

CENITR(nr,)'.NV),S'I':!'GACJ:ON EN ALJ:MEN'I'ACION Y DI!SARROLLO; A, C,

CAMBIOS QUIMICOS Y FISIOLÓGICOS DURANTE EL DESARROLLO DE CLADODIOS
(NOPALITOS) DE 3 ESPECIES DE Opuntia.

Por

ARMIDA RODRIGUEZ FELIX

1.2.7

Des1.EJ Aprobada Por el

DEPAR_'AMEN'O t)E ND'rIU:CION Y ALI:MENTOS

Como Requ.IEJlto Pai clal Para Obtener

El Grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

EN NUTRICION Y ALIMENTOS

1986

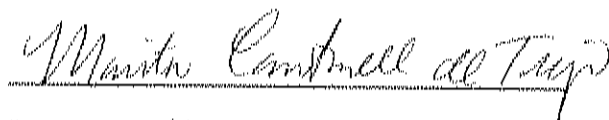
DECLARACION DEL AUTOR

Se permiten citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial del autor siempre y cuando se dé el crédito correspondiente. Se podrá solicitar permiso para otras más amplias o la reproducción íntegra del documento para fines académicos, al Director del Centro o al jefe del Departamento. Bajo cualquier otra circunstancia, se deberá obtener permiso del autor.

FIRMADO _____

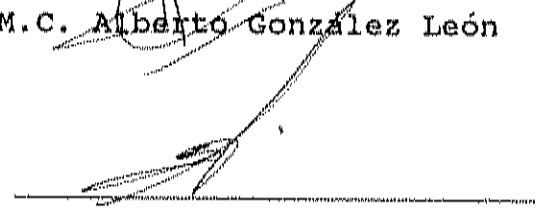
APROBACION

Los miembros del Comité designado para revisar la Tesis de ARMIDA RODRIGUEZ FELIX la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Nutrición y Alimentos.



Dra. Marita Cantwell de Trejo
Director de Tesis


M.C. Alberto González León


M.C. Augusto Trejo González

Fecha Marzo 20 de 1986

A ti Señor que me
orientas y me muestras
el camino.

A mi familia y amigos, especialmente
a Martha Sylvia por el cariño y
apoyo que me brindó en vida . Mi
admiración y respeto por su fuerza de
voluntad y su amor por la vida.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte del proyecto "Evaluación de Variedades de Nopal Tunero y Nopal Verdura (Opuntia spp.) Durante la Postcosecha aprobado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (84/2238) y se realiza actualmente en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Instituciones a las que agradezco el apoyo brindado.

Agradezco especialmente a la Escuela de Agricultura de la Universidad de Sonora por permitirme el acceso a las plantaciones para la elaboración de algunos estudios y facilitar el material experimental esencial para la realización de este trabajo. A la Dra. Marita Cantwell de Trejo por su orientación y ayuda durante el desarrollo de la investigación, al M.C Augusto Trejo González y M.C. Alberto González León por su asesoría en la preparación de este manuscrito.

A los Pasantes de Ing. Agrónomo Fabián Robles y Alfonso Sánchez V., a la Q.B. Ma. Lourdes Gutiérrez C., a la Q. Leticia García Rico y a Humberto Astiazarán por su valiosa ayuda en el trabajo de campo. A la Unidad de Estadística y Cómputo y al M.C José Lozano T. por su asesoría en el análisis de resultados y a todas las demás personas que colaboraron en la culminación de esta investigación ¡GRACIAS!.

CONTENIDO

	Página
LISTA DE CUADROS	viii
LISTA DE FIGURAS	x
RESUMEN	xii
INTRODUCCION	1
REVISION DE LITERATURA	4
Aspectos Botánicos	4
Composición Química	5
Agua	5
Cenizas	6
Carbohidratos	6
Lípidos	7
Proteína	8
Pigmentos	8
Vitaminas	8
Sólidos Solubles	9
Acidos Orgánicos y pH	9
Cultivo y Manejo Postcosecha	10
Cultivo	10
Manejo Postcosecha	11
MATERIALES Y METODOS	12
Estudio de Crecimiento	12
Colección de Material Experimental	13
Humedad	14
Proteína	14
Grasa	14
Cenizas	14
Fibra Cruda	15
Carbohidratos Totales	15
Determinación de pH	15
Acidez Titulable	16
Sólidos Solubles Totales	16
Pectinas	16
Azúcares Reductores	19
Clorofila y Carotenos	20
Fenoles	22
Acido Ascórbico	23
Cambios Diurnales de Acidez Titulable	24
Cambios de Acidez Durante el Almacenamiento	25

CONTENIDO (Continuación)

Determinación de Producción de Dióxido de Carbono y Etileno	25
Análisis Estadístico	26
RESULTADOS Y DISCUSION	28
Clasificación en Base a Longitud y Peso	28
Humedad	28
Proteína	31
Grasa	33
Cenizas	33
Fibra Cruda	35
Carbohidratos Totales	39
Determinación de pH	39
Acidez Titulable	41
Sólidos Solubles Totales	41
Azúcares Reductores	44
Pectinas	47
Clorofila	47
Carotenos	50
Fenoles	50
Ácido Ascórbico	53
Cambios Diurnales de Acidez Titulable	53
Cambios de Acidez Durante el Almacenamiento	56
Valor Nutritivo de los Nopalitos	61
Estudio de Crecimiento	63
Producción de Dióxido de Carbono y Etileno	68
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
BIBLIOGRAFIA	81

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
1.	Clasificación de los Cladodios de 3 Especies de <u>Opuntia</u> por Estado de Desarrollo	29
2.	Contenido de Humedad de los Cladodios de 3 Especies de <u>Opuntia</u>	30
3.	Contenido de Proteína de los Cladodios de 3 Especies de <u>Opuntia</u>	32
4.	Contenido de Lípidos de los Cladodios de 3 Especies de <u>Opuntia</u>	34
5.	Contenido de Cenizas de los Cladodios de 3 Especies de <u>Opuntia</u>	36
6.	Contenido de Fibra Cruda de los Cladodios de 3 Especies de <u>Opuntia</u>	37
7.	Contenido de Carbohidratos Totales de los Cladodios de 3 Especies de <u>Opuntia</u>	40
8.	Valor de pH de los Cladodios de 3 Especies de <u>Opuntia</u>	42
9.	Contenido de Acidez Titulable de los Cladodios de 3 Especies de <u>Opuntia</u>	43
10.	Contenido de Sólidos Solubles Totales de los Cladodios de 3 Especies de <u>Opuntia</u>	45
11.	Contenido de Azúcares Reductores de los Cladodios de 3 Especies de <u>Opuntia</u>	46
12.	Contenido de Pectinas Totales de los Cladodios de 3 Especies de <u>Opuntia</u>	48
13.	Contenido de Clorofila de los Cladodios de 3 Especies de <u>Opuntia</u>	49
14.	Contenido de Carotenos de los Cladodios de 3 Especies de <u>Opuntia</u>	51
15.	Contenido de Fenoles de los Cladodios de 3 Especies de <u>Opuntia</u>	52

LISTA DE CUADROS (Continuación)

16.	Contenido de Acido Ascórbico de los Cladodios de 3 Especies de <u>Opuntia</u>	54
17.	Composición Promedio de los Cladodios de 3 Especies de <u>Opuntia</u> en los Estados de Desarrollo 2, 3 y 4 (Comerciales) Referida en Base Seca	62
18a.	Composición Química de Nopal, Lechuga y Espinaca Referida en Base Húmeda	64
18b.	Composición Química de Nopal, Lechuga y Espinaca Referida en Base Seca	65

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1.	Cambios Diurnos de Acidez Titulable de Nopal Forrajero (<u>O. ficus-indica</u>) en Estado de Desarrollo 3 (Octubre de 1985)	55
2a.	Cambios de Acidez Titulable Durante el Almacenamiento de Nopal Forrajero (<u>O. ficus-indica</u>). Estado de Desarrollo 1; Cosechado por la Mañana	57
2b.	Cambios de Acidez Titulable Durante el Almacenamiento de Nopal Forrajero (<u>O. ficus-indica</u>). Estado de Desarrollo 3; Cosechado por la Mañana	58
3a.	Cambios de Acidez Titulable Durante el Almacenamiento de Nopal Forrajero (<u>O. ficus-indica</u>). Estado de Desarrollo 1; Cosechado por la Tarde	59
3b.	Cambios de Acidez Titulable Durante el Almacenamiento de Nopal Forrajero (<u>O. ficus-indica</u>). Estado de Desarrollo 3; Cosechado por la Tarde	60
4.	Curva de Crecimiento (Longitud) de Nopal Verdura (<u>O. inermis</u>). Mayo a Julio de 1985..	66
5.	Curva de Crecimiento (Grosor) de Nopal Verdura (<u>O. inermis</u>). Mayo a Julio de 1985..	67
6a.	Producción de Dióxido de Carbono de Nopal Forrajero (<u>O. ficus-indica</u>) Durante el Almacenamiento a 20 C y 95 % de H.R., Estado de Desarrollo 1; Cosechado en Septiembre de 1985	69
6b.	Producción de Dióxido de Carbono de Nopal Forrajero (<u>O. ficus-indica</u>) Durante el Almacenamiento a 20 C y 95 % de H.R., Estado de Desarrollo 3; Cosechado en Septiembre de 1985	70

7a.	Producción de Dióxido de Carbono de Nopal Verdura (<u>O. inermis</u>) Durante el Almacenamiento a 20 C y 95 % de H.R., Estado de Desarrollo 1; Cosechado en Septiembre de 1985...	71
7b.	Producción de Dióxido de Carbono de Nopal Verdura (<u>O. inermis</u>) Durante el Almacenamiento a 20 C y 95 % H.R., Estado de Desarrollo 3; Cosechado en Septiembre de 1985..	72
8a.	Producción de Etileno de Nopal Forrajero (<u>O. ficus-indica</u>) Durante el Almacenamiento a 20 C y 95 % H.R., Estado de Desarrollo 1; Cosechado en Septiembre de 1985	74
8b.	Producción de Etileno de Nopal Forrajero (<u>O. ficus-indica</u>) Durante el Almacenamiento a 20 C y 95 % H.R., Estado de Desarrollo 3; Cosechado en Septiembre de 1985	75
9a.	Producción de Etileno de Nopal Verdura (<u>O. inermis</u>) Durante el Almacenamiento a 20 C y 95 % H.R., Estado de Desarrollo 1; Cosechado en Septiembre de 1985	76
9b.	Producción de Etileno de Nopal Verdura (<u>O. inermis</u>) Durante el Almacenamiento a 20 C y 95 % H.R., Estado de Desarrollo 3; Cosechado en Septiembre de 1985	77

RESUMEN

Las áreas desérticas del Estado de Sonora que abarcan más del 35% de la superficie estatal, representan uno de los ecosistemas naturales para el establecimiento del nopal. En los últimos años se ha comenzado a cultivar el nopal verdura en las regiones temporaleras y algunas parcelas de riego de la Costa de Hermosillo. Aunque el nopal verdura se ha consumido en la parte central de México desde tiempos precolombinos, se ha investigado poco sobre los factores que afectan su composición, valor nutritivo y calidad después de la cosecha. En el presente trabajo se compara la composición y calidad de cladodios (nopalitos) en diferentes estados de desarrollo de 3 especies de *Opuntia* (*O. amyclaea*, *O. ficus-indica*, *O. inermis*). Este estudio se realizó con los nopalitos de la brotación de primavera bajo condiciones de temporal en plantaciones de 3 a 4.5 años de edad en la costa de Hermosillo, Sonora.

Se utilizó el peso y longitud de los cladodios como criterio para clasificarlos en 6 estados de desarrollo, En general, 100 g de cladodios (nopalitos) cosechados en estado comercial (15 - 20 cm de longitud) proporcionan la siguiente composición promedio: 91.7 g de agua; 1.1 g de proteína; 0.2 g de lípidos; 1.3 g de cenizas; 1.1 g de fibra cruda; 4.6 g de carbohidratos totales; y 0.82 g de azúcares simples; 12.7 mg de ácido ascórbico; 28.9 µg de carotenos; 23.8 mg de clorofila; 0.30 g de pectinas totales; 11.7 mg de fenoles. Presentan valores de 4.6 de pH; 6.9 grados Brix; 0.45 % de acidez titulable.

11,7 mg de fenolaa, Presentan valorea de 4.6 de pHl 6,9 grados Brix; 0,45 l de acidez titulabla.

La acidez titulable fu6 al componente más dinámico, mostrando cambios en contenido dependiendo de J.a hora de la cosecha y de la temperatura de almacenamiento de los nopalitoa, Las principales diferencias en composición de loa cladodioa de las 3 espacias fueron en al contenido de proteina, acidez y vitamina C. Loa componentes que variaron más notablemente durante el desarrollo de loa cladodios fueron: carotenoa, acidez tH:ulable y ct:1mbclhidxl1bs totalea que se i.nct úme.ntaxon, miantr,rn que proteína y fibra cruda disminuyeron, El valor nutritivo de loa nopalitos en los estados comerciales ea comparable al de la lechuga de cabela,

Loa rcr.mltados dlillpl osente trabajo comit.ituyen un cuadro de información básica y comparativa acerca de la aompoación y call.dad da nopalitoa producidos bajo laa mismas condiciones de cultivo en la Costa de Hermosillo; aste trabajo puede utilizarse como referencia al realizar otros estudios fisiológicos y de aprovechamiento de loa nopalitoa,

INTRODUCCION

En las zonas áridas o semiáridas que integran más del 50% de la superficie nacional, se desarrollan una gran diversidad de plantas adaptadas a las extremas condiciones climatológicas prevaletentes en estas áreas. Los nopales (Opuntia spp.) son uno de estos recursos vegetales nativos que se encuentran con una representación extensiva, siendo utilizado en la dieta humana desde tiempos antiguos.

Las áreas desérticas del Estado de Sonora abarcan el 36% de la superficie estatal (SARH, 1982). Una de éstas áreas es la Costa de Hermosillo, región que se encuentra con problemas de salinidad, abatimiento de los mantos acuíferos y disminución en los índices de precipitación pluvial. Esto ha ocasionado un cambio en el patrón de cultivos, disminuyendo el área destinada a cultivos tradicionales y plantando en su lugar cultivos que son económicamente más remunerativos en base a la cantidad de agua utilizada (manzana, nuez, durazno, etc.). Sin embargo, debido a la disminución de extracción de agua programada en la Costa de Hermosillo, como alternativas a largo plazo tienen que involucrarse plantas con mayor eficiencia en el uso de agua. El nopal hortaliza, planta que posee esta característica, ha sido introducido en áreas temporaleras y de riego de la región. Además, el nopal puede ser económicamente importante debido a que tiene gran diversidad de usos y a su alta productividad de 80-120

toneladas de cladodios/hectárea (López, 1977) citado por López, et al. (1978).

La producción de nopal ocurre durante todo el año, por lo que podría consumirse en las épocas en las que las hortalizas de hoja están limitadas en el mercado sonorense. En la parte central del País, área de producción tradicional de nopal hortaliza, se estima una producción anual de 27,000 toneladas (Ramayo, et al. 1978). La cosecha, manejo y mercadeo son generalmente rápidos por lo que no se han presentado problemas postcosecha; en la actualidad, las áreas de producción de nopalitos están quedando más lejos de los centros de consumo y haciendo más lenta la distribución, lo que hace necesario conocer más acerca de su calidad durante el manejo postcosecha. La información publicada sobre almacenamiento de nopalitos en fresco es escasa, Ramayo et al. (1978) mencionan que es una hortaliza perecedera, por lo que se precisan métodos y condiciones adecuadas para su conservación. La investigación realizada en México, en mayor parte en el centro del país, se ha enfocado principalmente hacia los aspectos agronómicos y son pocos los informes existentes acerca de los factores que influyen en la composición química y calidad de los nopalitos.

Dado el escaso conocimiento que se tiene de los nopalitos, proponiéndolos como una hortaliza que se integre a la dieta sonorense y pretendiendo formar una base de datos con utilidad para futuros estudios fisiológicos y de calidad, este trabajo tiene como objetivos:

Determinar y comparar algunas características físicas, químicas y fisiológicas de nopalitos de 3 especies en varios estados de desarrollo con el fin de establecer índices de calidad para el consumo.

REVISION DE LITERATURA

Debido a la facilidad de adaptación a todos los tipos de climas y suelos el nopal se ha desarrollado ampliamente en el Continente Americano, pero principalmente en México, donde existen más de 100 especies (Anón. 1983). Estas pueden utilizarse de diferente manera, ya sea, en la alimentación humana, como forraje o para la obtención de productos industrializados tales como colorantes. En lo que se refiere a su uso como hortaliza, la mayoría de las especies pueden ser consumidas siempre y cuando los cladodios o pencas estén tiernos (Anón., 1981).

Aspectos Botánicos

Para subsistir en las extremas condiciones climatológicas de las zonas áridas en las que crece, el nopal ha desarrollado ciertas características anatómicas de adaptación como son, el rápido crecimiento y longitud de sus raíces que le permite una óptima absorción de agua en la época de lluvias y el gran desarrollo del tejido parenquimatoso de los cladodios que le facilita el almacenamiento y conservación del agua en la época de sequía (Bravo-Hollis, 1978).

Estructuralmente la planta de nopal consta de raíz, tallo, hoja, flor, fruto y semilla semejante a las demás dicotiledóneas. El tallo está integrado por un tronco cilíndrico y de ramas aplanadas y discoides, las que se denominan comúnmente penca y botánicamente cladodios, ésta es la parte comestible como

verdura. Cuando el cladodio está tierno o joven tiene hojas reducidas, las que se caen una vez que el cladodio ha madurado; en las axilas de las hojas, se localizan las aréolas (yemas) a partir de las cuales se desarrollan nuevos brotes, flores, espinas, glóquidas (aguates), tricomas o pelos (lana) y en ocasiones raíces adventicias. El cladodio consta de tejido parenquimatoso fotosintético que cubre completamente al tejido parenquimatoso que almacena agua, lo que puede observarse al hacer un corte transversal del cladodio (Anón., 1981; Bravo-Hollis, 1978).

Composición Química

La composición química y valor nutritivo del nopal hortaliza va a depender de la especie, localización geográfica, estación, tipo de suelo, edad de la planta y tiempo de cosecha, entre otros factores. Dichas variables son importantes en la identificación y comparación de los nopales y determinan su valor como alimento humano (Feitosa-Teles, 1977).

Agua

El principal constituyente químico del nopal es el agua y el contenido varía en los diferentes géneros y especies dependiendo del contenido y disponibilidad del agua del suelo (Anón., 1981), encontrándose una variación de 79 a 95 % en tiempo de lluvias (Fernández-Landero, 1949, citado por Bravo-Hollis, 1978; Feitosa-Teles, 1977).

Cenizas

El contenido de cenizas del nopal va a variar dependiendo de la especie y aún dentro de la misma presenta variación, ya que depende de la composición química del suelo y es afectado por la acidez, salinidad, conductividad, grado de disociación, humedad y textura del suelo en el que se desarrolle la planta (Anón., 1981; Bravo-Hollis, 1978). Los principales minerales encontrados en las cenizas son calcio y potasio; magnesio, silicio y sodio en menor cantidad y un contenido mínimo de fierro, aluminio y manganeso, principalmente como carbonatos (Bravo-Hollis, 1978). El contenido de cenizas según estudios realizados por Fernández Landero (1949) citado por Bravo-Hollis (1978), Villarreal et al. (1963) y Feitosa-Teles (1977), es de 14 a 21, 12 a 17 y 24 % (base seca), respectivamente.

Carbohidratos

Los carbohidratos pueden encontrarse en forma de monosacáridos, disacáridos y polisacáridos. Feitosa-Teles (1977) determinó un contenido de 72.7% (base seca), en los que se encontró que los principales azúcares son: glucosa, sacarosa y arabinosa.

La pared celular de las plantas superiores está formada predominantemente por celulosa. La fibra cruda del nopal la constituyen principalmente celulosa y lignina y su contenido en el nopal según estudios realizados por Fernández Landero (1949)

citado por Bravo-Hollis (1978), es de 37.4% y de 8.9% según Feitosa-Teles (1977).

En la pared celular de las cactáceas se localiza el pectato de calcio que forma parte del grupo denominado sustancias pécticas. Villarreal et al. (1963) encontró un contenido de pectinas totales de 0.84 a 3.30% (base húmeda) y 15.2 a 34.4 % (base seca) en diferentes especies de nopal.

Las cactáceas poseen además otros compuestos que se derivan de carbohidratos tales como gomas y mucílagos (Bravo-Hollis, 1978). Es difícil cuantificar el contenido de estos componentes en el nopal, sin embargo se han realizado investigaciones sobre sus constituyentes encontrándose que el mucílago de O. ficus-indica es un arabano-galacturano con residuos de ramnosa, xilosa y ácido galacturónico (Trachtenberg y Mayer, 1981). No se conoce el papel de este componente en la fisiología del nopal, pero se ha propuesto que permite a las células mayor retención de agua y consecuentemente mayor resistencia de la planta a la sequía y altas temperaturas.

Lípidos

Los nopales tienen un contenido de lípidos muy bajo, que son principalmente lípidos estructurales, dicho contenido según Fernández Landero (1949) citado por Bravo-Hollis (1978) y Feitosa-Teles (1977) es de 0.1 a 0.3 y 0.4 % (base húmeda), respectivamente.

Proteína

Las proteínas representan un porcentaje bajo en la composición química del nopal en fresco, el cual es de 11.03% en base seca para cladodios juvenes según Feitosa-Teles (1977). La proteína del nopal contiene 2.86% de arginina, 1.47% de histidina y 4.0% de lisina y un valor biológico de 72.16 (Anón., 1981; Feitosa-Teles, 1977).

Pigmentos

El principal pigmento encontrado en el nopal es la clorofila, la cual se localiza en los cloroplastos del parénquima clorofiliano, al igual que los carotenos, aunque estos están en menor proporción (Bravo-Hollis, 1978) y su contenido en 100 g de nopalitos tiernos es de 3.12 ug de carotenos según informe de Feitosa-Teles (1977).

Vitaminas

El nopal posee algunas vitaminas hidrosolubles y liposolubles, en el estudio realizado por Feitosa-Teles (1977) se determinó su contenido por 100 g de material verde el cual fué: riboflavina, 60 ug; niacina, 0.46 mg; tiamina, 14 ug; ácido ascórbico, 14 mg; vitamina A, 50 U.I; vitamina D, 294 U.I y vitamina E, 254 mg.

Sólidos Solubles

El contenido de sólidos solubles expresados como grados Brix para diferentes especies de nopalitos varían de 7.2 a 8.6 (Villarreal et al. 1963).

Acidos Orgánicos y pH

Los valores de pH encontrados en 5 diferentes especies de nopalitos varían de 4.8 a 5.1 (Villarreal et al. 1963).

Algunos de los ácidos orgánicos que se producen en el metabolismo de las cactáceas son: oxálico, málico y cítrico. Villarreal et al. (1963) encontraron una variación de 0.12 a 0.57% de ácido cítrico para diferentes especies de nopalitos. Uno de los factores que influye notablemente en el contenido de acidez de los cladodios, es la hora de la cosecha, lo que es debido al tipo de metabolismo de los ácidos de las plantas de la familia de las crasuláceas (MAC), que presenta este tipo de planta. Por lo que la fijación de dióxido de carbono ocurre solamente en la noche que es cuando los estomas se abren y se lleva a cabo el intercambio de gases. El dióxido de carbono absorbido se incorpora en ácidos orgánicos de cuatro carbonos, los que se almacenan en las vacuolas de las células del clorénquima; debido a esto la acidez titulable de los cladodios es muy alta al amanecer, pero a medida que transcurren las horas de luz, el dióxido de carbono absorbido por la noche es liberado y reincorporado en forma de azúcares, disminuyendo la acidez a un

valor mínimo al atardecer. Este patrón varía dependiendo de la edad del cladodio (Acevedo, Badilla y Nobel, 1983).

Cultivo y Manejo Postcosecha

Cultivo

Aunque existen ecosistemas naturales del nopal, se deben realizar ciertas prácticas agronómicas si se desean altos rendimientos a nivel comercial. En la parte central del país se recomienda que la plantación se inicie en abril o mayo, antes de las lluvias. El método más efectivo para sembrar el nopal, es a partir del cladodio maduro a una densidad de aproximadamente cuarenta mil plantas por hectárea. Posteriormente a la siembra se efectúa una fertilización con estiércol y si es posible complementarla con fertilizantes químicos. En lo que se refiere a riegos y con el fin de incrementar la productividad es conveniente la aplicación de un riego ligero en los meses más secos. Ya que el cladodio plantado ha enraizado, se inicia la brotación de nuevos cladodios. Una vez que la planta ha alcanzado un tamaño determinado se realizan podas con el fin de permitir una fácil cosecha y evitar que la plantación envejezca, estimulando continuamente la brotación (García,1972). La producción y cosecha de los nopales se inicia aproximadamente 6 meses después de la siembra, la cual es bastante alta en los meses de mayor precipitación pluvial (Bautista,1982). Se pueden alcanzar producciones de 5 a 8 ton/ha semanalmente y durante todo el año

si los nopales han sido regados y tratados con fertilizante químico y estiércol (García, 1972).

Manejo Postcosecha

En la parte central del país se considera que los nopalitos han alcanzado el grado comercial cuando tienen aproximadamente 15 cm de longitud (García, 1972). La cosecha se efectúa con un cuchillo, sosteniendo el cladodio con un guante de cuero, evitando dañarlo, ya que si esto ocurre se tienen problemas durante el almacenamiento, debido a que las heridas que ocurren en el campo representan una vía de entrada para los microorganismos (Castelo, 1982; Ramayo et al. 1978). Los nopales cosechados se colocan en canastos y son transportados a los centros de distribución o para ser empacutados en forma cilíndrica apilada, en los cuales se acomodan hasta 3000 nopalitos, se sujetan con una cuerda, formando una paca y de esta manera son transportados a los mercados más grandes (Bautista, 1982). El manejo postcosecha que recibe el nopal es rápido, transcurriendo aproximadamente de 1 a 3 días desde que se realiza la cosecha hasta el mercadeo. Ramayo et al. (1978 a y b) mencionan que se pueden almacenar los nopalitos hasta por 30 días a ± 10 C y 80-85 % de humedad relativa, siendo la pudrición del pedúnculo la principal causa de pérdida.

MATERIALES Y METODOS

En este estudio se trabajó con 3 especies de Opuntia las cuales fueron: O. amyclaea (nopal tunero); O. ficus-indica (nopal forrajero) y O. inermis (nopal de verdura) de plantaciones localizadas en el campo experimental de la Escuela de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora, situado en el Km 21 de la Carretera Hermosillo-Bahía Kino en la Costa de Hermosillo, cuya situación geográfica es 90 grados 00 minutos 46 segundos latitud norte y 110 grados 07 minutos 03 segundos longitud oeste con una altura sobre el nivel del mar de 207 m y que tienen las siguientes características:

Son plantaciones de 3 a 4.5 años de edad, que al plantarlas se les aplicó una fertilización de 10 ton de estiércol/ha y un riego de auxilio con una lámina de 15 cm en las cuales se ha realizado una poda periódica después de la cosecha, rastreo cada 45 días y aplicación de malatión (1 ml/lt) contra insectos del género Dactylopius (cochinilla).

Estudio de Crecimiento

Para realizar este estudio se trabajó en la plantación de Opuntia inermis (nopal de verdura), la cual se podó y se le aplicó un riego por goteo para estimular una brotación uniforme en la plantación. Una vez iniciada la brotación, se seleccionaron brotes al azar y se marcó el cladodio productor para identificarlos. A los brotes seleccionados se les

realizaron mediciones de longitud con una regla y de grosor con un vernier, cada dos días hasta que no se detectaba un crecimiento notable. Las mediciones de longitud registradas se graficaron contra tiempo para obtener la curva de crecimiento.

Colección del Material Experimental

El material de estudio provenía de la brotación de primavera de 1985 de las plantaciones antes mencionadas. Se realizó un muestreo al azar, entre las 7:30 y 8:30 A.M. del mismo día, cosechándose todo tipo de cladodios, los que se colocaron en cajas de campo y se trasladaron al laboratorio, donde se les midió longitud y se pesaron. Con los datos de peso y longitud y tomando en cuenta ciertas características del cladodio tales como: color, brillantez del color u opacidad de la superficie, estado de desarrollo de las hojas, engrosamiento de la base, se clasificaron en 6 estados de desarrollo en los cuales se incluían los estados comerciales. Una vez que se separó el material por estados de desarrollo, se cortó en piezas de 0.5 cm cuadrados sin remover las espinas y una parte se colocó en bolsa doble de polietileno etiquetadas, las cuales se congelaron a aproximadamente - 12 C y el resto se secó en un horno de convección forzada VWR 1630 a 70 C por toda la noche, posteriormente se molieron (molino Tecator Ciclotec 1092 Sample Mill con malla # 40) y se colocaron en frascos de vidrio etiquetados y herméticamente sellados.

Humedad

La determinación de humedad se realizó en la muestra fresca, cortada finamente; pesándose la muestra antes y después de haberla secado toda la noche a 70 C en un horno de convección forzada VWR 1630.

Proteína

Se determinó el nitrógeno total en la muestra seca por el método estándar de Kjeldahl, AOAC (1984), y se calculó la proteína cruda utilizando como factor $N \times 6.25$.

Grasa

La determinación de grasa o extracto soluble en éter, se efectuó sobre la muestra seca en el aparato Goldfisch, de acuerdo al método oficial de la AOAC (1984).

Cenizas

Las cenizas se determinaron de acuerdo al "Método 1-Cenizas.Acción Final Oficial" de la AOAC (1984), el cual utilizó aceite de olivo que se purificó, disolviéndolo en hexano, lavándolo con agua en un embudo de separación y filtrándolo con vacío a través de papel Whatman No.12 libre de cenizas y evaporando el solvente en una estufa de vacío VWR a 60 - 65 C y 100 mm de Hg. Unas gotas del aceite de olivo purificado se adicionaron a la muestra seca contenida en un crisol de porcelana y se calentó bajo una lámpara de infrarrojo hasta que terminó de

burbujear. Posteriormente el crisol se colocó en una mufla Sybron/Thermolyne F-1700 a 525 C hasta que se obtuvieron cenizas de color blanco. Se retiró de la mufla y se enfrió parcialmente adicionando unas gotas de agua deionizada, la cual se evaporó después en una parrilla de calentamiento Sybron/Thermolyne Tipo 2000 y el crisol se colocó de nuevo en la mufla a 525 C hasta peso constante.

Fibra Cruda

La determinación de fibra cruda se realizó en la muestra seca de acuerdo al Método Oficial de Primera Acción para Fibra Acido Detergente de la AOAC (1984).

Carbohidratos Totales

Los carbohidratos totales se determinaron por diferencia del análisis proximal.

Determinación de pH

Para la determinación de pH se pesaron 15 g de muestra congelada, se les adicionó 50 ml de agua destilada, se homogenizaron en una licuadora comercial y se filtraron primero a través de tela tipo nylon y posteriormente a través de papel Whatman No. 1, al filtrado obtenido se le determinó el valor de pH en un potenciómetro (Corning pH meter 140).

Acidez Titulable

Una alícuota de 10 ml del filtrado obtenido para la determinación de pH fué titulada con NaOH 0.04 N hasta lograr un pH de 6.4 . El contenido de acidez expresado como % de ácido málico se calculó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ DE ACIDEZ TITULABLE (Ac. málico)} = \frac{T \times V \times N \times 0.067 \times 100}{M \times P}$$

Donde:

T = ml de NaOH gastados en la titulación

V = volumen total de la mezcla

N = normalidad de la solución de NaOH

M = alícuota de la muestra

P = peso de la muestra

0.067 = peso miliequivalente del ácido málico

Sólidos Solubles Totales

El contenido de sólidos solubles totales (grados Brix) se determinó colocando una gota del filtrado obtenido en la determinación de pH en el refractómetro digital Abbé.

Pectinas

Para la determinación de pectinas se utilizó el método colorimétrico de McCreedy y McComb (1952), el cual se realizó de la siguiente manera:

Reactivos y Soluciones: (a) etanol al 96%, (b) etanol al 80%, (c) hidróxido de sodio 1 N, (d) ácido acético glacial, (e) acetona, (f) ácido sulfúrico concentrado, (g) poligalacturonasa. (SIGMA). purificada de Aspergillus niger (preparación líquida en glicerol al 40%), (h) EDTA al 0.5% para lo cual se disolvieron 5 g de la sal disódica etilén-diamín-ácido tetracético en 1000 ml de agua destilada, (i) etanol purificado. Se reflujaaron 1000 ml de etanol al 96 % con 4 g de zinc y 4 ml de ácido sulfúrico 1:1 durante 24 horas, destilándose posteriormente y agregándosele al destilado 4 g de zinc y 4 g de KOH para redestilarlo, (j) reactivo de carbazol el cual se preparó disolviendo 0.150 g de carbazol en 100 ml de etanol purificado, (k) solución tipo de ácido galacturónico . 100 mg de ácido galacturónico se disolvieron en 1000 ml de agua destilada.

Preparación de la Curva de Calibración: De la solución patrón de ácido galacturónico (100 ug/ml), se prepararon soluciones de 10 a 100 ug de ácido galacturónico/ml. A tubos de ensayo conteniendo 12 ml de ac. sulfúrico concentrado y colocados en un baño de hielo (3 C), se les agregó 1 ml de cada una de las soluciones estándares, se agitaron y se colocaron en un baño maría durante 10 minutos, se dejaron enfriar a 20 C y se les añadió 1 ml del reactivo de carbazol al 0.15%, se mezclaron y se dejaron reposar a temperatura ambiente durante 25 minutos (+ 5 min.). Se determinó la absorbencia a 520 nm en el colorímetro Spectronic 70 Bausch and Lomb, se graficaron estos valores para obtener la curva de calibración.

Procedimiento. (1) Extracción de los materiales pécticos (residuos insolubles en alcohol). A 20 g de muestra congelada, se les agregó 86 ml de etanol al 96%, se reflujo durante 20 minutos en el aparato para determinar fibra cruda, se dejó enfriar y se homogenizó, el homogenizado se filtró por gravedad a través de una tela tipo nylon, el residuo se colocó de nuevo en el recipiente de reflujo (vasos Berzelius de 600 ml) y se le agregó 50 ml de etanol al 80% reflujiéndose durante 20 min, se dejó enfriar y se filtró; el residuo insoluble se lavó con acetona y se secó durante 8 hrs a 40 C en una estufa de convección forzada VWR 1630 .

(2) Contenido de pectinas totales. Se pesó 0.1 g del residuo insoluble en alcohol , se humedeció con etanol al 96 %, se le agregó 50 ml de EDTA al 0.5%, se ajustó el pH a 11.5 con NaOH 1 N y la mezcla se colocó en un baño de agua a 25 C durante 30 minutos. Después se ajustó el pH a 5.0 con ácido acético glacial, se añadió 0.14 ml de la preparación enzimática y se colocó en un baño de agua a 25 C por una hora, se filtró la mezcla y el filtrado se llevó a un volumen total de 250 ml con agua destilada. Una alícuota de 1 ml de este filtrado se utilizó para la determinación de ácido galacturónico por el método de carbazol.

(3) Contenido de pectinas solubles en agua. Se pesaron 0.1 g de residuo insoluble en alcohol, se les agregó 50 ml de agua destilada y se colocó la mezcla en un baño de agua a 25 C durante 2 horas. Después se filtró la mezcla y el residuo insoluble se lavó

con pequeñas cantidades de agua, el filtrado se llevó a un volumen final de 100 ml. En una alícuota de 1 ml de este filtrado se determinó el contenido de ácido galacturónico por el método del carbazol.

Los resultados se expresan como % de pectinas (ácido galacturónico) en la muestra fresca en base a la fórmula: % de pectina = g de pectina como ácido galacturónico contenidos en el residuo insoluble en alcohol (100)/ g de muestra fresca.

Azúcares Reductores

El contenido de azúcares reductores se determinó de acuerdo al método colorimétrico de Somogyi (1952), el cual se realizó de la siguiente manera:

Reactivos. (a) Solución I : 12 g de tartrato de sodio y potasio, 24 g de carbonato de sodio anhidro, 16 g de bicarbonato de sodio y 144 g de sulfato de sodio se disolvieron y diluyeron a 800 ml con agua destilada. (b) Solución II : 4 g de sulfato de cobre pentahidratado y 36 g de sulfato de sodio se disolvieron y diluyeron a 200 ml con agua destilada. (c) Reactivo de Nelson: 25 g de molibdato de amonio tetrahidratado se disolvieron en 450 ml de agua destilada, se les adicionó 21 ml de ácido sulfúrico concentrado. Por otra parte, 3 g de arseniato de sodio heptahidratado se disolvieron en 25 ml de agua y se combinaron las dos soluciones, se almacenaron a 37 C por 2 días, la solución obtenida debe de ser de un color amarillo brillante.

Preparación de la curva de calibración. Se preparó una solución patrón de glucosa (1000 ug/ml). A partir de esta solución se prepararon soluciones de 10 a 80 ug/ml, de las cuales se tomó 1 ml y se mezcló con 1 ml del reactivo de cobre (4 partes por volumen de la solución I a 1 parte por volumen de la solución II) en un tubo de ensayo, el cual se cubrió con parafilm y se calentó en un baño maría por 10 minutos. Posteriormente se enfrió y se le adicionó 1 ml del reactivo de Nelson. Se agitó ligeramente para disolver el óxido cuproso formado y se diluyó con agua a 10 ml, desarrollándose un color azul el cual es estable por varias horas. Se determinó la absorbencia a 600 nm en el colorímetro Spectronic 70 Bausch and Lomb y los valores obtenidos se graficaron contra concentración.

Procedimiento. Se pesaron 5 g de muestra congelada y se les añadió 40 ml de agua destilada, homogenizándose y filtrándose por gravedad a través de papel Whatman No. 1, se tomó una alícuota del filtrado obtenido y se siguió el mismo procedimiento realizado en la preparación de la curva de calibración . Se calculó el % de azúcares reductores en la muestra fresca.

Clorofila y Carotenos

El contenido de clorofila y carotenos de los nopalitos se determinaron de acuerdo al método colorimétrico de Gortner (1965) el cual se desarrolló de la siguiente manera:

Se pesaron 20 g de nopalitos cortados y congelados y se les añadió 150 ml de una mezcla 2:1 de etanol al 96% y éter de

petróleo (60 - 95 grados), dejándose reposar durante 45 minutos en baño de hielo. Posteriormente la muestra se homogenizó, se centrifugó a 3000 rpm en una centrifuga Damon/IEC CRU-5000 y el sobrenadante se transfirió a un embudo de separación, la capa acuosa se eliminó y la capa etérea se llevó a un volumen final de 50 ml con éter de petróleo, determinándosele la absorbencia a 645 nm y 663 nm en el colorímetro Spectronic 70 Bausch and Lomb. Los resultados se calcularon de acuerdo a la siguiente fórmula :

$$\text{mg de clorofila total/ 100 g} = \left(17.7 A_{645} + 8.68 A_{663} \right) 0.5$$

Preparación de la curva de calibración de carotenos. Se preparó una solución patrón (10 ug/ml) de Beta-caroteno, a partir de la cual se hicieron diluciones para obtener concentraciones de : 0.5 a 6.0 ug de Beta-caroteno/ml y se determinó la absorbencia de estas soluciones a 445 nm en el colorímetro Spectronic 70 Bausch and Lomb y se graficaron estos valores contra concentración.

Procedimiento. Se tomaron 20 ml del extracto etéreo conteniendo las clorofilas y se les añadieron 2 ml de una solución de KOH al 25% en metanol absoluto. Se dejaron reposar durante 15 minutos con agitación ocasional, después se transfirió la muestra a un embudo de separación y se le añadió una pequeña porción de agua, se agitó, se dejó reposar unos minutos y la capa acuosa se eliminó; la capa etérea se lavó con dos porciones más de agua, después de lo cual se secó con sulfato de sodio anhidro y se determinó la absorbencia, la que se extrapolo en la curva de calibración para obtener la concentración de carotenos expresados como ug de Beta-carotenos/ 100 g de muestra fresca.

Fenoles

La determinación de fenoles en el nopal se realizó de acuerdo al método colorimétrico de Joslyn y Goldstein (1964) y que consiste en lo siguiente:

Reactivos y Soluciones. (a) Reactivo de Folin - Denis : 100 g de tungstato de sodio, 20 g de ácido fosfomolibdico y 50 ml de ácido fosfórico se añadieron a 750 ml de agua destilada y se reflujo durante 2 horas. Se dejó enfriar a temperatura ambiente y se llevó a un volumen final de 1000 ml con agua destilada. Se protegió de la luz. (b) Solución de Carbonato de Sodio : 350 g de carbonato de sodio en un litro de agua destilada caliente (70 - 80 C), se dejó enfriar y se filtró a través de lana de vidrio. (c) Solución Tipo de Acido Tánico : 100 mg de ácido tánico se disolvieron en un litro de agua destilada (100 ug/ml).

Preparación de la curva de calibración . De la solución tipo de ácido tánico (100 ug/ml) se tomaron alícuotas de 0 a 10 ml y se colocaron en matraces volumétricos de 100 ml, los cuales contenían 75 ml de agua destilada, se añadieron 5 ml del reactivo de Folin-Denis, 10 ml de la solución de carbonato de sodio y se aforó. Se mezcló bien y se dejó reposar durante 25 minutos a temperatura ambiente, después de lo cual se determinó la absorbencia a 760 nm en el colorímetro Spectronic 70 Bausch and Lomb.

Procedimiento. (1) Extracción de las sustancias fenólicas. Se pesaron 10 g de muestra congelada de nopalitos, se les añadió 20 ml de metanol al 100% y se reflujo durante 10 minutos en el

aparato para determinar fibra cruda, se dejó enfriar y se filtró a través de papel Whatman No. 3. El residuo se colocó nuevamente en el recipiente de reflujo (vasos Berzelius de 600 ml) con otros 20 ml de metanol absoluto, realizándose en total 5 extracciones de esta forma. Se recolectaron los filtrados, obteniéndose un volumen final de 100 ml de extracto. Al tejido residual de las extracciones anteriores se le efectuaron 3 extracciones más con metanol al 50%, los filtrados se colectaron y se llevaron a un volumen final de 50 ml con metanol al 50%. Al tejido residual se le efectuaron 2 extracciones más con agua destilada, los cuales se aforaron a 50 ml. Se tomaron alícuotas de estos extractos y se siguió el mismo procedimiento realizado en la preparación de la curva de calibración. Los valores de absorbencia obtenidos se interpolaron en la curva de calibración y los resultados de concentración se sumaron para determinar el contenido total de fenoles en la muestra expresados como % de la muestra inicial, de acuerdo a la siguiente fórmula :

$$\% \text{ de Fenoles Totales} = \frac{\text{Concentración Total de Fenoles (100)}}{\text{g de muestra}}$$

Acido Ascórbico

La determinación de ácido ascórbico se realizó de acuerdo al método colorimétrico propuesto por Terada et al. (1978), bajo el siguiente procedimiento:

Reactivos. (a) Acido Oxálico al 2%, (b) 2,6 - diclorofenolindofenol (DCIP) al 0.2 %, (c) Solución de Tiourea al 2% en Acido Oxálico al 2%, (d) 2,4-Dinitrofenilhidrazina (DNPH) al 2% en Acido Sulfúrico 9 N, (e) Ac. sulfúrico al 85%.

Procedimiento. Se pesaron 10 g de muestra congelada de nopalitos, se les añadieron 30 ml de ácido oxálico al 2% y se homogenizaron. El homogenizado se centrifugó a 3000 rpm por 20 minutos en una centrifuga Damon/ IEC CRU 5000, se midió 1 ml del sobrenadante (conteniendo hasta 30 ug de ácido ascórbico) y se colocó en un tubo de ensayo; por otra parte se tomó 1 ml de solución patrón de ácido ascórbico (30 ug/ml). A cada tubo se le adicionó 0.05 ml (1 gota) de DCIP al 0.2%, agitándose los tubos e incubándose a temperatura ambiente por una hora. Posteriormente se les añadió 1 ml de tiourea al 2% y se mezclaron bien, se les adicionó 0.5 ml de DNPH al 2% y se agitaron en un agitador vortex, se cubrieron y se calentaron a 60 C por 3 horas en una estufa de convección forzada VWR 1630, una vez que se retiraron de la estufa se colocaron en un baño de hielo y el precipitado formado (osazona) se disolvió adicionándoles 2.5 ml de ac. sulfúrico al 85 %, y se cubrió la boca de los tubos con parafilm, agitándose después por inversión varias veces. Se determinó la absorbencia a 540 nm contra un blanco el cual se preparó exactamente de la misma manera que la muestra excepto que la solución de DNPH se adicionó después de haber agregado ac. sulfúrico al 85%. Los resultados se expresan como mg de ácido ascórbico/100 g de tejido fresco.

Cambios Diurnos de Acidez Titulable

Esta parte del estudio se realizó con nopal forrajero (O. ficus-indica) en dos estados de desarrollo (1 y 3) los cuales se cosecharon el día 21 de Octubre de 1985 a partir de las 5:00, 6:00, 7:00, 8:00, 10:00 hrs. A.M. y 12:00, 14:00, 16:00, 18:00 y 20:00 hrs P.M.; los cladodios cosechados se colocaron en cajas de campo con hielo y se trasladaron al laboratorio, se cortaron, se pesaron 15 g de nopalitos y se homogenizaron con 50 ml de agua destilada y se determinó la acidez titulable utilizando el método anteriormente descrito.

Cambios de Acidez Durante el Almacenamiento

Esta parte del estudio también se realizó utilizando nopal forrajero (O. ficus-indica) en los estados de desarrollo 1 y 3 los cuales se cosecharon por la mañana (7:00 A.M) y por la tarde (7:00 P.M) del día 20 de Agosto de 1985, se trasladaron al laboratorio y se colocaron por triplicado en cajas de poliuretano cubiertos con una bolsa de polietileno y almacenados a 5 y 20 C. Se realizó un muestreo de los nopalitos a los 3 y 6 días de almacenamiento, se cortaron, se pesaron 15 g y se homogenizaron con agua destilada y se les determinó acidez titulable.

Determinación de la Producción de Dióxido de Carbono y Etileno

Se utilizaron cladodios de nopal forrajero (O. ficus-indica) y nopal de verdura (O. inermis) para la realización de esta parte del estudio, de los cuales se cosecharon dos estados

de desarrollo (1 y 3) a las 10:00 A.M. del día 3 de Septiembre de 1985, se colocaron en cajas de poliuretano y se mantuvieron a una temperatura entre 18 y 25 C durante la tranportación por vía aérea al Laboratorio Mann de la Universidad de California en Davis. Se estimó la producción de dióxido de carbono y etileno de los nopalitos a 20 C y 95 % de humedad relativa a través del análisis de muestras gaseosas tomadas a la salida de un sistema respiratorio de flujo continuo. Los nopalitos se colocaron individualmente en frascos de vidrio de un litro a través del cual se pasó una corriente de aire humidificado y purificado a una velocidad suficiente para mantener el dióxido de carbono dentro del frasco a una concentración menor de 0.25%. Se determinó la producción de dióxido de carbono inyectando una muestra gaseosa de 1 ml a un analizador infrarrojo (Horiba), calculando la concentración y tasa de producción en base a una curva de calibración de 0.25 a 2.0 ml de un estándar de dióxido de carbono al 0.5%. El etileno se determinó inyectando 1.0 ml de muestra gaseosa a una columna de aluminio activado de un cromatógrafo de gases Carle (serie 4000) con detector de ionización de flama. En base al tiempo de retención se identificó el pico del etileno y se cuantificó comparándolo con el pico obtenido con un estándar de etileno de 1.0 ul/l.

Análisis Estadístico

Todas las mediciones se realizaron por triplicado y los resultados obtenidos se analizaron estadísticamente por medio de

la Prueba de Bartlett para homogeneidad de varianza y Análisis de Varianza y Prueba de Duncan para detectar diferencias significativas entre especies y estados de desarrollo (Montgomery, 1976).

RESULTADOS Y DISCUSION

Clasificación en Base a Longitud y Peso

Las características morfológicas de las tres especies de nopal estudiados son muy variables. Los cladodios de nopal forrajero se caracterizan por ser largos y delgados con pocas espinas, mientras que los de nopal verdura son discoides y con pocas espinas y los de nopal tunero discoides y con muchas espinas. En el Cuadro 1 se presentan los diferentes rangos de longitud y peso que tienen las tres especies de nopal en sus diferentes estados de desarrollo, de los cuales, el nopal forrajero en su máximo estado de desarrollo alcanzó una mayor longitud pero tuvo menor peso, mientras que las pencas o cladodios de nopal verdura son las que alcanzaron la menor longitud pero el mayor peso.

Humedad

Al igual que en la mayoría de los vegetales, el nopal posee aproximadamente el 90% de agua. Debido a las características de la planta de desarrollar rápidamente raíces para una mayor absorción de agua, al desarrollo del tejido parenquimatoso de la penca productora que le permite un mejor almacenamiento del agua y a la escasa transpiración que presenta este tipo de planta no le afectan las condiciones de sequía (Bravo-Hollis, 1978). En el Cuadro 2 puede observarse el contenido de humedad de los nopalitos de las 3 especies, teniendo el nopal verdura un

Cuadro 1. Clasificación de los Cladodios de 3
Especies de Opuntia por Estado de Desarrollo.

		Estado de Tunero		Forrajero		Verdura	
		Rango	Prom.	Rango	Prom.	Rango	Prom.
Longitud (cm)	1	7-12	9.0	7-12	9.6	8-12	10.0
	2	11-18	13.9	12-18	14.9	12-15	13.0
	3	15-19	17.0	15-21	19.0	14-17	14.9
	4	17-22	19.6	20-26	22.9	18-23	20.3
	5	22-30	26.1	31-37	33.4	19-24	21.4
	6	32-36	34.0	31-40	36.0	21-34	30.6
Peso (g)	1	12-37	22.6	10-26	15.4	20-37	26.7
	2	38-71	49.6	31-47	39.6	42-55	48.7
	3	72-97	85.7	56-75	65.5	60-95	75.3
	4	103-141	124.3	87-130	102.5	116-158	111.2
	5	175-251	229.2	152-219	189.0	182-225	199.3
	6	357-380	368.5	293-422	335.5	274-583	387.8

Cuadro 2. Contenido de Humedad de los Cladodios de 3 Especies de Opuntia.

Estado de Desarrollo	% de Humedad		
	Tunero	Forrajero	Verdura
1	90.7a ¹	91.1a	91.3a
2	92.0bc	91.2a	90.5b
3	91.8b	91.7b	92.5c
4	92.2bc	91.7b	92.1d
5	92.5cd	92.1c	93.4e
6	92.8d	93.0d	89.5f

¹Las literales diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$) de acuerdo a la prueba de Duncan.

contenido significativamente menor que las otras dos especies, en cuanto a los estados de desarrollo se observó un incremento significativo conforme este avanzaba. Aunque la diferencia en el % de humedad del estado 1 al 6 es sólo de 1.9 a 2.2% en las tres especies de nopal, no es tan alto como se esperaría, lo que tal vez sea debido a que hay incremento en la proporción del tejido parenquimatoso fotosintético que también forma parte del cladodio y esto encubre los incrementos en humedad, los que tal vez serían mayores si se analizara solamente el tejido parenquimatoso que almacena agua. No obstante, los resultados obtenidos son comparables a los reportados por Fernández Landero (1949) citado por Bravo-Hollis (1978), quien encontró 79 a 94% aunque un poco menores que el 95.3% determinado por Feitosa-Teles (1977).

Proteína

Las proteínas son de gran importancia en la organización celular ya que forman parte de estructuras nucleares y citoplasmáticas y como enzimas están implicadas en el metabolismo durante el crecimiento, desarrollo, maduración y vida postcosecha (Hansen, 1970; Haard, 1976). En el Cuadro 3 puede observarse el contenido de proteína en base seca de las tres especies de nopal, teniendo el nopal tunero un contenido significativamente mayor y el nopal verdura el menor contenido, además puede notarse que hubo una tendencia a disminuir significativamente el contenido de proteína a medida que avanzaba el estado de desarrollo. Los valores obtenidos son mayores que el 11.0% informado por Feitosa-

Cuadro 3. Contenido de Proteína de los Cladodios de 3 Especies de Opuntia.

Estado de Desarrollo	% de Proteína (base seca)		
	Tunero	Forrajero	Verdura
1	19.7a ¹	16.0a	13.9a
2	16.8b	13.0b	13.7a
3	16.3c	12.8b	12.0b
4	14.4d	10.3c	11.0b
5	12.7e	10.4c	8.3d
6	13.9f	9.0d	7.1e

¹Las literales diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$) de acuerdo a la prueba de Duncan.

Teles (1977). Desde el punto de vista nutricional, el aporte de proteína de los nopalitos es bajo, al igual que la mayoría de los vegetales frescos (Haard, 1976).

Lípidos

Los lípidos junto con los carbohidratos y proteínas constituyen los principales componentes estructurales de las células, aunque la proporción es baja, se encuentran localizados principalmente en las membranas como fosfolípidos o glicolípidos, como ceras y cutinas en la epidermis por lo que juegan un papel en el control de la transpiración (Mazliak, 1970; Haard, 1976). El contenido de lípidos del nopal (Cuadro 4), es muy bajo en las tres especies de las cuales el nopal verdura tuvo un contenido notablemente menor y no se observó un patrón uniforme en los estados de desarrollo. Esto puede explicarse desde el punto de vista de que los lípidos que contiene el nopal son estructurales y no de reserva, por lo que, las variaciones en contenido encontradas en los estados de desarrollo pueden atribuirse al muestreo.

Cenizas

La determinación de cenizas se usa comúnmente para expresar el contenido total de minerales, aunque no indica las proporciones en que se encuentran los elementos. Se considera que el potasio es el elemento más abundante en los nopalitos (Feitosa-Teles, 1977). El contenido de cenizas en las tres

Cuadro 4. Contenido de Lípidos de los Cladodios de 3 Especies de Opuntia.

Estado de Desarrollo	% de Lípidos (base seca)		
	Tunero	Forrajero	Verdura
1	2.6a ¹	2.5ac	1.3a
2	2.3b	3.0b	2.5b
3	2.4b	2.7c	1.9c
4	2.0c	2.4a	2.3b
5	1.8c	2.5a	1.4a
6	2.7a	2.2d	1.7d

¹Las literales diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$) de acuerdo a la prueba de Duncan.

especies de nopal varió en un rango de 13.8 a 19.5% (Cuadro 5), teniendo el nopal verdura un contenido significativamente mayor, observándose un patrón variable en los estados de desarrollo en las tres especies de nopal, aunque la tendencia final fué a incrementarse. Los resultados son comparables a los reportados por Fernández Landero (1949) citado por Bravo-Hollis (1978), quien encontró una variación de 13.7 a 21.1% y a los de Villarreal et al. (1963), quien informó un contenido de minerales de 11.9 a 17.0%, sin embargo, son menores al 23.5% determinado por Feitosa-Teles (1977).

Fibra Cruda

La fibra cruda es considerada como una mezcla de compuestos celulósicos que no representa ningún compuesto específico. Se considera que estos compuestos son indigeribles por el organismo humano, por lo que, desde el punto de vista nutricional sólo son considerados al estimar el valor nutritivo de un alimento (Pomeranz y Meloan, 1978). Sin embargo, tienen importancia a nivel fisiológico ya que proporcionan volumen al alimento y estimulan los músculos intestinales, lo que facilita la digestión (Fisher y Bender, 1978).

El análisis de fibra cruda se realizó de acuerdo al método para fibra ácido-detergente el cual no determina hemicelulosa, por lo que los resultados obtenidos en este estudio (Cuadro 6), representan principalmente el contenido de celulosa y lignina de los nopalitas. Puede notarse, que el nopal forrajero tuvo un

Cuadro 5. Contenido de Cenizas de los Cladodios de 3 Especies de Opuntia.

Estado de Desarrollo	% de Cenizas (base seca)		
	Tunero	Forrajero	Verdura
1	14.2a ¹	13.9a	16.3ac
2	15.1b	14.4b	16.7a
3	14.2a	14.8b	17.6b
4	15.6c	13.8a	16.2c
5	17.4d	17.3c	18.7d
6	15.5bc	15.9d	19.5e

¹Las literales diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$) de acuerdo a la prueba de Duncan.

Cuadro 6. Contenido de Fibra Cruda (Acido-Detergente) de los Cladodios de 3 Especies de Opuntia.

Estado de Desarrollo	% de Fibra Cruda (base seca)		
	Tunero	Forrajero	Verdura
1	17.6a ¹	16.3a	16.1a
2	15.1b	12.7b	15.4b
3	14.1c	13.7c	14.1c
4	13.9c	12.2bd	11.8d
5	11.5d	13.1e	12.8e
6	12.9e	12.1d	12.8e

¹Las literales diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$) de acuerdo a la prueba de Duncan.

contenido significativamente menor que las otros dos especies de nopal. El porcentaje de fibra cruda varió en general de 11.5 a 17.6%; estos resultados son menores a los de Fernández Landero (1949) citado por Bravo-Hollis (1978), quien en nopal forrajero encontró 37.3% de fibra cruda total y mayores al 8.9% detectado por Feitosa-Teles (1977), también en nopal forrajero. Puede observarse, que los resultados de este estudio concuerdan mejor con los de Feitosa-Teles (1977), debido tal vez a que en este estudio también se realizó fibra ácido-detergente. Además puede observarse que el contenido de fibra cruda en las tres especies de nopal disminuyó significativamente a medida que avanzaba el estado de desarrollo, estos resultados son diferentes de lo que se esperaba, ya que se supone que la fibra cruda está constituida principalmente de celulosa, la cual forma parte de la pared celular del tejido y a medida que éste va creciendo o desarrollándose la capa de celulosa se engrosa, por lo que en los estados de desarrollo más avanzados el contenido de fibra debería de incrementarse, ya que además se considera que en estos estados también hay formación de lignina que contribuiría a aumentar su valor (Bravo-Hollis, 1978; Meyer, 1982). Sin embargo, la disminución en el contenido de fibra cruda varió de 3.3 a 4.7% en las tres especies de nopal, el cual no es un porcentaje muy alto y tal vez se debió a cambios en otras clases de carbohidratos tales como las hemicelulosas. Por otra parte, no se conoce la proporción que representa el tejido parenquimatoso que almacena agua (donde se encuentra la celulosa y demás componentes de la

fibra cruda) en el cladodio de nopal, ni como va variando su porcentaje o dicha proporción a medida que el cladodio se va desarrollando.

Carbohidratos Totales

Los carbohidratos representan el mayor porcentaje de la materia sólida y peso seco del nopal, están integrados por : hemicelulosas, azúcares y almidón . Nutricionalmente son importantes fuentes de calorías (Gray y Fogel, 1980; Hodge y Osman, 1976). El contenido de carbohidratos de los cladodios o pencas de las tres especies de nopal (Cuadro 7), varió de 45.2 a 61.3% y se observo una tendencia a incrementarse a medida que avanzaba el estado de desarrollo. Los resultados obtenidos son menores a los de Feitosa-Teles (1977), quien determinó un contenido de 72.7% para nopal forrajero.

A continuación se discutirán los análisis realizados a las muestras en fresco.

Valor de pH

El pH de un extracto es una forma de expresar la acidez del tejido. Este valor representa la presencia de grupos acídicos incluyendo ácidos orgánicos, fenoles, aminoácidos. Sin embargo, en tejidos de frutas y hortalizas normalmente se considera que los ácidos orgánicos proporcionan la mayor parte de los iones hidrógeno (Ulrich, 1970). Los valores de pH encontrados en las

Cuadro 7. Contenido de Carbohidratos Totales de los Cladodios de 3 Especies de Opuntia.

Estado de Desarrollo	% de Carbohidratos Totales (base seca)		
	Tunero	Forrajero	Verdura
1	45.1a ¹	51.3a	52.2a
2	50.7b	56.9b	53.3ab
3	52.8c	56.0b	54.4b
4	54.1c	61.3c	58.8c
5	56.6d	56.7b	58.9c
6	55.1cd	60.8c	59.0c

¹Las literales diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$) de acuerdo a la prueba de Duncan.

tres especies de nopal (Cuadro 8), variaron de 4.2 a 5.0, de los cuales, el nopal forrajero tuvo el menor valor de las tres especies, observándose una tendencia a disminuir significativamente a medida que avanza el estado de desarrollo. Los valores obtenidos son comparables a los de Villarreal et al. (1963), quien detectó una variación de 4.8 a 5.1 para diferentes especies de nopalitos.

Acidez Titulable

La acidez titulable es una forma de expresar el contenido de ácidos orgánicos libres del tejido, los cuales se encuentran localizados en mayor parte en las vacuolas y en menor parte en el citoplasma como intermediarios en el ciclo de los ácidos tricarbónicos (respiración). En el Cuadro 9, se observa el porcentaje de acidez titulable de las tres especies de nopal, el cual varió en un rango de 0.28 a 0.95%, teniendo el nopal verdura un contenido significativamente mayor; en los tres casos se observó una tendencia a incrementarse a medida que avanzaba el estado de desarrollo. Por ser plantas que presentan el patrón fotosintético (MAC), estos cambios de acidez titulable pueden indicar una mayor actividad en los estados de desarrollo más avanzados.

Sólidos Solubles Totales

El contenido de sólidos solubles totales expresados como Brix, se usa comúnmente para representar el contenido de azúcares simples totales del tejido; este valor también incluye los

Cuadro 8. Valor de pH de los Cladodios de 3 Especies de Opuntia .

Estado de Desarrollo	pH		
	Tunero	Forrajero	Verdura
1	4.8a ¹	5.0a	5.0a
2	4.6b	4.6b	4.9b
3	4.8a	4.5c	4.6c
4	4.7b	4.4d	4.3d
5	4.4d	4.2e	4.4e
6	4.3d	4.3e	4.3d

¹Las literales diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$) de acuerdo a la prueba de Duncan.

Cuadro 9. Contenido de Acidez Titulable de los Cladodios de 3 Especies de Opuntia.

Estado de Desarrollo	% de Acidez Titulable		
	Tunero	Forrajero	Verdura
1	0.36a ¹	0.28a	0.34a
2	0.43b	0.38b	0.35a
3	0.44b	0.42b	0.49b
4	0.49bc	0.41bd	0.68c
5	0.54c	0.52c	0.72c
6	0.53c	0.47cd	0.95d

¹ Las literales diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$) de acuerdo a la prueba de Duncan.

ácidos orgánicos libres, por lo que su utilidad como indicador del contenido de azúcares depende del contenido de ácidos orgánicos presentes. En el Cuadro 10, puede observarse el rango de sólidos solubles totales el cual varió de 5.6 a 7.8 grados Brix en las tres especies de nopal, teniendo el nopal verdura un contenido significativamente mayor, y sólo en esta especie de nopal se observó una tendencia a incrementarse a medida que avanzaba el estado de desarrollo, lo que tal vez se debió a que el contenido de ácidos orgánicos estuvo influyendo en la lectura e incrementando el valor. En el caso de nopal forrajero, aunque no hay un comportamiento uniforme, la tendencia final fué a incrementarse con los estados de desarrollo.

Azúcares Reductores

Los azúcares reductores representan el contenido de glucosa y fructosa del tejido. El contenido de azúcares reductores de las tres especies de nopal (Cuadro 11), varió en general en un rango de 0.39 a 1.10%, siendo el nopal forrajero y el nopal tunero los que tuvieron un contenido significativamente mayor, y se observó en estos dos casos, una tendencia a incrementarse aunque el comportamiento es variable, mientras que en nopal verdura el contenido de azúcares reductores tendió a permanecer constante, no hubo diferencia significativa entre los estados de desarrollo, excepto en el estado de desarrollo 5.

Cuadro 10. Contenido de Sólidos Solubles Totales (Grados Brix) de los Cladodios de 3 Especies de Opuntia.

Estado de Desarrollo	Grados Brix		
	Tunero	Forrajero	Verdura
1	7.0a ¹	7.0a	6.9a
2	7.1a	6.5a	7.1ab
3	7.2a	6.2ab	6.9a
4	7.0a	6.9a	7.3ab
5	6.8a	5.6b	7.7ab
6	6.5a	6.2ab	7.8b

¹ Las literales diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$) de acuerdo a la prueba de Duncan.

Cuadro 11. Contenido de Azúcares Reductores de los Cladodios de 3 Especies de Opuntia.

Estado de Desarrollo	% de Azúcares Reductores (base húmeda)		
	Tunero	Forrajero	Verdura
1	0.81a ¹	0.57a	0.55a
2	0.80a	1.01bc	0.56a
3	0.98bc	0.98b	0.54a
4	0.93b	0.96b	0.59a
5	0.89ab	0.93b	0.39b
6	1.04c	1.10c	0.49a

¹Las literales diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$) de acuerdo a la prueba de Duncan.

Pectinas

Las pectinas constituyen uno de los más importantes integrantes de la pared celular, donde cumplen la función de mantener unidas a las células del tejido parenquimatoso (Meyer, 1982). El contenido de pectinas de las tres especies de nopal (Cuadro 12), varió de 0.26 a 0.37% y no cambió con la especie de nopal ni con el estado de desarrollo. No se detectaron pectinas solubles en agua. Los resultados obtenidos son menores los publicados por Villarreal et al. (1963), quien encontró un contenido de 0.84 a 3.30 % en 5 diferentes especies de nopal.

Clorofila

Las moléculas de clorofila se encuentran en los cloroplastos en complejo con las proteínas y su contenido en el tejido está relacionado con la actividad fotosintética del mismo. El contenido de clorofila de las tres especies de nopal (Cuadro 13), varió en general de 9.5 a 37.8 mg/100 g, teniendo el nopal verdura el mayor contenido y una tendencia a incrementarse con los estados de desarrollo, mientras que en el nopal tunero no hubo diferencias significativas entre los estados de desarrollo, esto puede deberse a que hay diferencias en el desarrollo del tejido parenquimatoso fotosintético de las tres especies de nopal o a la proporción de este tejido en la penca o cladodio en relación al tejido parenquimatoso que almacena agua.

Cuadro 12. Contenido de Pectinas Totales de los Cladodios de 3 Especies de Opuntia.

Estado de Desarrollo	% de Pectinas Totales (base húmeda)		
	Tunero	Forrajero	Verdura
1	0.33	0.37	0.34
2	0.32	0.30	0.30
3	0.27	0.30	0.34
4	0.31	0.26	0.27
5	0.27	0.28	0.33
6	0.27	0.29	0.39

No se detectaron diferencias significativas entre especies y estado de desarrollo ($p < 0.05$).

Cuadro 13. Contenido de Clorofila de los Cladodios de 3 Especies de Opuntia.

Estado de Desarrollo	Clorofila (mg/100 g, base húmeda)		
	Tunero	Forrajero	Verdura
1	12.0a ¹	17.4a	31.9ab
2	11.5a	29.2b	28.8ac
3	13.6a	30.0b	31.0ab
4	10.3a	19.3a	36.0bd
5	12.1a	25.0b	24.6c
6	9.5a	17.8a	37.8d

¹Las literales diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$) de acuerdo a la prueba de Duncan.

Carotenos

El color de los carotenos que puede variar de amarillo a rojo está enmascarado en los nopalitos por el color verde de la clorofila que se encuentra en mayor proporción (Meyer, 1982). El contenido de carotenos de los nopalitos (Cuadro 14), varió en general de 11.3 a 53.5 ug/100 g en las tres especies de nopal, teniendo el nopal tunero un contenido significativamente menor que las otras dos especies, en cuanto a los estados de desarrollo se observó una tendencia a incrementarse a medida que estos avanzaban, lo que indica que hay acumulación de carotenos durante el desarrollo del nopal. Los resultados obtenidos son mayores que los detectados por Feitosa-Teles (1977), quien en nopal forrajero encontró un contenido de 3.12 ug/100 g.

Fenoles

En el Cuadro 15 puede observarse el contenido de fenoles de las tres especies de nopal, el cual en general varió de 3.75 a 15.64 mg/100 g, teniendo el nopal tunero el mayor contenido y el nopal verdura el menor, en lo que se refiere a los estados de desarrollo en el nopal tunero el contenido de fenoles se mantuvo constante, sin diferencias significativas, mientras que en el nopal forrajero y en el nopal verdura no hubo un comportamiento uniforme. Los fenoles libres podrían ser los precursores de los pigmentos rojos-cafés que aparecen cuando el nopalito es cortado o sobre la superficie después de un período largo de almacenamiento.

Cuadro 14 . Contenido de Carotenos de los Cladodios de 3
Especies de Opuntia.

Estado de Desarrollo	Carotenos (ug/100 g, base húmeda)		
	Tunero	Forrajero	Verdura
1	17.7ab ¹	25.8a	13.0a
2	11.3a	30.5a	-----
3	19.3ab	30.9a	24.9b
4	24.7bc	27.9a	52.0c
5	33.6cd	36.7ac	49.7c
6	36.4d	44.0c	53.5c

¹ Las literales diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$) de acuerdo a la prueba de Duncan.

Cuadro 15. Contenido de Fenoles de los Cladodios de 3 Especies de Opuntia.

	Estado de Desarrollo	Fenoles (mg/100 g, base húmeda)		
		Tunero	Forrajero	Verdura
Metanol Absoluto	1	11.46	11.90	2.95
	2	9.74	8.94	8.48
	3	13.03	8.73	9.10
	4	13.99	7.84	3.55
	5	13.55	4.84	6.35
	6	10.62	14.53	4.12
Metanol al 50 %	1	0.91	0.74	0.60
	2	1.62	0.79	0.76
	3	1.28	0.87	0.38
	4	1.37	0.57	0.33
	5	1.78	0.49	0.29
	6	1.09	0.42	0.59
Agua	1	0.50	0.34	0.20
	2	0.29	0.24	0.32
	3	0.19	0.12	0.27
	4	0.02	0.26	0.02
	5	0.31	0.28	0.09
	6	0.11	0.04	0.06
Totales	1	12.87a 1	12.98ab	3.75a
	2	11.65a	9.98ab	9.56b
	3	14.50a	9.72ab	9.76b
	4	15.37a	8.66bc	6.10ab
	5	15.64a	5.61c	6.74ab
	6	11.82a	14.96a	4.76ab

Las literales diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$) de acuerdo a la prueba de Duncan.

Acido Ascórbico

El ácido ascórbico es una de las vitaminas que se encuentra ampliamente distribuida en los tejidos vegetales, en donde se le asocia con su metabolismo por participar en reacciones de oxidoreducción (Meyer, 1982). El contenido de ácido ascórbico de las tres especies (Cuadro 16) mostró una variación de 7.1 a 17.9 mg/100 g, siendo el nopal verdura el que presentó el mayor contenido y una tendencia a permanecer constante a medida que avanzaba el estado de desarrollo (excepto en el 6 que se incrementó), mientras que en nopal forrajero se observó una tendencia a disminuir durante el desarrollo del cladodio y en el nopal tunero el patrón fué muy variable.

Desde el punto de vista nutricional, el nopalito podría ser considerado una fuente de vitamina C o ácido ascórbico. Debido a la termolabilidad de esta vitamina y a la forma de preparación de los nopalitos, el aporte real de esta vitamina será menor que el determinado (Erdman y Klein, 1982)

Cambios Diurnos de Acidez Titulable

Como anteriormente se mencionó la acidez titulable fué uno de los componentes más dinámicos de los nopalitos, por lo que se realizó un estudio de los cambios diurnos de acidez titulable encontrándose que las fluctuaciones fueron muy notables como puede observarse en la Figura 1, alcanzando los máximos valores de 0.48 y 0.52% entre las 7:00 y 8:00 A.M. respectivamente. Este contenido tendió a disminuir a medida que se incrementaban las

Cuadro 16. Contenido de Acido Ascórbico de los Cladodios de 3 Especies de Opuntia.

Estado de Desarrollo	Acido Ascórbico (mg/100 g, base húmeda)		
	Tunero	Forrajero	Verdura
1	9.9ab ¹	10.9a	11.7a
2	9.8ab	11.7a	12.1a
3	10.4a	8.8b	12.0a
4	10.9a	8.9b	12.2a
5	9.9ab	9.5b	13.0a
6	8.6b	7.1c	17.9b

¹Las literales diferentes en una misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$) de acuerdo a la prueba de Duncan.

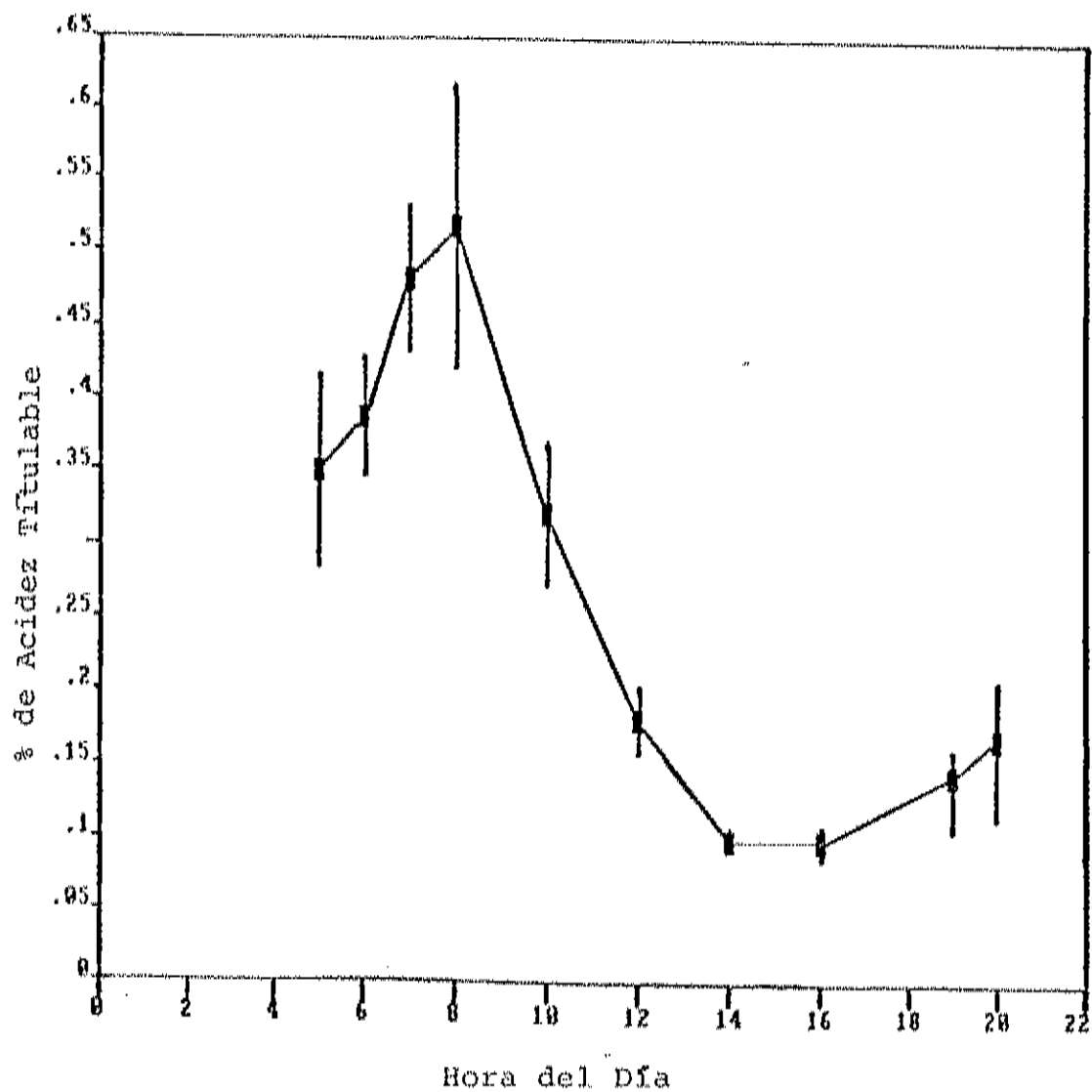


Figura 1. Cambios Diurnos en Acidez Titulable de Nopal Forrajero (*O. ficus-indica*) en Estado de Desarrollo 3; Cosechado en Octubre de 1985. Los Datos Graficados Representan el Promedio y la Desviación Estándar.

horas de luz, por lo que los ácidos orgánicos formados por la noche a partir del dióxido de carbono fijado comienzan a metabolizarse y a liberar el dióxido de carbono, el cual es reincorporado en forma de azúcares (Acevedo et al. 1983). El valor mínimo de acidez (0.1%) se presentó por la tarde entre las 14:00 y 16:00 P.M y comenzó a incrementarse de nuevo por la noche (20:00 P.M.). Este comportamiento es característico de plantas que presentan el patrón fotosintético MAC. Estas fluctuaciones de acidez podrían ser importantes al establecer criterios de cosecha, ya que el contenido de acidez podría afectar el sabor de los nopalitos (García, 1972).

Cambios de Acidez Durante el Almacenamiento

Otro factor que influyó considerablemente en la acidez titulable de los nopalitos fué la temperatura de almacenamiento . En las Figuras 2 y 3 puede observarse que en los nopalitos del estado 1 y 3 cosechados tanto en la mañana como por la tarde, el contenido de acidez se incrementó cuando estos fueron almacenados a 5 C, en cambio el valor inicial de acidez disminuyó cuando fueron almacenados a 20 C. Observándose por otra parte, que los nopalitos del estado de desarrollo 3 cosechados por la mañana tienen un contenido inicial de acidez más alto, esta observación es consistente con los reportes de Acevedo et al. (1983), quienes concluyen que el patrón fotosintético de los cladodios cambia durante su desarrollo . El incremento de acidez titulable de los nopalitos almacenados a 5 C puede ser debido a que a esta

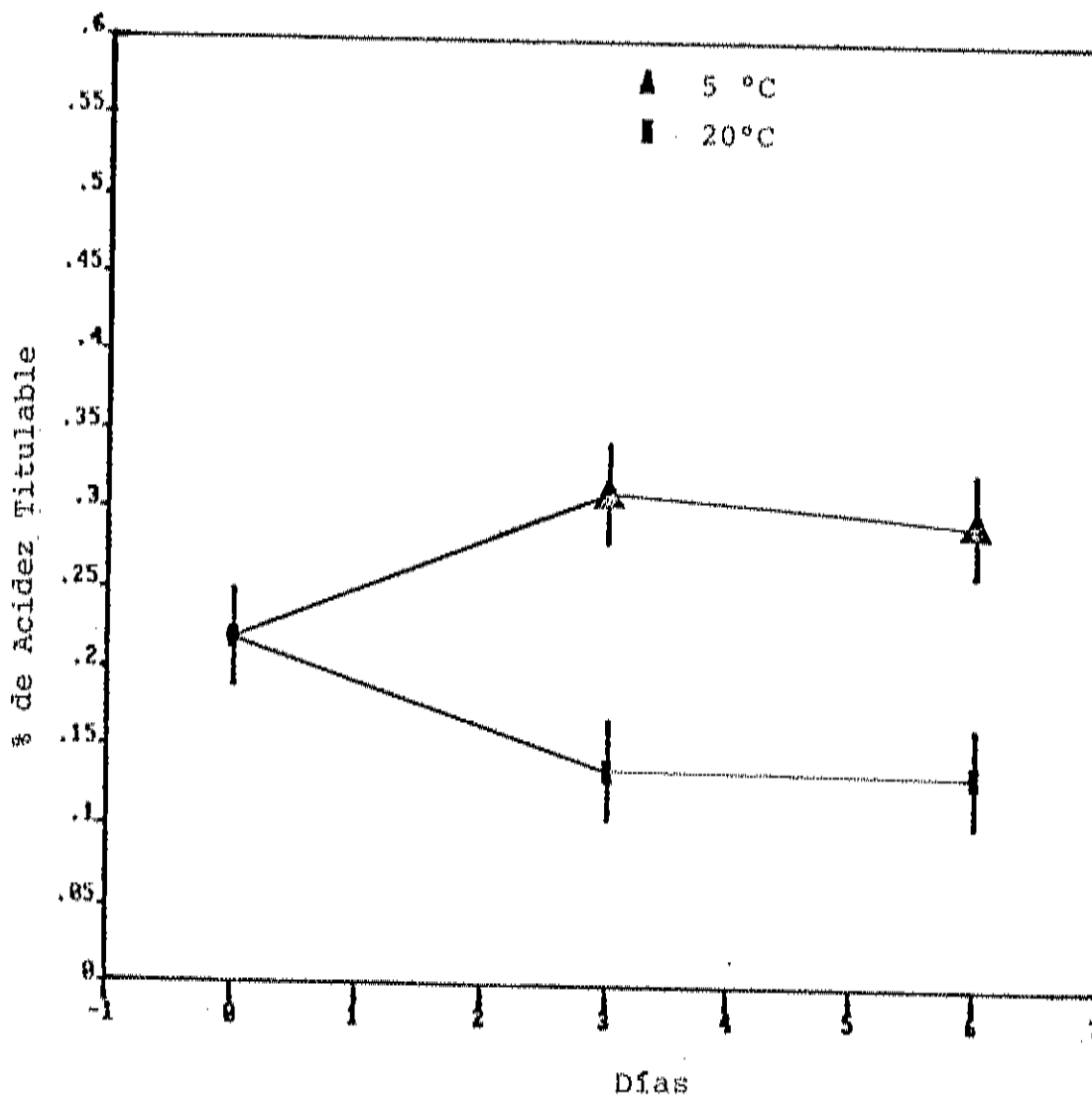


Figura 2a. Cambios de Acidez Titulable Durante el Almacenamiento de Nopal Forrajero (*O. ficus-indica*). Estado de Desarrollo 1; Cosechado por la Mañana. Los Datos Graficados Representan el Promedio y la Desviación Estándar.

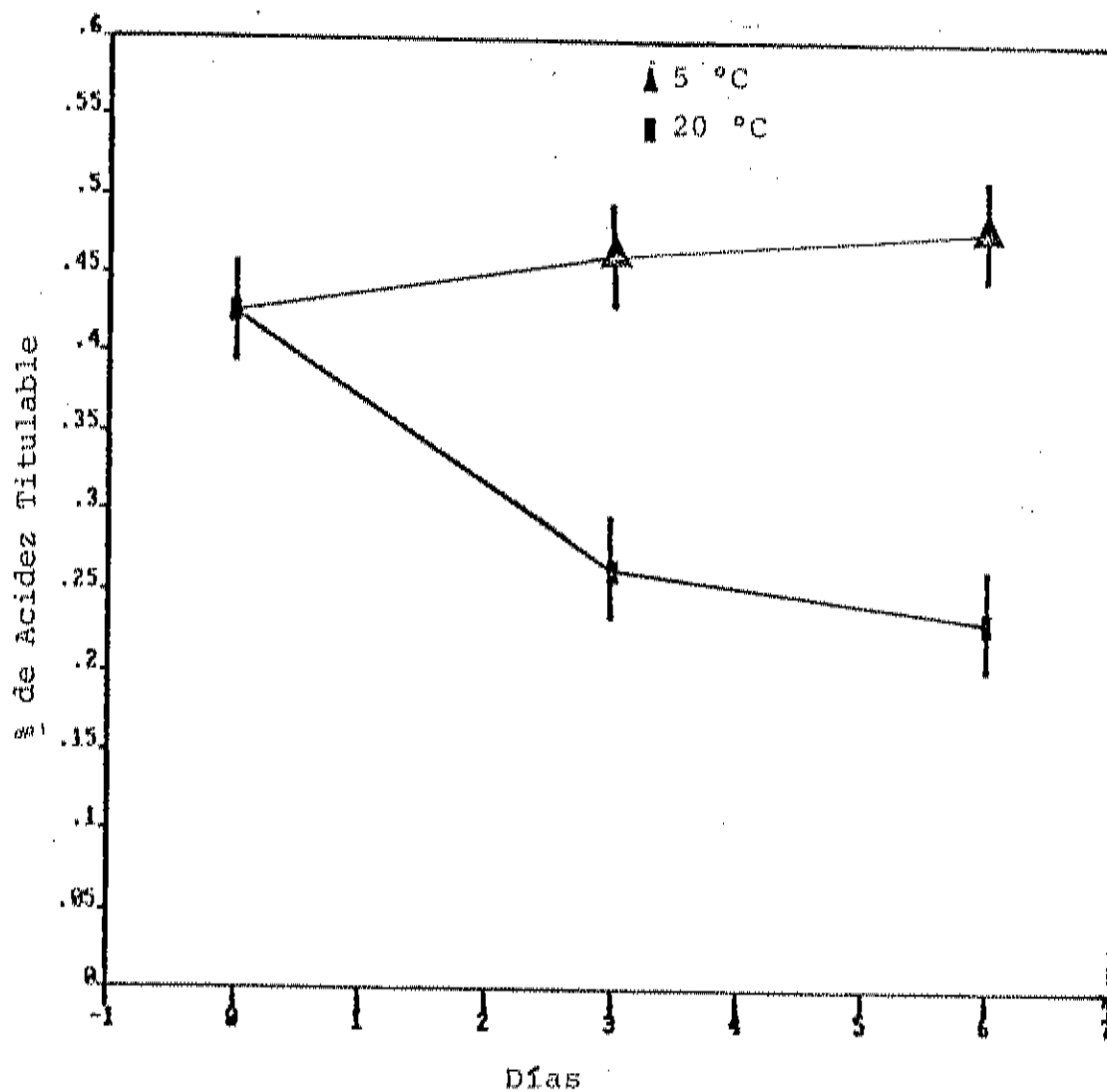


Figura 2b. Cambios de Acidez Titulable Durante el Almacenamiento de Nopal Forrajero (*O. ficus-indica*). Estado de Desarrollo 3; Cosechado por la Mañana. Los Datos Graficados Representan el Promedio y la Desviación Estandar.

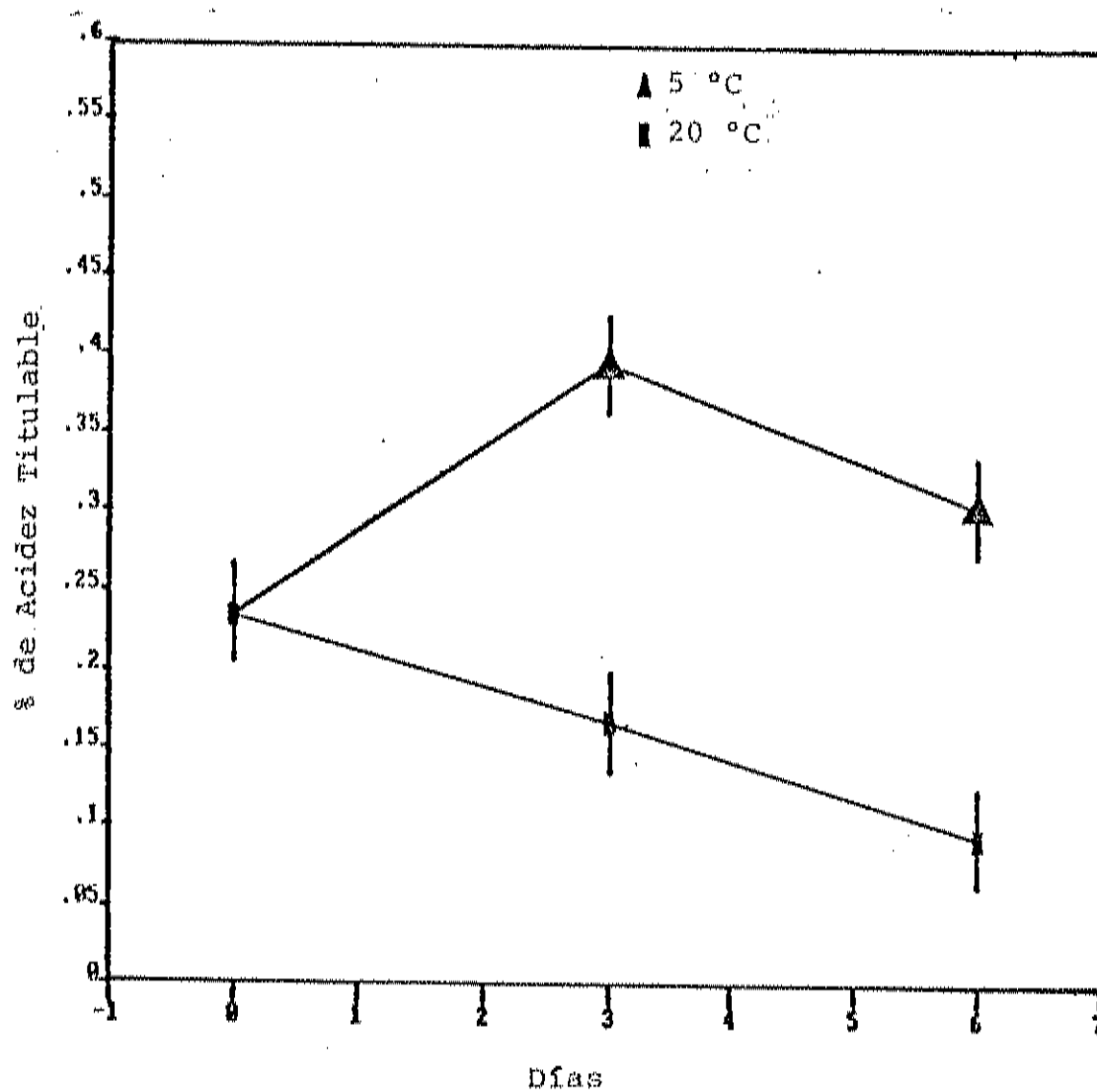


Figura 3a. Cambios de Acidez Titulable Durante el Almacenamiento de Nopal Forrajero (*O. ficus-indica*). Estado de Desarrollo 1; Cosechado por la Tarde. Los Datos Graficados Representan el Promedio y la Desviación Estándar.

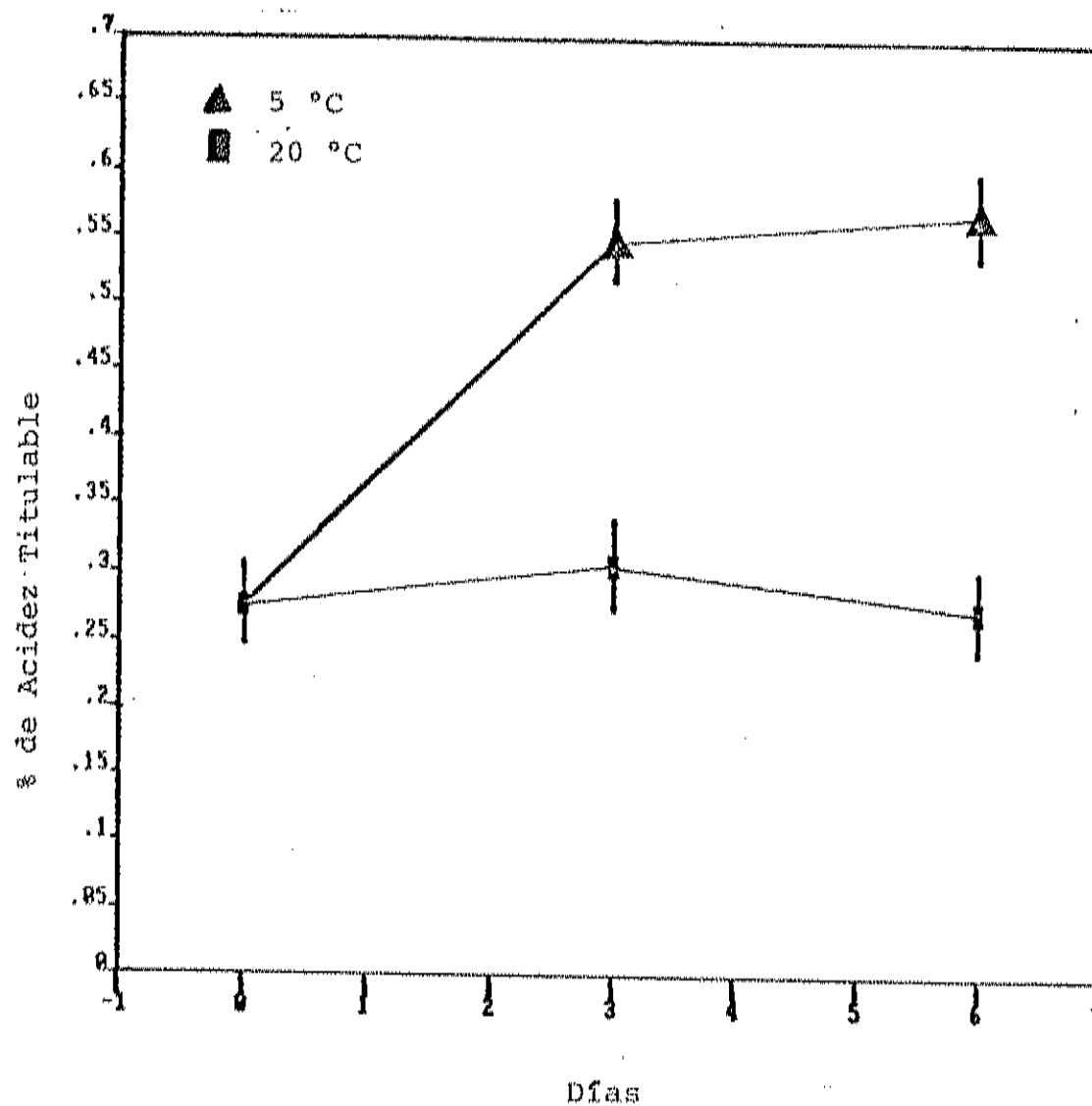


Figura 3b. Cambios de Acidez Titulable Durante el Almacenamiento de Nopal Forrajero (*O. ficus-indica*). Estado de Desarrollo 3; Cosechado por la Tarde. Los Datos Graficados Representan el Promedio y la Desviación Estandar.

temperatura se están inhibiendo los sistemas enzimáticos del ciclo de los ácidos tricarbóxicos (respiración), por lo que al inhibir este ciclo aparentemente se dejan de utilizar los ácidos orgánicos, los cuales se acumulan en el tejido. Lo contrario ocurre a 20 C, debido a que los cladodios continúan respirando, utilizando los ácidos orgánicos.

Valor Nutritivo de los Nopalitos

Los alimentos están constituidos por una gran diversidad de sustancias las cuales pueden ser nutritivas y no nutritivas, cuya proporción va a cambiar de un alimento a otro por lo que es importante determinar su composición y por consiguiente conocer su valor nutritivo (Nestle, 1983). Considerando como estados comerciales los estados de desarrollo 2, 3 y 4 (eliminando el estado 1 por ser muy pequeño y los estados 5 y 6 por ser cladodios muy desarrollados que han engrosado), se calculó un promedio de los resultados obtenidos en los diferentes componentes en los estados de desarrollo seleccionados con el fin de determinar el valor nutritivo de los nopalitos que se comercializan. Para lo cual se analizaron estadísticamente los resultados expresados en el Cuadro 17. En base a lo anterior y tomando en cuenta todos los componentes analizados se encontró que no existían diferencias notables en la composición o valor nutritivo de las tres especies de nopal (tunero, forrajero y verdura) en los estados comerciales. En cambio, considerando únicamente las vitaminas se encontró que el nopal verdura

Cuadro 17. Composición Química Promedio de los Cladodios de 3 Especies de Opuntia en los Estados de Desarrollo 2, 3 y 4 (Comerciales) Referida en Base Seca.

Componente	Tunero	Forrajero	Verdura
Humedad (%)	92.0a ¹	91.5a	91.7a
Proteína (%)	15.8a	12.0c	12.2b
Lipídos(%)	2.2b	2.7a	2.3b
Cenizas (%)	15.0b	14.3c	16.8a
Fibra Cruda (%)	14.3a	12.9c	13.8b
Carbohidratos Totales (%)	52.6c	58.1a	55.5b
Acido Ascórbico (mg/100g)	10.4b	9.8b	17.9a
Carotenos (ug/100g)	18.5c	29.8b	38.4a

¹Los datos seguidos por literales diferentes para un mismo componente indican diferencias significativas ($p < 0.05$) de acuerdo a la prueba de Duncan.

presentó el mayor contenido y considerando solamente a las proteínas el nopal tunero presentó el mayor contenido.

En el Cuadro 18 a y b se muestra el valor nutritivo promedio de las tres especies de nopalitos en los estados de desarrollo 2, 3 y 4 (considerados comerciales) y se compara con el de otras hortalizas de hoja más consumidas como son lechuga y espinaca, encontrándose que en base húmeda aparentemente tienen un mayor valor nutritivo que la lechuga ya que en base seca se observa que su valor nutritivo es comparable. Esto es debido a las diferencias en el contenido de humedad de dichas hortalizas. El valor nutritivo de los nopalitos analizados es menor que el de la espinaca.

Estudio de Crecimiento

En la Figura 4, puede observarse la curva de crecimiento (longitud) del cladodio de nopal verdura, iniciándose al igual que en la mayoría de las plantas con un crecimiento lento en los primeros cinco días, incrementándose los siguientes 30 días (fase exponencial) y se redujó conforme el cladodio iba alcanzando su longitud final, formando la característica curva de crecimiento sigmoideal (Leopold y Kriedemann, 1975). Por otra parte en la Figura 5 se puede observar los cambios en grosor que ocurrieron a partir de que se inició la brotación donde se observó una disminución en el grosor aproximadamente a partir del sexto día, que es cuando el crecimiento longitudinal fué más activo y aproximadamente a partir de los 30 días, se observó de nuevo el

Cuadro 18a. Composición Química de Nopal, Lechuga y Espinaca Referida en Base Húmeda.

Componente	Nopal	Lechuga	Espinaca
Humedad (%)	91.7	95.5 ¹	90.7 ¹
Proteína (%)	1.1	0.9	3.2
Lípidos (%)	0.2	0.1	0.3
Fibra Cruda (%)	1.1	---	---
Carbohidratos Totales (%)	4.6	2.8	4.3
Cenizas (% b.h)	1.3	---	---
Vitamina C (mg/100 g)	12.7	6.0	51.0
Carotenos (ug/100 g)	28.9	19.0	55.0

¹Datos de Lechuga y Espinaca de Adams, C.F. (1975).

Cuadro 18b. Composición Química de Nopal, Lechuga y Espinaca Referida en Base Seca.

Componente	Nopal	Lechuga	Espinaca
Humedad (%)	91.7	95.5 ¹	90.7 ¹
Proteína (%)	13.4	18.9	34.4
Lípidos (%)	2.4	2.0	3.2
Fibra Cruda (%)	13.7	-----	-----
Carbohidratos Totales (%)	55.4	62.2	46.2
Cenizas (%)	15.4	-----	-----
Vitamina C (mg/100 g)	154.3	133.3	548.4
Carotenos (ug/100g)	351.3	422.2	591.4

¹ Datos de Lechuga y Espinaca de Adams, C.F. (1975).

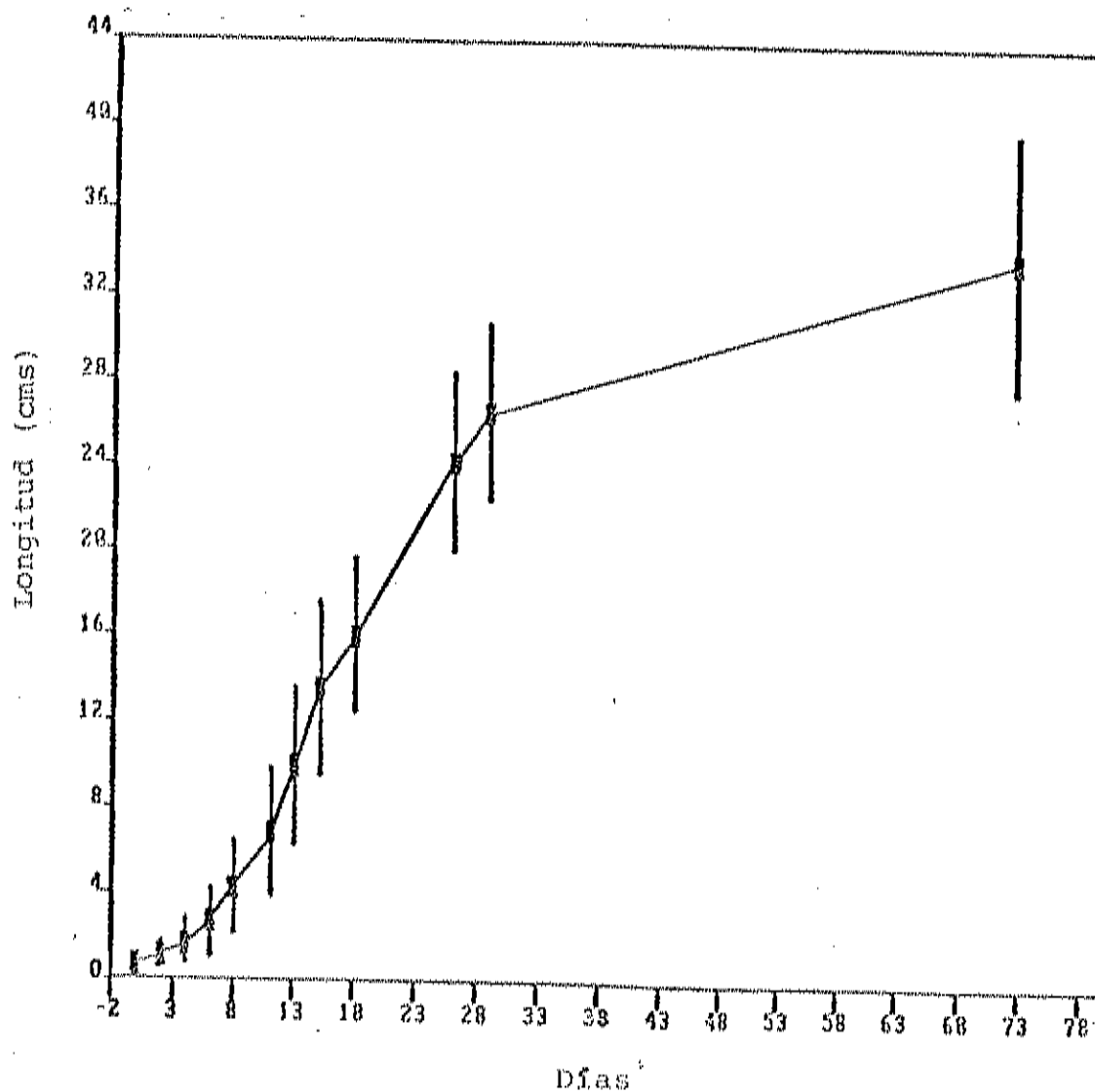


Figura 4. Curva de Crecimiento (Longitud) de Nopal verdura (*O. inermis*). Mayo a Julio de 1985. Los Datos Graficados Representan el Promedio y la Desviación Estandar.

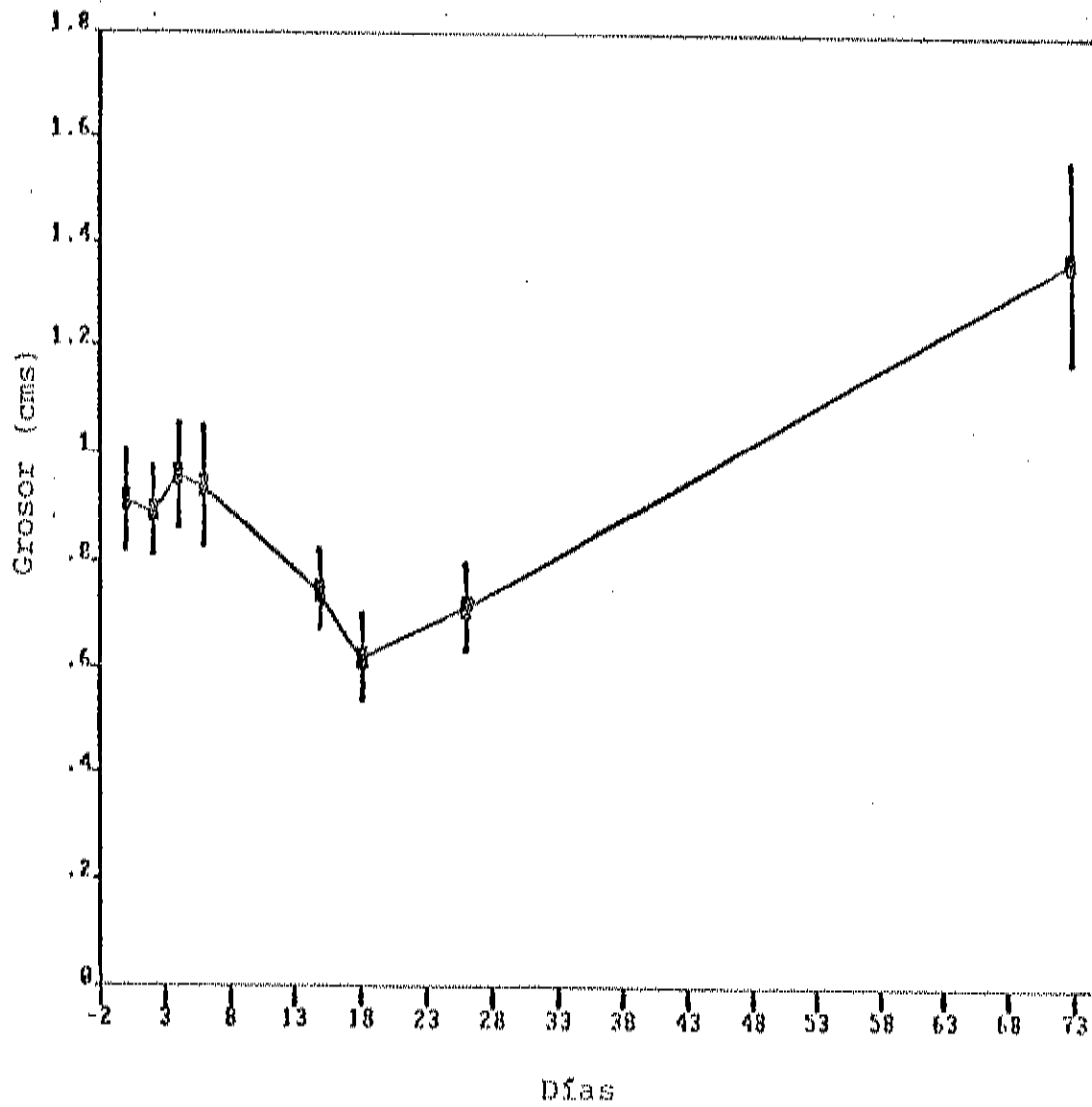


Figura 5. Curva de Crecimiento (Grosor) de Nopal Verdura (*O. inermis*). Mayo a Julio de 1985. Los Datos Graficados Representan el Promedio y la Desviación Estandar.

incremento en grosor, que coincidió con la disminución en crecimiento de longitud .

Producción de Dióxido de Carbono y Etileno

Una vez que un órgano ha sido separado de la planta, se inicia una serie de cambios fisiológicos que conducen a la senectud en la cual hay disminución de todos los procesos fisiológicos y muerte del tejido. Una forma de medir la actividad metabólica del tejido es por la determinación de la velocidad de respiración (Noodén, 1980). Como puede observarse en las Figuras 6 y 7 la producción de dióxido de carbono presentó una disminución con el tiempo tanto en nopal forrajero como nopal verdura. Al inicio del almacenamiento los cladodios de nopal forrajero en los estados 1 y 3 tuvieron mayor velocidad de respiración (69.5 y 37.7 ul/g-h) que los de nopal verdura (49.9 y 24.9 ul/g-h); y tanto en nopal forrajero como en nopal verdura el estado de desarrollo 1 (cladodios más tiernos) tuvieron mayor velocidad de respiración que los cladodios del estado de desarrollo 3 (comerciales). Estos resultados son consistentes con el hecho de que los órganos vegetales presentan mayor actividad metabólica en los estados iniciales de desarrollo, lo que se refleja en las tasas respiratorias (Noodén, 1980).

El etileno es una hormona natural producida por las plantas generalmente en un rango de 0.5 a 5 nl/g-h, regula algunas funciones metabólicas y está implicado en los procesos de senectud (Leopold y Kriedemann, 1975). Por lo tanto es de

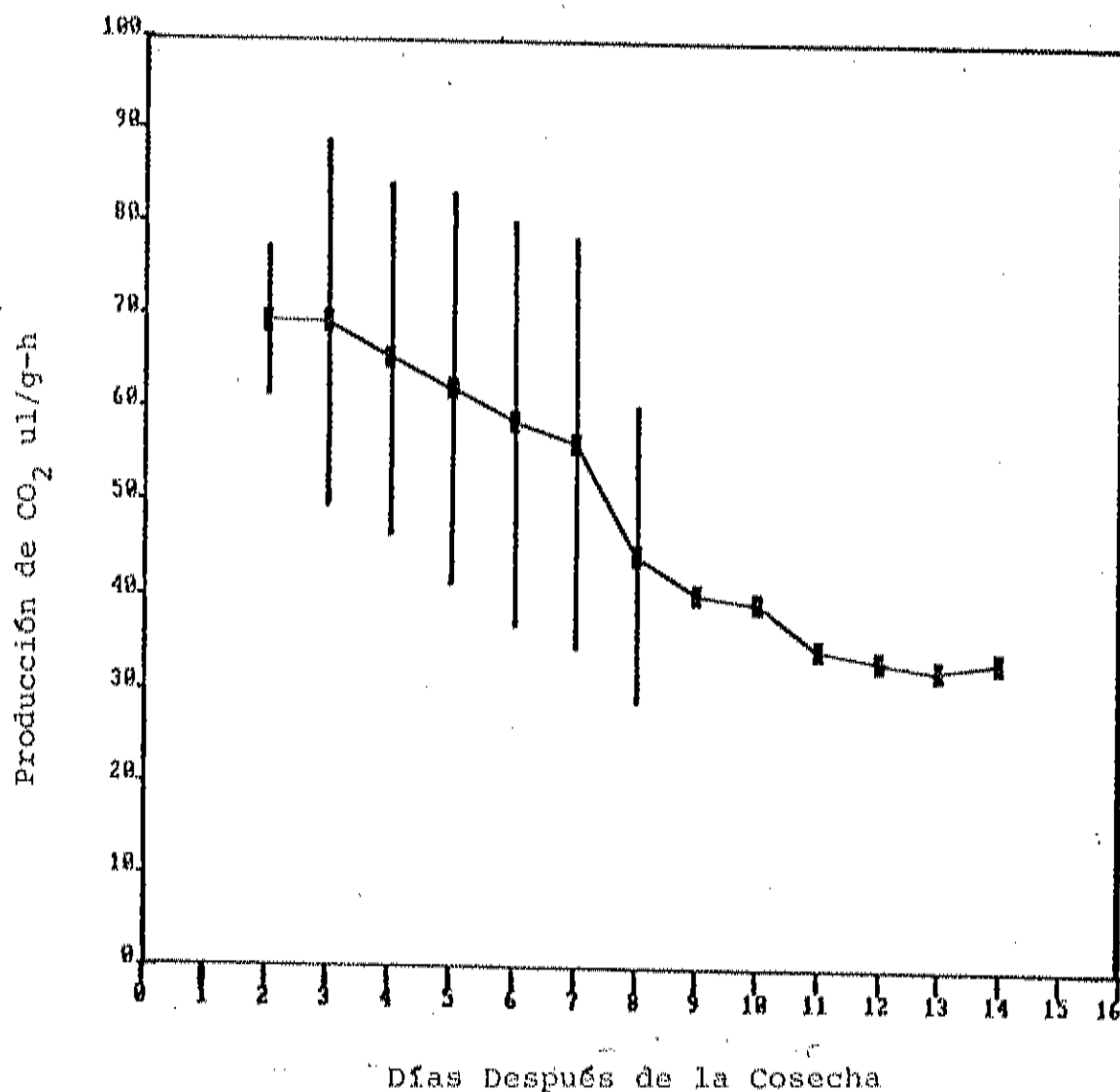


Figura 6a. Producción de Dióxido de Carbono de Nopal Forrajero (*O. ficus-indica*). Durante el Almacenamiento a 20 C y 95% de H.R., Estado de Desarrollo 1; Cosechado en Septiembre de 1985. Los Datos Graficados Representan el Promedio y la Desviación Estandar. La Ausencia de Desviación Estandar Indica Una Medición Debido al Desarrollo de Microorganismos en los Demás Cladodios.

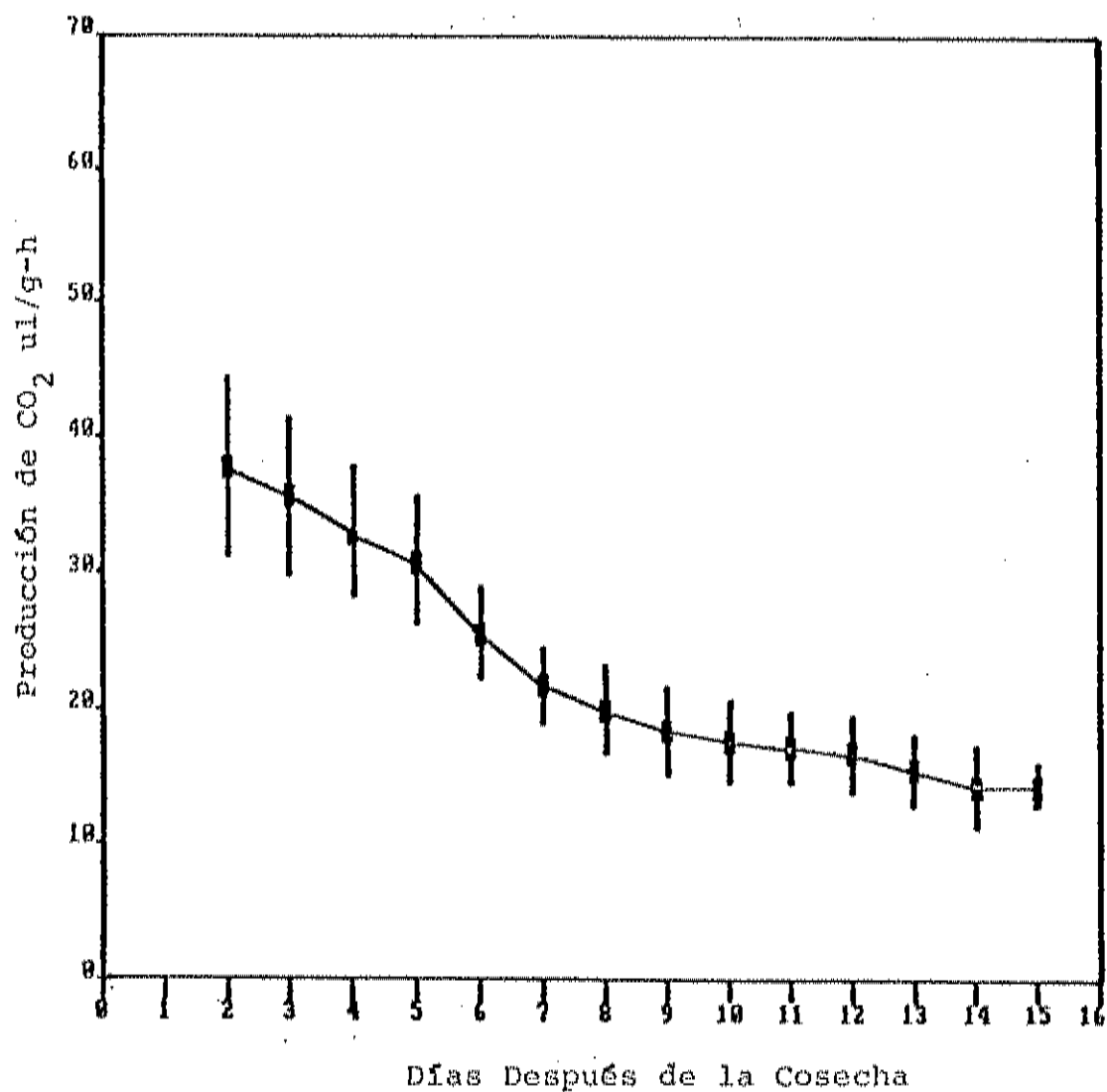


Figura 6b. Producción de Dióxido de Carbono de Nopal Forrajero (*O. ficus-indica*). Durante el Almacenamiento a 20 C y 95% de H.R., Estado de Desarrollo 3; Cosechado en Septiembre de 1985. Los Datos Graficados Representan el Promedio y la Desviación Estandar.

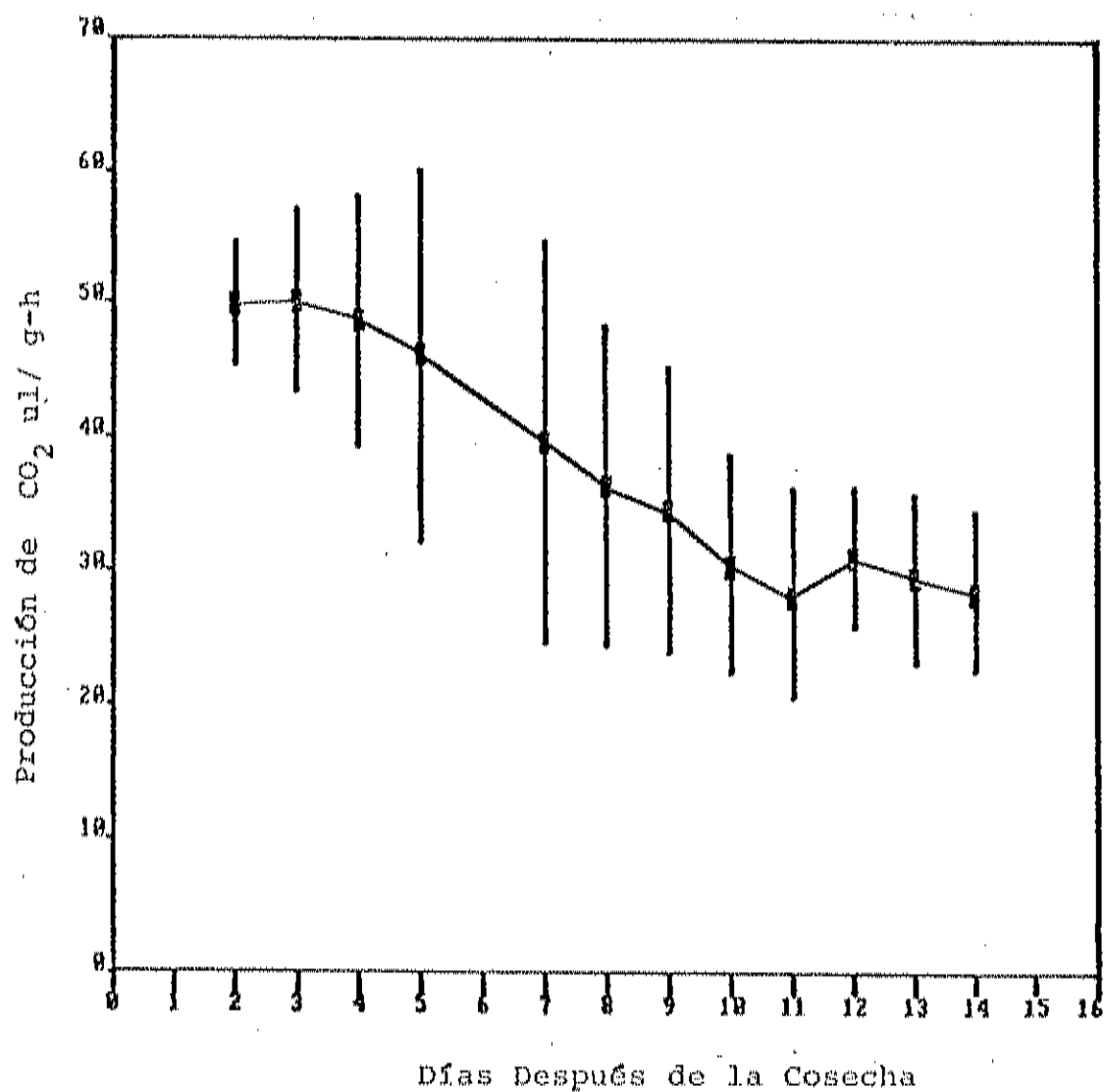


Figura 7a. Producción de Dióxido de Carbono de Nopal Verdura (*O. inermis*) Durante el Almacenamiento a 20 C y 95% de H.R., Estado de Desarrollo 1; Cosechado en Septiembre de 1985. Los Datos Graficados Representan el Promedio y la Desviación Estándar.

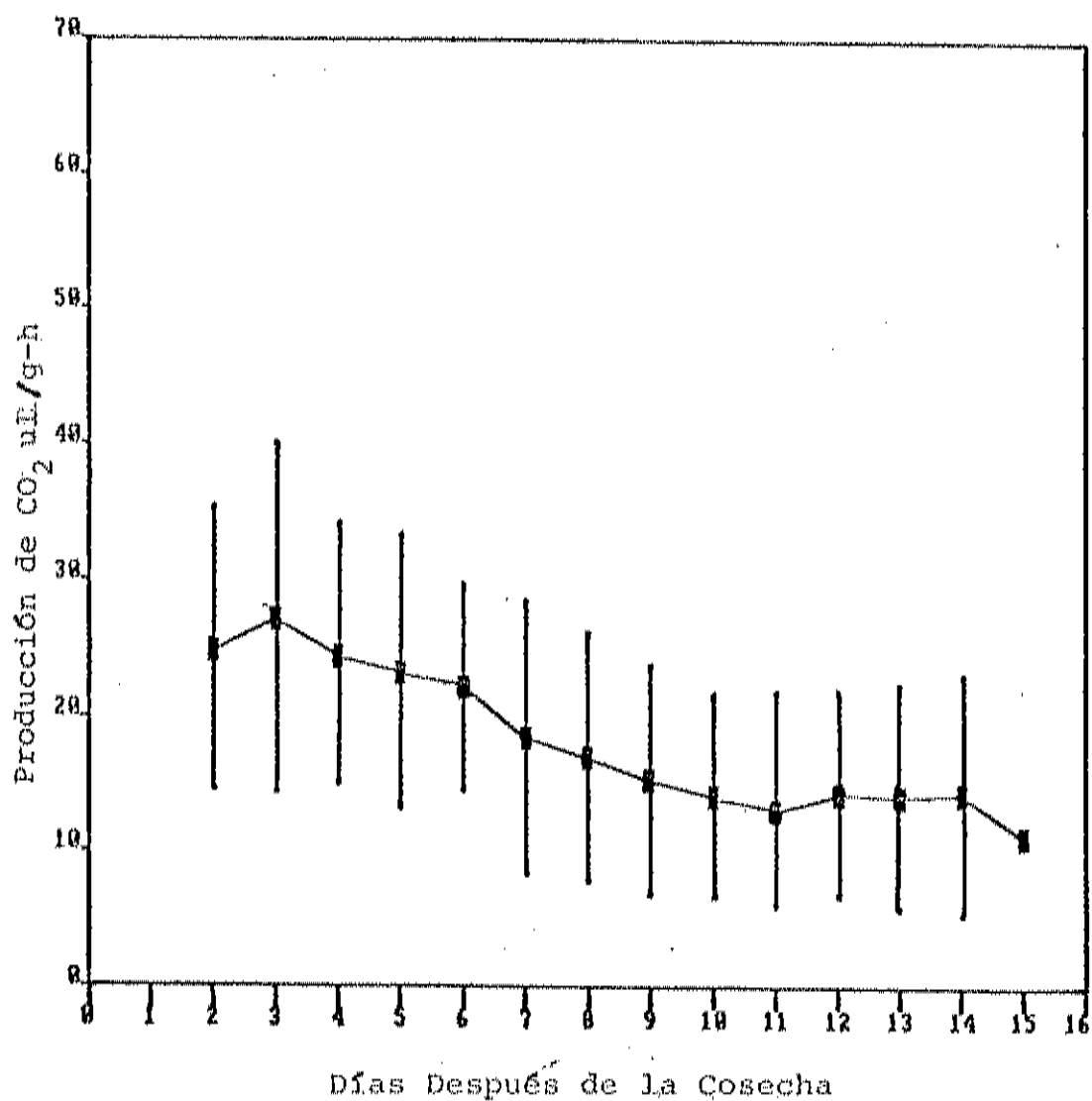


Figura 7b. Producción de Dióxido de Carbono de Nopal Verdura (*O. inermis*) Durante el Almacenamiento a 20 C y 90% de H.R., Estado de Desarrollo 3; Cosechado en Septiembre de 1985. Los Datos Graficados Representan el Promedio y la Desviación Estandar. La Ausencia de Desviación Estandar Indica una Medición Debido al Desarrollo de Microorganismos en los Demás Cladodios.

interés conocer su producción en nopalitos cosechados, ya que se menciona que hay un incremento notable en la producción de etileno cuando un tejido ha sido magullado o cortado y puede afectar su vida postcosecha y conducir a la senectud del tejido (Yang y Pratt, 1978). En las Figuras 8 y 9, puede observarse que tanto en el estado 1 y 3 de nopal verdura la producción final de etileno (0.46 y 0.15 nl/g-h) fué mayor que en nopal forrajero (0.35 y 0.13 nl/g-h) respectivamente y en las dos especies de nopal, la producción de etileno fué mayor en los cladodios más jóvenes (estado de desarrollo 1). Como puede observarse los nopalitos del estado 1 tanto forrajeros como verdura tuvieron una mayor velocidad de respiración y mayor producción de etileno, por lo que puede decirse que tuvieron menor vida postcosecha en las condiciones en que fueron almacenados.

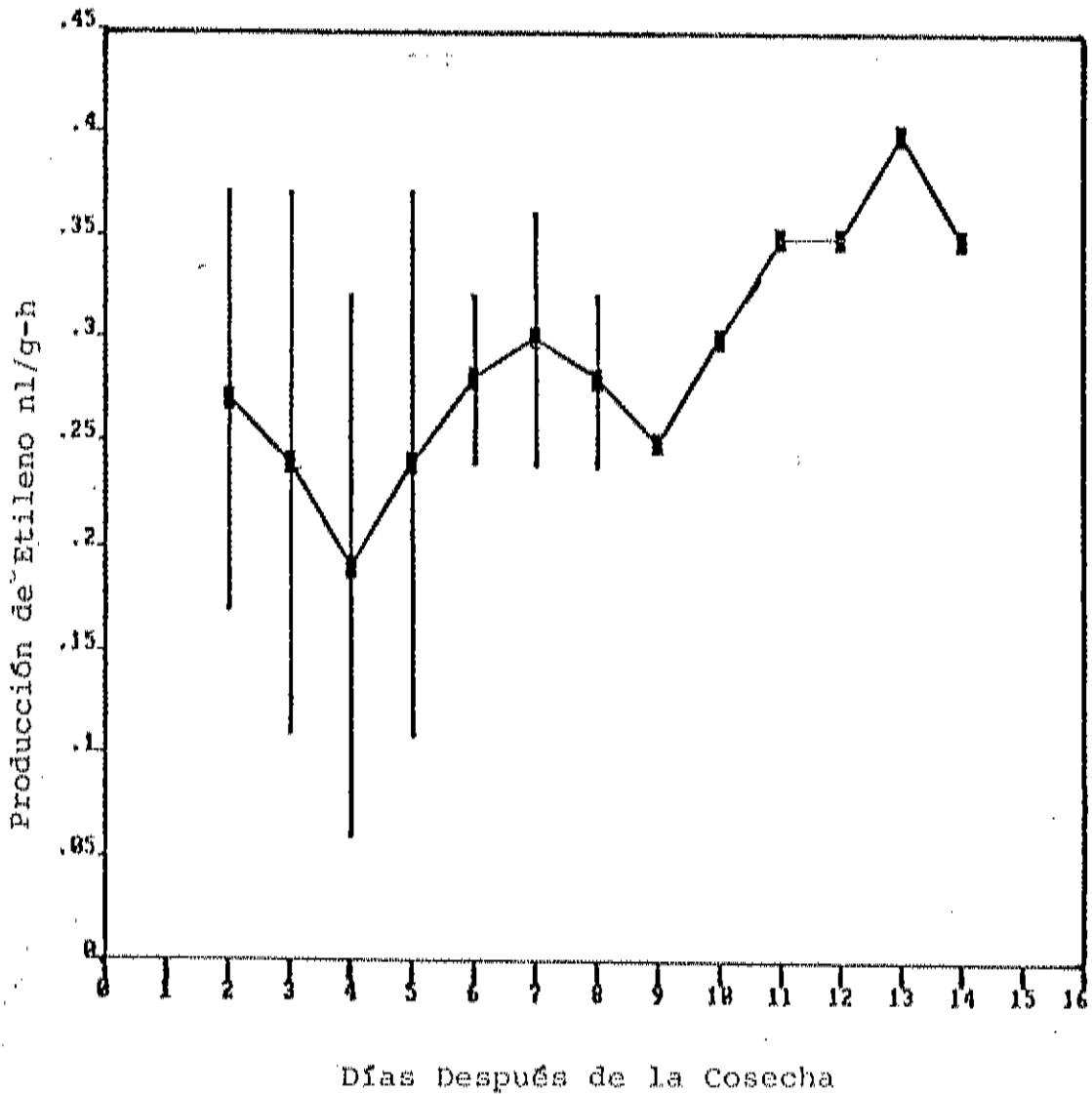


Figura 8a. Producción de Etileno de Nopal Forrajero (O. ficus-indica) Durante el Almacenamiento a 20 C y 95% de H.R., Estado de Desarrollo 1; Cosechado en Septiembre de 1985. Los Datos Graficados Representan el Promedio y la Desviación Estandar. Las Ausencia de Desviación Estandar Indica una Medición Debido al Desarrollo de Microorganismos en los Demás Cladodios.

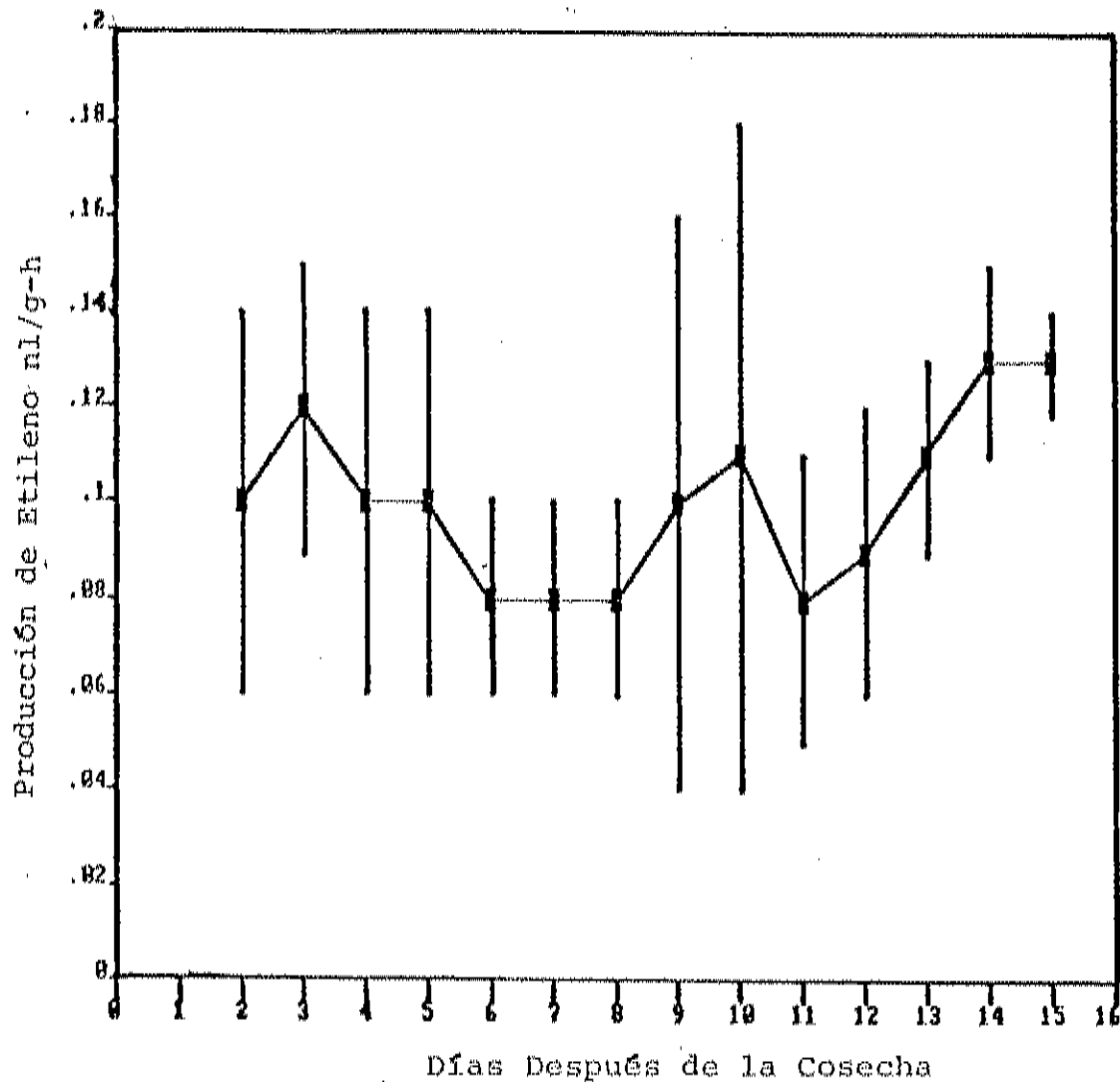


Figura 8b. Producción de Etileno de Nopal Forrajero (*O. ficus-indica*) Durante el Almacenamiento a 20 C y 95 % de H.R., Estado de Desarrollo 3; Cosechado en Septiembre de 1985. Los Datos Graficados Representan el Promedio y la Desviación Estandar.

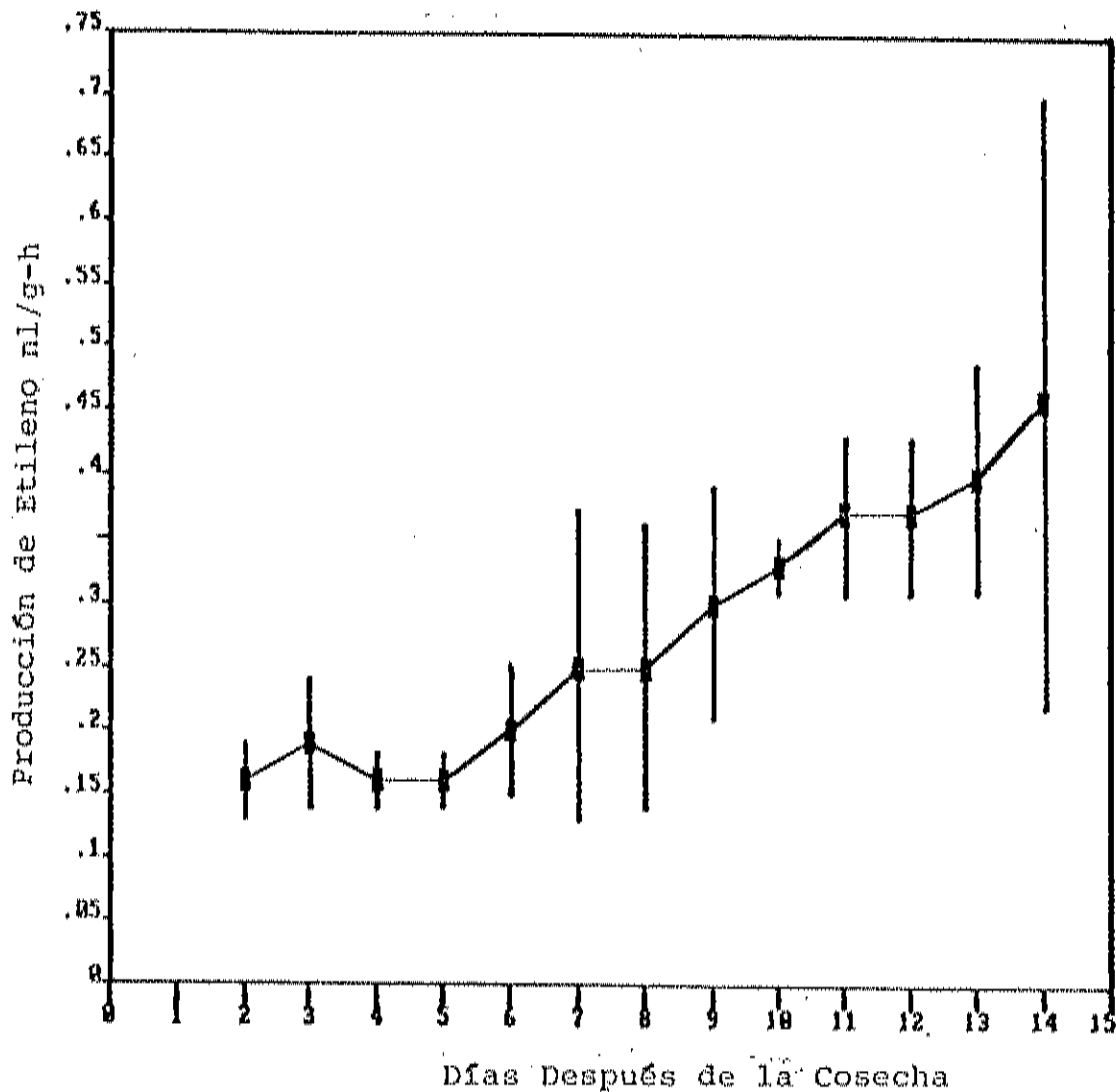


Figura 9a. Producción de Etileno de Nopal Verdura (*O. inermis*) Durante el Almacenamiento a 20 C y 95% de H.R., Estado de Desarrollo 1; Cosechado en Septiembre de 1985. Los Datos Graficados Representan el Promedio y la Desviación Estandar.

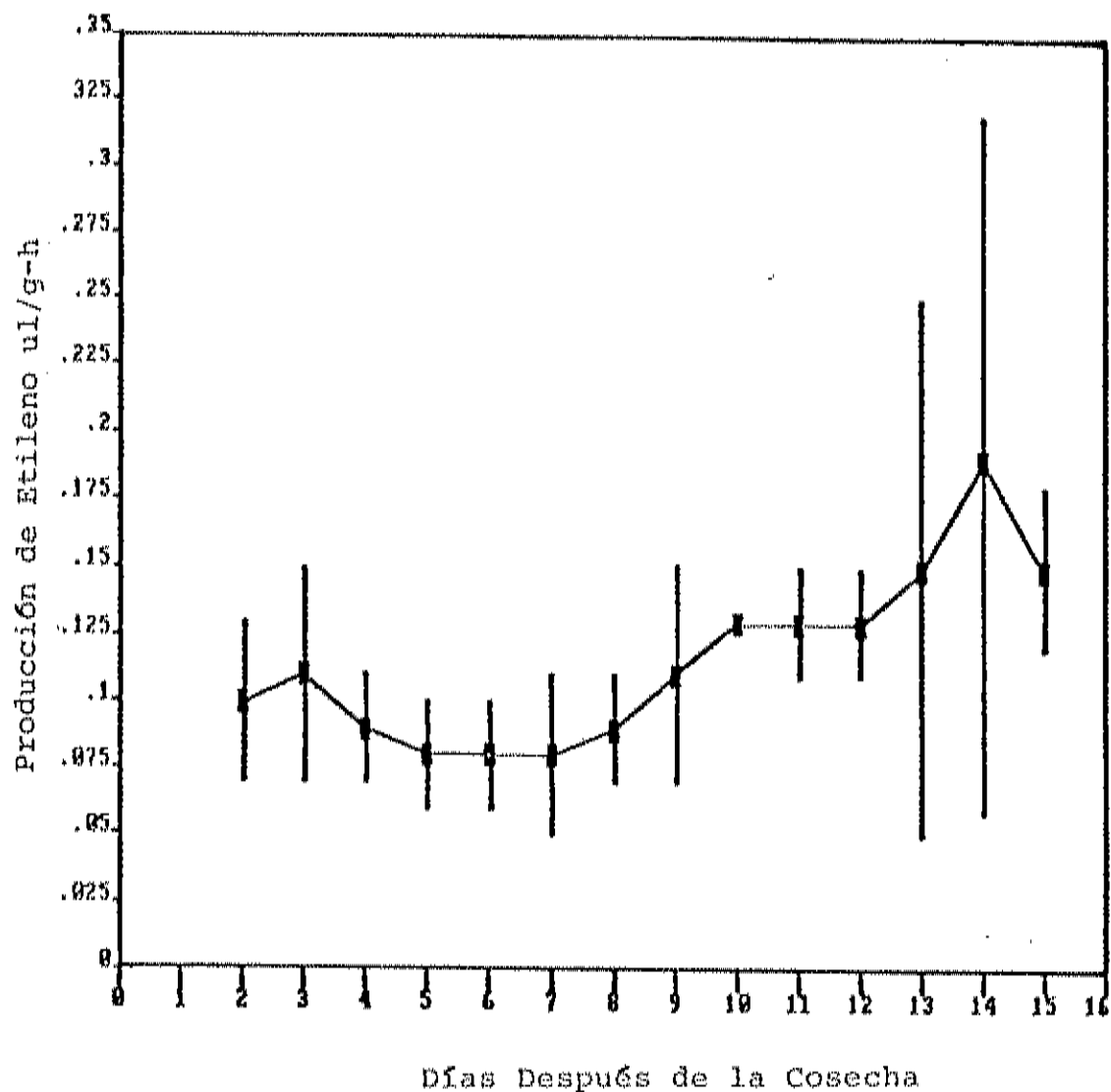


Figura 9b. Producción de Etileno de Nopal Verdura (*O. inermis*) Durante el Almacenamiento a 20 C y 95 % de H.R., Estado de Desarrollo 3; Cosechado en Septiembre de 1985. Los Datos Graficados Representan el Promedio y la Desviación Estandar.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente trabajo establece los cambios en composición de los cladodios o pencas de tres especies de Opuntia: O. amyclaea, nopal tunero; O. ficus-indica, nopal forrajero y O. inermis, nopal verdura en seis estados de desarrollo que provenían de la brotación de primavera de 1985 de plantaciones localizadas en la Costa de Hermosillo, Sonora.

Las principales diferencias en composición de los nopalitos de las tres especies fueron: proteína, acidez titulable y vitamina C. Los componentes que variaron más notablemente durante el desarrollo de los cladodios fueron: carotenos, acidez titulable y carbohidratos totales que se incrementaron, mientras que proteína y fibra cruda disminuyeron.

En general, 100 g de cladodios (nopalitos) frescos en estado comercial proporcionan la siguiente composición para nopal tunero, forrajero y verdura, respectivamente: 92.0, 91.5 y 91.7 g de agua; 1.3, 1.0 y 1.0 g de proteína; 0.18, 0.23 y 0.19 g de lípidos; 1.2, 1.3 y 1.4 g de cenizas; 1.2, 1.1 y 1.1 g de fibra cruda ; 4.2, 4.9 y 4.6 g de carbohidratos totales; 0.91, 0.99 y 0.56 g de azúcares reductores (glucosa y fructosa); 10.4, 9.8 y 12.1 mg de ácido ascórbico (vitamina C); 18.5, 29.8 y 38.4 ug de carotenos (30.8, 49.6 y 64.0 U.I); 11.8, 27.6 y 31.9 mg de clorofila total; 17.4, 9.4 y 8.4 mg de fenoles totales; 0.30, 0.28 y 0.30 g de pectinas totales. Los nopalitos tienen además

0.45, 0.40 y 0.51 % de acidez titulable (ácido málico), 4.7, 4.5 y 4.6 de pH; 7.1, 6.2 y 7.1 grados Brix.

En el rango de los estados comerciales (2, 3 y 4), se encontró un valor nutritivo similar en las tres especies. Por otra parte, el valor nutritivo promedio de los estados comerciales fué ligeramente menor, pero comparable al de la lechuga y tiene sobre ésta la ventaja de que requiere poca agua, se produce durante todo el año y se desarrolla en condiciones de clima cálido.

Es difícil explicarse los cambios de algunos componentes desde el punto de vista fisiológico debido a que estos se encuentran en el tejido parenquimatoso que almacena agua o en el tejido parenquimatoso clorofiliano y no se conoce como varía la proporción de estos tejidos en la penca durante el desarrollo de los nopalitos. Sin embargo, desde el punto de vista nutricional esto no es tan importante ya que se consumen los nopalitos enteros sin separar éstos dos tejidos.

El componente más dinámico durante el desarrollo de los nopalitos fué la acidez titulable, la cual cambió dependiendo de la hora de la cosecha lo que indica el patrón fotosintético MAC. Otro factor que influyó en las fluctuaciones de acidez titulable fué la temperatura de almacenamiento. No se sabe si los cambios de acidez que ocurrieron en el día y durante el almacenamiento influyen en la calidad y aceptabilidad de los nopalitos.

En este estudio se determinó también la curva de crecimiento de cladodios del nopal de verdura encontrándose que muestra un

patrón sigmoide simple y alcanzó su crecimiento más rápido entre los 10 y 25 días después de haber iniciado la brotación.

Las determinaciones de la producción de dióxido de carbono a 20 C, 90% H.R. por los cladodios de nopal verdura y nopal forrajero demostraron que la tasa respiratoria fué mayor en los cladodios más tiernos y que ésta va disminuyendo con el tiempo (2 semanas). La producción de etileno por los mismos nopalitos fué muy baja y mostró un incremento con el tiempo de almacenamiento.

Los resultados del presente trabajo constituyen un cuadro de información básica, el cual puede utilizarse como referencia al realizar estudios fisiológicos y de aprovechamiento de los nopalitos. Además este trabajo tiene la característica de que se realizó en tres especies de nopal las cuales recibieron las mismas condiciones de cultivo y abarcó diferentes estados de desarrollo, por lo que la información obtenida es más completa y comparativa sobre la composición de los nopalitos que la existente en la literatura.

BIBLIOGRAFIA

- Abeles, F.B. 1973. Ethylene in Plant Biology. Academic Press, N. Y., N.Y. 302 pp.
- Acevedo, E., I. Badilla y P.S., Nobel. 1983. Water relations, diurnal acidity changes and productivity of a cultivated cactus Opuntia ficus-indica. Plant Physiol. 72: 775-780.
- Adams, C.F. 1975. Nutritive Values of American Foods. U.S.D.A., A.R.S, Agriculture Handbook No. 456. Washington, D.C. 291 p.
- Anón. 1981. El Nopal. Publicación Especial No. 34. Comisión Nacional de Zonas Aridas e Instituto Nacional de Investigación Forestal. 86 p.
- Anón. 1983. Cultivo del Nopal. Informe de la Comisión Nacional de Zonas Aridas. Delegación Sonora, México. 24 p.
- A.O.A.C. 1984. Official Methods of Analysis. Edition 14th. Williams S., Ed. Published by the Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C. 1141 p.
- Bautista, C., R. 1982. Los agrosistemas nopaleros del Valle de México. Tesis. Universidad Autónoma de Chapingo. 98 pp.
- Bravo-Hollis, H. 1978. "Las Cactáceas de México". Cap. 4. U.N.A.M., México, D.F., pp. 62-84.
- Castelo, T., C. 1982. El cultivo del nopal. Informe de la Comisión Nacional de Zonas Aridas. Delegación Baja California, México. 36 p.
- Erdman, Jr., J.W. y B.P. Klein. 1982. Harvesting, Processing, and Cooling Influences on Vitamin C in Foods. Adv. Chem. Series 200: 499-531.
- Feitosa-Teles, F.F. 1977. Nutrient analysis of prickly pear (O. ficus-indica, Linn.). Dissertation of Doctor of Philosophy. University of Arizona. 157 p.
- Fisher, P. y A. Bender. 1978. Valor Nutritivo de los Alimentos., Editorial Limusa., México, D.F., 205 p.
- García, V., A. 1972. Cultivo nopal de verdura. Folleto, Colegio de Postgraduados. Escuela Nacional de Agricultura. 10 pp.

- Gortner, W.A. 1965. Chemical and physical development of the pineapple fruit and plant pigment constituents. *J. Food Sci.* 30(1): 30-32.
- Gray, G.M. y R.M. Fogel. 1980. Nutritional Aspects of Dietary Carbohydrates. Ch. 4. En "Modern Nutrition in Health and Disease. 6th. ed., Ed. R.S. Goodhart y M.E. Shils. Lea and Febiger. Philadelphia. pp. 99-112.
- Haard, N.F. 1976. Characteristics of edible plant tissues. Ch. 16. En "Principles of Food Science". Part 1. Food Chemistry". Ed. O.R. Fennema , Marcel Dekker, Inc. N. Y. N. Y. pp. 677-760.
- Hansen, E. 1970. Proteins. Ch. 6. En "The Biochemistry of Fruits and their Products". Vol. 1, Ed. A.C. Hulme, Academic Press, London, pp. 147-157.
- Hodge, J.E. y M.E. Osman. 1976. Carbohydrates. Ch. 3. En "Principles of Food Science. Part 1. Food Chemistry". Ed. O.R. Fennema, Marcel Dekker, Inc., N.Y., N.Y. pp. 41-137.
- Joslyn, M.A. y J.A. Goldstein. 1964. Changes in phenolic content in persimmons during ripening and processing. *J. Ag. Food Chem.* 12(6): 511-519.
- Leopold, C.A. y E.P. Kriedemann. 1975. Ethylene. Ch. 7 en "Plant Growth and Development". Edition 2th. Mc Graw Hill,Co. N.Y.,N.Y. pp. 169-181.
- López, G., J.J., R. Nava C. y R. Pargas L. 1978. Nopal Forrajero en "Recursos Genéticos Disponibles a México". T. Cervantes S., ed. Sociedad Mexicana de Fitotecnia, A.C. Chapingo, México. pp. 191-199.
- Mazliak, P. 1970. Lipids. Ch. 9 en "The Biochemistry of Fruits and their Products". Vol. 1., Ed. A.C. Hulme, Academic Press, London,England. pp. 209-237.
- Meyer, L.H. 1982. "Food Chemistry". Ch. 2. The AVI Publishing,Co. Inc. Westport, CT. pp. 12-63.
- McCready, R.M. y E.A. McComb. 1952. Extraction and determination of total pectic materials in fruits. *Anal. Chem.* 24(12): 1986-1988.
- Montgomery, C.D. 1976. "Design and Analysis of Experiments". Ch.6. John Wiley and Sons, N. Y., N.Y. pp. 121.

- Nestle, M. 1983. Nutrition. Ch. 44. En "Harper's Review of Biochemistry. 19th. ed., Ed. D.W. Martin, P.A. Mayes y V.W. Rodwell. Lange Medical Publications., Los Altos, California. pp. 585-604.
- Noodén, D.L. 1980. Senescence in the whole plant. Ch. 10 en "Senescence in Plants". Ed. K.V. Thimann, CRC Press., Boca Ratón, Florida., pp. 219-259.
- Pomeranz, Y. y C.E. Meloan. 1978. "Food Analysis: Theory and Practice". Ch. 33. The AVI Publishing Co., Inc., Westport, CT. p. 521.
- Ramayo, R., L., C. Saucedo V. y S. Lakshminarayana. 1978a. Prolongación de la vida de almacenamiento del nopal hortaliza (Opuntia inermis COULTER) por refrigeración. Chapingo, Nueva Epoca 10: 30-32.
- Ramayo, R., L., C. Saucedo V. y S. Lakshminarayana. 1978b. Causa de altas pérdidas en nopal hortaliza (Opuntia inermis COULTER) almacenado por refrigeración y su control. Chapingo, Nueva Epoca, 10: 33-36.
- S.A.R.H. 1982. Diagnóstico Agroindustrial. Sonora 22. Documentos Técnicos para el Desarrollo Agroindustrial. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Coordinación General de Desarrollo Agroindustrial. pp. 16, 33.
- Somogyi, M. 1952. Notes on sugar determination. J. Biol. Chem. 195: 19-23.
- Trachtenberg, S. y A.M. Mayer. 1981. Composition and Properties of Opuntia ficus-indica mucilage. Phytochem. 20(12): 2665-2668.
- Terada, M., Y. Watanabe, M. Kunimoto y E. Hayashi. 1978. Differential rapid analysis of ascorbic acid and ascorbic acid-2-sulfate by dinitrophenylhydrazine method. Anal. Biochem. 84: 604-608.
- Ulrich, R. 1970. Organic acids. Ch. 4. En "The Biochemistry of Fruits and their Products", Vol. 1, Ed. A.C. Hulme, Academic Press, London, England. pp. 89-115.
- Villarreal, F., P. Rojas M., V. Arellano y J. Moreno. 1963. Estudio químico sobre seis especies de nopales (Opuntia spp.). Ciencia 22(3): 59-65.
- Yang, S.F. y H.K. Pratt. 1978. The Physiology of Ethylene in Wounded Plant Tissues. En "Biochemistry of Wounded Plant Tissues". Ed. G. Khal., Walter de Gruyter and Co., N. Y. N.Y. pp. 595-622.