas de hasta 5 m. Plantas arborescentes de 3 a 5 m de alto o más, tronco leñoso bien definido de 60 cm a 1.5 m de altura, de 20 a 30 cm de diámetro (figura II.15).



Figura II.15. *Opuntia ficus indica*. Arbusto.

**Tallos:** suculentos, formados por cladodios superpuestos, provistos de espinas, agrupadas en dos o solitarias.

**Flores:** amarillas, sin pecíolo, de 7 a 10 cm de diámetro y como de 6 a 8 cm de largo; los segmentos exteriores del perianto son ovados hasta ampliamente cuneados obovados, agudos hasta truncados, enteros mucronados o denticulos, amarillos con la porción media rojiza o verdosa; los segmentos interiores del perianto son angostamente obovados hasta angostamente cuneados; truncados hasta redondeados, enteros, mucronados o denticulados, amarillos hasta anaranjados; pericarpelo con algunas espinas pequeñas, caducas (Bravo, 1978).

**Frutos:** en baya, espinosos, de hasta 9 cm. comestibles ( higos chumbos). Natural de México, cultivada y naturalizada en los terraplenes cálidos junto al mar (Aguilar, 1998). Es oval de 5 a 10 cm de largo y 4 a 8 cm de diámetro, amarillo, anaranjado, rojo o purpúreo, con abundante pulpa carnosa, algo umbilicada (figura II.16).



Figura II.16. *Opuntia ficus-indica*. Frutos.

**Areolas:** distintas separadas entre sí como 2 a 5 cm, pequeñas angostamente elípticas, de 2 a 4.5 mm de largo y 3 mm de ancho. Artículos oblongos hasta largamente obovados, de 30 a 60 cm de largo y 20 a 40 cm de ancho y 1.9 a 2.8 cm de grueso, color verde opaco; integran ramas de varios artículos que forman una copa muy ramosa (figura II.17).

**Espinas:** están casi siempre ausentes; cuando existen, son escasas y pequeñas; tienen gloquidas más o menos numerosas, amarillas, caducas. Flores (Bravo, 1978).



Figura II.17. *Opuntia ficus indica*. Areolas

### **II.3. Importancia económica de las Opuntias.**

La producción de Opuntias en México puede clasificarse en tres tipos: nopaleras silvestres, de huertos familiares y plantaciones. La producción en nopaleras, en su gran mayoría silvestres, se estima en 3 millones de ha, distribuidas en 15 estados del país, en donde son fuente de forraje para el ganado lechero. También se usa como abasto para su procesado industrial, siendo empacado en salmuera o escabeche por diversas empresas, para mercado de exportación o nacional.

La producción de nopales en huertos familiares y plantaciones se da únicamente para autoconsumo y venta en los mercados de pueblos y ciudades.

La producción de nopales e plantaciones apareció en los años cincuenta, debido a que la demanda de nopal creció en forma importante, junto con las ciudades y el incremento poblacional.

En nuestro país el nopal tiene varios usos (Arias, 1994):

- a) Como FRUTA, la tuna, es de más aceptación en el mercado mexicano que el nopal, además se exporta a países como E.U.A. y en cantidades menores a Canadá, Japón, y a Europa.
- b) Como VERDURA, el nopalito está ligado a nuestra alimentación desde antes de conquista, se preparan diversos platillos con ellos, desde una ensalada hasta los famosos tacos de chicharrón con nopales, no puede faltar en los tlacoyos,

en las sopas o en distintos guisados originarios principalmente del Distrito Federal, como los "romeritos" que se disfrutan en Navidad o en Semana Santa.

c) Como FORRAJE, en las épocas de sequía sirve como alimento principal del ganado.

d) Como CERCO, se usa el nopal espinoso para limitar huertos familiares, este método es muy antiguo y hasta la fecha se sigue utilizando.

e) Como SUBSTRATO, en el uso de la grana cochinilla otra técnica que se usa desde el México Prehispánico. Hay que tomar en cuenta que esta tinta no se toma directamente del nopal sino del pequeño gusano que habita en el nopal, que luego de machacarlo lo que sobra se usa como tinte.

f) Como PLANTA MEDICINAL, se ha comprobado que el consumo de nopalito y de la tuna ácida controla los niveles de azúcar y de colesterol en la sangre, se usa también como fibra para mejorar el proceso digestivo (González, 1984).

g) Como PLANTA INDUSTRIALIZADA, en México se procesa el nopalito enlatado en salmuera y en escabeche, y la tuna como licor como dulce.

h) Como BASE para COSMETICOS, se usa para la fabricación de shampoos, pinturas, cremas, tintes para el cabello, etc.

i) Como CONSERVADOR DEL SUELO, frena la desertificación, también impide la erosión del suelo.

j) Como MEDIO para COMBATIR la CONTAMINACIÓN, el nopal al presentar fisiología tipo CAM consume CO<sub>2</sub> por las noches en grandes cantidades.

k) En YOGURT como alimento, un grupo de productoras de nopal de Apaseo el Alto se unieron para producir, industrializar y comercializar el nopal.

La *Opuntia ficus-indica* es sin duda la más importante entre las cactáceas utilizadas en agricultura (Figura 17). Se la cultiva desde épocas prehispánicas y en la actualidad esta adquiriendo gran importancia en las zonas tropicales áridas de todo el mundo. Otras dos o tres especies afines a *O. ficus-indica* se cultivan en menor grado. De ellas se consumen los frutos, los tallos como forraje y también para criar la cochinilla de la grana. En la dieta de los mexicanos es habitual utilizar los tallos jóvenes como verdura (figura II.18).



**Figura II.18.** *Opuntia ficus indica*. Frutos recolectados.



#### **II.4. Estados que cultivan Opuntias en nuestro país.**

Las Opuntias son cultivadas en al menos nueve de los 32 estados que conforman el país (Arias, 1994):

- DISTRITO FEDERAL: Se cultiva el nopal desde antes de la conquista en el mismo lugar, ahora conocido por el nombre de Milpa Alta. Este municipio es el mayor productor de nopal en nuestro país. En esta región se calculan unas 27,000 plantas de nopal por hectárea tomando en cuenta que son alrededor de unas 7,500 ha. Milpa Alta está a una altura de 2,420 metros sobre en nivel del mar, con una precipitación anual de 756.1 mm y una temperatura alrededor de 15.9° C.
- MORELOS: En este estado el productor más importante es el municipio de Tlanepantla con cerca de 350 hectáreas y 450 productores de nopalito. Su altura es de 2,042 msnm, y con una temperatura de 18° C.
- PUEBLA: En ella hay dos entidades nopaleras; la primera comprende entre los municipios Atlixco y Cholula, la segunda esta en el municipio de Acatzingo, en estas entidades se cultiva el nopal Trueno. La primera zona está a una altura de 2,000 msnm y su temperatura promedio es de 17° C, con unas precipitaciones de 808 mm. La segunda zona tiene una altura de 2,200 msnm, con una precipitación anual de 757 mm y una temperatura de 17 grados centígrados.
- MICHOACÁN: La producción de nopalito no está concentrada en un sólo lugar sino que se expande por todo el estado. Sin

embargo, sobresale Uruapan que se encuentra al sur del estado, con 250 ha. En ella se cultiva en un 90% el nopal blanco y en un 10% el nopal negro o verde. La región tiene una altura de 1300 msnm, con una precipitación de 1,200 mm y una temperatura de 20° C.

- GUANAJUATO: En este estado al igual que en Michoacán se produce el nopalito en muchas pequeñas áreas esparcidas por todo el estado, pero cuenta con una entidad llamada Valtierra que tiene aproximadamente 250 Ha, en ella y en todo el estado se cultiva el nopal pelón, el de hule o el nopal negro. Esta región se encuentra a una altura de 1,720 msnm con una precipitación de 680 mm y una temperatura de 17.7° C.
- BAJA CALIFORNIA: Es la excepción de los estados del norte, pues es el único en producir nopal y no consumirlo. En este estado se produce nopal por dos razones: La primera es para exportarlo a los E.U.A. para el consumo de las personas que emigran a este país y la segunda es para ser distribuidos a los grandes núcleos de población estadounidense de origen mexicano que consume nopalito en el estado de California. En esta región se produce nopalito en cuatro municipios: Mexicali, Tijuana, Ensenada, y Tecate.
- JALISCO: Son pequeñas zonas nopaleras, la más importante se encuentra cerca del lago de Chapala, su altura es de 1,550 msnm, con una precipitación anual de 880 mm y una temperatura de 20° C.
- OAXACA: Aquí la producción de nopal se concentra en los valles del centro, encontrándose a una altura promedio de 1,550 msnm, con precipitaciones de 650 mm, y un clima de 20.5° C.



- QUERÉTARO: ocupaba, en 1996, el dieciseisavo lugar con una superficie sembrada de 35 hectáreas y una producción de 700 toneladas de nopal verdura. Cuenta con una región importante con las características de zona áridas y semiáridas que es una superficie de 4,590 km<sup>2</sup> con una precipitación media anual de 400 a 500 mm y una temperatura media anual mayor a los 18° C. En esta zona se localiza la región de Cadereyta que abarca los municipios de Cadereyta de Montes, Colón, Peñamiller y Tolimán.

Las variedades de las que se obtiene nopalito en nopaleras naturales y en huertos familiares son numerosas por lo que sólo se mencionan las más utilizadas (Bravo, 1978):

- MILPA ALTA. Es la variedad más importante a nivel nacional, por la superficie cultivada y por el volumen de su producción que ocurre al mercado. Se clasifica como *Opuntia ficus indica* I, se cultiva en esta región en el D.F. y en el municipio de Tlanepantla en el estado de Morelos.
- COPENA VI y COPENA FI. Estas variedades fueron desarrolladas por el Dr. Facundo Barrientos en el Colegio de Postgraduados, en los años setenta. La variedad Copena VI tiene como características principales el carecer de espinas, presentar un color verde intenso, ser suculenta, de buen sabor y con poca acidez; ésta se cultiva en los estados de Hidalgo, México, Guanajuato y Baja California. La Copena FI fue seleccionada como variedad forrajera, sin embargo, por producir una gran cantidad de nopalito sin espina, presentar poco mucílago y un

color agradable, ha sido cultivada como nopalito en el estado de México, en Tlaxcala, en Puebla y en Baja California.

- BLANCO Y NEGRO. Estas variedades se cultivan en los alrededores de Uruapan en Michoacán y además de establecerse en el mercado local, concurren a Guadalajara, Jalisco y de allí es enviada a sitios como Tijuana (González, 1984).
- TAMAZUNCHALE. En la sierra del sur de Tamazunchale en SLP, se cultiva esta variedad que es del género *Nopalea*, presenta las pencas alargadas, una cutícula gruesa y pocas espinas.

Los estado de México e Hidalgo tienen gran prestigio debido a la calidad de su tuna, que proviene de *Opuntia amyclaea* y *Opuntia ficus-indica* (alfajayucan y de castilla respectivamente)(Granados, 1991)

## **II.5. Ciclo vegetativo de las Opuntias.**

La longevidad promedio de las plantaciones de Opuntias es de 5 a 7 años, alcanzando algunas veces hasta 10 años con buenos rendimientos. La producción de Opuntias se inicia a los 3 meses de plantado. Un cultivo en plena producción se inicia aproximadamente al año. Con prácticas constantes de cultivo, se pueden alcanzar de 80 a 90 t/año.

La parte comestible del nopal son los rebrotes tiernos, los cuales pueden ser aprovechados a los 8 ó 10 días de haber brotado. Generalmente la mayor producción se registra en la temporada de lluvias de junio a septiembre; sin embargo es también la época en que

se tiene la mayor susceptibilidad a las plagas y enfermedades, por lo que se deben de dar los cuidados necesarios. Una vez establecido el nopal, se adapta a condiciones o áreas disturbadas, aunque requieren de labores y cuidados para lograr buenos resultados en cuanto a rendimientos de verdura y duración de la plantación.

El nopal se reproduce mediante la multiplicación vegetativa o asexual, es decir, mediante la plantación de pencas o fracciones de pencas o cladodios. Se deben utilizar de preferencia las pencas que tengan pocas espinas, que contengan gran cantidad de agua y poca fibra. En otras especies como el nopal tunero, la reproducción puede ser sexual o por semilla aunque es muy poco común esta forma de reproducción para cualquier especie de nopal. De aquí se deriva que las semillas de las Opuntias no tienen otra utilidad.

Una planta adulta produce un promedio de 200 frutos/año, infiriéndose que en 1 ha bien manejada, con una densidad de 1.000 plantas/ha, puede brindar una producción de 300.000 frutos/ha, a los 2 a 3 años de edad. La madurez de los frutos se inicia a los 4 a 5 meses de la brotación o floración. Se caracteriza por el cambio de coloración de la pulpa, madurando ésta antes que la cáscara.

### **III. Objetivos**

#### **III.1. Objetivos generales**

Realizar un estudio de caracterización fisicoquímica a nivel de laboratorio de las semillas de cinco variedades de Opuntias que se cultivan en el Estado de Hidalgo, *Cylindropuntia imbricata* Haw. sp., *Opuntia matudae* Scheinvar sp., *Opuntia heliabravoana* Scheinvar, *Opuntia joconostle* F.A.C. Weber y *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill., con la finalidad de valorar sus potencialidades para ser reutilizadas por sus valores nutricionales.

#### **III.2. Objetivos específicos**

1. Realizar un proceso de selección de semillas de las *Opuntia imbricata* sp., *Opuntia matudae* sp., *Opuntia heliabravoana* Scheinvar, *Opuntia joconostle* y *Opuntia ficus-indica*. Selección de semillas y preparación de las mismas para sus posteriores evaluaciones de análisis.
2. Realizar la evaluación de sus características fisicoquímicas mediante las determinaciones analíticas establecidas por las normatividades de productos alimentarios.
3. Evaluar y comparar los resultados de las caracterizaciones fisicoquímicas de las cinco especies de *Opuntia* y realizar una valoración comparativa de sus ventajas y desventajas para ser reutilizadas como un posible nuevo producto alimenticio.

## **IV. Metodología experimental**

### **IV.1. Muestras. Obtención y preparación.**

Las muestras representativas de semillas de las cinco especies en estudio, fueron sometidas a un proceso de extracción de los frutos respectivos, retirando de ellas todo tipo de material o pulpa.

Fueron colocadas para secado a condiciones atmosféricas en charolas de plástico; posteriormente fueron seleccionadas manualmente para que fueran lo más homogéneas posibles en cuanto a su estructura física.

Se tomaron aproximadamente 150 gramos de una muestra de semilla de cada especie de *Opuntia* (*Opuntia Imbricata* sp., *Opuntia matudae* sp. *Opuntia heliabravoana* Scheinvar, *Opuntia joconostle* y *Opuntia ficus indica*) previamente secados y se sometieron a molienda y se tamizaron a través de tamices W. S. Tyler Made in USA a tamaños de 200 micras. Las fracciones de los granos en polvo fueron reservadas para posteriores evaluaciones.

### **IV.2. Análisis físicos y otras determinaciones.**

A las semillas de las cinco especies antes de la molienda se les practicaron además, los siguientes análisis físicos:

- Contenidos de humedad: gravimétrico (AOAC, Vol. I, 1995)

- Contenidos de ceniza: sequedad, incineración, y gravimetría (AOAC, Vol. I, 1995)
- Peso Hectolitro (NMX-FF-043-SCFI-2003)
- Peso mil granos (Camacho *et al.*, 2001)
- Índice de flotación (Camacho *et al.*, 2001)
- Dureza por abrasión (Camacho *et al.*, 2001)
- Determinación de volumen unitario.

#### **IV.2.1. Determinación de Humedad**

Esta prueba se basa en la pérdida de agua que sufrió la muestra al ser calentada hasta peso constante. El método utilizado fue el 925.10 de la AOAC (Vol. II, 1995). Para la medición, se utilizaron charolas de aluminio previamente puestas a peso constante. Se pesaron 3g de la muestra, la cual fue calentada  $130^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  en una estufa por 16hr. Transcurrido este tiempo las charolas se enfriaron temperatura ambiente en un desecador hasta peso constante y fueron pesadas. El porcentaje de humedad se calculó bajo la siguiente formula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{P_1 - P_2}{m} \times 100 \quad \text{Ec. 1}$$

donde:

$P_1$  = peso de la charola con muestra antes de ser secada (g)

$P_2$  = peso de la charola con muestra después de secada (g)

$m$  = peso de la muestra (g)

#### **IV.2.2. Determinación de Cenizas**

El material mineral se cuantificó incinerando la muestra hasta la obtención de un residuo inorgánico correspondiente a la fracción de las cenizas de la muestra. Se determinó de acuerdo al método 923.03 de la AOAC (Vol. I, 1990) a partir de 3g de muestra incinerada en una mufla Fisher Scientific a una temperatura de 550°C hasta que se obtuvieron cenizas color grisáceo o blanco uniforme sin que se presentaran manchas negras. Los crisoles se dejaron enfriar en un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente. Con la siguiente fórmula se determinó el contenido de cenizas:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{P_1 - P_2}{m} \times 100 \quad \text{Ec. 2}$$

donde:

$P_1$  = peso del crisol con muestra después de la incineración (g)

$P_2$  = peso del crisol a peso constante (g)

m = peso de la muestra (g)

#### **IV.2.3. Determinación de densidad por peso hectolitro (DPHL)**

Para la determinación de la densidad por peso hectolitro se siguió lo establecido en la NMX-FF-043-SCFI-2003, que si bien es referida para semillas de otro tipo como las de cereales, sirvió como método de referencia. Se tomó una probeta de 50 mL y fue pesada previamente, luego se llena de forma rasante con las semillas de cada una de las variedades en estudio y se vuelve a pesar, se toma la diferencia de pesada. El cálculo se realizó de la siguiente manera:

$$DPHL = \frac{(P_2 - P_1) * 1000}{50} \quad \text{Ec. 3}$$

donde:

P<sub>2</sub>= Peso de la probeta llena de semillas (g)

P<sub>1</sub>= Peso de la probeta vacía (g)

1000= Conversión a Litros

#### **IV.2.4. Determinación de densidad por peso de mil granos (DPMG)**

Según Camacho y colaboradores (Camacho *et al.*, 2001) una forma de evaluar la densidad es estimando el peso de 1000 granos de semilla. Para esto se toman al azar 50 piezas de semillas de cada una de las



variedades en estudio y se pesan en un vaso de precipitado previamente tarado. El peso neto de las 50 semillas se multiplica simplemente por el factor 20.

#### **IV.2.5. Determinación de densidad por índice de flotación (DIF)**

De forma similar al apartado anterior se procede a determinar la densidad por índice de flotación. Esto consiste en colocar en un vaso de precipitado de 100 ml de capacidad, al que se le han adicionado 50 ml de agua destilada, cien piezas o semillas de las variedades de Opuntias, tomadas al azar. Se agitan de forma circular por unos treinta segundos y se deja en reposo por otros sesenta segundos. Al término se cuentan los granos o número de semillas que quedan flotando en la superficie del agua contenida en el vaso.

#### **IV.2.6. Determinación de dureza por abrasión (DPA)**

Se escogen unos diez granos o semillas de cada variedad y cada semilla es desplazada ejerciendo la presión de los dedos por cinco veces a lo largo (23 cm.) de un papel de lija N° 100. Cada grano o semilla es pesado inicialmente y posteriormente después del desplazamiento a lo largo de la lija. La dureza por abrasión de esta forma se expresa como porcentaje de peso perdido y se calcula a partir de:

$$DPA = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100 \quad \text{Ec. 4}$$

donde:

P<sub>i</sub>= Peso inicial de cada grano o semilla (g)

P<sub>f</sub>= Peso final luego de pasar 5 veces por el papel de lija (g)

#### **IV.2.7. Determinación de volumen unitario (VU)**

El volumen de cada variedad de semilla fue determinado por mediciones del largo, ancho y alto (tridimensional) con ayuda de un Vernier y expresando los resultados en mm<sup>3</sup>.

#### **IV.3. Análisis proximal**

Las fracciones requeridas ya en polvo fino, se sometieron a las siguientes determinaciones de caracterización fisicoquímicas como evaluación en análisis proximal:

- Contenidos de grasas totales: método de extracción en equipo Soxhlet (AOAC, Vol. II, 1995).

- Contenido de proteínas: método Kjeldahl para determinación de nitrógeno (AOAC, Vol. II, 1995).
- Contenido de carbohidratos totales: método de cálculo por diferencia (Pere, 1999; Blanco *et al.*; 2000).
- Contenido de azúcares: método de azúcares reductores totales, directos y sacarosa (Odón *et Tirso*, 1985; BOE, 1988).
- Contenido de fibras totales o fibra bruta y contenido de fibras solubles e insolubles (AOAC, Vol. II, 1995).
- Contenidos de elementos metálicos: sodio, potasio, calcio, magnesio, hierro, y zinc: método de espectroscopia de absorción y/o emisión atómica, posterior a una mineralización total (AOAC, Vol. II, 1995).

#### IV.3.1. Determinación de grasas

La extracción de sustancias grasas de una muestra se lleva a cabo por calentamiento continuo a reflujo con solventes como el éter etílico o éter de petróleo, así por medio de la volatilización y condensación del éter sobre la muestra se produce un lavado continuo logrando extraer todo el material soluble en él. Para esta determinación se utilizaron 5g de muestra seca y éter etílico anhidro como solvente, basándose en el procedimiento Soxhlet 920.39 AOAC (Vol. I, 1999). El periodo de extracción fue de 4 horas. Se determinó el porcentaje de grasas con la fórmula siguiente:

$$\% \text{ Grasa} = \frac{P_1 - P_2}{m} \times 100 \quad \text{Ec. 5}$$

donde:

$P_1$  = peso del matraz después de la extracción (g)

$P_2$  = peso del matraz antes de la extracción (g)

$m$  = peso de la muestra (g)

#### **IV.3.2. Determinación de proteínas**

El método empleado fue el 46.10 de la AACC (2001) por medio del método Kjeldahl. La muestra de 0.2g con 0.7g de sulfato de potasio y 0.1g de sulfato de cobre se sometió a una digestión con 20mL de ácido sulfúrico concentrado en un digestor Kjeldahl 80 ESEVE, esta reacción convirtió el nitrógeno orgánico e inorgánico en nitrógeno amoniacal. Después de 4 horas de digestión, cuando las muestras tenían un color transparente se sacaron. Fue necesario adicionar 60mL de agua destilada aproximadamente a cada muestra par evitar que el sulfato de cobre precipitara. La destilación se llevó a cabo en un destilador utilizando NaOH al 30% para que el amoniaco se liberar. Se destiló la muestra utilizando 50mL de solución de ácido bórico para recibir el destilado. Posteriormente se tituló con  $H_2SO_4$  0.13M que en forma indirecta es proporcional al contenido de nitrógeno. Se obtuvo el contenido de proteína empleando la fórmula que a continuación se muestra:

$$\% \text{ Proteína} = \frac{V \times N \times PM \times 100 \times f}{1000 \times P_o} \quad \text{Ec. 6}$$

donde:

V = volumen gastado de ácido

N = normalidad del ácido

PM= peso molecular del nitrógeno 14.007 g/mol

f = factor de conversión

P<sub>o</sub> = peso de la muestra

#### **IV.3.3. Determinación de carbohidratos**

Se obtuvo el contenido de estos constituyentes por diferencia de porcentajes de todos los constituyentes con respecto al cien por ciento.

$$\% \text{ CHT} = 100 - \sum A \quad \text{Ec. 7}$$

donde:

CHT= Carbohidratos totales

$\sum A$  = Suma de los porcentajes obtenidos de humedad, cenizas, grasa, proteína y fibra dietética total

Paralelamente algunos autores señalan (Blanco *et al.*, 2000) la posibilidad de estimar de forma aproximada los contenidos en los porcentajes de almidones totales a partir del cálculo de:

$$\% \text{Almidones totales} = \% \text{CHT} - \% \text{ART} \quad \text{Ec. 8}$$

donde:

CHT= Carbohidratos totales

ART= Azúcares reductores totales

#### **IV.3.4. Determinación de azúcares**

Se utilizó la técnica de azúcares de reducción (método de Schoorl), reconocida y aprobada actualmente por la AAFCO bajo el método 80-68 (AAFCO, 1999). El método de Schoorl mide la cantidad de azúcares de reducción totales (ART) basado en el principio de reacción con el reactivo Fehling A y B, siguiendo el procedimiento descrito, y se procede a los cálculos a partir de la expresión:

$$\% \text{ART} = \frac{250.100.98.\text{mgART}}{200.Va.1000.P} \quad \text{Ec. 9}$$

donde:

200 = ml para la ejecución del análisis

250 = ml de aforo

Va = Volumen de alícuota para la valoración en ml

mg ART = mg de azúcares reductores totales encontrados por tabla

P = Peso de muestra en gramos

1000 = conversión de gramos a miligramos

#### **IV.3.5. Determinación de fibras totales**

Para la determinación de fibra fue necesario con las muestras desengrasadas. La determinación se llevó a cabo bajo las condiciones del método 962.09 AOAC (Vol. II, 1995). Con este método se determinó como fibra dietética total, la pérdida de peso por incineración que experimentó el residuo seco remanente después de la digestión de la muestra en un equipo de digestión, con soluciones de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 1.25% y NaOH al 1.25%. La formula utilizada para obtener el porcentaje de fibra fue la siguiente:

$$\% \text{ Fibra} = \frac{P_1 - P_2}{m} \times 100 \quad \text{Ec. 10}$$

donde:

$P_1$  = peso del crisol con residuo después del secado (g)

$P_2$  = peso del crisol con residuo después del calcinado (g)

m = peso de la muestra (g)

#### **IV.3.6. Determinación del contenido de metales**

Los minerales a determinar serán: calcio, potasio, sodio, magnesio, zinc, aluminio, cadmio, cromo, plomo, mercurio y arsénico. Se realiza una digestión de 0.5g de muestra seca con 10ml de ácido nítrico en un horno de microondas, con control de temperatura a 200°C y 300 Psi de presión, utilizando 10 minutos de calentamiento. La materia orgánica es degradada por oxidación quedando finalmente una matriz de ácido nítrico. Posteriormente el ácido nítrico que disolvió todos los metales al atacar la muestra con él a alta temperatura y presión, así todos los metales pasan a la disolución. Las determinaciones de elementos metálicos se realizó por espectroscopía de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente (ICP) en un equipo de la Perkim Elmer modelo Óptima 3000XL.



#### ***IV.4. Análisis y distribución del tamaño de partículas***

Se analizó además, la distribución y tamaño de partículas de almidones contenidos en las cinco variedades de semillas mediante una separación, previa molienda y suspensión en agua fría y posterior centrifugación; los sólidos sedimentados (almidones no solubles en agua fría) se resuspendieron en agua desionizada y se llevaron a un equipo analizador de tamaño de partículas por difracción de rayos láser LS 13-320 de la Beckman Coulter (Prieto *et al.*, 2005).

#### **IV.5. Análisis por microscopía electrónica de barrido**

Además se evaluó la morfología de las partículas mediante microscopía electrónica de barrido (MEB), en un equipo de la firma Jeol, modelo JSM-6300. Las muestras de semillas fueron cortadas en dirección perpendicular a su plano y en dirección transversal, en tres réplicas por cada variedad; fracciones del endospermo extraído a una parte de ellas fueron llevadas a polvo en morteros de ágata, suspendidas en alcohol y separadas por centrifugación. Tanto los cortes de semillas como las fracciones en polvo, fueron colocadas en portamuestra y recubiertas previamente con oro en un equipo de metalización por evaporación marca DESK II. El recubrimiento se realizó bajo vacío de 20 mTorr y corriente de 20 mA por espacio de 1 minuto. Se trabajó la MEB a 2.5 kV y a iguales distancias de trabajo y 2000X aumentos.

#### **IV.6. Análisis estadísticos y de correlación**

Para evaluar el grado de asociación entre las características físicas y químicas de las semillas en estudio de cada variedad de Opuntia y de los metales presentes en cada una, se realizó un análisis de regresión lineal, calculándose los coeficientes de correlación respectivos.

Para una evaluación de tipo comparativa, se realizó un análisis con criterios estadísticos mediante el análisis factorial con el método de extracción de componentes principales (ACP) de las variables fisicoquímicas de las semillas según variedades. Los análisis se realizaron utilizando el paquete estadístico SPSS (por sus siglas en Inglés, Software Products Statistic System) versión 10.0 para Windows (SPSS Inc. SPSS, 1999). Para el análisis e interpretación de resultados se empleó el método de estadística multivariante, que permite extraer información no asequible a primera vista, encontrando las relaciones no aparentes entre objetos y variables, así como clasificar los objetos en clases de acuerdo a su origen, naturaleza o cualquier otro criterio.

Las variables empleadas son de naturaleza diferente, lo cual implica diferencias en el tipo de escala así como en el orden de magnitud de los elementos, correspondientes a cada objeto. En este caso se pueden producir efectos no deseados, ya que las variables de mayor magnitud tendrán un peso superior y en muchos casos injustificado en el resultado final. Por ello es conveniente transformar o normalizar las variables antes de llevar a cabo el ACP para compensar esos efectos. La

transformación se llevó a cabo por logaritmo base 10, dado que los valores de las variables de estudio no mostraban una matriz simétrica.

## V. Resultados y discusión

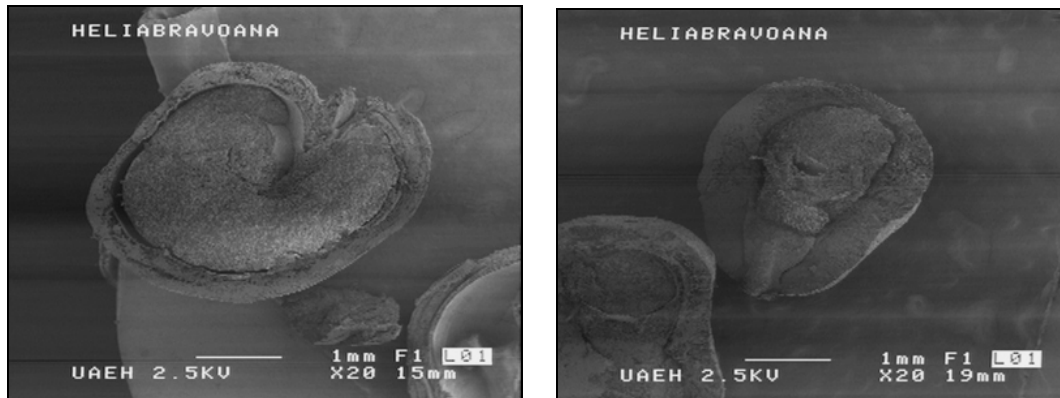
### V.1. Resultados de los análisis físicos

Los primeros resultados de los análisis físicos se obtuvieron por observación visual al microscopio al evaluar las semillas de cada variedad de Opuntias, secadas y limpias (figura V.1), en un corte longitudinal y un corte transversal. Así se obtuvo un criterio de evaluación del tamaño de las semillas, espesor de sus pericarpios y el endospermo.



Figura V.1. Fotografía de las semilla de Opuntias.

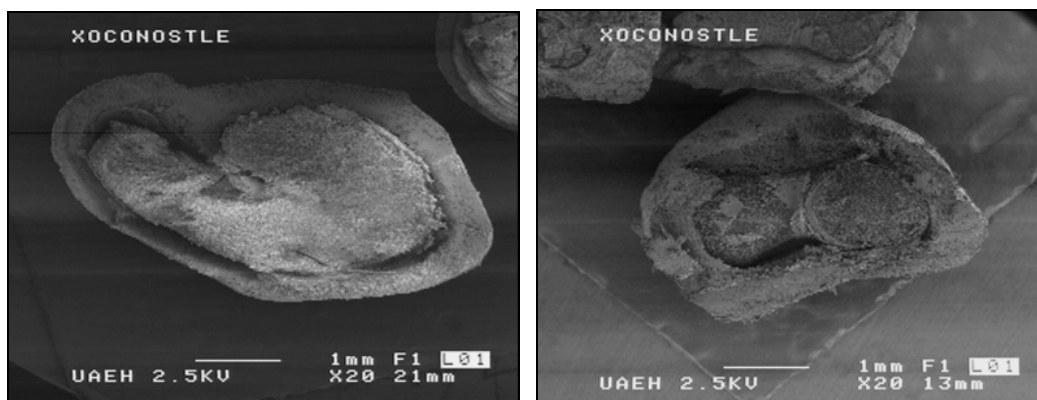
En las figuras V.2 a la V.6 se pueden apreciar las microfotografías obtenidas, correspondiendo a las variedades *Opuntia heliabravoana*, *O. x joconostle*, *O. ficus-indica*, *O. matudae* y *Cylindropuntia imbricata*, respectivamente y las figuras a) corresponden a la vista del corte longitudinal y las figuras b) al corte transversal.



a)

b)

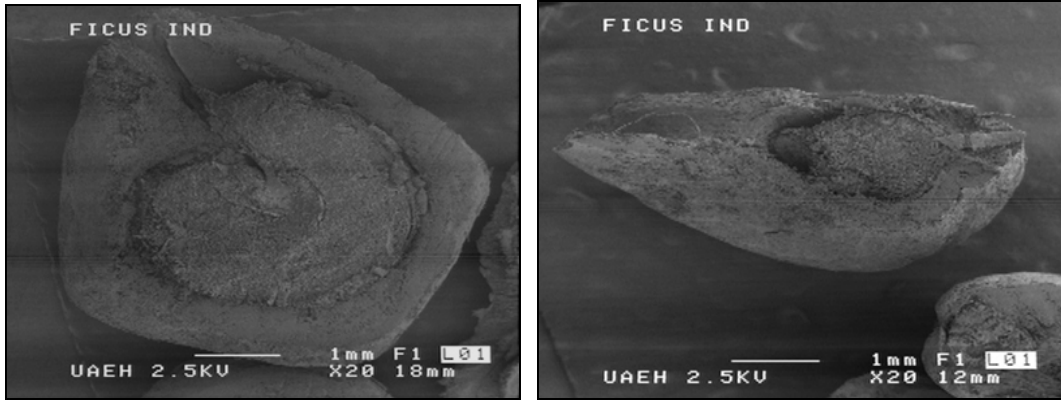
Figura V.2. Microfotografía de la semilla de *O. heliabravoana* a) Corte longitudinal y b) Corte transversal



a)

b)

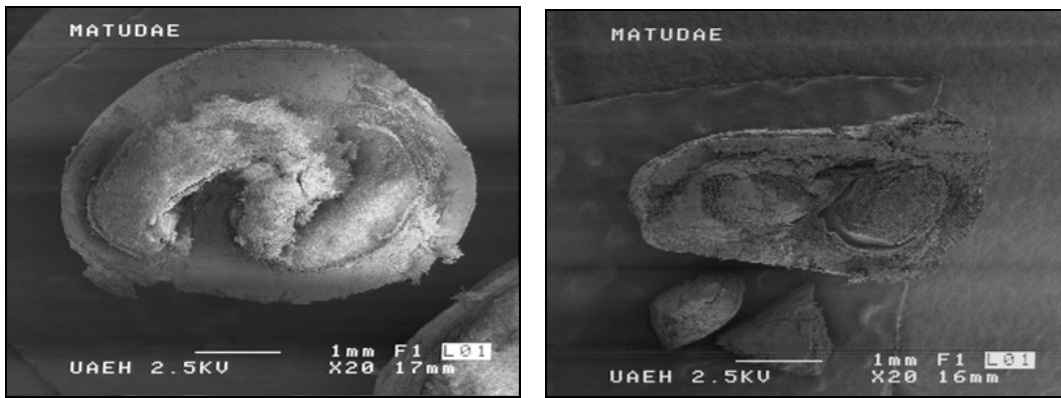
Figura V.3. Microfotografía de la semilla de *O. joconostle*. a) Corte longitudinal y b) Corte transversal



a)

b)

Figura V.4. Microfotografía de la semilla de *O. Ficus*. a) Corte longitudinal y b) Corte transversal



a)

b)

Figura V.5 Microfotografía de la semilla de *O. matudae*. a) Corte longitudinal y b) Corte transversal

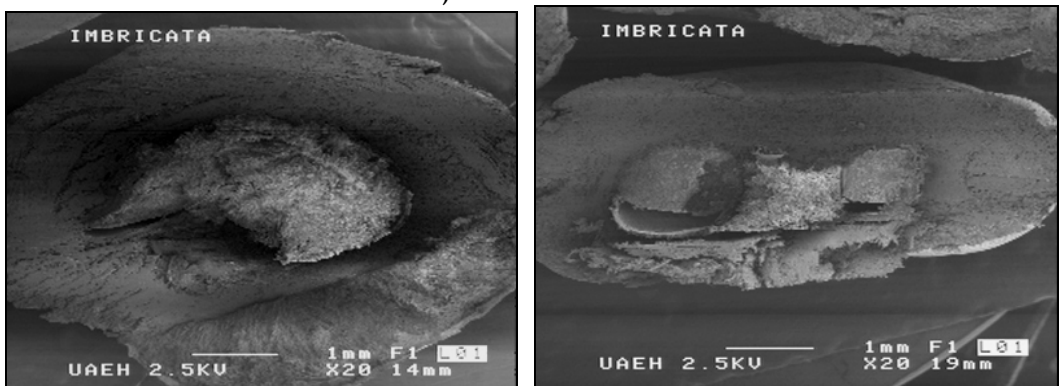


Figura V.6. Microfotografía de la semilla de *C. imbricata*. a) Corte longitudinal y b) Corte transversal

Como se aprecia en cuanto a las dimensiones y tamaño en el corte longitudinal, la semilla más grande es la de la variedad *C. imbricata*,

seguidas en orden decreciente por las variedades *O. Ficus*, *O. xoconostle*, *O. matudae* y *O. helabravoana*. Por su parte, el espesor del pericarpio (cáscara) es más grueso en la variedad *C. imbricata*, seguido en orden igualmente decreciente de las variedades *O. Ficus*, *O. matudae*, *O. xoconostle* y *O. helabravoana*. Se puede notar que al mismo tiempo, el pericarpio más rugoso y de apariencia más fibroso corresponde también al de la variedad *C. imbricata*. Esto puede ser indicativo de ser una semilla relativamente blanda. Así mismo de la observación de los endospermos, se puede hacer notar que esta variedad presenta poco volumen y no muy compacto, lo cual indicaría poco peso específico.

Desde el punto de vista físico son diferentes en sus formas, sobretodo si se observan los cortes longitudinales (figuras a). Esto puede ser una contribución a los métodos de clasificación taxonómica de las variedades.

Por su parte la variedad *O. heliabravoana* siendo la más pequeña muestra un endospermo relativamente voluminoso y compacto lo que deberá representar un elevado peso específico.

### **V.1.1. Densidad, dureza y volumen de semillas**

Los resultados de los análisis de caracterización física se muestran en la tabla V.1. Podemos apreciar que los mayores valores de densidad por peso hectolitro (DPH) se encuentran en la variedad *O. heliabravoana* y se corresponde con los valores de mayor dureza o resistencia a la

abrasión, así como el menor volumen de la semilla, en correspondencia con lo observado en las macrofotografías.

**Tabla V.1. Evaluación de parámetros físicos de los granos o semillas de las cinco variedades de Opuntias en estudio. Desviación estándar de las mediciones y % de Coeficiente de variabilidad.**

Variedad	DPH	DPMG	DIF	DzaA	Vol
<b><i>O. heliabravoana</i></b>					
Media	65.29	17.03	14.80	15.93	12.13
Desv. Est.	8.48	0.25	1.88	1.24	1.08
% CV	1.30	1.48	12.72	10.83	8.89
<b><i>O. xocconostle</i></b>					
Media	64.22	29.19	16.80	7.42	19.16
Desv. Est.	9.09	1.33	0.99	1.02	0.99
% CV	1.42	4.55	14.61	13.71	5.14
<b><i>O. Ficus</i></b>					
Media	54.97	13.43	23.21	7.59	28.70
Desv. Est.	1.33	0.05	2.02	0.40	3.26
% CV	4.77	6.89	8.71	5.31	11.36
<b><i>O. matudae</i></b>					
Media	64.05	25.446	18.20	15.46	17.90
Desv. Est.	12.302	0.237	6.40	4.76	1.90
% CV	1.92	0.93	8.48	9.85	10.66
<b><i>C. imbricata</i></b>					
Media	55.51	25.478	49.60	11.64	31.20
Desv. Est.	5.597	1.321	4.63	2.75	4.50
% CV	1.01	3.72	9.34	13.65	14.39

**DPH:** Densidad Peso Hectolitro (kg/HL)

**DPMG:** Densidad peso mil granos (g/1000 granos)

**DIF:** Densidad por índice de flotación (% granos flotantes)

**DzaA:** Dureza por abrasión (% peso perdido por abrasión)

**Vol:** Volumen del rano (mm<sup>3</sup>)



Esto es indicativo que en efecto, su estructura es más sólida y compacta, lo que sugiere la idea además de que es poco porosa. Por otra parte, la variedad *O. xoconostle* presentó el mayor valor de densidad por peso de mil granos (DPMG) y se corresponde a la menor resistencia a la abrasión y a la menor densidad por índice de flotación (DIF), esto indica que sus semillas son más blandas, más pesadas en sus masas relativas y poco porosas dado el bajo valor de la DIF.

La variedad *O. Ficus Ind.* es la menos pesada (bajos valores de DPH y DPMG), es blanda y aparentemente es de las más porosas de todas las variedades estudiadas y una de las de mayor volumen relativo.

Con relación a la DPH se puede señalar que las variedades estudiadas *O. heliabravoana*, *O. xoconostle* y *O. matudae* resultaron similares, con valores superiores a 64.0 kg/HL en tanto las variedades *O. ficus indica* y *C. imbricata* presentaron valores de 55.0 kg/HL aproximadamente. En México no existe una norma que establezca un valor relativo para estos parámetros en estas semillas, pero si se compara con lo establecido por la NMX-FF-043-SCFI-2003 para los granos de cebada de seis hileras y que es de 56 kg/HL, se puede inferir que se encuentran dentro de los rangos admisibles.

En cuanto a DPMG las variedades *O. xoconostle*, *C. imbricata* y *O. matudae* presentaron valores a 25-30 g/1000 granos y las dos restantes, con valores menores de 15-20 g/1000 granos. El peso mil granos en la cebada suele variar de 20-50 g según criterios de algunos autores (Tscheuschner, 2001); en general para muchos granos y semillas estos son valores normales, en este caso los valores de DPMG encontrados

en las variedades de las semillas en estudio resultan ligeramente más bajos.

Un valor menor del índice de flotación (DIF) indica que en el endospermo de las semillas existen menos poros de aire o huecos, lo cual las hace más compactas y sólidas y esto, ayuda a disminuir el número de granos flotantes (Sharp, 1997). Este es el caso de la variedad *O. heliabravoana*.

Una gráfica comparativa de los valores de DPH y DPMG se indica en la figura V.7.a, en la que se puede apreciar la relación o correspondencia antes mencionada.

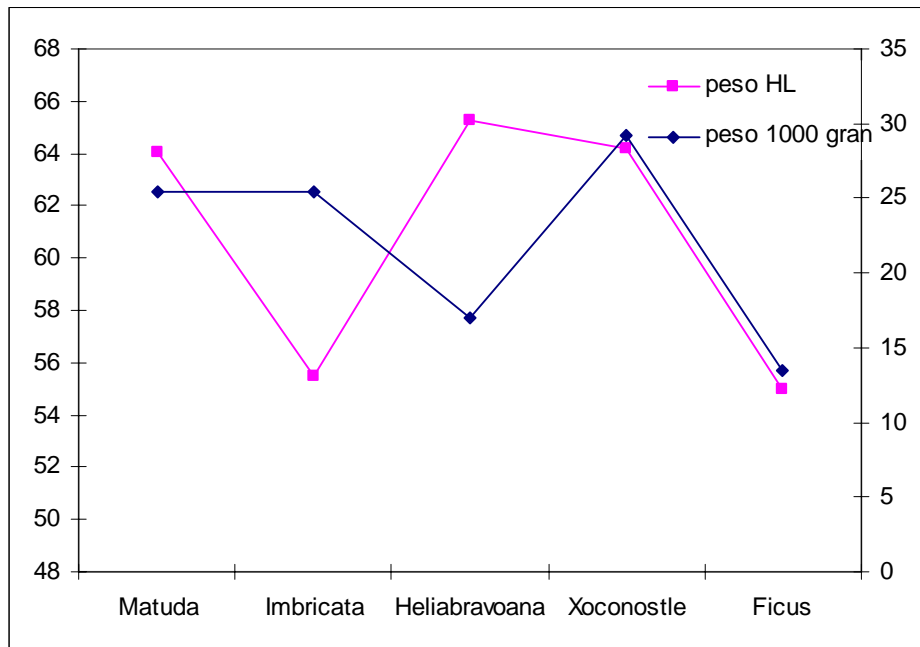


Figura V.7. a) Gráfica comparativa de los valores de densidad de las variedades de semillas medidas por DPH vs DPMG.

Así mismo se muestra la relación entre DPH y DIF (figura V.7.b).

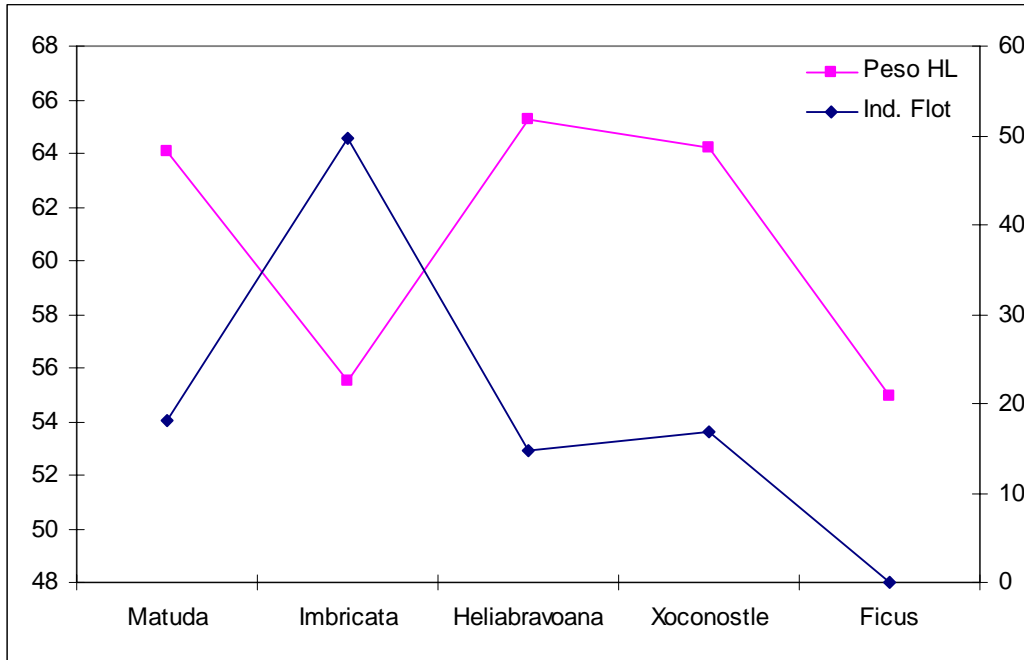


Figura V.7. b) Gráfica comparativa de los valores de densidad de las variedades de semillas medidas por DPH vs DIF

## V.2. Resultados del análisis proximal

El análisis proximal o sistema analítico Weende se emplea en todo el mundo para hacer descripciones de los alimentos y conocer sus componentes químicos mayoritarios (Matissek *et al*, 1998). En este trabajo se utiliza este sistema sobre la base de que es importante saber la composición de macro nutrientes de las semillas de Opuntias, que permitan alcanzar un posible uso o aplicación en alimentos.

### V.2.1. Resultados de humedad, cenizas, grasas, fibra bruta, proteína y carbohidratos.

Con respecto a los resultados de los análisis proximales, se muestran en la tabla V.2. Los resultados de carbohidratos totales (% CHT) fueron obtenidos por diferencia a partir de la ecuación 7 (Pere, 1999; Blanco *et al.*, 2000). Paralelamente algunos autores (Blanco *et al.*, 2000) señalan la posibilidad de estimar de forma aproximada los contenidos en los porcentajes de almidones totales a partir del cálculo de la ecuación 8.

Sobre los resultados de los análisis proximales, se puede apreciar en la tabla V.2 que las cinco variedades presentan niveles similares en humedad (entre 1.92-4.09%) y contenido de cenizas (entre 0.92-1.03%), este último parámetro asociado a los niveles de metales que pueden contener. Las variedades estudiadas, al tener un contenido de humedad muy bajos, implican que pueden ser menos propensas a deteriorarse.

Tabla V.2. Resultados de los análisis proximales. Entre paréntesis se muestran los resultados de la desviación estándar.

Cultivo	% Humedad	% Cenizas	% de Grasa	% F brut tot	% de Prot	%CH
<i>O. Matudae</i>	3.01 (0.52)	0.92 (0.07)	10.39 (0.33)	3.47 (0.13)	1.69 (0.11)	79.51 (0.37)
<i>C. Imbricata</i>	1.92 (0.14)	0.98 (0.10)	10.78 (0.74)	3.52 (0.37)	0.55 (0.08)	82.25 (1.06)
<i>O. Heliabrav</i>	3.97 (0.02)	0.95 (0.06)	16.99 (0.57)	3.02 (0.11)	2.10 (0.09)	72.97 (0.80)
<i>O. Xoonostle</i>	4.09 (0.19)	1.03 (0.11)	19.24 (0.45)	2.56 (0.22)	0.64 (0.02)	72.62 (0.76)
<i>O. Ficus Ind.</i>	3.55 (0.09)	1.01 (0.08)	17.22 (0.46)	2.66 (0.14)	0.97 (0.01)	74.68 (0.56)

La pequeña variación observada en los contenidos de cenizas (relativamente bajos), como material inorgánico, entre las variedades

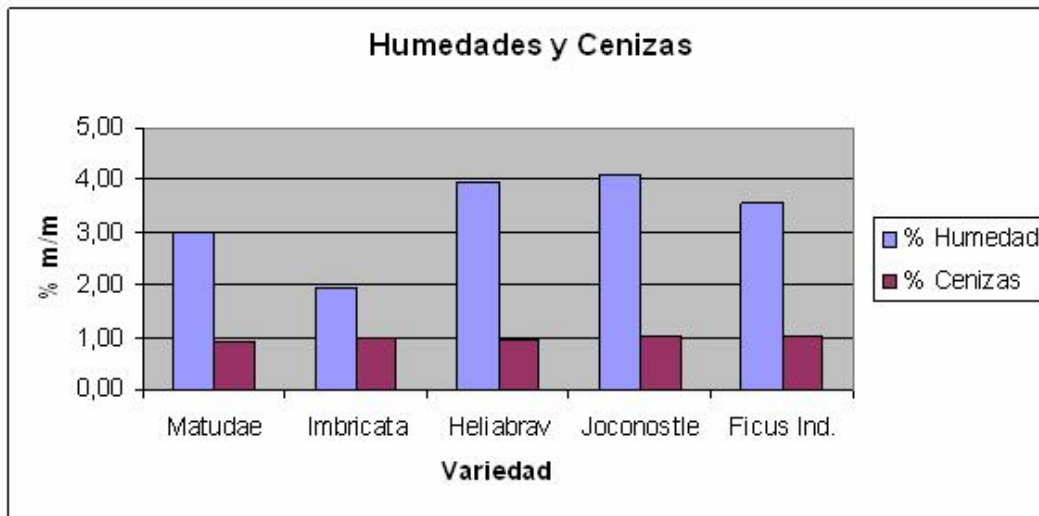
de semillas puede estar influenciada por la composición del suelo en el cual fueron cultivadas cada una de ellas, los fertilizantes utilizados y otros factores ambientales (Dendy *et* Dobraszczyk, 2004; Serna, 2001).

Así mismo, los contenidos en fibra bruta total y carbohidratos (CH) las hacen similares (entre 2.56-3.52% y 72.62-82.25%, respectivamente). Las cinco variedades presentan significativos porcentajes en grasas, destacándose por los más altos valores la variedad *O. Xocnostle*; esto puede ser indicativo de que por altos contenidos en CH y grasas pudieran servir para elaborar algún complemento alimenticio, siempre y cuando se evalúen los tipos de grasas y no afecten. Por sus bajos contenidos proteicos no serían interesantes como alimento, a menos de que sean enriquecidos.

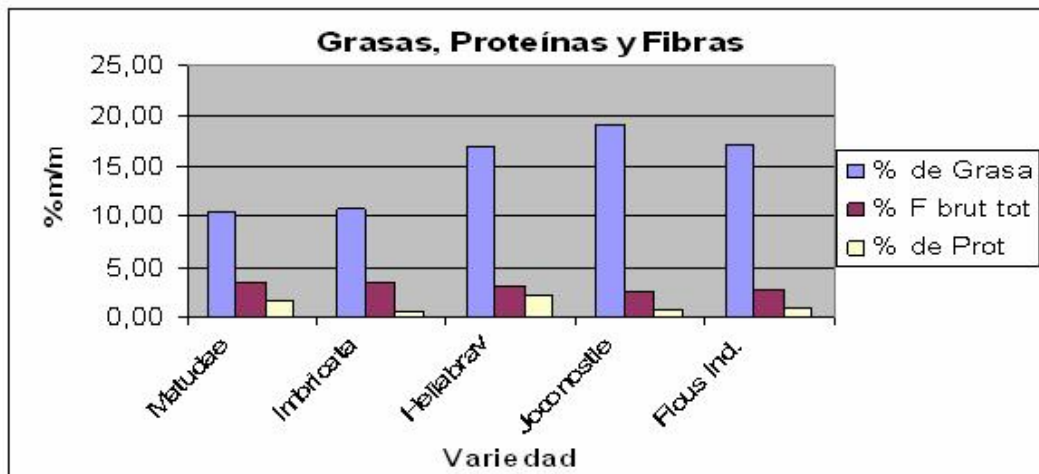
Con respecto a las grasas, algunos autores señalan que los contenidos de lípidos se encuentran presentes principalmente en el germen y la capa de aleurona del grano (Callejo, 2002; Andersson *et al.*, 1999).

De manera gráfica comparativa se muestran los contenidos de humedades y cenizas, así como los contenidos de grasas, proteínas y fibra bruta total (figura V.8. a y b, respectivamente).

Los lípidos presentes en las semillas pueden servir como estabilizadores o desestabilizadores de formadores de espumas; cuando los lípidos están unidos a las proteínas tienden a estabilizar y mejorar la espuma, pero cuando se encuentran libres pueden disminuir la espuma (Hough, 1990).



a)



b)

Figura V.8. Gráfica comparativa de los valores de: a) humedad y cenizas, b) grasas, proteínas y fibras de las variedades de semillas.

Los contenidos de proteínas en las variedades de semillas, varían entre 0.55 y 2.10%, unas 2-6 veces menos que en los granos de cereales; son valores bajos como valor alimentario. Esto es debido a la fuerte

interacción entre el genotipo y las condiciones ambientales que prevalecen durante el desarrollo y maduración del fruto y con ello la semilla.

De los carbohidratos (CH) totales y por los análisis de azúcares reductores y sacarosa, se estimó los contenidos de almidones (Blanco *et al.*, 2000), utilizando la expresión (2). En la tabla V.3 se observan los resultados.

**Tabla V.3. Resultados de los análisis proximales. Azúcares y almidones.**

Cultivo	%CH	% Az Red	% Sacarosa	% Almidones
<i>O. Matudae</i>	79,51 (0.37)	4.25 (0.04)	0.87 (0.01)	74.39 (0.42)
<i>C. Imbricata</i>	82,25 (1.06)	3.52 ((0.10)	0.72 (0.02)	78.01 (1.19)
<i>O. Heliabrav</i>	72.97 (0.80)	3.42 (0.01)	0.7 (0.02)	68.85 (0.83)
<i>O. Xoconostle</i>	72.62 (0.76)	5.3 (0.49)	1.08 (0.07)	66.24 (1.32)
<i>O. Ficus Ind.</i>	74.68 (0.56)	4.16 (0.13)	0.85 (0.02)	69.67 (0.71)

La estimación de los contenidos de almidones es admisible por cuanto de manera gráfica se puede observar en la figura V.9. la excelente correlación lineal entre % CH y % de almidones.

Por los contenidos en almidones y azúcares podrían señalarse dos agrupaciones como las reflejadas en la figura anterior; las variedades con más de 75 % de almidones y de carbohidratos (*O. matudae* y *C. imbricata*) y las variedades con contenidos menores de 75% (las restantes).

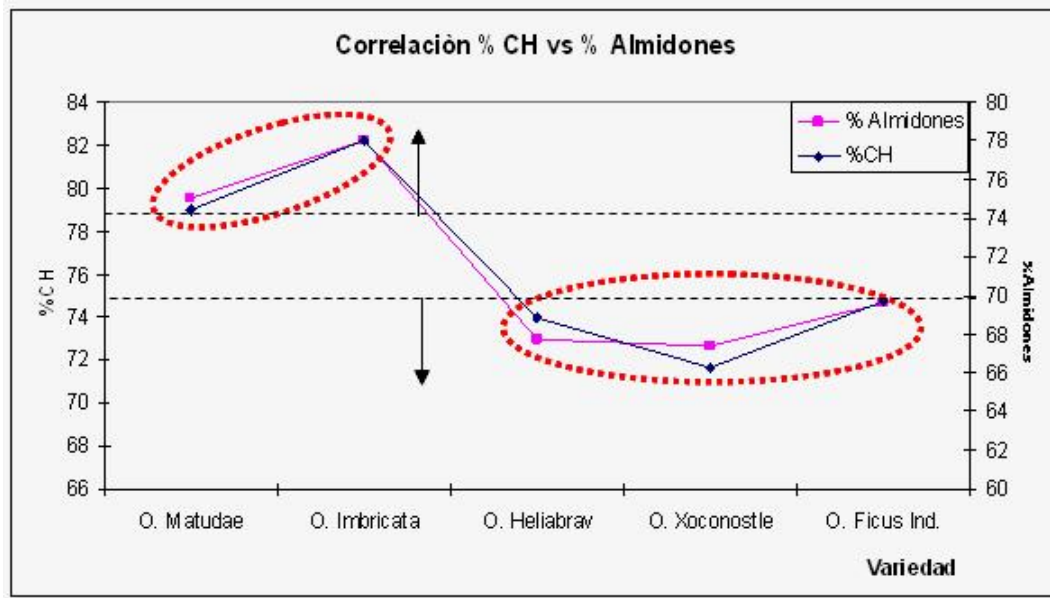


Figura V.9. Correlación de contenidos de CH y almidones en variedades de semillas.

Los más altos valores de azúcares y sacarosa los presentó la variedad *O. xoconostle*, lo cual es concurrente con el hecho de que esta variedad se utilice para el consumo fundamentalmente en dulces o elaboración de postres. Son también importantes los contenidos de almidones que se aprecian en las cinco variedades.

## V.2.2. Resultados del análisis de metales

Los resultados de concentraciones totales de metales bioacumulados en las semillas de las cinco variedades estudiadas se muestran en la tabla V.4. Con relación a elementos esenciales como el calcio, magnesio y el potasio, se obtuvo los niveles más elevados como suma de éstos, en las variedades *O. heliabravoana* y *O. ficus ind.* En general estos tres



elementos constituyen entre el 97.15% y 98.50% del total de metales encontrados en las semillas de las cinco variedades evaluadas; todo ello pudiera ser una evidencia de estos cultivos han sido cosechados en suelos calcáreos (predominio de dolomitas) sobre todo en la variedad *O. xoconostle* en la que se obtuvo más bajo calcio con respecto a las otras dos; sus elevados contenidos de magnesio reflejan suelos dolomíticos (Martínez, 2002; NOM, 2000).

Tabla V.4. Contenidos de metales y elementos tóxicos en las semillas estudiadas.

Metales	mg/Kg				
	<i>O. Matudae</i>	<i>C. Imbricata</i>	<i>O. Heliabravoana</i>	<i>O. Joconostle</i>	<i>O. Ficus</i>
Al	5,373	7,187	7,317	5,555	2,484
Cd	<0.0026	<0.0026	<0.0026	<0.0026	<0.0026
Ca	362,950	345,840	809,820	251,490	736,44
Cr	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	8,012
Pb	42,290	45,229	70,791	43,996	21,346
Mg	2096,398	1938,458	2159,458	2990,760	1431,201
K	174,696	265,018	283,228	178,556	239,723
Na	3,294	6,057	4,701	3,314	3,627
Zn	<0.0014	15,496	<0.0014	<0.0014	<0.0014
As	0,652	0,864	1,561	1,259	0,608
Hg	<0.0024	<0.0024	<0.0024	<0.0024	<0.0024
Totales	2685,65	2624,15	3336,88	3474,93	2443,44
% Total	0,27	0,26	0,33	0,35	0,24

El calcio es un elemento esencial para el crecimiento de meristemas y particularmente para el crecimiento y funcionamiento apropiado de los ápices radicales de las plantas. Tiene la función de impedir daños a la membrana celular, evitando el escape de sustancias intracelulares, cumpliendo un papel estructural al mantener la integridad de la membrana (Heppler *et* Wayne, 1985).

El magnesio por otra parte, es absorbido y traslocado en la planta como ión divalente; forma parte del sistema enzimático y activa funciones metabólicas. Es constituyente estructural de las proteínas, sin embargo en este estudio, podría decirse que por los bajos índices de proteínas encontrados en las variedades de semillas evaluadas, no debe estar el magnesio necesariamente vinculado a la estructuración de las mismas, sino tal vez su principal función esté ligada a la evolución de oxígeno en la fotosíntesis (Salisbury *et* Ross, 1992).

Los tipos de suelo donde fueron cultivados estas Opuntias, con seguridad, tienen mayores cantidades de dolomita como fuente de calcio y magnesio que los suelos francamente arenosos en los cuales se suelen cultivar por requerir menores niveles de regadío (Bornemisza, 1982).

En una gráfica a escala se observa el comportamiento de los elementos esenciales y mayoritarios (figura V.10). Destacan los máximos contenidos en magnesio en las semillas de la variedad *xoconostle* en contra posición con los mínimos valores de calcio. Por su parte las semillas de la variedad *O. heliabravoana* presentan los máximos contenidos en calcio y ocupa el segundo lugar en contenidos de magnesio.

Por los contenidos de oligoelementos como el aluminio, el sodio y el zinc, se debe resaltar que este último no fue detectado en ninguna muestra, lo que indica un déficit de este elemento en estos suelos (Peterson *et al.*, 1980; Martínez, 2002). Los contenidos de aluminio y

sodio son comparables con los valores de suelos calcáreos con presencia de arcillas (Richard, 1973).

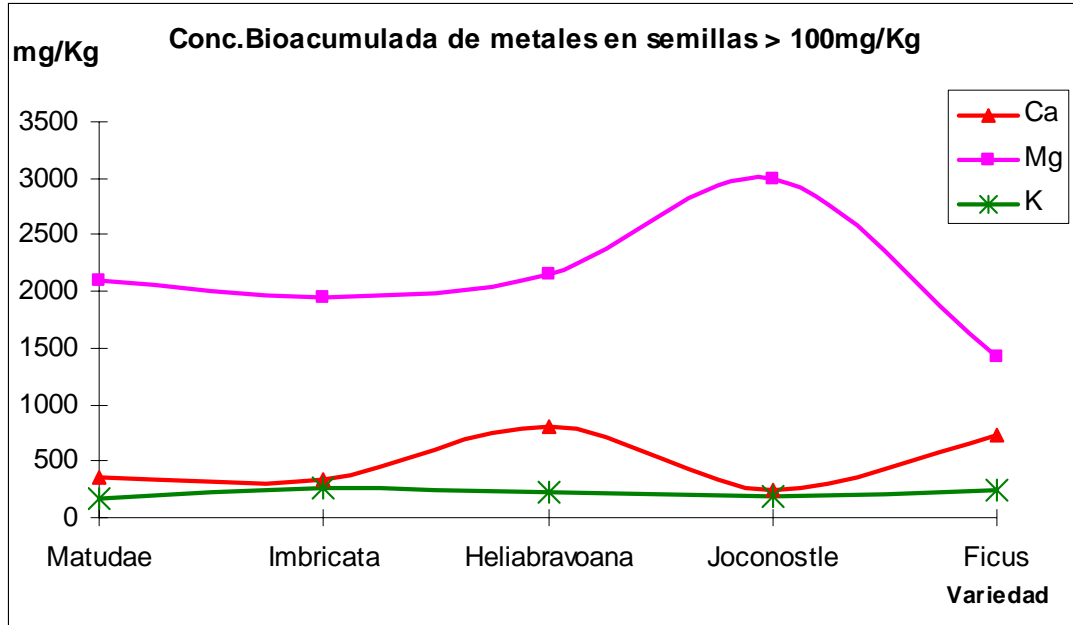


Figura V.10 Gráfica de bioacumulación de metales esenciales en las variedades de semillas.

El sodio estimula el crecimiento a través del alargamiento celular y puede sustituir al potasio como un soluto osmóticamente activo. El potasio es uno de los elementos esenciales en la nutrición de la planta y uno de los tres que se encuentra en pequeñas cantidades en los suelos, limitando el rendimiento de los cultivos. Altas concentraciones de potasio se requieren para la conformación activa de muchas enzimas que participan en el metabolismo. Concentraciones abundantes de potasio son necesarias para neutralizar los aniones solubles y macromoleculares del citoplasma, que tiene pocos cationes orgánicos. De ésta forma contribuye en gran medida con el potencial osmótico (Larcher, 1995). Es por esta razón que el potasio se encuentra en mayor

concentración que el resto de los minerales considerados como oligoelementos en las semillas evaluadas.

Por otra parte, es importante señalar que las plantas pueden acumular elementos traza que son tóxicos, sin embargo, su capacidad de acumulación es limitada, por lo que se consideran como los reservorios intermedios a través de los cuales estos elementos son transferidos desde sus fuentes primarias a otros organismos (Pérez *et al*, 2004).

Se puede observar la ausencia de elementos tóxicos tales como cadmio y mercurio (figura V.11); con referencia al cromo sólo se observó presencia en la variedad *O. ficus Ind.* en valores por debajo de los permitidos en granos de semillas (por ejemplo cereales como el trigo o el sorgo) que tienen alguna función comestible (Serna, 2001).

Con respecto a los contenidos de arsénico debe señalarse que a pesar que en México no existe una normatividad que especifique contenidos permisibles de este elemento en productos con alguna función alimentaria o simplemente en granos o semillas de frutos, puede hacerse referencia a una normatividad Argentina que establece que un grano se considera contaminado con arsénico si sus contenidos rebasan 0.2 mg/kg en base seca (Kabata *et* Pendias, 2000; O'Neill, 1990). Con base a esta norma puede señalarse que en todos los casos los contenidos de As en las semillas de las diferentes variedades, exceden a esta norma en 3 a 7 veces; esto podría ser una invalidante para que a partir de estas semillas pueda elaborarse algún producto alimenticio con valor agregado (Galvao *et* Corey, 1989).

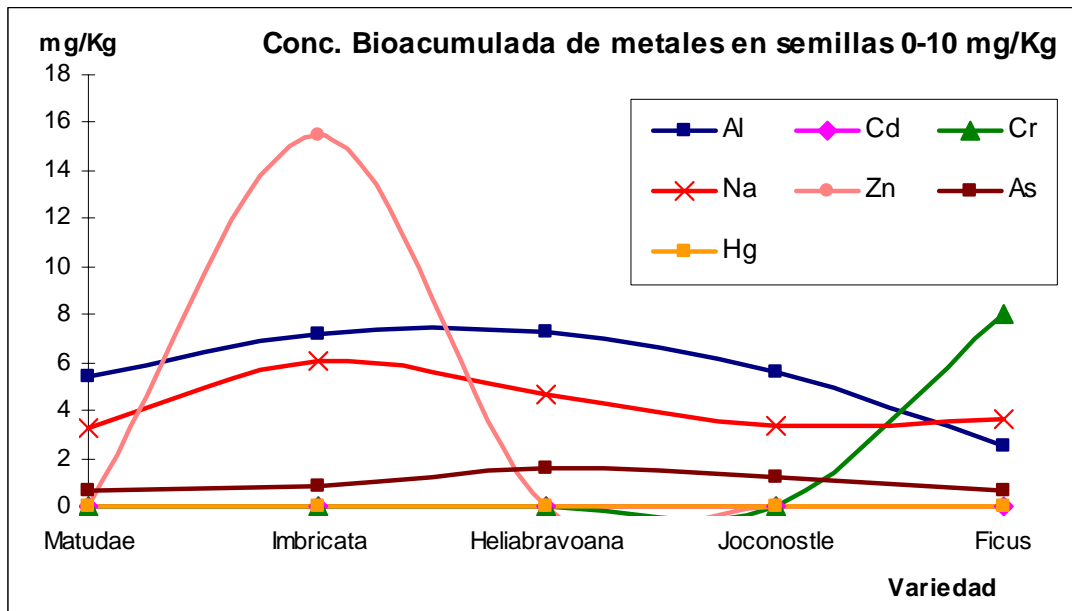


Figura V.11. Gráfica de biacumulación de oligoelementos y metales tóxicos en las variedades de semillas.

Sin embargo los contenidos observados en plomo si se consideran elevados por lo cual es de esperar que en otras partes del fruto (pulpa y corteza) que son consumibles y forman parte de la dieta tradicional mexicana, sean aún más significativos y peligrosos (figura V.12). Las normas mexicanas (NMX-FF-043-SCFI-2003) y la Comisión del Codex Alimentarius fijan como límite máximo 0.05 mg/100g de plomo en general para alimentos (FAO/OMS, 2001) y el límite máximo que marca la Unión Europea en granos de cereales es de 0.02 mg/100 g (tomada de <http://www.mcx.es/plaguicidas/matalpesaUE.asp>).

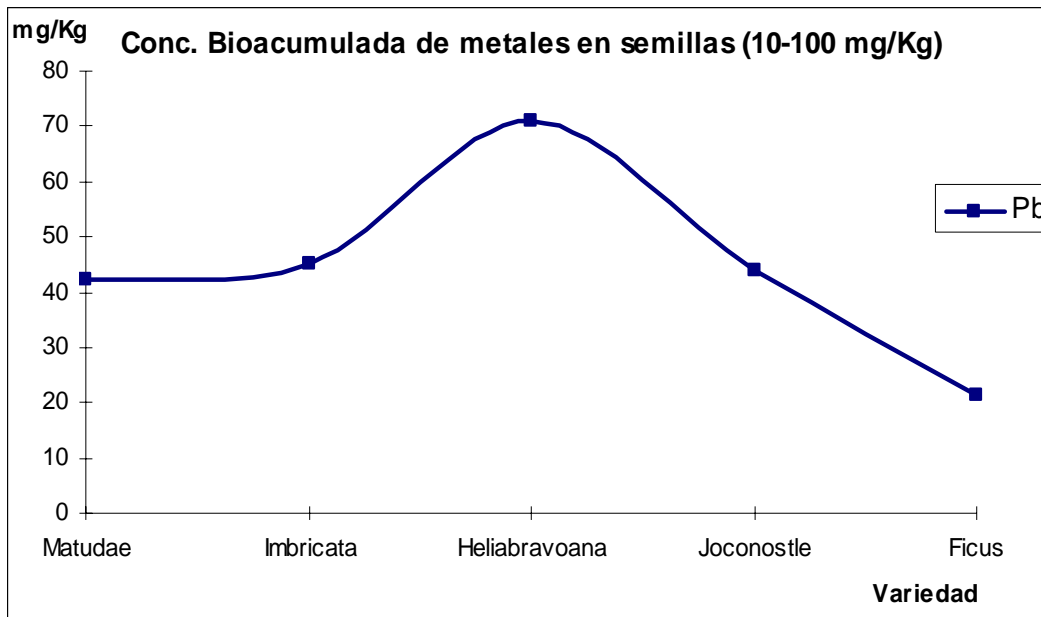
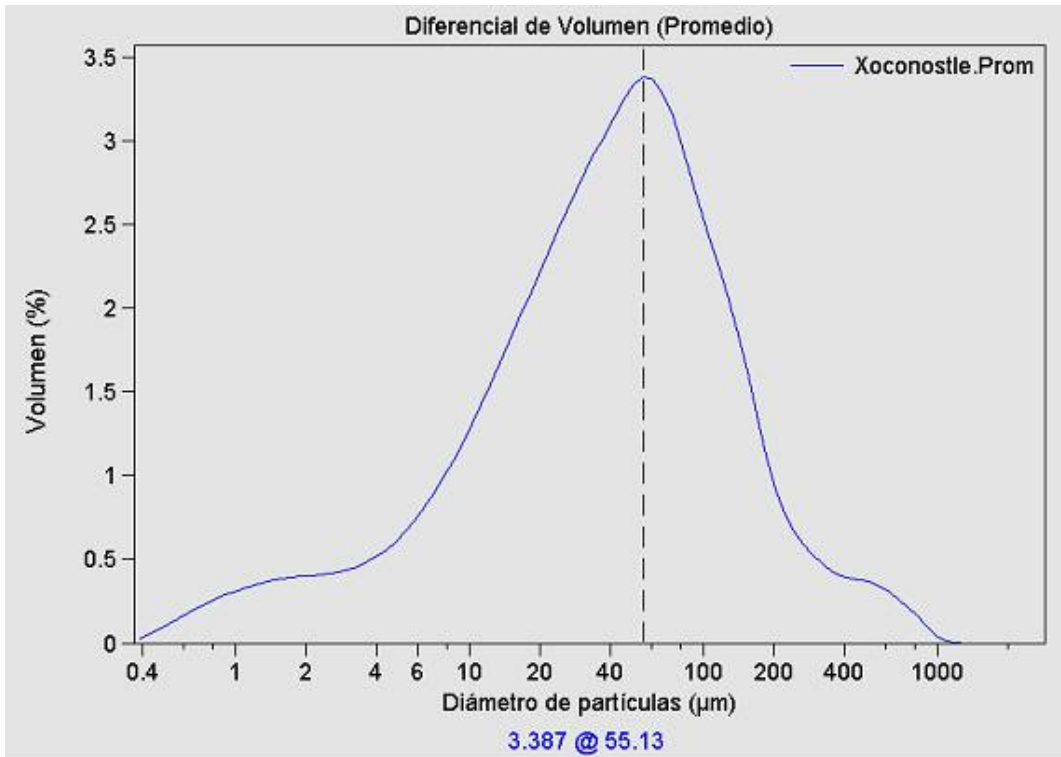


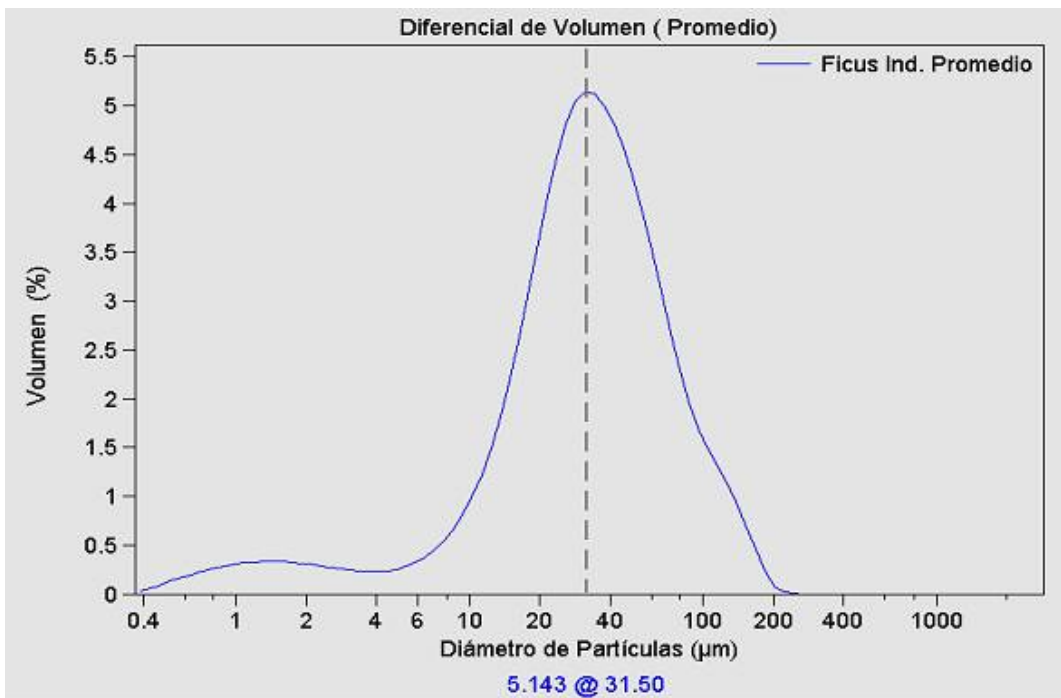
Figura V.11. Gráfica de bioacumulación de plomo en las variedades de semillas.

### V.3. Análisis de tamaño de partículas.

De los resultados del análisis de tamaño y distribución de partículas se puede observar en las figuras V.13 a, b, c, d y e, que resaltan por sus tamaños promedios y que varían entre 23.81 y 55.13  $\mu\text{m}$ . En este sentido se observa que la variedad *O. xoconostle* es la de mayores tamaños y la *O. heliabravoana* la de diámetros más pequeños, sin embargo ambas presentan una gran variabilidad en distribución de tamaños en comparación con la variedad *O. ficus ind.* o la variedad *C. imbricata* (ver también tabla V.5).

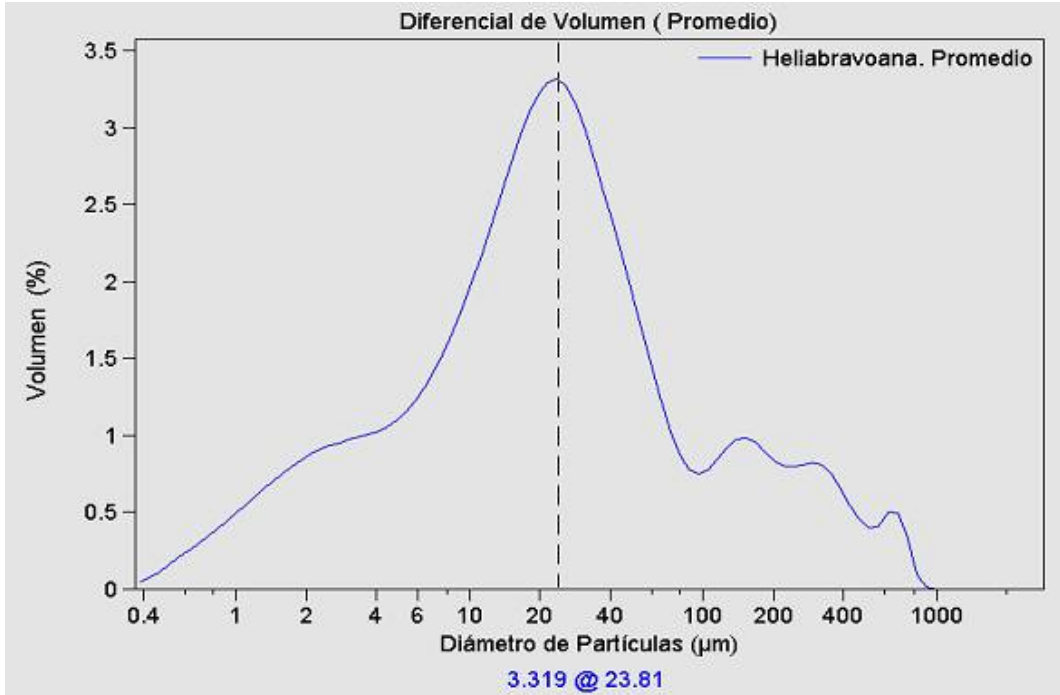


a)

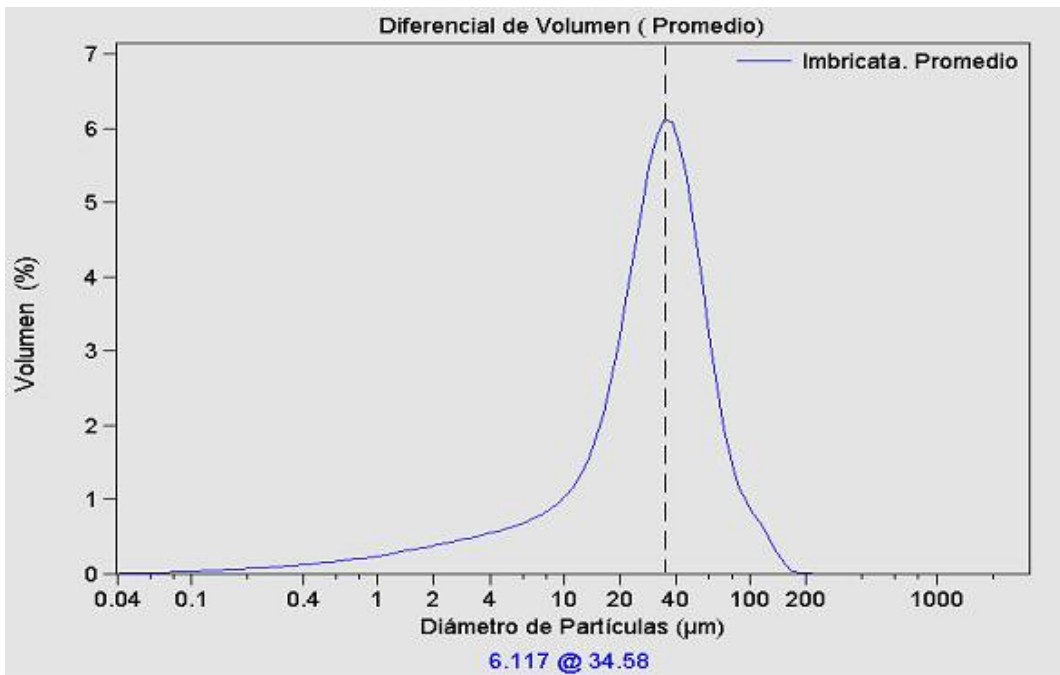


b)

Figura V.13. Distribución y tamaños de partículas. a) *O. xoconostle*, b) *O. ficus*.



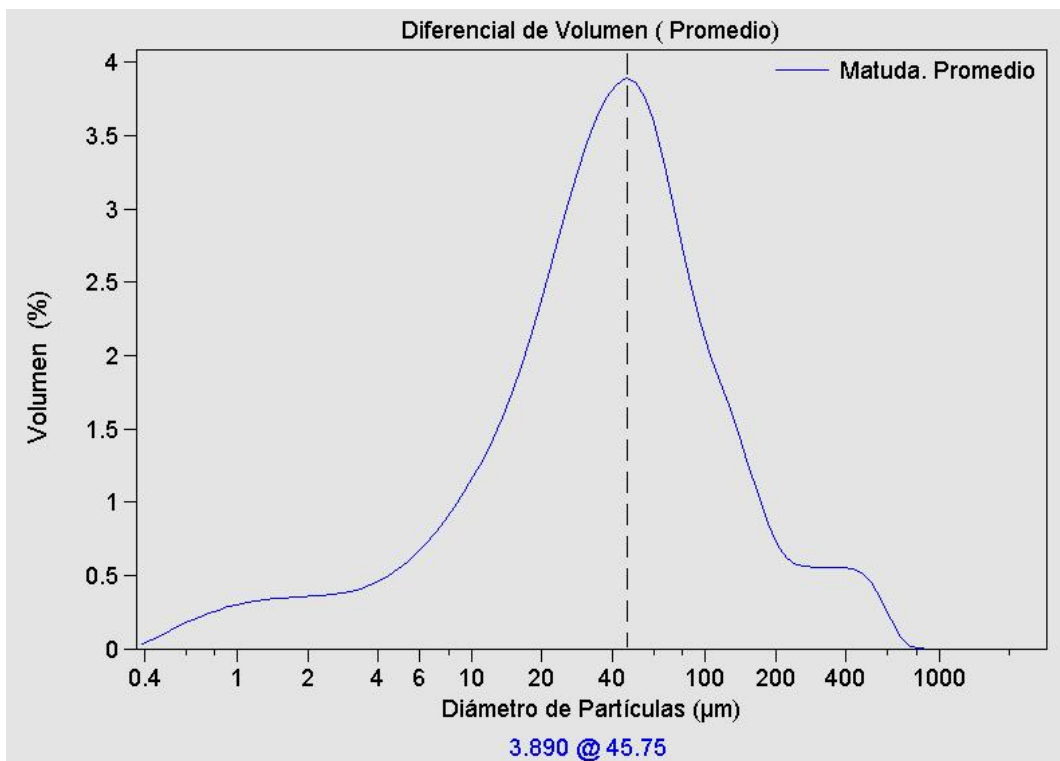
c)



d)

Figura V.13. Distribución y tamaños de partículas. c) *O. heliabravoana*, d) *C. imbricata*





e)

Figura V.13. Distribución y tamaños de partículas, e) *O. matudae*.

Tabla V.5. Distribución y tamaños de partículas promedios.

Tamaños de Partículas				
Cultivo	Tam Part (µm)	%<0.452 (µm)	Desde (µm)	Hasta (µm)
<i>O. heliabrav</i>	23.810	0.540	0.102	863.900
<i>O. xoconost</i>	55.130	0.086	0.412	1143.000
<i>O. ficus ind</i>	31.500	0.092	0.410	234.000
<i>O. matudae</i>	45.750	0.435	0.422	872.500
<i>C. imbricata</i>	34.580	0.099	0.166	189.500

#### V.4. Análisis por Microscopía Electrónica de Barrido.

La morfología de las partículas que se muestran en la figura V.14 a, b, c, d y e, corresponde a las partículas observadas al microscopio en los

cortes longitudinales en las semillas de las especies *O. ficus-indica*, *O. heliabravoana*, *C. imbricata*, *O. xoconostle* y *O. matudae* respectivamente.

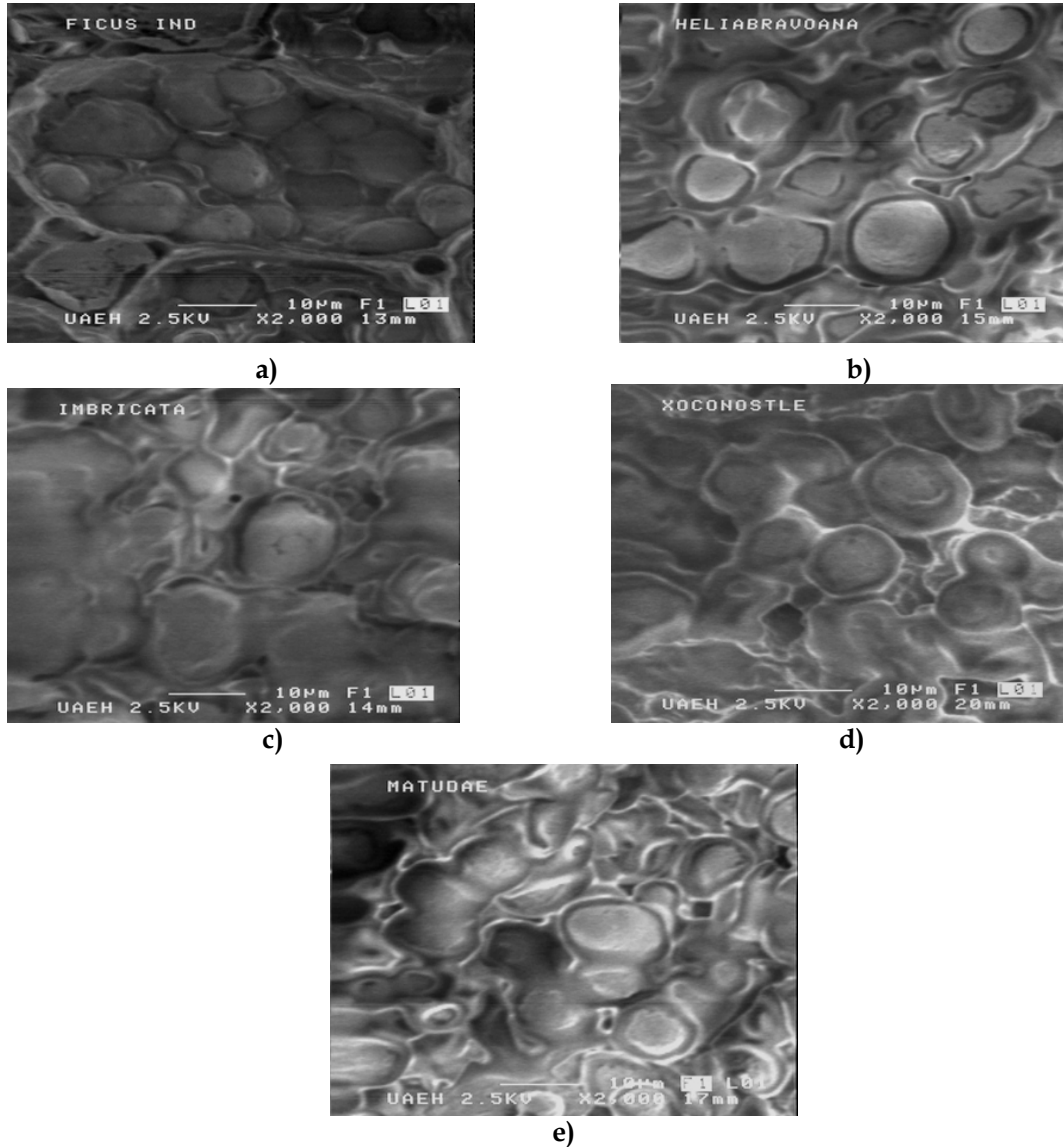
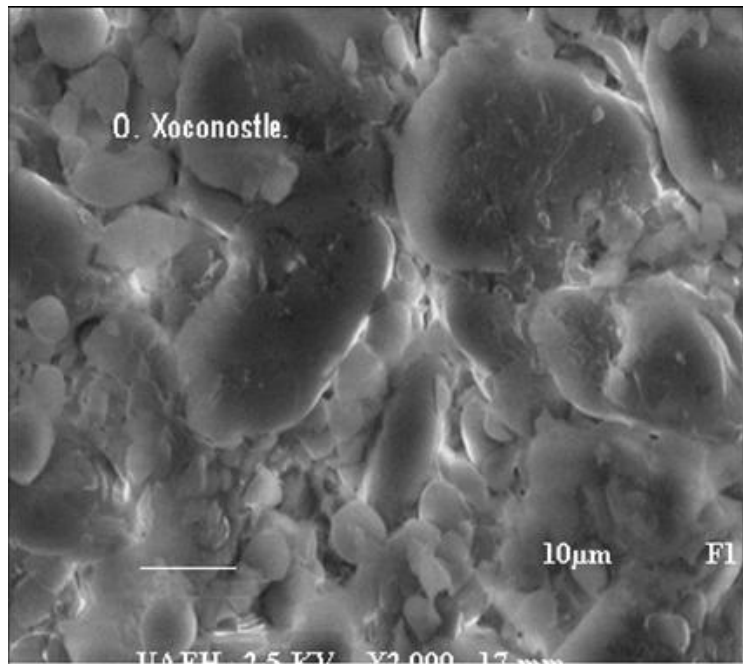


Figura V.14. Morfología del endospermo de las semillas de Opuntias. a) *O. ficus-indica*, b) *O. heliabravoana*, c) *Cylindropuntia imbricata*, d) *O. joconostle* y e) *O. matudae*.

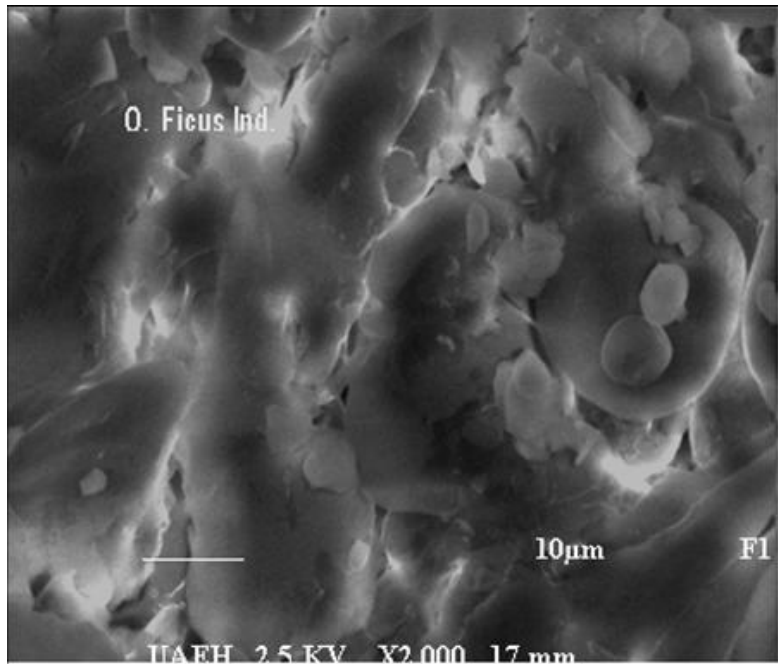
Se puede observar la presencia de gránulos de almidón formando agregados o agrupaciones y todas ellas se asemejan entre sí de alguna manera y que sólo en el caso de la especie de *O. ficus-indica* se puede notar alguna diferencia del resto de las especies.

Al realizar las extracciones de los almidones de cada una de las variedades en evaluación, con agua fría y posterior separación por centrifugación y resuspensión de los almidones en alcohol etílico, se lograron separar de los materiales fibrosos. Los sólidos así separados fueron los analizados en distribución y tamaño de partículas de almidón y posteriormente por MEB. En la figura V.15 a, b, c, d y e, se hacen notar que los tamaños de las partículas de almidón encontrados anteriormente (analizador de distribución y tamaños), son similares a los que señalan las microfotografías.

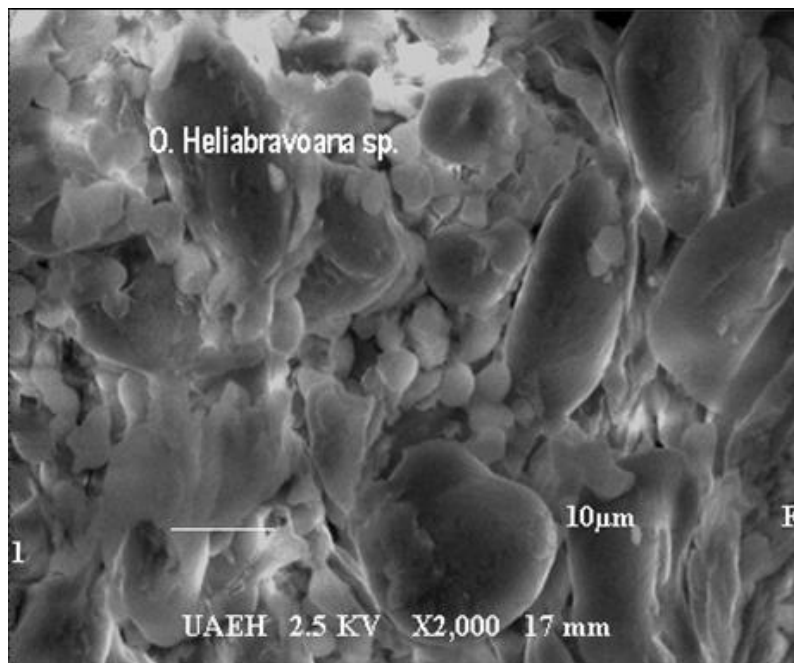


a)

**Figura V.15.** Microfotografía que muestra la morfología de los granulos de almidón contenidos en el endospermo de las semillas en estudio. a) *O. Xoconostle*

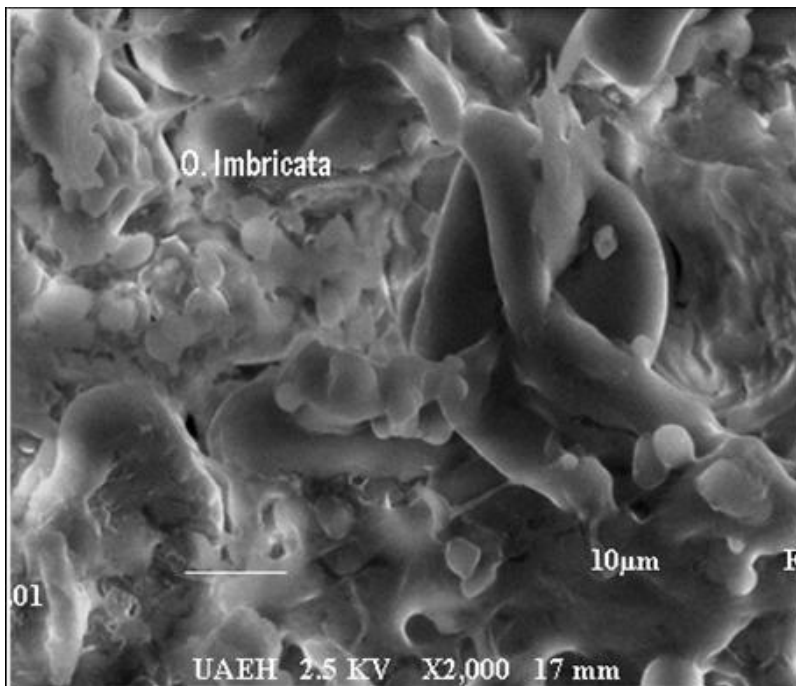


b)

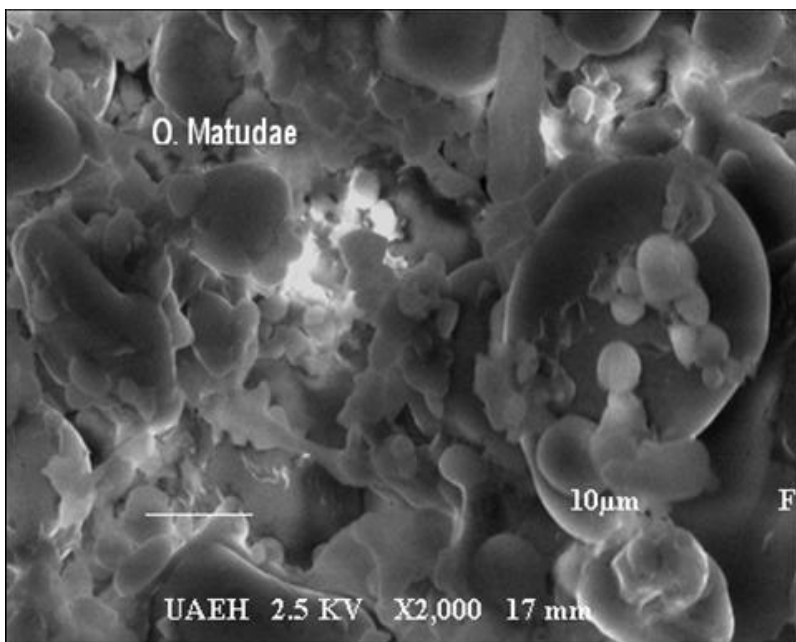


c)

Figura V.15. Microfotografía que muestra la morfología de los gránulos de almidón contenidos en el endospermo de las semillas en estudio. b) *O. ficus-indiva*, c) *O. heliabravoana*



d)



e)

Figura V.15. Microfotografía que muestra la morfología de los gránulos de almidón contenidos en el endospermo de las semillas en estudio. d) *Cylindropuntia imbricata*, e) *Opuntia matudae*.

Se aprecia en las microfotografías que existen dos tipos de poblaciones de gránulos de almidón: pequeños y grandes. Se puede observar claramente las estructuras filamentosas, presentes en las tres variedades, las cuales están asociadas a presencia de fibras que se arrastran en la extracción.

### **V.5. Análisis de correlaciones estadísticas**

Los resultados del análisis estadístico mediante una evaluación de componentes principales y su contribución en las agrupaciones de las semillas estudiadas por especies, se muestran en la tabla V.6. Se observa que las variables fisicoquímicas con mayor influencia sobre el primer componente principal (CP1) de manera positiva fueron carbohidratos, grasas y almidones, en tanto que, humedad, cenizas y proteínas influyen de manera negativa. En el CP2 influyen de manera determinante las fibras, las grasas y los almidones en forma positiva y de manera negativa en los contenidos de cenizas y proteínas. En el CP3 influye de manera positiva la humedad y las grasas. Es importante destacar que en el CP1 se observa la mayor contribución, debido que es éste componente en el que la mayoría de los componentes químicos influyen (Won *et al.*, 2002). Con las tres primeras CP se justifica el 98% de la varianza acumulada.

En la figura V.16 a y b, se presenta la distribución de las muestras entre el CP1 y CP2, así como del CP1 con el CP3; se puede observar que hay una clara formación de dos grupos entre las muestras, esta distribución

se da entre las muestras que presentan diferente contenido de CH, grasas y almidones.

**Tabla V.6. Vectores característicos para las variables fisicoquímicas en semillas.**

<b>VARIABLE</b>	<b>CP1</b>	<b>CP2</b>	<b>CP3</b>
Humedad	-0.123	0.425	<b>0.574</b>
Cenizas	-0.438	-0.506	0.310
Grasas	<b>0.669</b>	<b>0.572</b>	<b>0.741</b>
Proteína	-0.402	-0.080	-0.200
Fibra	0.342	<b>0.617</b>	-0.186
Hidratos de carbono	<b>0.643</b>	0.227	0.190
Almidones	<b>0.594</b>	<b>0.527</b>	0.432

<b>CP</b>	<b>PROPORCIÓN</b>	<b>ACUMULADO</b>
1	0.602	0.602
2	0.191	0.793
3	0.159	<b>0.952</b>
4	0.029	0.981

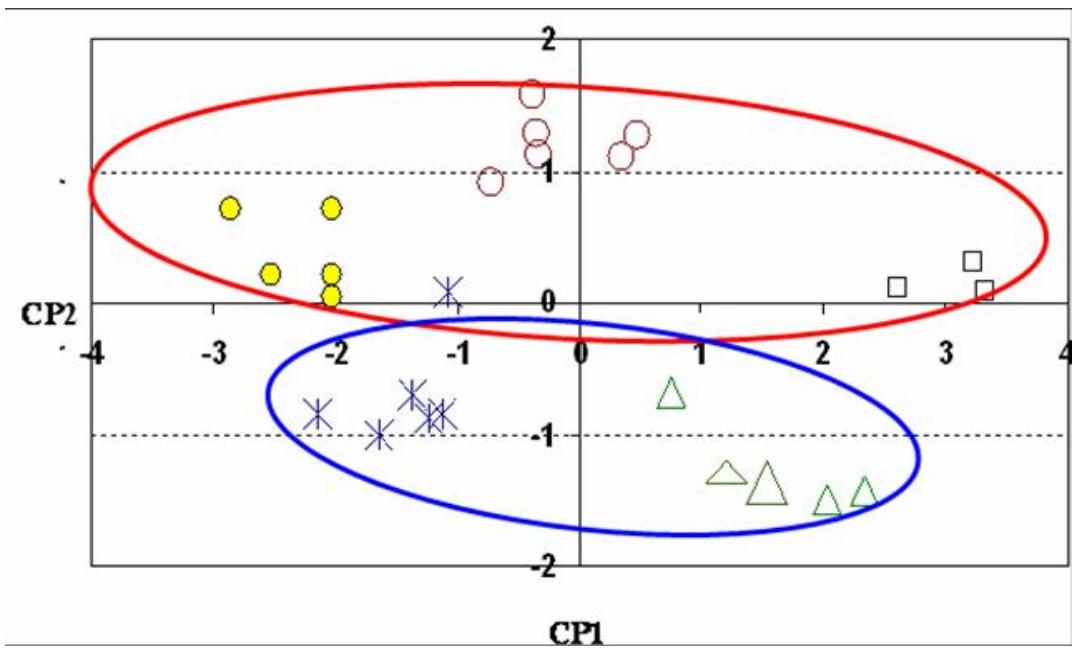


Figura V.16.a. Distribución de componentes principales tomando en cuenta las variables fisicoquímicas. a) Distribución de las muestras entre el CP1 y CP2

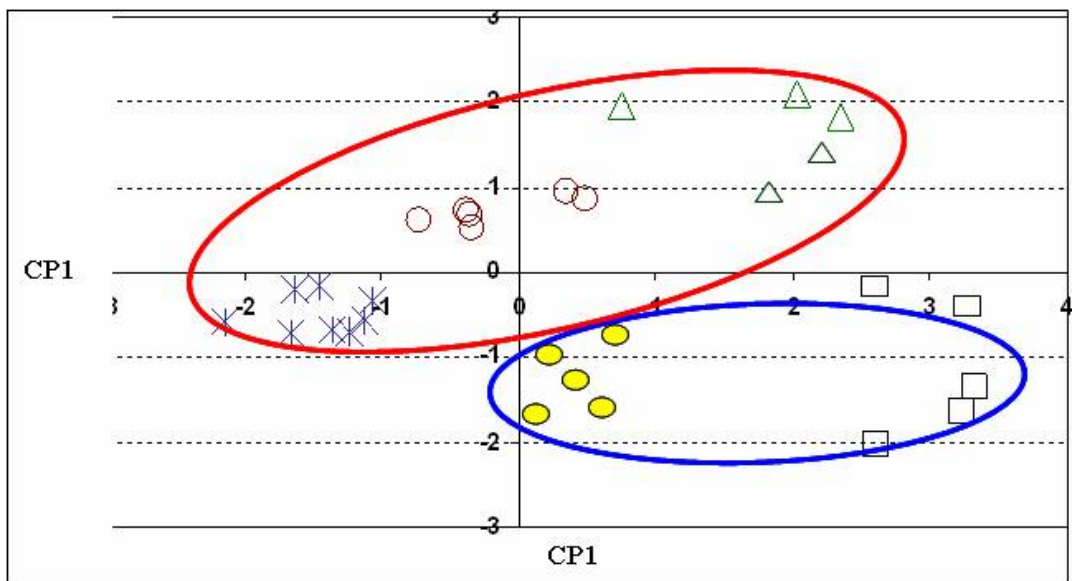


Figura V.16.b. Distribución de componentes principales tomando en cuenta las variables fisicoquímicas. b) Distribución de las muestras entre el CP1 y CP3.



Grupo I. Especies *O. heliabravoana*, *O. xoconostle* y *O. ficus-indica*

Este grupo se caracteriza por ser moderadamente ricos en carbohidratos, almidones y elevados contenidos de grasas. Bajas en contenido de cenizas, proteínas y fibra.

Grupo II. Especies *O. matudae* y *C. imbricata*

Este grupo se caracteriza por tener elevados contenidos de en carbohidratos y almidones pero moderados contenidos en grasas. Bajos en contenido de cenizas y proteínas y aunque bajos en contenidos de fibras, son los mas elevados de estas variedades.

## VI. Conclusiones.

De todo este estudio se ha podido arribar a las siguientes conclusiones:

- *Sobre los resultados de los análisis físicos*
  1. Las dimensiones y tamaños (corte longitudinal) de las semillas en orden decreciente fue *Cylindropuntia. imbricata*, *Opuntia ficus-indica*, *O. xocconostle*, *O. matudae* y *O. helabravoana*.
  2. El espesor del pericarpio (cáscara) fue en orden igualmente decreciente por especies, *Cylindropuntia. imbricata*, *Opuntia ficus,-indica* *O. matudae*, *O. xocconostle* y *O. helabravoana*. El más rugoso y de apariencia más fibrosa corresponde a la especie *O. imbricata*.
  3. De la observación de los endospermos, la especie *C. imbricata* presentó poco volumen, no muy compacto lo que puede indicar bajo peso específico.
  4. La especie *O. heliabravoana*, la más pequeña, mostró un endospermo relativamente voluminoso y compacto lo que representa un elevado peso específico.
  5. Correspondió a la especie *O. heliabravoana* los mayores valores de DPH, mayor dureza o resistencia a la abrasión, así como el menor volumen de la semilla. Indica la estructura más sólida y compacta, sugiere la idea de ser poco porosa.
  6. La especie *O. xocconostle* presentó el mayor valor de DPMG, menor resistencia a la abrasión y menor DIF, indica semillas más blandas, más pesadas y poco porosas.
  
- *Sobre los resultados del análisis proximal*
  1. Las cinco variedades presentaron niveles similares en humedad y contenido de cenizas, clasificados como bajos.
  2. Por los contenidos en fibra bruta total y carbohidratos las hacen similares.
  3. Las cinco especies presentan significativos porcentajes en grasas, destacándose por los más altos valores la variedad *O. xocconostle*.

4. Los contenidos de proteínas resultaron bajos por lo que no las hacen de interés en la industria alimentaria, salvo por sus altos contenidos en grasas, carbohidratos y almidones.
5. Por los contenidos en almidones y azúcares podrían señalarse dos agrupaciones: las especies con más de 75% de almidones y de carbohidratos (*O. matudae* y *C. imbricata*) y las especies con contenidos menores de 75% (las restantes).

- *Sobre los resultados del análisis de metales*

1. Elementos esenciales como calcio, magnesio y potasio, se encontraron en altos los niveles. En general estos tres elementos constituyen entre el 97.15% y 98.50% del total de metales.
2. Por los contenidos de oligoelementos como aluminio, sodio y zinc, se encontraron dentro de los límites normales para plantas verdes, con la excepción del zinc que no fue detectado en ninguna muestra, lo que indica un déficit de este elemento en estos suelos.
3. Se observó la ausencia de elementos tóxicos tales como cadmio y mercurio.
4. Por los contenidos de arsénico se pueden considerar como contaminadas ya que sus contenidos rebasan 0.2 mg/kg en base seca. También los contenidos en plomo se consideran elevados. Serían una invalidante para que a partir de estas semillas pueda elaborarse algún producto alimenticio.

- *Sobre los resultados de tamaños de partículas y microscopía electrónica*

1. Los tamaños promedios de partículas variaron entre 23.81 y 55.13  $\mu\text{m}$ .
2. Se observó presencia de gránulos de almidón formando agregados o agrupaciones y todas ellas semejantes entre sí.

## VII. Bibliografía

1. AACC. (2001). Approved Methods of American Association of Cereal Chemists. 10 Th edition. Vol. II. Method 42-10.
2. AAFCO. (1996). Association of American Feed Control Officials. Official Publication. pp. 230.
3. Aguilar, B. G. (1998). Variación morfológica del nopal (*Opuntia ficus-indica* Miller) cultivado en material inerte (agrolita) con suministro de soluciones nutritivas. Biotam. Vol. 9 (2 y 3).
4. Andersson, A. A. M., Cajsa, E., Andersson, R., Regné, S. and Aman, P. (1999). Chemical and physical characteristics of different barley samples. Journal of the Science of Food and Agriculture, 79. pp. 979-981.
5. Anónimo, 1981. El nopal. Comisión nacional de las zonas áridas, instituto nacional de investigaciones forestales. Publicación especial 34, México. 85 p.
6. Anónimo, 1979. Cultivo, explotación y aprovechamiento del nopal. Comisión para el desarrollo agropecuario del estado de México. Folleto informativo 158, México.
7. Anónimo, 1994. plan de acción para combatir la desertificación en México (PACD-MEXICO) comisión nacional de zonas áridas, secretaria de desarrollo social, México, 160 p.
8. AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist. 1995. Volumen I. Edited by Kenneth Herlich. p. 78-79, 237, 247, 272.

9. AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist. 1995. Volumen II. Edited by Kenneth Herlich. p. 777-778, 1110.
10. Arias M. S. 1994. Las cactáceas como un recurso valioso. Memoria del encuentro Internacional sobre el Impacto de la Biotecnología en el Desarrollo Sustentable. OEA/SEP/DGETA, Aguascalientes, México. pp. 98-106
11. Barros, C. y M. Buenrostro. 1998. El maravilloso nopal sus propiedades alimenticias y curativas. Editorial Grijalva, S.A. de C.V, México 243 p.
12. Bello Pérez, L. A.; Soloza feria, J.; Arenas Ocampo, M. L.; Jiménez Aparicio, A.; Velásquez del Valle, M. Composición química de la semilla de *Okania hypogaea*. (2001). *Agrociencia*. 35: 459-468.
13. Blanco, M. A.; Montero, M de los A.; Fernández, M. Composición química de productos alimenticios derivados de trigo y maíz elaborados en Costa Rica. (2000). *Revista Archivos Latinoamericanos de Nutrición. ALAN*. Vol. 50, N° 1, Caracas, Venezuela. p.62-74.
14. BOE. Boletín Oficial Español. Cereales en copos o expandidos. Métodos de análisis. B.O.E. 20-1-1988.
15. Borrego E. F y N Burgos V. 1986. El nopal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila. México. 201 p.
16. Bravo-Hollins H. 1978. Las cactáceas de México. Vol. 1 Segunda edición. Universidad Autónoma de México, México 743 p
17. Bravo-Hollis, H. 1991. Las Cactáceas de México. UNAM. México, D.F. Volumen III, 643 pp.

18. Bornemisza, E. (1982). Introducción a la Química de Suelos. O.E.A., Washington. pp. 74.
19. Callejo, G. M. J. (2002). Industrias de cereales y derivados. Ediciones Mundi - Prensa. Madrid. pp. 21-23, 25-36, 169-175.
20. Camacho, R. N.; Díaz, G. M.; Santillo, H. M.; Velásquez, M. O. 2001. Productos de cereales y leguminosas. Manual de prácticas. Facultad de Química. UNAM, México, DF, p.1-12; 40-46.
21. Dendy, D. A. V. y Dobraszczyk, B. J. (2004). Cereales y productos derivados, Química y tecnología. Ed. Acribia. Zaragoza, España. pp. 403-421.
22. FAO/OMS (2001). Programa conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias. Comisión del Codex Alimentarius. ALINORM 01/14, 2-7 de Julio, 24º Periodo de sesiones. Ginebra. pp. 2.
23. Filardo Kerstupp, S. Una contribución al estudio etnobotánico de la zona del Alto Mezquital y propuesta biotecnológica para el aprovechamiento de la tuna (*Opuntia*) en tres comunidades Hñahñus del Estado de Hidalgo. (2002). Tesis Doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México.
24. Galvao, L. A. C.; G. Corey. Arsénico. Serie Vigilancia 3. Ed. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud. 1989, pp. 70
25. González, E. M. 1984. Las plantas medicinales de Durango. Inventario básico. CIIDIR-IPN. Unidad Durango. 115 pp.
26. Granados, S. D.; Castañeda, P. A. D. 1991. El nopal: historia, fisiología, genética e importancia frutícola. México. Trillas . 104pp.

27. Heppler, P. K. y Wayne, R.O. (1985). Calcium and plant development. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 36. pp. 397-439.
28. Hough, J. S. (1990). *Biología de la cerveza y de la malta*. Ed. Acribia. Zaragoza, España. pp. 10-13.
29. Kabata-Pendias, A.; Pendias H. 2000. *Trace elements in Soils and Plants*, CRC Press LLC, Third Edition, USA. 2000, p. 27.
30. Larcher, W. (1995). *Physiological Plant Ecology*. Springer Verlag. Berlin. pp. 506.
31. López, Z., E., (1977). *El Agua, La tierra, Los Hombres de México*, Ed. Fondo de Cultura Económica, México, p.321.
32. Martínez, H. F. 2002. Estudio de la acumulación de los metales pesados en cultivos de secano, en el distrito de riego 03 del valle del Mezquital. 2002. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México.
33. Matissek, R., Schnepel, F. N. y Steiner, G. (1998). Análisis de los alimentos. Ed. Acribia. Zaragoza, España. pp. 1 y 229-232.
34. Norma Mexicana. NMX-FF-043-SCFI-2003. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano- cereal- cebada maltera (*Hordeum vulgare L.*; *Hordeum distichum L.*). Especificaciones y métodos de prueba.
35. NOM-021-RECNAT-2000. Norma Oficial Mexicana. Establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis. Diario Oficial de la Federación del 14 de febrero de 2001. p. 17
36. Ödön, I. V; Tirso, W. S. *Química de los Alimentos*. Tomo I. Editorial Pueblo y Educación, (1985), p. 285, 305, 346.

37. O'Neill, P. Arsenic. Heavy Metals in Soils. Part. B. Alloway, ed. London: Blackie Press. 1990.
38. Pere Durán. Analíticos en Alimentaria. Métodos oficiales de Análisis. Cereales, derivados de cereales y cerveza. Editora PANREAC QUÍMICA, (1999), p. 1-88.
39. Pérez, C. L., Moreno, G. A. M. y Gonzáles, P. J. (2004). Índices de acumulación de metales pesados en granos y hojas de trigo. Schironia, No 3, Julio. Madrid, España. pp. 5.
40. Pérez Ramírez, M. J. Estudio fisicoquímico de mermeladas elaboradas con xoconostle (*Opuntia matudaes* Scheinvar). (2005). Tesis de Licenciatura en Química. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
41. Peterson, P.; Girling, C. Other Trace Metals. Impact of Heavy Metal Pollution on Plants. Volume 1: Effects of Trace Metals on Plant Function, N. Lepp, ed. London: Applied Science Publishers. 1980.
42. Prieto, J. M.; Méndez, M. A. M.; Román, A. D. G.; Prieto, F. (2005). Estudio comparativo de características físicoquímicas de cereales Kellogg's. Rev Chil Nutr Vol. 32, N°1, p. 34-43.
43. Richard, L.A. 1973. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Manual de Agricultura #60. ed. Limusa. México DF, México, 16-18.
44. Saenz, C.; Berger, H.; Corrales, J.; Galletti, L. ; García, V. ; Higuera, I. ; Mondragón, C. ; Rodríguez, A. ; Sepúlveda, E.; Varnero, M. T. Utilización Agroindustrial del Nopal. (2006). Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO. Roma Italia. p. 84.



45. Salisbury, F. B. y Ross, C. W. (1992). *Plant Physiology*. Wadsworth Publishing. Co. California. pp. 682.
46. Scheinvar, L. 1999. Biosistemática de los xoconostles mexicanos y su potencial económico. In: Memoria del VIII Congreso Nacional y VI Internacional sobre conocimiento y aprovechamiento de el Nopal. 6-10 de septiembre. San Luis Potosí, México. pp: 255-274.
47. Scheinvar L., Kerstupp S. F., Olalde G. 2005. Diez especies mexicanas productoras de xoconostles (*Opuntia* spp. Y *Cylindropuntia imbricata*) (Cactaceae) . Libro en preparación para Editar.
48. Serna, S. S. R. (2001). Química e industrialización de los cereales. AGT Editor. México, D. F. pp. 3-23, 47-73 y 79-89.
49. Sharp, P. F. (1997). Wheat and flour studies, IX. Density of wheat of influenced by freezing, stage of development, and moisture content. *Cereal Chemistry*, 4. pp. 14-46.
50. SPSS Inc. SPSS Base 9.0 Applications Guide. 1999. Chicago. 324-335.
51. Tscheuschner, H. D. (2001). Fundamentos de tecnología de los alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza, España. pp. 14.
52. Won, S. C.; Li, X. D.; Zhang, G.; Qi, S. H. ; Min, Y. S. (2002). Heavy metals in agricultural soils of the Peral River Delta South China. *Environ. Pollut.* 119:33-44.

#### **Sitios Internet consultados:**

53. <http://cueyatl.uam.mx/~olivares/hidalgo.html>. 2004.
54. <http://espanol.geocities.com/pmayen/base4.html>. 2006.

55. <http://www.botanical-online.com/familiacactaceascast.htm>.2006
- 56.<http://www.semarnat.gob.mx/pfnm3/fichas/o.imbricata.htm>.  
2005.
57. <http://cueyatl.uam.mx/~olivares/hidalgo.html>. 2005
58. <http://www.mcx.es/plaguicidas/MetalPesaUE.asp>. 2006