

USO DE DESCRIPTORES PARA LA CARACTERIZACIÓN FENOLÓGICA DEL BANCO DE GERMOPLASMA DE *Opuntia* DEL CEZAC.

LUIS ROBERTO REVELES-TORRES, JORGE A. ZEGBE-DOMINGUEZ
Y KRIZIA DANIELA GARCÍA-RODRIGUEZ



SECRETARIA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL

VÍCTOR MANUEL VILLALOBOS ARÁMBULA
Secretario

MIGUEL GARCÍA WINDER
Subsecretario de Agricultura

VÍCTOR SUÁREZ CARRERA
Subsecretario de Autosuficiencia Alimentaria

DAVID MONREAL ÁVILA
Coordinador General de Ganadería

SALVADOR FERNÁNDEZ RIVERA
Coordinador General de Desarrollo Rural

IGNACIO OVALLE FERNÁNDEZ
Titular del organismo Seguridad Alimentaria Mexicana

**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES,
AGRÍCOLAS Y PECUARIAS**

DR. JOSÉ FERNANDO DE LA TORRE SÁNCHEZ
Director General

DR. RAÚL G. OBANDO RODRÍGUEZ
Coordinador de Investigación, Innovación y Vinculación

M. C. JORGE FAJARDO GUEL
Coordinador de Planeación y Desarrollo

MTRO. EDUARDO FRANCISCO BERTERAME BARQUÍN
Coordinador de Administración y Sistemas

CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL NORTE CENTRO

DR. ARTURO DANIEL TIJERINA CHÁVEZ
Director Regional

DR. FRANCISCO JAVIER PASTOR LÓPEZ
Director de Investigación

ING. RICARDO CARRILLO MONSIVÁIS
Director de Administración

M.C. RICARDO ALONSO SÁNCHEZ GUTIERREZ
Director de Coordinación y Vinculación en Zacatecas

USO DE DESCRIPTORES PARA LA CARACTERIZACIÓN FENOLÓGICA DEL BANCO DE GERMOPLASMA DE *Opuntia* DEL CEZAC.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Progreso No. 5, Barrio de Santa Catarina
Delegación Coyoacán
México, D.F.
C.P. 04010 México, D.F.
Teléfono (55) 3871-8700

ISBN: 978-607-37-1084-8

Primera Edición: Diciembre 2018

No está permitida la reproducción total o parcial de esta publicación, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, fotocopia o por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito a la institución.

Cita correcta:

Reveles-Torres L.R., Zegbe-Domínguez J.A. y García-Rodríguez K.D. 2018. Uso de descriptores para la caracterización fenológica del banco de germoplasma de *Opuntia* del CEZAC. Folleto Técnico Núm 99. Campo Experimental Zacatecas. CIRNOC – INIFAP, 60 páginas.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
Localidad	3
Accesiones del banco de germoplasma del Campo Experimental Zacatecas del INIFAP	3
Selección de descriptores	7
Descriptores para Cladodio.....	7
Descriptores para Espina.....	8
Descriptores para Flor.....	9
Descriptores para Fruto	10
Análisis Estadístico	12
RESULTADOS.....	¡Error! Marcador no definido.
Descriptores de Cladodio.....	13
Descriptores de Espina	16
Descriptores de Flor.....	19
Descriptores de Fruto.....	21
Análisis multivariado del fruto por colores de cáscara.....	25
DISCUSIÓN	40
CONCLUSIONES	45
LITERATURA CITADA.....	47
ANEXOS	50
Descriptores para Cladodios.....	51
Descriptores para Espinas	53
Descriptores para Flores.....	56
Descriptores para Frutos.....	58

DESCRIPCION Y ANALISIS DEL BANCO DE GERMOPLASMA DE NOPAL (*Opuntia*) DEL INIFAP EN ZACATECAS

Luis Roberto Reveles-Torres ¹
Jorge A. Zegbe-Domínguez ²
Krizia Daniela García-Rodríguez ³

INTRODUCCIÓN

El género *Opuntia* puede presentar polimorfismo marcado (diversas formas) que se puede observar en poblaciones silvestres y cultivadas, provocado por el frecuente flujo genético entre las diversas especies del género, como una consecuencia de la sincronía en la época de floración que ha provocado polinizaciones cruzadas, lo que ocurre naturalmente en las poblaciones naturales.

Considerando a México como uno de los centros de origen en donde se ha originado la mayor diversidad del género, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) estudia y utiliza los recursos fitogenéticos conservados *in vivo*. Por ello, son importantes las acciones que garanticen la conservación,

¹ y ² Investigadores de los programas de Recursos Genéticos y Postcosecha del Campo Experimental Zacatecas – INIFAP, respectivamente. ³ Bióloga egresada de la licenciatura en Biología de la Unidad Académica de Ciencias Biológicas – UAZ.

estudio y utilización de la diversidad genética de los cultivos con importancia económica actual y potencial para beneficio de los agricultores mexicanos y del mundo en general.

La conservación a largo plazo de las accesiones de nopal que actualmente resguarda el INIFAP, en el Campo Experimental Zacatecas, es una labor que requiere personal especializado que garantice la aplicación de metodologías y estrategias de manera adecuada, y apoyo económico sostenido para la continuidad en las muy diversas actividades que la conservación y estudio de la diversidad genética requiere.

La colección y caracterización del germoplasma se basa en caracteres fenotípicos y morfológicos. La descripción detallada de la variabilidad genética es necesaria como parte esencial de un banco de germoplasma, ya que puede haber genes valiosos para utilizarse en los programas de mejoramiento.

Este documento, puede servir de ejemplo para estudios de caracterización de genotipos del genero *Opuntia*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localidad

La caracterización se realizó en el Campo Experimental Zacatecas, localizada en el kilómetro 24.5 Carretera Zacatecas-Fresnillo, Calera de Víctor Rosales, Zacatecas, México (Longitud 102° 39' 34.0"; Latitud 22° 54' 31.3" y Altitud de 2,197 msnm) (Figura 1).



Figura 1. Banco de germoplasma *in vivo* y *ex situ* de *Opuntia* del Campo Experimental Zacatecas.

Accesiones o genotipos del banco de germoplasma

Se evaluaron tres individuos de 75 accesiones. El listado del número de accesión y el nombre común que fueron estudiados se indican en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Accesiones del género *Opuntia* caracterizadas del banco de germoplasma del Campo Experimental Zacatecas.

Numero de accesión	Nomenclatura	Variedad	Color de cáscara
001	Alp	Amarilla la Palma	Naranja
002	Sg2	Sangre de Toro 2	Púrpura
004	A8	Amarilla 8	Naranja
005	291	29-R	Rojo
006	PR3	Promotora 3	Verde claro
007	Apt2	Apastillada 2	Naranja
008	B5	Blanca 5	Amarillo
009	Pr8	Blanca Cristalina Pro.	Amarillo
011	Co14	Copena 14	Verde claro
012	Co3	Copena 3	Verde claro
014	Nar	Naranjona	Naranja
016	49	49	Amarillo
018	Pap2	PAP 2	Amarillo
019	Cen	Centenario	Naranja
020	G80	G80	Amarillo
021	Ag	Amarilla Ag	Amarillo
023	NL	Naranjona Legitima	Naranja
024	FR1	Frida Toronja	Púrpura
025	Esm	Esmeralda	Amarillo

027	Cri	Cristalina	Amarillo
028	Sgt	Sangre de Toro	Rojo
030	Ama	Amarilla	Naranja
031	Co16	Copena 16	Verde claro
032	6	Chapeada	Rosa
038	S	Solferino	Rojo
042	Blu	Blanca Lupe	Amarillo
044	Cht	Charola Tardía	Verdoso
046	TP	Tapón Pelón	Púrpura
048	B	Burrona	Amarillo
049	O	Octubreña	Verdoso
050	RC	Rosa Castilla	Púrpura
052	TC	Tunera Calera	Púrpura
053	V1	Verdulero	Púrpura
055	A	Amarillo	Naranja
057	1B	Cero Espinas	Verde claro
058	Tcal	Tunero Calera	Púrpura
059	R1	Amarillo-R1	Amarillo
060	A3	Amarillo 3	Amarillo
063	B2z	Blanca 2 Zacatecas	Verde claro
064	A2 z	Amarilla 2 Zacatecas	Naranja
065	ACal	Amarillo Calera	Rojo
069	Co13	Copena 13	Amarillo

070	Faf	Fafayuco	Verde claro
071	R1	Blanca-R1	Verdoso
072	Cp3	Copena 3-3	Verde claro
074	A2	Amarilla 2	Naranja
077	Cop1	Copena 1-1	Amarillo
081	Co15	Copena 15	Verdoso
082	Co	Copena 17	Purpura
083	ASJ	Amarilla San José	Naranja
084	Co1	Copena 1	Amarillo
087	P	Papantón	Verdoso
091	Ap2	Apastillada-2	Rojo
094	IM	Italiano Morado	Púrpura
095	292	29 Blanco	Verdoso
096	54	Amarilla Cristalina	Naranja
097	Tp	Tunero	Púrpura
099	A1z	Amarillo 1 Zacatecas	Naranja
102	Co5	Copena 5	Amarillo
105	R6	Roja 6	Fiucha
107	B1Z	Blanca 1 Zacatecas	Amarillo
108	Fa1	Fafayuca	Amarillo
112	Co2	Copena 2	Amarillo
113	BSJ	Blanco San José	Amarillo
114	Raz	Rojo Azteca	Rojo

119	CB	Cardón Blanco	Amarillo
120	Ach	Amarilla China	Naranja
122	Plt	Plt	Amarillo
123	Pch	Pico Chulo	Amarillo
132	Am	Amarilla Montesa	Amarillo
140	Cdo	Copa de Oro	Amarillo
147	Pat	PAT	Rosa
148	Lir	Liria	Rosa
151	Rsr	Roja Santa Rosa	Púrpura
154	Lcf	Lisa Conafrut	Rojo

Selección de descriptores

Los descriptores para este estudio fueron elegidos de varios catálogos (Ochoa, 2003; Gallegos-Vázquez *et al.*, 2008; Erre y Chessa, 2010), conforme a la utilidad de su medición e interés para que los valores fueran útiles para evaluar y caracterizar cladodios, espinas, flores y frutos.

Descriptores para Cladodio

Para los descriptores del **Cladodio**, se seleccionaron aquellos que implicaron la forma, el color, la densidad de las espinas, el crecimiento de la columna vertebral y la

presencia y abundancia de gloquidios como se aprecia en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Lista de descriptores* utilizados para la caracterización de los cladodios.

Descriptores para Cladodio					
Descriptor	Variantes del Descriptor				
Forma	Aovado	Redondo	Elíptico		
Color	Amarillo Verde	Verde Claro	Verde Medio	Verde Oscuro	Verde Azulado
Espinas	Ausente	Pocos	Intermedio	Muchos	
Columna Vertebral	Emergente	Hundido			
Gloquideos	Ausente	Pocos	Intermedio	Muchos	

* Ochoa, 2003; Gallegos-Vázquez et al., 2008; Erre y Chessa, 2010.

Descriptores para Espina

La información sobre la **Espina**, se registró visualmente, además de la manipulación física. Esta estructura se extrajo con pinzas para medir la flexibilidad, la firmeza o fragilidad. La espina se partió para ver su conformación transversal. En el Cuadro 3 se enlistan los descriptores utilizados para la caracterización de las espinas.

Cuadro 3. Lista de descriptores* utilizados para la caracterización de la espina.

Descriptores para Espina				
Descriptor	Variantes del Descriptor			
Color principal	Gris	Blanco	Amarillo	Marrón
Cantidad de colores	Uno	Dos		
Superficie	Suave	Estirado	Pinchó	
Espina central	Actitud	Erguido	Semi-erecto	Horizontal
Flexibilidad	Flexible	Firme	Frágil	
Curvatura	Ausente	Presente		
Retorcido	Ausente	Presente		
Forma vista dorsal	Aciculado	Estrecho triangular		
Forma vista transversal	Elíptico	Circular	Triangular	
Gloquideos	Amarillo	Marrón		

* Ochoa, 2003; Gallegos-Vázquez et al., 2008; Erre y Chessa, 2010.

Descriptores para Flor

Para descriptores de la Flor se obtuvieron de flores y dimensiones morfológicas como la longitud de la flor y número de lóbulos del estigma. En el Cuadro 4 se establecen los descriptores usados en caracterización de la flor.

Cuadro 4. Lista de descriptores* utilizados para la caracterización de la flor.

Descriptores de Flor					
Tiempo de floración	Abril	Mayo	Junio		
Longitud	Muy corto	Corto	Medio	Largo	Muy largo
Color del perianto	Amarillo verdoso	Amarillo	Amarillo Pardusco	Naranja	Rojo naranja
Color del estilo	Verde	Blanco	Amarillo	Rosa Naranja	
Numero de lóbulos del estigma	5-7	8-10	11-13	14-16	17-19
Color del lóbulo del estigma	Amarillo	Verde			
Color de los pétalos	Amarilla	Naranja	Rosa	Fucsia	Bicolor

* Ochoa, 2003; Gallegos-Vázquez et al., 2008; Erre y Chessa, 2010.

Descriptores para Fruto

Para registrar los descriptores del **Fruto**, se colectaron 10 frutos por accesión. Estos fueron desespinaados manualmente y se procedió a registrar datos morfológicos, color de la epidermis, color de la pulpa, cicatriz receptacular, etc. Después, individualmente, las tunas se pesaron en una balanza digital (VE-303, Velab, USA), se midió la firmeza con un penetrómetro montado y un puntal

de 11.1 mm (FT 327, Wagner Instruments, Greenwich, CT, USA), se tomó fotografía de cada tuna completa y partida en dos para apreciar su pulpa y las semillas. Posteriormente, los frutos se llevaron a un extractor para separar semillas y jugo, y por último, se registró el contenido de azúcares, en términos de grados Brix, con un refractómetro digital con compensación automática de temperatura (PR-32 α , Atago, Co. Ltd., Tokyo, Japan). El grosor de la cáscara se midió con un vernier digital (Modelo CD-6, CS, Mitutoyo Co., Japan). Los descriptores para el fruto se enlistan en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Lista de descriptores* utilizados para la caracterización del fruto y parámetros del análisis fenológico.

Descriptores de Fruto (Tuna)					
Forma	Ovoide	Redondo	Elíptico	Ovalado	
Tamaño	<80g	81-120g	121-150g	152-200g	>200g
Cicatriz receptacular	Elevado	Aplastado	Hundido		
Color de cáscara	Blanco, Verde claro, Verdoso, Amarillo, Amarillo oscuro, Naranja, Rosa, Rojo, Rojo profundo, Púrpura, Fiucha				
Gloquideos	Ausente	Pocos	Intermedio	Muchos	
Color pulpa	Verde, Blanco, Amarillo claro, Amarillo, Amarillo oscuro, Naranja, Rosa, Rojo, Rojo profundo, Púrpura, Fiucha				
Firmeza pulpa	kg				
Semillas	Menos de 100	100-200	250-300	Más de 300	
Fecha maduración	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
Sabor Fruta	Neutral 5%-12%	Dulce 13%-14%	Muy dulce 15%-16%		
Resistencia	Alta	Media	Baja		

* Ochoa, 2003; Gallegos-Vázquez et al., 2008; Erre y Chessa, 2010.

Análisis Estadístico

De las 75 accesiones caracterizadas, se calcularon los estadísticos descriptivos de cada variable, separando las tunas por colores de la cáscara en: blancas, amarillas, rojas y, por último, las purpuras y rosadas. La información

se analizó por componentes principales (CP) para seleccionar las variables más importantes y discriminantes por cada color y después se analizó la información ignorando el color de cada accesión. El análisis por CP se hizo con la declaración PRINCOM de sistema de análisis estadístico (SAS Institute ver. 9.1, 2002-2003, Cary, NC, USA).

REGISTROS

De las 75 accesiones que fueron caracterizadas, se muestran algunos registros de los datos recabados con el nombre de variedad y sus descripciones.

Descriptores de Cladodio

El Cuadro 6 muestra los descriptores utilizados para la caracterización del cladodio de algunas de las accesiones caracterizadas.

Cuadro 6. Lista de descriptores utilizados para la caracterización de los cladodios de 20 accesiones seleccionadas al azar.

Descriptores de Cladodios					
	Forma	Color	Espinas	Forma de la	Gloquidios
Xoconoxtle	Redondo	Verde Azulado	Intermedio	Hundido	Ausente
Blanca 1 Zac	Elíptico	Verde Claro	Pocos	Emergente	Pocos
T Roja	Redondo	Verde Oscuro	Muchos	Emergente	Muchos
Nopal	Redondo	Amarillo Verde	Muchos	Hundido	Muchos
Blanca	Aovado	Amarillo Verde	Pocos	Emergente	Ausente
Blanco	Aovado	Verde oscuro	Pocos	Emergente	Ausente
Papantón	Aovado	Verde Medio	Intermedio	Emergente	Ausente
Italiano	Elíptico	Verde Oscuro	Ausente	Hundido	Ausente
Esmeralda	Aovado	Amarillo Verde	Ausente	Emergente	Ausente
L3	Elíptico	Amarillo Verde	Pocos	Emergente	Ausente
Frida Toronja	Aovado	Verde medio	Intermedio	Emergente	Pocos
Forrajera	Aovado	Verde Claro	Ausente	Emergente	Ausente
Triple	Aovado	Verde Claro	Ausente	Hundido	Ausente
Copena 16	Aovado	Verde Claro	Intermedio	Emergente	Pocos
Tlaconopal	Elíptico	Amarillo Verde	Ausente	Emergente	Ausente
Ta	Redondo	Verde oscuro	Pocos	Emergente	Pocos
Amarillo	Aovado	Verde oscuro	Intermedio	Emergente	Pocos
Copena 13	Redondo	Verde medio	Intermedio	Emergente	Ausente
Roja Vigor	Elíptico	Amarillo verde	Ausente	Hundido	Ausente
T2	Aovado	Verde medio	Ausente	Hundido	Medio

En el Cuadro 7 se indican los descriptores para la caracterización de cladodio. El 73% de las accesiones muestran un cladodio de forma ovalada y el 16% redonda, siendo la menos presente la forma elíptica (16%). La

variabilidad genética para el descriptor del color es más diversa, pues el 24% de las accesiones presentan un color de la penca amarillo verde, el 23% de color verde medio, el 24% de verde oscuro, el 21% de verde claro.

En cuanto a la caracterización de la densidad de las espinas en el cladodio de cada accesión, la mayoría presentó una densidad intermedia (56%), seguido de aquellas accesiones con ausencia de espinas (16%), el 15% de éstas tienen pocas espinas y el 13% tiene una densidad catalogada como "muy espinosas".

La forma de la columna por el hábito de crecimiento es emergente en la mayoría de las accesiones (79%) y sólo el 16% es hundida. En lo referente a los gloquidios, estos están ausentes en el 83% de los materiales caracterizados, siendo el resto con pocos gloquidios (17%).

Cuadro 7. Descriptores para caracterización de los cladodios de las accesiones del banco de germoplasma de *Opuntia*.

DESCRIPTORES:				
FORMA	COLOR	ESPINAS	COLUMNA	GLOQUIIDEOS
Aovado = 55	Amarillo Verde= 18	Ausente= 12	Emergente= 59	Ausente= 62
Redondo = 4	Verde claro= 16	Pocos= 11	Hundido= 16	Pocos= 13
Elíptico 16	Verde medio= 23	Intermedio= 42		Medio= 0
	Verde oscuro= 18	Muchos= 10		Muchos= 0
	Verde azulado= 0			
TOTAL	75	75	75	75

Descriptores de Espina

En 63 accesiones se observaron espinas en la superficie de los cladodios. El resto de las accesiones evaluadas (12) no presentaron espinas. De las accesiones que presentaban espinas, todas presentaron dos colores, y de estos, el color principal fue blanco un 57%, seguido del color gris en un 41% de las accesiones, sólo el 2% tuvo espinas color marron. La superficie de las espinas en la mayoría (63%) fueron de consistencia suave; mientras que el 30% fueron estriadas y el resto (6%) fueron pincho.

Cuadro 8. Lista de descriptores de la caracterización de las espinas de 10 accesiones seleccionadas al azar.

Descriptores de Espina										
	Color principal	Cantidad Colores	Superficie	Espina central	Flexibilidad	Curvatura	Retorcido	Vista dorsal	Sección transversal	C. Gloquid eos
Amarilla la palma	Blanco	Dos	Suave	Semi-erecto	Frágil	Ausente	Ausente	Aciculado	Circular	Marrón
Sangre de Toro2	Gris	Dos	Suave	Semi-erecto	Frágil	Ausente	Ausente	Estrecho Triangular	Elíptico	Marrón
29-R	Gris	Dos	Estirado	Semi-erecto	Firme	Ausente	Ausente	Aciculado	Circular	Marrón
Promotora 3	Gris	Dos	Suave	Semi-erecto	Flexible	Ausente	Ausente	Aciculado	Circular	Marrón
Reyna	Blanco	Dos	Suave	Erguido	Firme	Presente	Ausente	Estrecho Triangular	Elíptico	NP
Centenario	Blanco	Uno	Pinchó	Erguido	Flexible	Ausente	Ausente	Estrecho triangular	Circular	NP
Tapón aguanoso	Marrón	Dos	Pinchó	Semi-erecto	Firme	Ausente	Ausente	Estrecho triangular	Elíptico	Amarillo
Pico chulo	Blanco	Dos	Suave	Horizontal	Firme	Ausente	Ausente	Estrecho triangular	Elíptico	NP
Roja San Martín	Gris	Dos	Estirado	Semi-erecto	Frágil	Presente	Presente	Estrecho triangular	Elíptico	NP
Jade	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente

Por otra parte, el 79% de las accesiones tuvieron una espina central semi-erecta, mientras que la espina ergida se observó en el 17% y únicamente el 3% presentó la espina central de forma horizontal.

En lo referente a la flexibilidad de la espina, el 54% de los materiales caracterizados fueron firmes, 43% fueron frágiles, es decir, que se rompían al curvarlas. Sólo 2 accesiones mostraron espinas flexibles.

La curvatura de la espina estuvo presente en 1 accesión (2%), el resto de las accesiones presentó espinas sin curvatura (98%). La característica de espina retorcida se observó en el 100% de las accesiones evaluadas.

La característica de la vista dorsal de la espina, fue aciculada en el 62% de las accesiones evaluadas, y de estrecho triangular en el 38%. La sección transversal de la espina fue circular en el 60% de los materiales caracterizados, 38% es de forma elíptica y solo un material presentó espinas se sección transversal triangular.

12 accesiones presentaron gloquidios en la base de las espinas (Cuadro 9).

Cuadro 9. Descriptores para caracterización de las espinas de las accesiones del banco de germoplasma de *Opuntia*.

DESCRITORES:									
Color	Cantidad						Vista Dorsal	Sección Transversal	Color Gloquideos
	Colores	Superficie	Espina Central	Flexibilidad	Curvatura	Retorcido			
Gris= 26	Uno= 0	Suave= 40	Actitud= 0	Flexible= 2	Ausente= 62	Ausente= 63	Aciculado= 39	Elíptico= 24	Amarillo= 0
Blanco= 36	Dos= 63	Estirado= 19	Erguido= 11	Firme= 34	Presente= 1	Presente= 0	Estrecho triangular= 24	Circular= 38	Marrón= 12
Amarillo= 0		Pinchó= 4	Semi-erecto= 50	Frágil= 27				Triangular= 1	
Marrón= 1			Horizontal= 2						
TOTAL	63	63	63	63	63	63	63	63	12

Descriptores de Flor

De las 75 accesiones caracterizadas, 63 accesiones presentaron flores nocturnas (durabilidad de 12 a 24 horas de vida) y 26 accesiones con flores diurnas.

El tiempo de floración de 59 accesiones, fue entre muy temprana y media, siendo abril y principios de mayo los meses en los que esta se presentó. Las otras nueve accesiones presentaron floración en muy tardía, desde la última semana de mayo y durante el mes de junio (Cuadro 10).

Cuadro 10. Descriptores de la caracterización de la flor de 10 accesiones seleccionadas al azar.

Descriptores de Flor							
	Tiempo de Floración	Longitud	Color del perianto	Color del estilo	Número de lóbulos del estigma	Color del lóbulo del estigma	Color de pétalos
Verdulero	Abril	Muy Largo	Rojo-Naranja	Rosa	9	Verde	Naranja
Naranjona	Mayo	Corto	Amarillo Verdoso	Rosa	9	Verde	Naranja
Torroja	Mayo	Medio	Amarillo	Verde	10	Verde	Amarillo
Copena 5	Junio	Medio	Amarillo pardusco	Blanco	10	Verde	Naranja
Roja Santa Rosa	Abril	Muy Largo	Rojo-Naranja	Rosa	10	Verde	Naranja
Tunero Calera	Abril	Largo	Naranja	Rosa	10	Verde	Naranja
Cero espinas	Mayo	Medio	Amarillo	Amarillo	10	Verde	Amarillo
Copena	Abril	Corto	Rojo-Naranja	Rosa	8	Verde	Naranja
Octubreña	Mayo	Muy Corto	Rojo-Naranja	Rosa	13	Verde	Fushia
SMR	Abril	Corto	Amarillo	Blanco	9	Verde	Amarillo

La etapa fenológica de floración se clasificó como “muy temprana” (44% de las accesiones), “media” (46) y “muy tardía” (10%).

La mayoría de las accesiones presentó una longitud media de la flor (49%), mientras que de longitud catalogada como “corta” la presento el 27% de éstas. El resto de las accesiones tuvieron “longitud larga”, “muy corta” y “muy larga” (12%, 7% y 5% respectivamente).

El color del perianto se observó amarillo verdoso en 23 accesiones, color amarillo en 7, naranja en 9 y color rojo-naranja en 10. También para el “color del estilo” se obtuvieron las variantes: 28 accesiones de color rosa, 22 de color blanco, 5 de color verde, 4 amarillos y ninguna con color naranja del estilo.

En cuanto al número de lóbulos en el estigma de las flores fue que el 49% de las accesiones presentaron categoría “media”, el 32% “muchos”, el 10% para la categoría “pocos” y 8% en la de “demasiados”. Y dentro de esta misma característica evaluada, el color del lóbulo del estigma de la flor, fue verde en las 98 accesiones y solo una de color amarillo.

Cuadro 11. Descriptores para caracterización de la Flor de las accesiones del banco de germoplasma de *Opuntia*.

DESCRITORES:						
Tiempo de Floración	Longitud	Color del perianto	Color del estilo	Número de lóbulos del estigma	Color del lóbulo del estigma	Color de los pétalos
Muy Temprano= 26	Muy corto= 4	Amarillo verdoso= 23	Verde= 5	Muy pocos= 0	Amarillo= 1	Amarillo= 13
Medio= 27	Corto= 16	Amarillo = 7	Blanco= 22	Pocos= 6	Verde= 58	Naranja= 28
Muy Tarde= 6	Medio= 29	Naranja= 9	Amarillo= 4	Medio= 29		Rosa= 14
	Largo= 7	Rojo naranja= 10	Rosa= 28	Muchos= 19		Fiusha= 1
	Muy Largo= 3		Naranja= 0	Demasiados= 5		Bicolor= 3
TOTAL	59	59	59	59	59	59

Descriptores de Fruto

Del total de las accesiones del banco de germoplasma de *Opuntia* del Campo Experimental Zacatecas, sólo 75 de éstas desarrollaron flor y fruto en el año 2017 que se realizó la caracterización. Los primeros frutos comenzaron a madurar a partir del 6 de julio. La mayoría de las accesiones tuvieron frutos maduros entre el 3 de agosto hasta el 5 de octubre. Los frutos más tardíos en su maduración se presentaron hasta el 7 de noviembre. En el Cuadro 12 se presentan los resultados de solo 20 materiales tomados al azar.

El banco de germoplasma de *Opuntia* del CEZAC, presentó algunas de las variantes de la forma del fruto y de una manera relativamente equitativa, ya que el 31% de las accesiones presentó fruto de forma elíptica, el 25% de forma redonda, el 23% de forma ovoide y el 21% de forma ovalada. Mientras que en cuanto al tamaño hubo más homogeneidad en frutos de tamaño pequeño y medio, pues el 39% de estas tuvo una masa entre 81 y 120 g catalogado como "pequeño", y el 27% de las accesiones presentó fruto de tamaño "medio", entre 121 y 150 g.

Cuadro 12. Descriptores utilizados para la caracterización de los **Frutos** de 10 accesiones seleccionadas al azar.

Descriptores de Tuna											
	Forma	Tamaño	Cicatriz receptacular	Color cáscara	Gloquideos	Color pulpa	Firmeza	Semillas	Maduración	Sabor	Resistencia
Charola Tardía	Redondo	119g	Elevado	Verdoso	Muchos	Blanco	1kg	277	Septiembre	16%	Bajo
29 Blanco	Ovoide	90g	Hundido	Verdoso	Muchos	Blanco	4kg	315	Septiembre	5%	Alto
Blanca 2 Zacatecas	Elíptico	157g	Hundido	Verde Claro	Intermedio	Blanco	1.4kg	355	Septiembre	14%	Alto
Copena14	Ovalado	147g	Elevado	Verde Claro	Muchos	Blanco	2.64kg	214	Agosto	15%	Alto
Amarilla San José	Ovoide	131g	Aplastado	Naranja	Muchos	Naranja	2.9kg	251	Agosto	15%	Medio
Solferino	Redondo	61g	Aplastado	Rojo	Muchos	Rojo	1.4kg	105	Agosto	17%	Bajo
Cardón Blanco	Redondo	46g	Aplastado	Amarillo	Muchos	Blanco	1.75kg	76	Septiembre	14%	Medio
Liria	Elíptico	107g	Aplastado	Rosa	Muchos	Rosa	1.18kg	241	Octubre	14%	Bajo
Lisa Conafrut	Redondo	105g	Aplastado	Rojo profundo	Muchos	Rosa	0.3kg	180	Octubre	16%	Bajo
Tunero	Ovalado	126g	Aplastado	Púrpura	Muchos	Púrpura	0.3kg	190	Septiembre	18%	Bajo

Frutos menores de 80 g fueron considerados como "muy pequeños" y se observaron en 20% de las accesiones; mientras que sólo el 12% de éstas tuvieron fruto "grande", entre 151 y 200 g y 3% de las accesiones produjo fruto "muy grandes" (> 200 g). En lo relativo a la cicatriz receptacular, 49% de las accesiones lo tuvo elevado, 24% aplastado y 19% hundido (Cuadro 13).

En cuanto al color de la epidermis (cáscara), el color amarillo fue el color predominante, mismo que se observó en el 25% de las accesiones, seguido del color naranja e el 19% de las accesiones. El tercer color más abundante fue el púrpura, presente en el 15% de las accesiones, el color verde claro se observó en el 12% de los materiales, seguido de los siguientes colores: color verdoso (8%), amarillo obscuro (7%), rojo (4%), rosa (3%) y fiusha (1%).

En cuanto al color de la pulpa, el color blanco se observó en el 41% de los materiales, siendo el color predominante. En segundo lugar, fue el color naranja, presente en el 19% de las accesiones, seguido por el color verde claro en el 12% de las accesiones. El resto de los colores estuvieron presentes en menor porcentaje, el 4% de las accesiones

correspondió al color de pulpa rojo profundo y otro 4% con color rosa; mientras que el 3% de las accesiones presentaron color de pulpa verde y rojo (Cuadro 13).

En cuanto a gloquidios en el fruto, no hubo accesiones sin estas estructuras. Cualitativamente, la presencia de éstas se clasificó como "muchas", presente en la mayoría de las accesiones (61%), 36% de las accesiones tuvieron un valor "intermedio" y únicamente el 3% presentó "pocas" gloquidios (Cuadro 13).

Finalmente, dentro de la caracterización del fruto, la firmeza de la pulpa con tres descriptores "suave", "medio" y "firme" se observó en el 33, 44 y 23% de las accesiones, respectivamente (Cuadro 13).

Cuadro 13. Descriptores para caracterización de los frutos de las accesiones del banco de germoplasma de *Opuntia*.

DESCRITORES:						
FORMA	TAMAÑO	CICATRIZ RECEPTICULAR	COLOR CASCARA	GLOQUIDEOS	COLOR PULPA	FIRMEZA PULPA
Ovoide= 17	Muy pequeño (<80 g)= 15	Elevado= 37	Blanco= 0	Ausente= 0	Verde= 3	Suave = 25
Redondo= 19	Pequeño (81 - 120 g)= 29	Aplastado= 24	Verde claro= 9	Pocos= 2	Blanco= 31	Medio= 33
Elíptico= 23	Medio (121 - 150 g)= 20	Hundido= 14	Verdoso= 6	Intermedio= 27	Amarillo claro= 2	Firme= 17
Ovalado= 16	Grande (151 - 200g)= 9		Amarillo= 19	Muchos= 46	Amarillo= 3	
	Muy grande (> 200g)= 2		Amarillo oscuro= 5		Amarillo oscuro= 2	
			Naranja= 14		Naranja= 14	
			Rosa= 2		Rosa= 4	
			Rojo= 3		Rojo= 3	
			Rojo profundo= 5		Rojo Profundo= 4	
			Púrpura= 11		Púrpura= 9	
			Fiusha= 1		Fiusha= 0	
TOTAL 75	75	75	75	75	75	75

Análisis multivariado del fruto por colores de cáscara

Dependiendo del color de la cáscara, los 75 materiales se clasificaron en cuatro grupos: tunas blancas, tunas amarillas, tunas rojas y tunas púrpuras.

Tunas Blancas

El primer componente (CP I) explicó la mayor variabilidad (55.8%). Los vectores raíz y los valores de las correlaciones entre las variables originales y el CPI sugieren un contraste entre la firmeza y grosor de la cáscara versus sólidos solubles totales (Cuadro 14). En contraste, el CP II explicó 33% de la variabilidad de los atributos de calidad, donde, el peso fresco del fruto y el número de semilla contribuyeron positiva y significativamente dentro de ese CP (Cuadro 14).

En fruta con “cáscara blanca” se distribuyó de la siguiente manera: las accesiones Papanton y 29 Blanco se posicionan como frutos con alta firmeza y dulzor alta y tendencia hacia frutos de mayor tamaño (Figura 2; Cuadrante I). En el Cuadrante II, se ubicaron genotipos cuya fruta tuvo también alta firmeza y dulzor, pero con menor tamaño de fruto (Copena 16, Octubreña y Copena 15) que aquellas del cuadrante I. En el Cuadrante III, se ubican las accesiones con frutos más pequeños, menor firmeza y sin dulzor (Copena 14, Cero espinas y Fafayuco); mientras que en el Cuadrante IV se posicionaron los

genotipos con fruta de mayor tamaño, pero menos firmes y menos contenido de azúcares (Promotora 3 y Blanca 2 Zacatecas). Aun cuando las accesiones Blanca-R1, Charola Tardía y Copena 3 se ubicaron en este último Cuadrante, sus tamaños de fruta, firmeza y contenido de azúcares se encontraron en el promedio, similar a Copena 14.

Cuadro 14. Vectores raíz (VR) y correlación lineal simple (R) entre algunos atributos de calidad y los VR de los dos primeros componentes principales (CP) de genotipos de tunas blancas del nopal tunero del Banco de Germoplasma del Campo Experimental Zacatecas.

Atributos de calidad/estadígrafos	CP I		CP II	
	VR	R	VR	R
Peso de la tuna	-0.30	-0.51	0.59	0.75**
Firmeza	0.53	0.88***	-0.14	-0.19
Número de semillas	0.04	0.06	0.73	0.94***
Sólidos solubles totales	-0.58	-0.97***	-0.14	-0.19
Grosor de la cáscara	0.54	0.90***	0.27	0.34
Valor raíz	2.79		1.65	
Varianza explicada (%)	55.8		33.0	

** , ***: Significativo con $p < 0.001$ ó $p < 0.0001$, respectivamente.

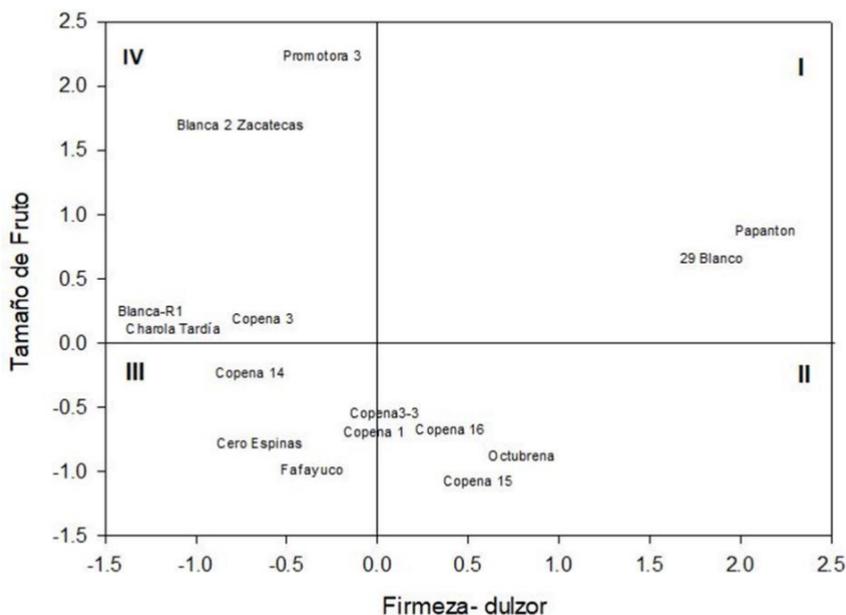


Figura 2. Distribución de la Firmeza-dulzor y tamaño de fruto de accesiones de *Opuntia* spp. con “cáscara blanca” del banco de germoplasma del Campo Experimental Zacatecas.

Tunas Amarillas

El primer componente (CP I) explicó la mayor variabilidad (42.3%), donde el peso fresco del fruto y el número-peso de semilla contribuyeron positiva y significativamente dentro de ese CP (Cuadro 15). En contraste, el (CP II) explicó (25.7%), los vectores raíz y los valores de las correlaciones entre las variables originales y el CPII

sugieren un contraste entre los sólidos solubles totales y el grosor de la cascara. Finalmente, el CP III explicó sólo 19.3% de variabilidad, en donde la firmeza contribuyó positivamente en este CP (Cuadro 15). Por lo tanto, los CP I, II, III fueron redefinidos como “Tamaño de fruto”, “Dulzor-Cáscara” y “Firmeza”, respectivamente.

Cuadro 15. Vectores raíz (VR) y correlación lineal simple (R) entre algunos atributos de calidad y los VR de los tres primeros componentes principales (CP) de las Tunas Amarillas de genotipos de nopal tunero del banco de germoplasma del Campo Experimental Zacatecas.

Atributos de calidad/estadígrafos	CP I		CP II		CP III	
	VR	R	VR	R	VR	R
Peso de la tuna	0.60	0.88***	0.29	0.32	-0.14	-0.14
Firmeza	0.31	0.45	0.02	0.03	0.87	0.85***
Número de semillas	0.52	0.77***	0.47	0.52	-0.22	-0.22
Sólidos solubles totales	-0.33	-0.49	0.59	0.67***	0.39	0.38
Grosor de la cáscara	0.39	0.55	-0.60	-0.68***	0.18	0.17
Valor raíz	2.11		1.29		0.97	
Varianza explicada (%)	42.3		25.7		19.3	

***: Significativo con $p < 0.0001$.

Las accesiones con cáscara amarilla y anaranjada se agruparon, en su mayoría, en el Cuadrante I, entre las que sobresalieron Centenario, Copena 1-1, Copena 2, y Blanco

San José, entre otras (Figura 3). Este grupo se caracterizó por tener una fruta grande, firme y cascara gruesa y alto contenido de azúcares. En el cuadrante II se ubicaron accesiones como Blanca Cristal, Promotora, Cristalina, y Plt, las cuales tuvieron fruta grande pero menos firme y cáscara menos gruesa y menor contenido de azúcares. Las accesiones Amarilla 3, 49, G80, Amarilla Cristal y Copa de Oro agrupadas en el Cuadrante III, tuvieron la fruta más pequeña, fueron menos firmes con cáscara delgada y bajos contenidos de azúcares; mientras que en el Cuadrante IV se posicionaron las accesiones Copena 5, Amarillo-R1, y Burrón, cuya fruta fue similar a las del Cuadrante I en cuanto a firmeza, grosor de cáscara y contenido de azúcares, pero con fruta de menor tamaño.

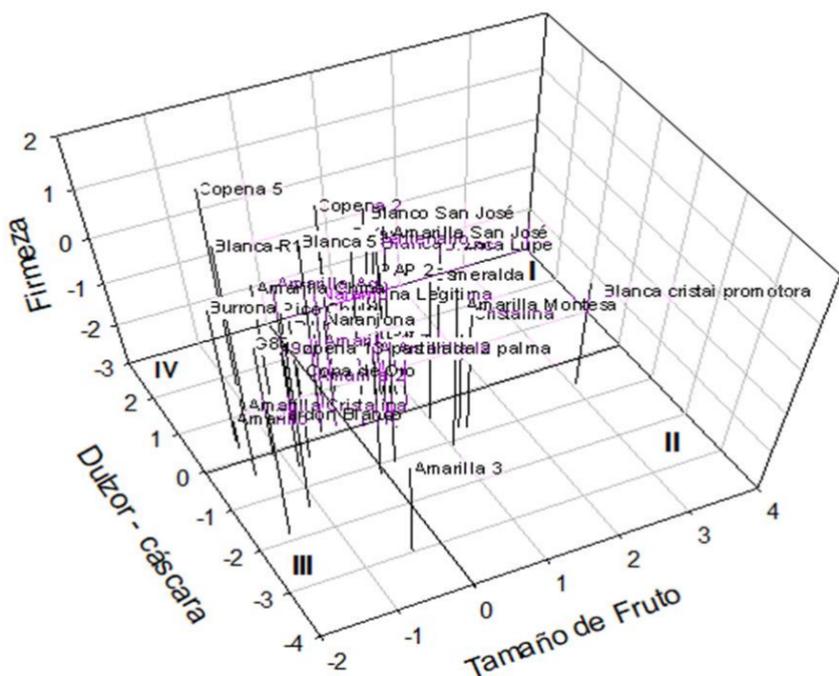


Figura 3. Distribución del tamaño de fruto, dulzor-cáscara y firmeza de accesiones de *Opuntia* spp. con “cáscara amarilla y naranja” del banco de germoplasma del Campo Experimental Zacatecas.

Tunas Rojas

El primer componente (CP I) explicó la mayor variabilidad (51.8%). Los vectores raíz y los valores de las correlaciones entre las variables originales y el CPI sugieren un contraste entre peso de la tuna, número-peso

de semilla versus sólidos solubles totales (Cuadro 16). En contraste, el CP II explicó 23.7% de la variabilidad de los atributos de calidad, donde, la firmeza y el grosor de la cascara contribuyeron positiva y significativamente dentro de ese CP (Cuadro 16). Por lo tanto, los CP I y II fueron redefinidos como “Dimensiones de fruto-Dulzor”, “Firmeza”, respectivamente.

Cuadro 16. Vectores raíz (VR) y correlación lineal simple (R) entre algunos atributos de calidad y los VR de los dos primeros componentes principales (CP) de Tunas Rojas de genotipos de nopal tunero del banco de germoplasma del Campo Experimental Zacatecas.

Atributos de calidad/estadígrafos	CP I		CP II	
	VR	R	VR	R
Peso de la tuna	0.49	0.78*	-0.43	-0.48
Firmeza	0.22	0.37	0.59	0.64*
Número de semillas	0.58	0.92***	-0.21	-0.23
Sólidos solubles totales	-0.57	-0.90***	-0.07	0.06
Grosor de la cáscara	0.25	0.41	0.64	0.70*
Valor raíz	2.59		1.19	
Varianza explicada (%)	51.8		23.7	

*,***:Significativo con $p < 0.01$ ó < 0.001 , respectivamente.

De acuerdo a los dos primeros CP, las accesiones de *Opuntia* spp de fruta con “cáscara roja” posicionados en el Cuadrante I fueron Amarillo Calera y Rojo Azteca. Sin embargo, la primera accesión tuvo fruta más más grande, firme y dulce que la segunda accesión. Los genotipos Lira, 29-R y PAT se ubicaron en el Cuadrante II y se caracterizaron por tener fruta grande y dulce, pero menos firme que aquellos genotipos del Cuadrante I. Los genotipos Apastillada-2 y Lisa Conafrut produjeron la fruta más pequeña, menos dulce y firme de este grupo de genotipos (Cuadrante III). Aun cuando Solferino se ubicó en el Cuadrante IV, este genotipo tuvo una similitud con Apastillada-2 (Cuadrante III). En el Cuadrante IV se concentran dos accesiones (Sangre de toro, Chapeada y Solferino), cuya firmeza fue alta en comparación a los genotipos del Cuadrante I, pero con menores dimensiones de fruto y contenidos de azúcares (Figura 4).

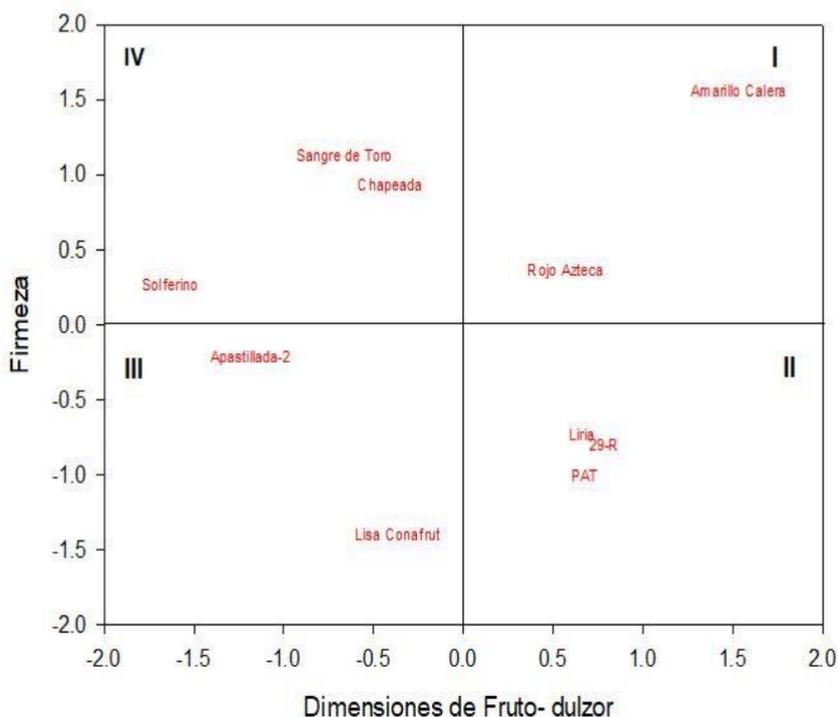


Figura 4. Distribución del tamaño de fruto-dulzor y firmeza de accesiones de *Opuntia* spp. con “cáscara roja” del banco de germoplasma del Campo Experimental Zacatecas.

Tunas Púrpuras y Rosadas

El primer componente (CP I) explicó la mayor variabilidad (52.0%). Sugiere un contraste entre el peso de la tuna, los sólidos solubles totales versus la firmeza del fruto. En contraste, el CP II explicó 24.1% de la variabilidad de los

atributos de calidad donde el grosor de la cáscara contribuyó positivamente en dicho CP (Cuadro 17). Finalmente, el CP III explicó solamente 18.1% de la variabilidad de los atributos de calidad, en el cual, el número de semilla contribuyó positivamente dentro de ese CP (Cuadro 17). Por lo tanto, los CP I, II, III fueron redefinidos como “Peso-Dulzor-Firmeza”, “Cáscara”, “Semilla “respectivamente.

Cuadro 17. Vectores raíz (VR) y correlación lineal simple (R) entre algunos atributos de calidad y los VR de los tres primeros componentes principales (CP) de Tunas Púrpuras y Rosadas de genotipos de nopal tunero del banco de germoplasma del Campo Experimental Zacatecas.

Atributos de calidad/estadígrafos	CP I		CP II		CP III	
	VR	R	VR	R	VR	R
Peso de la tuna	0.57	0.91***	0.19	0.20	-0.02	-0.02
Firmeza	-0.53	-0.87***	0.37	0.40	0.01	0.01
Número de semillas	0.35	0.57	0.11	0.12	0.84	0.80**
Sólidos solubles totales	0.51	0.83***	0.12	0.13	-0.53	-0.50
Grosor de la cáscara	-0.01	-0.01	0.90	0.99***	-0.03	-0.03
Valor raíz	2.60		1.20		0.90	
Varianza explicada (%)	52.0		24.1		18.1	

** , ***: Significativo con $p < 0.001$ ó < 0.0001 , respectivamente.

Las accesiones con fruta de “cáscara purpuras y rosadas” se posicionaron de la manera siguiente. En el Cuadrante I se ubicaron las accesiones Tapón Pelón, Sangre de Toro 2 y Verdulero con mayor grosor de cáscara, peso del fruto, contenido de azúcares y firmeza (Figura 5). Sin embargo, Tapón Pelón tuvo un alto contenido de semillas en comparación con Sangre de Toro 2 y Verdulero.

En el Cuadrante II se ubicaron las accesiones Tunero Calera, Tunero e Italiano Morado, cuyo grosor de cáscara y contenido de semilla fue menor que las del Cuadrante I, pero tuvieron fruta con mayor peso, contenido de azúcares y firmeza. El Cuadrante III estuvo representado únicamente por la accesión Roja 6, cuyo fruto fue bajo en número de semillas, con menor grosor de cáscara, menores dimensiones de fruto, bajo en azúcares y firmeza. Las accesiones Roja Santa Rosa y Rosa de Castilla conformaron el cuadrante IV. Estas últimas accesiones tuvieron frutas con un bajo número de semillas, con grosor de cáscara promedio, las dimensiones del fruto, dulzor y firmeza fueron bajos en comparación a la fruta de los genotipos del Cuadrante I (Figura 5).

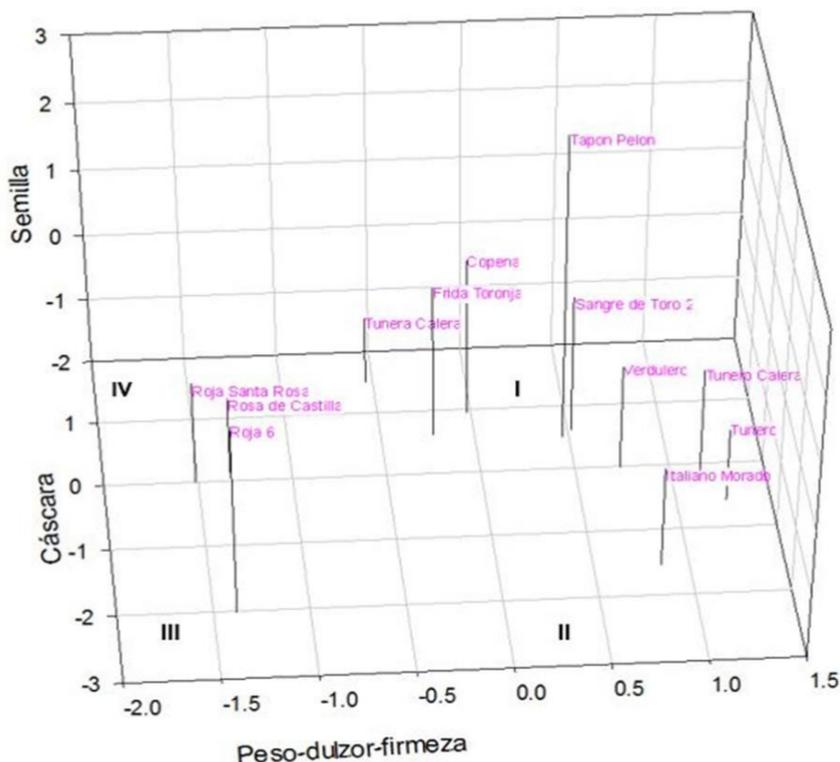


Figura 5. Distribución del peso-dulzor-firmeza, grosor de cáscara y número de semillas de accesiones de *Opuntia* spp. con “cáscara púrpura y rosada” del banco de germoplasma del Campo Experimental Zacatecas.

Todas las Tunas

El primer componente (CP I) explicó la mayor variabilidad (43.8%). Los vectores raíz y los valores de las

correlaciones entre las variables originales y el CPI sugieren un contraste entre la firmeza y el grosor de la cáscara versus sólidos solubles totales (Cuadro 18). En contraste, el (CP II) explicó 33% de la variabilidad de los atributos de calidad, donde, el peso fresco del fruto y el número de semilla contribuyeron positiva y significativamente dentro de ese CP (Cuadro 18). Por lo tanto, el CP I y II fueron redefinidos como ‘Firmeza-dulzor’ y ‘Tamaño de fruto’, respectivamente.

Cuadro 18. Vectores raíz (VR) y correlación lineal simple (R) entre algunos atributos de calidad y los VR de los dos primeros componentes principales (CP) para los genotipos de nopal tunero ignorando el color de la cáscara del banco de germoplasma del Campo Experimental Zacatecas.

Atributos de calidad/estadígrafos	CP I		CP II	
	VR	R	VR	R
Peso de la tuna	0.17	0.24	0.70	0.89***
Firmeza	0.50	0.75***	-0.11	-0.14
Número de semillas	0.28	0.40	0.64	0.82***
Sólidos solubles totales	-0.57	-0.83***	0.25	0.32
Grosor de la cáscara	0.57	0.83***	-0.16	-0.20
Valor raíz	2.19		1.64	
Varianza explicada (%)	43.8		33.0	

** , ***: Significativo con $p < 0.001$ ó <0.0001 , respectivamente.

En comparación con el resto de los genotipos, 'Blanca Lupe', 'Promotora 3' y 'Tapón Pelón' (Cuadrante I) produjeron la fruta con mayor firmeza y grosor de cáscara con menos dulzor, pero la fruta fue la de mayor tamaño y número de semilla. La tuna '29 Blanco' y 'Papantón', 'COPENA 15', 'COPENA 16' y 'Octubreña' (Cuadrante II). Entre otros genotipos, 'Rojo Santa Rosa', 'Cardón Blanco', 'Roja 6', 'COPENA 13', 'Chapeada', 'Sangre de Toro' y 'Solferino' produjeron tuna con menor firmeza y grosor de cáscara, pero con mayor dulzor y menor tamaño de fruta y menor número de semillas (Cuadrante III). En el Cuadrante IV se posicionó la tuna de los genotipos 'Blanca-R1', 'Tuna Calera', 'Charola Tardía', 'COPENA 2', 'COPENA 3', entre otros genotipos, produjeron fruta de mayor tamaño y número de semillas, pero al mismo tiempo, la fruta tuvo menor firmeza y grosor de cáscara, pero más dulces. El resto de los genotipos tendieron a producir tunas con valores promedio de los parámetros estudiados (Figura 6).

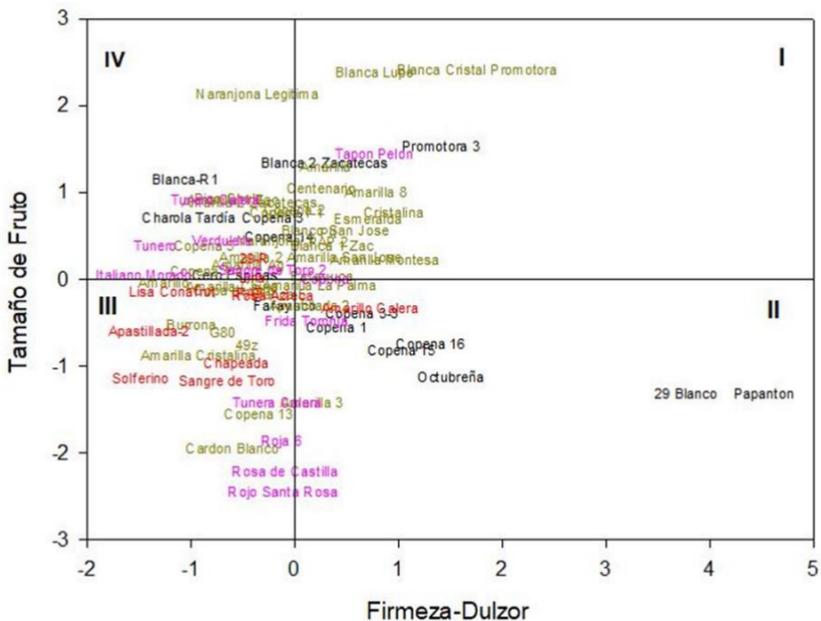


Figura 6. Distribución de firmeza-dulzor-firmeza, y tamaño de fruto de accesiones de *Opuntia* spp. del banco de germoplasma del Campo Experimental Zacatecas.

DISCUSIÓN

A pesar de la amplia relevancia que tiene el género *Opuntia* en México, pocos trabajos de investigación han abordado la variabilidad genética. La gran diversidad de genotipos de este género, resulta de un gradiente de domesticación que va desde las especies típicamente silvestres, hasta las

domesticadas, lo que representa una variabilidad amplia de frutos y formas de la planta del nopal (Ortiz *et al.*, 2013). De aquí que los estudios de caracterización, son de gran importancia para desarrollar estudios morfológicos, anatómicos, fisiológicos, bioquímicos y genéticos que ayuden a ampliar el conocimiento de las etapas fenológicas y del ambiente.

La aplicación de descriptores para *Opuntia* del banco de germoplasma del INIFAP del Campo Experimental Zacatecas, permitió caracterizar 75 accesiones, lo que condujo a identificar la variabilidad de los materiales. Se identificaron características cualitativas que están relacionadas con la arquitectura de la planta. La forma del cladodio de cada accesión resulta importante para establecer los criterios de poda y de forma que tendrá una variedad de nopal si es que ésta será utilizada para producción de tuna o algún otro propósito.

Para el salvaguardo de las especies vegetales de importancia agrícola, la mayor parte de los esfuerzos nacionales se han concentrado en la conservación *in situ* de los recursos genéticos. Para que los recursos genéticos

sean usados eficientemente, es necesario conocer sus características deseables y no deseables (Boukema y van Hintum, 1999). Si bien hay listas de descriptores para la caracterización de la mayor parte de las especies de importancia, es necesario coordinar esfuerzos con los programas de mejoramiento, de tal manera que se definan listas adicionales de descriptores que puedan satisfacer los requerimientos específicos de información (Gebauer *et al.*, 2007). En este estudio, los descriptores para el germoplasma de nopal (*Opuntia* spp.) fueron conformados de acuerdo a publicaciones donde se establecen diferentes criterios (Ochoa, 2003; Erre *et al.*, 2009; Chessa, 2010; Erre y Chessa, 2010; Chalak *et al.*, 2014)

En lo referente al color del cladodio, es muy posible que en muchas accesiones, éste dependa en gran medida del contenido de clorofila como lo señala Nobel (2001), ya que puede estar sujeto a la interacción de factores abióticos como lo son la irradiación, la disponibilidad de agua, la calidad y cantidad de nutrientes inorgánicos (Irizar-Garza y Peña-Valdivia, 2000), aunado también a la densidad de plantas y misma orientación de los cladodios, tal y como lo menciona Carranza-Sabas *et al.*, (2004). En los materiales

caracterizados, para el descriptor de “color de cladodio”, se presentaron todas las variaciones de color verde (claro, medio, oscuro y azulado) e inclusive el amarillo-verdoso, lo cual sugiere que la variación del color entre las accesiones está asociado a factores genéticos, ya que las accesiones estuvieron expuestas a las mismas condiciones ambientales.

En trabajos de caracterización genética de una colección de nopal (*Opuntia* spp.) de la región Centro de México (Mondragón-Jacobo, 2002), se consigna que variedades como Camuesa, Esmeralda e Italiana, no presentaron espina en el cladodio. Lo mismo indicó Mondragon-Jacobo (2003) para la variedad Camuesa. Sin embargo, en esta caracterización las accesiones Camuesa e Italiana presentaron espina. La característica de la presencia o no de espinas, ha sido un atributo de calidad de importancia comercial producto de la domesticación de las formas silvestres de *Opuntia* (Hawkes, 1983).

Un hecho que llama la atención es la posible correspondencia de la presencia de gloquidios con la manifestación de espinas, pues prácticamente aquellas

accesiones que presentaron gloquidios, también poseen espinas. Este atributo fue observado igualmente por Carranza-Sabas et al. (2004), quienes argumentaron que las variantes con espinas poseen aréolas de mayor tamaño y una cantidad significativamente mayor de estas estructuras respecto a las variantes sin espinas. Al respecto, Gibson y Nobel (1990) establecieron que las áreolas dan origen a los gloquidios con dos tipos de meristemas, o bien, un tipo producirá estructuras vegetativas y las otras estructuras reproductivas. Así, la expresión fenotípica natural conduce, en primera instancia, al desarrollo de cladodios, característica antropológica importante en la selección de genotipos sin espinas.

La concentración de azúcares en el fruto, como parte de la materia seca, es de importancia comercial. Esta característica, técnicamente indicada como sólidos solubles totales (SST), se registra en términos de grados Brix ($^{\circ}\text{Bx}$); es decir, los SST en porcentaje que están disueltos en la pulpa (Zanor *et al.*, 2009). Al respecto, publicaciones sobre los SST en tuna (Sáenz y Sepúlveda, 2001; Stintzing *et al.*, 2005; Zafra-Rojas *et al.*, 2013) en donde se consignan valores de SST entre 11.8 y 16.2%.

Las accesiones del banco de germoplasma del Campo Experimental Zacatecas, registraron valores de 11% como los más bajos, siendo en promedio 14.4%, ya que accesiones como Amarilla Ag, Charola Tardía, Blanca 5, Naranjona Legitima, Burrona y Lisa Conafrut produjeron valores de 16%, accesiones como Apastillada-2, Tunero Calera, Solferino, Verdulero, Italiano Morado, Cero Espinas y Copena 3 presentaron valores de 17%, pero hubo accesiones como Copena 1, Blanca-R1, Tunero y Copena 5 con 18%. Espinoza-Sánchez et al. (2016), en la variedad 'Sangre de Toro' observaron valores entre 10.3 y 13.9%, mientras que en este trabajo se registraron valores de 15% para la misma variedad. Similarmente, para 'Burrona' se han consignado valores entre 10.3 y 13.9%, aquí se registró, en promedio, 16% para el mismo genotipo. Es muy posible que haya efecto de las condiciones ambientales de cada año, que provoquen diferencias en los valores de SST.

CONCLUSIONES

Se caracterizaron 75 accesiones del banco de germoplasma de *Opuntia*, contando con una

representación de los tipos de cladodios, espinas, flores y frutos que cada una de éstas posee, estableciendo una descripción de la diversidad genética de cada una de ellas.

Se determinó que la mayoría de las accesiones tienen cladodios aovados, de color verde oscuro, con columna emergente, y gloquidios ausentes, con cantidad intermedia de espinas, siendo éstas de color blanco, de superficie suave, siendo la espina central semi-erecta y de flexibilidad firme y de sección transversal circular. La época de floración se observó entre la última semana de abril y la primera de mayo, con flores de tamaño intermedio y de color de pétalos naranja, perianto amarillo, y color verde del lóbulo del estigma. La mayoría de los frutos fueron amarillos y redondos con una masa entre 81 y 120 g y SST con 15%. El color de la pulpa fue de color verdoso, amarillo oscuro, rojo, rosa y fucsia con una firmeza media.

El uso de caracteres cualitativos y cuantitativos permite integrar una caracterización específica para cada accesión, con ello, se faculta establecer criterios de selección según la utilidad deseada.

Asimismo, el estudio evidenció la necesidad de caracterizar bioquímicamente algunas accesiones con interés agroindustrial, como lo es la presencia de pigmentos, pectinas, azúcares, entre otros, y con ello potencializar la descripción y utilidad de cada accesión.

LITERATURA CITADA

Boukema, I.W., van Hintum, T.J., 1999. 14 Genetic resources, Developments in plant genetics and breeding. Elsevier, Place Book Section Published, pp. 461-479.

Carranza-Sabás, J.A., Peña-Valdivia, C.B., Reyes-Agüero, J.A., Luna-Cavazos, M., Flores-Hernández, A., 2004. Caracterización morfológica *in situ* de cladodios de *Opuntia* spp. en Bermejillo, Durango. Revista Chapingo Serie Horticultura 10, 75-77.

Chalak, L., Younes, J., Rouphael, S., Hamadeh, B., 2014. Morphological characterization of prickly pears (*Opuntia ficus indica* (L.) Mill.) cultivated in Lebanon. International Journal of Science and Research 3, 2541-2553.

Chessa, I., 2010. Cactus pear genetic resources conservation, evaluation and uses. Improved utilization of cactus pear for food, feed, soil and water conservation and other products in Africa, 43.

Erre, P., Chessa, I., Nieddu, G., Jones, P.G., 2009. Diversity and spatial distribution of *Opuntia* spp. in the Mediterranean Basin. Journal of Arid Environments 73, 1058-1066.

Erre, P., Chessa, I., 2010. Discriminant analysis of morphological descriptors to differentiate the *Opuntia* genotypes, VII International Congress on Cactus Pear and Cochineal 995, pp. 43-50.

Gallegos-Vázquez, C., Cervantes-Herrera, A., Barrietos-Priego, A.F., Ramírez Ramírez, S.P., 2008. Graphic Handbook for the Variety Description of Cactus Pear and Xoconostle (*Opuntia* spp.). Universidad Autónoma de Chapingo, Tlalnepantla, Estado de México.

Gebauer, J., Luedeling, E., Hammer, K., Nagieb, M., Buerkert, A., 2007. Mountain oases in northern Oman: an environment for evolution and in situ conservation of plant genetic resources. *Genetic resources and crop evolution* 54, 465-481.

Gibson, A.C., Nobel, P.S., 1990. *The cactus primer*. Harvard University Press.

Hawkes, J.G., 1983. *The diversity of crop plants*. Birmingham Univ., Dep. of Bot.

Irizar-Garza, M.B., Peña-Valdivia, C.B., 2000. Chlorophyll and photosynthetic oxygen evolution in water-stressed triticale (*Tricosecale Wittmack*) and wheat (*Triticum aestivum* L.) during vegetative stage. *Cereal Research Communications* 28, 387-394.

Mondragón-Jacobo, C., 2002. Caracterización genética de una colección de nopal (*Opuntia* spp.) de la región Centro de México. *Agricultura Técnica en México* 28, 3-14.

Mondragón-Jacobo, C., 2003. Caracterización molecular mediante RAPDs de una colección de nopal de (*Opuntia* spp. Cactaceae) del centro de México, como base del mejoramiento genético. *Revista Chapingo* 9, 97-114.

Nobel, P., 2001. Ecophysiology of *Opuntia ficus-indica*, in: Mondragón-Jacobo, C., Pérez-González, S. (Eds.), *Cactus (Opuntia spp.) as Forage*. FAO Plant Production and Protection Paper (FAO), Place Book Section Published, pp. 13-20.

Ochoa, J., 2003. Cactus pear (*Opuntia* spp.) varieties main characteristics at Republica Argentina. *Cactusnet Newsletter*, 31.

Ortiz, Á.V., Astudillo, I.C.P., García, J.M., 2013. Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural. *Revista Colombiana de Biotecnología* 15, 137-144.

Sáenz, C., Sepúlveda, E., 2001. Cactus-pear juices. *Journal of the Professional Association for Cactus Development* 4.

Stintzing, F.C., Herbach, K.M., Mosshammer, M.R., Carle, R., Yi, W., Sellappan, S., Akoh, C.C., Bunch, R., Felker, P., 2005. Color, betalain pattern, and antioxidant properties of cactus pear (*Opuntia* spp.) clones. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53, 442-451.

Zafra-Rojas, Q.Y., Cruz-Cansino, N., Ramírez-Moreno, E., Delgado-Olivares, L., Villanueva-Sánchez, J., Alanís-García, E., 2013. Effects of ultrasound treatment in purple cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) juice. *Ultrasonics sonochemistry* 20, 1283-1288.

Zanor, M.I., Osorio, S., Nunes-Nesi, A., Carrari, F., Lohse, M., Usadel, B., Kühn, C., Bleiss, W., Giavalisco, P., Willmitzer, L., 2009. RNA interference of LIN5 in tomato confirms its role in controlling Brix content, uncovers the influence of sugars on the levels of fruit hormones, and demonstrates the importance of sucrose cleavage for normal fruit development and fertility. *Plant physiology* 150, 1204-1218.

ANEXOS

Guia de Descriptores utilizados

- Descriptores para Cladodios
- Descriptores para Espinas
- Descriptores para Flores
- Descriptores para Frutos

Descriptores para Cladodios

Forma



Aovado



Circular



Elíptico

Color



Amarillo verde



Verde claro



Verde Medio



Verde Oscuro



Verde Azulado

Cantidad de Espinas



Ausente



Pocos



Intermedio



Muchos

Columnna



Emergente



Hundido

Gloquideos



Ausente o muy Pocos



Medio



Muchos

Descriptores para Espinas

Color



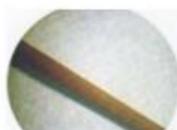
Gris



Blanco



Amarillo



Marron

Cantidad Colores



Uno

Dos

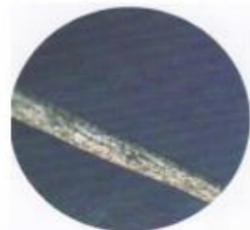
Superficie



Suave



Estirado



Pincho

Espina Central



Erguido



Semi-erecto

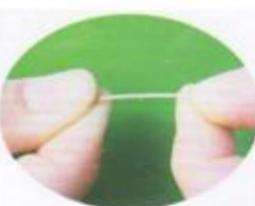


Horizontal

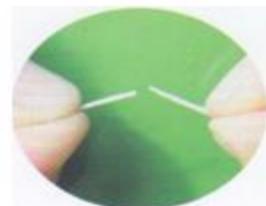
Flexibilidad



Flexible



Firme



Frágil

Curvatura



Ausente



Presente

Retorcido



Ausente



Presente

Vista Dorsal



Aciculado



Estrecho triangular

Sección Transversal



Elíptico



Circular



Triangular

Color Gloquideos



Amarillo



Marron



Descriptores para Flores

Color del estilo



Verde



Bianco



Amarillo

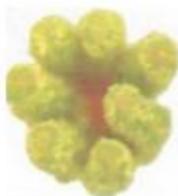


Rosa



Naranja

Número de lóbulos del estigma



Muy pocos – Pocos



Medio



Muchos



Demasiados

Color del lóbulo del estigma



Amarillo



Verde

Color de los pétalos



Amarillo



Naranja



Rosa



Bicolor



Eiusa

Descriptores para Frutos

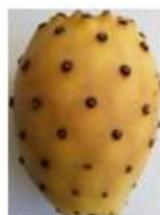
Forma



Ovoide



Redondo



Elíptico



Ovalado

Tamaño



Muy pequeño



Pequeño



Medio



Grande



Muy grande

Cicatriz recepticular



Elevado



Aplastado



Hundido

Color cascara



Verde claro



Verdoso



Amarillo



Amarillo oscuro



Naranja



Rosa



Rojo



Rojo Profundo



Purpura



Fiusha

Gloquideos



Pocos



Intermedio



Muchos

Color pulpa



Verde

Blanco

Amarillo claro

Amarillo

Amarillo oscuro



Naranja

Rosa

Rojo

Rojo profundo

Purpura

Semillas



Muy pocos

Pocos

Medio

Muchos

REVISIÓN TÉCNICA

Dr. Juan Manuel Pichardo González
Centro Nacional de Recursos Genéticos - INIFAP

M.Sc. Mario Rafael Fernández Montes
INIFAP Querétaro

DISEÑO DE PORTADA

Dr. Luis Roberto Reveles Torres

CÓDIGO INIFAP

MX-0-241720-51-02-11-09-99

COMISIÓN EDITORIAL DEL CEZAC

Presidente: Dra. Raquel K. Cruz Bravo

Secretario: MC. Ricardo A. Sánchez Gutiérrez

Vocal: Dr. Luis R. Reveles Torres

Vocal: Dr. Francisco Gpe. Echavarría Cháirez

Vocal: MC. Mayra Denise Herrera

El proceso editorial de esta publicación y el formato electrónico se terminó en diciembre de 2018 en el Campo Experimental Zacatecas, Km 24.5 Carretera Zacatecas-Fresnillo. CP. 98500, Calera de V. R., Zacatecas, México.

Tel. 01 800 088 2222 ext 82328

www.zacatecas.inifap.gob.mx

CAMPO EXPERIMENTAL ZACATECAS

DIRECTORIO

MC. Ricardo Alonso Sánchez Gutiérrez **Director de Coordinación y Vinculación**

Dr.	Guillermo Medina García	Agrometeorología y Modelaje
MC.	Nadiezhdá Y. Ramírez Cabral	Agrometeorología y Modelaje
Ing.	José Israel Casas Flores	Agrometeorología y Modelaje
Dr.	Alfonso Serna Pérez	Fertilidad de suelos y nutrición vegetal
Ing.	José Ángel Cid Ríos	Frijol y Garbanzo
MC.	Juan José Figueroa González*	Frijol y Garbanzo
MC.	Mayra Denise Herrera	Frijol y Garbanzo
Dr.	Jorge A. Zegbe Domínguez	Frutales
MC	Valentín Melero Meraz	Frutales
Ing.	Manuel Reveles Hernández	Hortalizas
MC.	Miguel Servin Palestina*	Ingeniería de Riego
Dra.	Raquel Cruz Bravo	Inocuidad de Alimentos
MC	Enrique Medina Martínez	Maíz
MC.	Francisco A. Rubio Aguirre	Pastizales y Cultivos Forrajeros
Dr.	Ramón Gutiérrez Luna	Pastizales y Cultivos Forrajeros
Ing.	Ricardo A. Sánchez Gutiérrez	Pastizales y Cultivos Forrajeros
Dr.	Luis Roberto Reveles Torres	Recursos Genéticos: Forestales, Agrícolas, Pecuarios y Microbianos
Dr.	Jaime Mena Covarrubias	Sanidad Forestal y Agrícola
Dr.	Rodolfo Velásquez Valle	Sanidad Forestal y Agrícola
Dra.	Blanca I. Sánchez Toledano	Socioeconomía

* Becarios

WWW.INIFAP.GOB.MX

SAGARPA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA,
GANADERÍA, DESARROLLO RURAL,
PESCA Y ALIMENTACIÓN



inifap

Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias