

Efecto de la ingestión de nopal crudo y cocido (*Opuntia ficus indica*) en el crecimiento y perfil de colesterol total, lipoproteína y glucosa en sangre de ratas

María Luisa Cárdenas Medellín, Sergio O. Serna Saldívar, Jesús Velazco de la Garza

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Monterrey, México

RESUMEN. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del consumo de nopal en el crecimiento y en el perfil del colesterol total, lipoproteínas y glucosa en la sangre de ratas de laboratorio. El nopal (*Opuntia ficus indica*) es una cactácea alta en fibra dietética soluble e insoluble que ha sido utilizada como alimento autóctono de la población mexicana desde tiempos prehispánicos. Se evaluaron dos diferentes concentraciones (aproximadamente 6 y 12%) y dos presentaciones (crudo y cocido) de nopal deshidratado en el crecimiento y niveles sanguíneos de colesterol, lipoproteínas y glucosa con ratas de laboratorio. Muestras de nopal crudo y cocido fueron caracterizadas químicamente mediante el análisis de humedad, proteína, cenizas, fibra cruda, extracto etéreo, fibra dietética total, azúcares reductores, aminoácidos, minerales y energía bruta. El cocimiento del nopal afectó ligeramente algunos nutrientes analizados. Después de un mes de alimentación, muestras de sangre fueron tomadas mediante punción intracardiaca y analizadas para determinar contenido de glucosa, colesterol total, HDL, LDL y VLDL. Las ratas alimentadas con 12% de nopal tuvieron menores ganancias de peso ($P < 0.05$) en comparación con contrapartes alimentadas con 6% de nopal. El consumo de nopal no afectó los niveles de glucosa, colesterol total y HDL. Sin embargo, las ratas alimentadas con 12% de nopal crudo tuvieron valores 34% menores de colesterol LDL; por lo tanto, se concluye que el nopal crudo tuvo un efecto benéfico en ratas de laboratorio.

Palabras clave: Nopal, colesterol total, lipoproteínas, glucosa sanguínea, fibra dietética.

SUMMARY. Effect of raw and cooked nopal (*Opuntia ficus indica*) ingestion on growth and total cholesterol, lipoproteins, and blood glucose in rats. Two different concentrations (aprox. 6 and 12%) and two presentations (raw and cooked) of dehydrated nopal were fed to laboratory rats and growth and serum total cholesterol, lipoprotein profile and glucose determined. Samples of raw and cooked nopal were chemically characterized for moisture, protein, ash, crude fiber, ether extract, total dietary fiber, reducing sugars, amino acids, minerals and gross energy. Cooking slightly affected some of the nutrients analyzed. After one month feeding, blood was withdrawn via intracardiac puncture and serum glucose, total cholesterol, HDL, LDL, and VLDL were determined. Rats fed 12% nopal had lower weight gains ($P < 0.05$) when compared with counterparts fed 6% nopal or the control diet. Consumption of nopal did not affect ($P > 0.05$) glucose, total cholesterol and HDL cholesterol levels. However, rats fed raw nopal at the 12% concentration level had a 34% reduction in LDL cholesterol levels; thus, it was concluded that raw nopal had a potentially beneficial effect for hypercholesterolemic individuals.

Key words: Nopal, total cholesterol, lipoproteins, blood glucose, dietary fiber.

INTRODUCCION

La principal causa de muerte en el mundo son los ataques al corazón y éstos están muy relacionados con altos niveles sanguíneos de colesterol total, lipoproteínas y glucosa. El nopal es una cactacea que contiene una elevada cantidad de fibra. Se ha utilizado como alimento y remedio desde tiempos prehispánicos en México. Muchas de sus propiedades hipoglucémicas e hipocolesterémicas se le atribuyen a los componentes de su fibra dietética. El uso popular del nopal como remedio contra la diabetes, muy extendido en México y en otras regiones donde crece este cultivo, ha intrigado desde hace varios años a médicos y farmacólogos. En México, los géneros preferidos para este fin son *Opuntia* y *Lophocereus*.

Las diversas recetas para disminuir los síntomas diabéticos incluyen desde tomar los tallos crudos de estas especies machacados en agua, hasta beber sus jugos o extractos. En tiempos modernos una forma práctica de usar este remedio es mediante la preparación de licuados de las pencas tiernas del nopal. Sin importar la forma en que se prepara el remedio, debe usarse diariamente hasta que los síntomas desaparezcan (1).

Tröwell (2,3) establece que la diabetes mellitus en adultos puede ser una de las enfermedades de la civilización relacionadas con la deficiencia de fibra dietética. Diversos estudios han demostrado que el metabolismo de carbohidratos es afectado por las fibras viscosas. La viscosidad, ocasionada por la fibra dietética soluble, parece retardar y reducir la absorción

de la glucosa sanguínea (4). Según Story y Kritchevski (5) la fibra dietética es hipocolesterémica en humanos y además incrementa la excreción fecal de sales biliares. Estas son eliminadas por el ciclo enterohepático y deben ser sintetizadas de novo en el hígado a partir de colesterol. Si las pérdidas de colesterol no son compensadas por la nueva síntesis, sus niveles en el suero pueden reducirse. La absorción reducida del colesterol en alimentos con alto contenido de fibra fue previamente tratado por Anderson y Chen (6). La fibra actúa como una barrera física y acelera los movimientos intestinales ocasionando una reducción en la absorción. También puede ligar al colesterol propiciando una mayor excreción fecal. La excreción del colesterol y sus metabolitos se incrementa después del consumo de alimentos ricos en fibra dietética. Además ha sido postulado que las fibras dietéticas pueden ejercer su influencia en los lípidos del plasma a través de una reducción en los niveles de glucosa e insulina post-prandial (7,8). Se ha reportado que la insulina incrementa la biosíntesis del colesterol y de las lipoproteínas de muy baja densidad o VLDL. Una disminución en la concentración de insulina puede reducir la síntesis de lípidos del plasma.

Los objetivos de este trabajo de investigación fueron: 1) hacer una caracterización química-nutricional del nopal y 2) evaluar el efecto del consumo de una dieta rica en nopal en el crecimiento y en el perfil del colesterol total, lipoproteínas y glucosa sanguínea utilizando ratas de laboratorio como modelos experimentales.

METODOLOGIA

Preparación del Nopal. El nopal (*Opuntia ficus indica*) procedió de la región de Cd. Victoria, Tamps., México. Primeramente se le retiraron las espinas y se picó en cuadros de 1 cm² aproximadamente. En seguida el nopal se dividió en dos lotes: uno crudo, mientras que el otro se coció en una marmita de acero inoxidable con agua en ebullición (100°C) por 15 min para después escurrir el exceso de agua. Posteriormente se efectuó el secado de ambos lotes mediante aire forzado con un horno Electrolux® (55°C durante 24 hrs). Finalmente se efectuó la molienda de ambos lotes en una licuadora de laboratorio para obtener un polvo de nopal seco.

Análisis químicos. A los dos tipos de nopal se les determinó humedad, proteína, cenizas, fibra cruda y fibra dietética siguiendo los procedimientos 925.10, 978.02, 923.03, 962.09 y 985.29 establecidos por la AOAC (9).

Determinación de extracto etéreo: se obtuvo mediante la extracción de la muestra con éter de petróleo por 8 hrs en un aparato de extracción Goldfish.

Determinación de azúcares reductores: se determinó utilizando el método de Somogyi-Nelson (10).

Determinación de aminoácidos (AA): se realizó con un aparato de cromatografía líquida Beckman 7300 con una columna de separación de intercambio iónico de sodio y tres

buffers sódicos de diferentes pH's. Después de la separación, los AA se derivatizaron con ninhidrina y se detectaron por absorbancia a 570 y 440 nm. El sistema de software Beckman Gold se usó para calcular la cantidad de cada AA en la muestra, mediante la comparación con la concentración conocida de una mezcla estándar calibradora. Con el contenido de aminoácidos se calculó el valor químico (VQ) del nopal utilizando la siguiente ecuación.

$$VQ = \frac{\text{g aminoácido esencial/100 g proteína de nopal}}{\text{requerimiento del aminoácido esencial de un niño expresado en g/100g de proteína}} \times 100$$

Este cálculo se realizó para todos los AA esenciales y el menor valor resultante fue denominado VQ de la proteína.

Determinación de minerales: el calcio, fósforo, magnesio, hierro, zinc y cobre del nopal fueron analizados después de la digestión de muestras con ácido nítrico y perclórico. Los minerales, a excepción del fósforo, fueron cuantificados por espectrometría de absorción atómica (11). Para los análisis de calcio y magnesio los hidrolizados fueron diluidos con 2% de solución de cloruro de lantano. El fósforo se determinó después de reaccionar con molibdato y ácido 1-amino-2-naftol-4-sulfónico y se cuantificó con un espectrofotómetro (12).

Determinación de energía bruta: se determinó utilizando una bomba adiabática, siguiendo el método sugerido por Raymond et al. (13).

Tratamientos experimentales y formulación de dietas.

El experimento consistió de seis diferentes tratamientos; cada uno representado por un tipo de dieta que se utilizó como alimento para las ratas durante el período de experimentación. Las dietas fueron isocalóricas e isoproteicas, con el mismo contenido de grasa animal y vegetal, azúcar, minerales, vitaminas y colesterol. Los factores que originaron los tratamientos fueron el proceso del nopal y el nivel incluido en las dietas. Los tratamientos experimentales se compararon con una dieta sintética (tratamiento 1) elaborada con almidón, celulosa y caseína (Tabla 1). Las dietas fueron balanceadas para conferir la misma cantidad de fibra dietética; éstas contenían el equivalente a la cantidad diaria recomendada para humanos en la concentración alta (tratamientos II, IV y VI), y el equivalente a la mitad en la denominada concentración baja (tratamientos I, III y V).

Animales y su alimentación: 36 ratas albinas Sprague Dawley de 9 semanas de edad se utilizaron para este experimento. Se usaron 18 hembras y 18 machos con un peso inicial de 165g +/- 1.09. Las ratas fueron bloqueadas por peso y se asignaron aleatoriamente a 6 bloques de 6 animales cada uno. Las ratas se sometieron a un período de 4 días de adaptación donde se alimentaron con una dieta comercial (Nutricubos Purina^{MR}). Las ratas se colocaron en jaulas individuales de acero inoxidable, en las que se les proporcionó alimento y agua *ad libitum*. El experimento tuvo una duración de 4 semanas.

TABLA 1

Composición de los tratamientos utilizados para alimentar a las ratas en el estudio de crecimiento y de propiedades hipocolesterémicas e hipoglucémicas del nopal

Nutriente	Tratamientos ¹					
	I	II	III	IV	V	VI
Colesterol ² (%)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Celulosa base (%)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Celulosa adicional (%)	2.50	5.00	—	—	—	—
Grasa animal (%)	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Aceite vegetal (%)	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Caseína (%)	17.37	17.37	16.86	16.35	16.87	16.36
Minerales ³ (%)	4.00	4.00	3.23	2.46	3.35	2.71
Vitaminas ⁴ (%)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Azúcar (%)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
Nopal crudo (%)	—	—	6.23	12.46	—	—
Nopal cocido (%)	—	—	—	—	6.03	12.06
Almidón (%)	36.88	34.38	34.54	29.70	34.57	29.76

¹ I=celulosa (2.5%); II=celulosa (5%); III=nopal crudo deshidratado (6.23%); IV=nopal crudo deshidratado (12.46%); V=nopal cocido deshidratado (6.03%); VI=nopal cocido deshidratado (12.06%).

² Equivalente a 1,000 mg de colesterol en una dieta humana.

³ Mezcla mineral AIN 76 (g/Kg), 500 fosfato cálcico dibásico, 74 cloruro de sodio, 220 citrato de potasio, 52 sulfato de potasio, 24 óxido de magnesio, 3.5 carbonato de manganeso, 6 citrato férrico, 1.6 carbonato de zinc, 0.3 carbonato cúprico, 0.01 iodato de potasio, 0.01 selenito de sodio, 0.055 sulfato crómico de potasio, y 118 sacarosa.

⁴ Mezcla vitamínica AIN 76 (mg/Kg de mezcla), tiamina 600, riboflavina 600, piridoxina 700, ácido nicotínico 3000, pantotenato de calcio D 1600, ácido fólico 200, biotina D 20, cianocobalamina (B₁₂) 1, retinil palmitato (Vit. A) 800, tocoferil acetato (Vit. E) 20, colecalciferol (Vit. D) 2.5, monoquinona (Vit. K) 5000, y sacarosa 972.9 g.

Crecimiento de los animales experimentales: durante el período de experimentación se monitoreó el peso de las ratas al principio, a la mitad y al final del mismo y se cuantificó y registró el alimento ingerido para determinar el efecto de cada uno de los tratamientos en el crecimiento de las ratas.

Muestras de sangre: después de 4 semanas de alimentar a las ratas con el tratamiento correspondiente, se les dejó en ayuno por 8 hrs en preparación para extraer sangre mediante una punción intracardiaca. La extracción de sangre se realizó después de anestesarlas en una atmósfera saturada con éter por aproximadamente 60 seg. Una vez que se obtuvo la sangre se depositó en un tubo de ensayo Vacutainer[®] con heparina. Inmediatamente después se centrifugó la sangre por 5 min a 3,500 rpm en una Centrífuga Sol-Bat, Modelo J-12, No. 5860. Posteriormente se separó el suero y se refrigeró aproximadamente 1 hr hasta el momento de realizar los análisis bioquímicos correspondientes.

Análisis bioquímicos sanguíneos

Determinación de glucosa: se realizó mediante el uso de los reactivos de Sigma, específicamente el kit No. 510. En este método la muestra de suero se agregó a una mezcla que contenía glucosa oxidada, peroxidasa y o-dianisidina. La

glucosa en presencia agua, oxígeno y glucosa oxidasa reacciona para convertirse en ácido glucónico y peróxido de hidrógeno. El peróxido de hidrógeno oxida a la o-dianisidina y ésta se vuelve de color café. La intensidad del color determinada con un espectrofotómetro fue proporcional a la concentración de glucosa.

Determinación de colesterol total y fracciones lipoproteicas: el contenido de colesterol total y fracciones lipoproteicas se determinaron utilizando los kits de Sigma No. 352 y 352-3. Estos procedimientos involucran básicamente reacciones enzimáticas mediante las cuales los ésteres de colesterol son hidrolizados a colesterol por la colesterol esterasa. El colesterol producido es oxidado por la colesterol oxidasa, produciendo colest-4-en-3-one y peróxido de hidrógeno. Este último producido se combina con el cromógeno en la presencia de la peroxidasa para producir un tinte cuya máxima absorbancia es a los 500 nm. La intensidad del color se midió en un espectrofotómetro Beckman y fue directamente proporcional al colesterol total de la muestra. La fracción HDL se determinó después de precipitar con sales de Mg a las lipoproteínas LDL y VLDL, dejando las HDL en solución. La separación se logró después de centrifugar a 2,500 rpm durante 5 min en una centrifuga Eppendorf 5415C. Las fracciones lipoproteicas LDL y VLDL se calcularon de la siguiente manera: Colesterol LDL+VLDL = Colesterol total - Colesterol HDL.

Análisis estadísticos: los resultados fueron analizados estadísticamente como un diseño en parcelas divididas con bloques completamente al azar en la parcela grande realizando un análisis de varianza con el paquete estadístico SAS (14). El modelo obedece a la ecuación 3, donde μ es la media, A es el efecto de la parcela grande, blq es el efecto del bloque, error A es el error de la parcela grande, B es el efecto de la parcela pequeña, AB es el efecto de la interacción de ambas parcelas, y error B es el error de la parcela pequeña. Las variables independientes de este diseño fueron los tratamientos mientras que las variables dependientes fueron bloque, sexo, peso inicial, peso final, cambio en peso, alimento consumido, Δ peso/alimento, glucosa, colesterol total, colesterol HDL, colesterol LDL y colesterol VLDL.

$$\text{Respuesta} = \mu + A + \text{blq} + \text{error A} + B + AB + \text{error}$$

RESULTADOS Y DISCUSION

Análisis químicos: la Tabla 2 muestra los resultados de la composición química nutrimental de los nopales. Estos análisis se realizaron utilizando como muestras nopal crudo o cocido parcialmente deshidratado (con una humedad de 9.82% en el nopal crudo y 6.69% en el nopal cocido). El nopal fresco originalmente contenía 93.8% de humedad. El contenido de humedad del nopal fresco (93.8%) coincide con el reportado por Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada (15). El contenido de

proteína (7.86% en el nopal crudo y 8.03% en el nopal cocido) está por debajo del 15.48% reportado por Fernández (16). Martínez (17) reporta un contenido de grasa en las pencas de nopal de 2.16%, ligeramente superior al resultado del análisis (1.81 y 1.25% en el nopal crudo y cocido, respectivamente). El contenido de fibra cruda fue de 5.69% en el nopal crudo y 5.90% en el cocido, menor al 14.37% reportado por Martínez (17). Mientras que el resultado de fibra dietética total fue de 42.80% para el nopal crudo y 41.26 en el nopal cocido. El contenido de cenizas encontrado (13.68 y 11.46 para el nopal crudo y cocido, respectivamente) es ligeramente menor al 15.2% reportado por Villarreal et al. (18); pero se encuentra dentro del rango de 13.67 a 21.05% reportado por Fernández (16). El contenido de azúcares reductores fue de 1.22% en el nopal crudo y 1.50% en el nopal cocido. El contenido de energía bruta del nopal crudo fue ligeramente menor que el del nopal cocido. Se puede observar que el proceso de cocimiento provocó que se concentraran algunos nutrientes como es el caso de la proteína, la fibra cruda, y los azúcares reductores; mientras que disminuyó la concentración de extracto etéreo, fibra dietética total y cenizas. La causa de la variabilidad que existe entre los valores encontrados y los reportados por otros autores es que la composición química del nopal, como la del resto de los productos vegetales, depende de varios factores genéticos y ambientales, como la composición química y textura del suelo y humedad. Según Granados y Castañeda (19) el nopal varía su composición de acuerdo con la época del año; además la humedad también varía según la edad del tallo.

TABLA 2

Composición química-nutricional del nopal deshidratado crudo y cocido

Nutriente	g/100 g	
	Nopal Crudo	Nopal Cocido
Humedad ¹	9.82	6.69
Proteína	7.86	8.03
Extracto etéreo	1.81	1.25
Fibra cruda	5.69	5.90
Fibra dietética total	42.80	41.26
Cenizas	13.68	11.46
Azúcares reductores	1.22	1.50
Extracto libre de nitrógeno	62.14	66.67
Energía bruta, kcal/kg	3279.80	3409.00

¹ El contenido de humedad inicial del nopal fue de 93.8%. Los análisis practicados se hicieron al nopal parcialmente deshidratado. Todos los valores, a excepción de la humedad están expresados en base seca.

El contenido de los diferentes AA en el nopal crudo y en el cocido se muestra en la Tabla 3. Existe diferencia entre la composición de los AA entre el nopal crudo y cocido; la

cantidad de ácido aspártico, treonina, serina, glutamina, prolina, alanina, cistina y fenilalanina es mayor en el nopal crudo, mientras que la cantidad de glicina, valina, metionina, isoleucina, leucina, tirosina, histidina, lisina y arginina es menor en el nopal crudo que en el cocido. Es decir, durante el tratamiento térmico se concentraron algunos AA y se perdieron otros probablemente por lixiviación. Con los valores obtenidos con el análisis se calculó el VQ de estos productos (Tabla 4) y se obtuvo 84.6 para el nopal crudo y 124.8 para el nopal cocido. Al compararlos con los valores químicos de la carne, leche y huevo (de 100 a 120 aprox) (20) se observó que ambos valores calculados fueron muy altos, lo que indica que el nopal tuvo un muy buen balance de AA esenciales. En el nopal crudo el primer AA limitante fue la fenilalanina+tirosina; mientras que el nopal cocido no tuvo AA limitantes. A pesar de que el VQ es alto, la digestibilidad de la proteína del nopal fue muy pobre. En un estudio preliminar donde se alimentaron ratas exclusivamente con nopal se obtuvieron tasas de digestibilidad de la materia seca y proteína muy bajas de tal manera que las ratas murieron aprox. 5 días después de iniciar la colección de heces fecales. Por lo tanto se concluye que la calidad proteica del nopal es mala debido a su pobre tasa de digestión. La calidad proteica depende principalmente de la cantidad que contiene de cada uno de los AA esenciales (valor químico), de la digestibilidad de la proteína y de la cantidad de factores antinutricionales que contenga el alimento (21).

TABLA 3

Contenido de aminoácidos del nopal crudo y del nopal cocido

Aminoácido	Nopal Crudo (g de AA/100 g proteína)	Nopal Cocido (g de AA/100 g proteína)
Ac. aspártico (Asp)	10.01	9.68
Treonina (Thr)	5.05	4.85
Serina (Ser)	5.81	5.34
Ac. glutámico (Glu)	14.40	13.11
Prolina (Pro)	6.14	5.82
Glicina (Gly)	5.04	5.45
Alanina (Ala)	7.43	6.96
Cistina (Acido Cys)	1.51	1.50
Valina (Val)	5.82	6.23
Metionina (Met)	1.75	1.95
Isoleucina (Ile)	4.57	5.18
Leucina (Leu)	9.22	9.43
Tirosina (Tyr)	4.31	4.48
Fenilalanina (Phe)	5.02	3.85
Histidina (His)	2.23	2.38
Lisina (Lys)	6.69	7.24
Arginina (Arg)	5.67	6.09

TABLA 4
Valor químico del nopal crudo y nopal cocido

Aminoácido	Contenido de AA/100 g proteína			Valor Químico	
	Nopal crudo	Nopal cocido	Requerimiento ¹	Nopal crudo	Nopal cocido
Lisina	6.69	7.24	5.8	115.34	124.82
Met+Cys	3.26	3.45	2.5	130.40	138.00
Triptófano	—	—	1.1	—	—
Treonina	5.05	4.85	3.4	148.53	142.65
Valina	5.82	6.23	3.5	166.28	178.00
Leucina	9.22	9.43	6.6	139.70	142.88
Isoleucina	4.57	5.18	2.8	163.21	185.00
Phe+Tyr	5.33	8.33	6.3	84.60	132.22
Histidina	2.23	2.38	1.9	117.37	125.26

¹ Requerimiento de aminoácidos para un niño de 2 a 5 años.

El contenido de minerales del nopal se muestra en la Tabla 5. Al igual que en el caso de los aminoácidos, el tratamiento térmico cambió la proporción de los minerales. El contenido de minerales del nopal fue muy alto, pero lo más sobresaliente fue la alta cantidad de potasio y calcio observada. El nopal (4.87 g/100 g de nopal crudo deshidratado) contiene aproximadamente 7 veces más potasio que la carne (0.625g de potasio/100 g de carne cruda seca) (22). El contenido de calcio del nopal (2.54 g/100 g de nopal deshidratado), es mucho mayor al de la leche (0.94 g/100 g de leche deshidratada) (23). A pesar de la gran cantidad de calcio presente en el nopal es necesario realizar estudios de biodisponibilidad para el humano.

TABLA 5
Contenido de minerales del nopal crudo y del nopal cocido

Mineral	Nopal Crudo ¹	Nopal Cocido ¹
Fósforo, (%)	0.20	0.23
Potasio, (%)	4.87	3.71
Calcio, (%)	2.54	2.58
Magnesio, (%)	0.93	0.91
Sodio, (ppm)	166.31	305.44
Zinc, (ppm)	19.40	22.50
Hierro, (ppm)	59.87	39.65
Cobre, (ppm)	4.43	6.43
Manganeso, (ppm)	253.38	60.55

¹ Los valores están expresados en base seca.

Estudio de crecimiento: en la Tabla 6 se muestran los resultados del estudio de crecimiento. El peso inicial de las ratas asignadas a cada uno de los tratamientos fue muy parecido debido a que los animales asignados aleatoriamente a bloques de acuerdo a su peso inicial; el rango de peso varió de 162.22 a 168.53 g con un pequeño error estándar de 1.09. Sin embargo, al finalizar el experimento, se observó una diferencia en los pesos; las ratas alimentadas con la dieta

control (tratamiento I) tuvieron un peso significativamente ($P < 0.05$) mayor (195.03 g); mientras que las del tratamiento VI, resultaron ser las de menor peso (156.15 g) debido a que consumieron la dieta más rica en fibra; las ratas correspondientes al resto de los tratamientos tuvieron pesos intermedios que fueron similares estadísticamente ($P > 0.05$). Las ratas sometidas al tratamiento I, aumentaron de peso con una media de 26.73 g ($P > 0.05$), mientras que las del tratamiento VI bajaron de peso (-8.47 g). Los tratamientos II, III, IV, y V mostraron medias dentro del rango de los valores de los tratamientos I y VI (14.67, 6.77, 1.33 y 10.67 g, respectivamente). De la misma manera, la cantidad de alimento consumido fue mayor para el tratamiento I (253.65 g), menor para el tratamiento VI (192.08 g), e intermedia para los tratamientos II (231.13 g), III (209.77 g), IV (207.62 g), y V (219.68 g). La razón Δ peso/alimento consumido mostró ser superior para el tratamiento I, es decir, las ratas alimentadas con este tratamiento tuvieron la mayor eficiencia de conversión alimenticia. El resultado fue intermedio para los tratamientos II, III, IV, y V, e inferior para el tratamiento VI, cuya proporción de carbohidratos digestibles fue menor. La razón Δ peso/alimento fue positiva (+) para los tratamientos I, II, III y V. Sin embargo, para los tratamientos IV y VI esta relación fue negativa, lo que indica que la concentración alta de nopal (crudo o cocido) utilizada en este experimento ocasionó una disminución en el peso corporal de los animales experimentales.

Análisis bioquímicos sanguíneos: el nivel de glucosa en suero sanguíneo fue similar ($P > 0.05$) para los tratamientos (Tabla 7). Sin embargo, no se cuantificó cuanta glucosa se debió a la gluconeogénesis. Los valores de glucosa oscilaron entre 78.77 mg/dl (tratamiento III) y 91.39 mg/dl (tratamiento V). Esto difiere de los resultados obtenidos en un estudio realizado con humanos en el que una dieta rica en fibra dietética total (aprox. 10%) redujo considerablemente el nivel de glucosa sanguínea (24). En otra investigación realizada en humanos por Anderson et al. (25) se observó que una dieta control suplementada con 30 g/día de fibra insoluble de avena disminuyó en un 13% el valor de glucosa en el suero después de ayuno. La disminución de glucosa se debió a que la viscosidad de la fibra soluble provoca una disminución de la velocidad del vaciado estomacal, el atrapamiento físico de nutrientes, la resistencia a los movimientos de mezclado de las contracciones intestinales, la inhibición de la actividad enzimática y el incremento en la producción de mucina (26). Al igual que en la investigación presente, Mongeau et al. (27) no encontraron diferencias en la cantidad de glucosa en la sangre entre el control (dieta sin fibra dietética) y los tratamientos basados en fibra dietética concentrada de apio, nabo sueco, chirivía, trigo y avena. La cantidad de fibra de estos tratamientos osciló entre 7.7 y 29.4%. Estos resultados muestran que, a diferencia de lo esperado, el nopal no tiene la propiedad de reducir el nivel de glucosa sanguínea en ratas en

TABLA 6
Efecto de la adición de nopal crudo o cocido en el crecimiento de ratas de laboratorio

Variable	Tratamiento ¹						EE	DMS ²
	I	II	III	IV	V	VI		
Peso inicial, g	168.30 a	168.53 a	162.22 a	162.40 a	167.15 a	164.62 a	1.09	8.06
Peso final, g	195.03 a	166.53 ab	168.98 ab	163.73 ab	179.48 ab	156.15 b	4.40	32.50
Ganancia peso, g	26.73 a	14.67 ab	6.77 ab	1.33 ab	10.67 ab	-8.47 b	3.90	28.78
Consumo de alimento, g	253.65 a	231.13 ab	209.77 ab	207.62 ab	219.68 ab	192.08 b	6.32	46.66
Δ peso/alimento	0.090 a	0.030 ab	0.020 ab	-0.018 ab	0.017 ab	-0.108 b	0.02	0.1743

¹ I=celulosa (2.5%); II=celulosa (5%); III=nopal crudo deshidratado (6.23%); IV=nopal crudo deshidratado (12.46%); V=nopal cocido deshidratado (6.03%); VI=nopal cocido deshidratado (12.06%).

² DMS = Diferencia Mínima Significativa ($\alpha=0.05$).

Medias con letras iguales dentro del mismo renglón, no son diferentes significativamente ($P>0.05$).

TABLA 7
Resultados de niveles de glucosa, colesterol total, HDL, LDL y VLDL en ratas alimentadas con nopal deshidratado crudo o cocido

Variable	Tratamiento ¹						EE	DMS ²
	I	II	III	IV	V	VI		
Glucosa, mg/dl	90.68 a	89.23 a	78.77 a	89.76 a	91.39 a	86.29 a	3.13	23.11
Colesterol total, mg/dl	95.83 a	73.81 a	79.71 a	70.98 a	68.12 a	69.35 a	4.13	30.48
HDL, mg/dl	52.88 a	39.99 a	56.72 a	56.43 a	50.57 a	43.57 a	2.55	18.82
LDL +VLDL, mg/dl	42.94 a	33.81 ab	22.99 ab	14.55 b	17.55 ab	25.79 ab	3.58	26.42

¹ I=celulosa (2.5%); II=celulosa (5%); III=nopal crudo deshidratado (6.23%); IV=nopal crudo deshidratado (12.46%); V=nopal cocido deshidratado (6.03%); VI=nopal cocido deshidratado (12.06%).

² DMS = Diferencia Mínima Significativa ($\alpha=0.05$).

Medias con letras iguales dentro del mismo renglón, no son diferentes significativamente ($P>0.05$).

las concentraciones utilizadas en este experimento.

En el caso del nivel sanguíneo de colesterol total, los valores oscilaron entre 68.12 mg/dl (tratamiento V) y 95.83 mg/dl (tratamiento I), sin embargo esta diferencia no fue significativa estadísticamente ($P>0.05$). En este caso el error estándar fue de 4.13. Si el error fuera más pequeño la diferencia quizás se tornaría significativa. Nuevamente, el resultado fue diferente al esperado, ya que varios autores (24,15) han reportado que las dietas ricas en fibra producen una reducción en el nivel sanguíneo de colesterol. Anderson y Chen (28) establecieron que, tanto en estudios con humanos como con animales, se ha confirmado la hipótesis de que el aumento en el consumo de fibra hidrosoluble resulta en un aumento en la excreción fecal de sales biliares y esteroides neutros. Esto sugiere un efecto potencial hipocolesterémico, ya que la mayor pérdida de ácidos biliares puede desviar al colesterol de la síntesis hepática de lipoproteínas a la síntesis de ácidos biliares de *novo*. Otro mecanismo mediante el cual las fibras hidrosolubles pueden tener un efecto hipocolesterémico involucra los productos de fermentación microbiana de la fibra dietética en el intestino grueso. De la degradación anaeróbica de los polisacáridos se obtienen los ácidos grasos

de cadena corta acético, propiónico y butírico (29). Se ha reportado que el propionato es un inhibidor de la 3-hidroxi-3-metil-glutaril Co-A reductasa, que es la enzima que controla la síntesis hepática del colesterol (30); además Chen et al. (31) reportaron que cuando se alimentaron ratas con propionato, éste redujo el colesterol sanguíneo. Anderson et al. (25) reportaron un descenso del 7% en el colesterol total, como resultado del consumo de una dieta de prueba con 15% de fibra de avena. Anderson (32) reportó que los alimentos ricos en fibras hidrosolubles disminuyen el colesterol total y la fracción LDL del suero en 19% y 22%, respectivamente. Sin embargo, Mongeau et al. (27) no observaron diferencias en los niveles de colesterol total de ratas sometidas a diferentes tratamientos (control y concentrados de fibra dietética de diversas fuentes) similar a este estudio. Para la fracción HDL, los resultados fueron similares, no mostraron diferencia significativa ($P>0.05$). Una reducción en el colesterol total no siempre es benéfica, si esta reducción ocurre en el colesterol asociado con las HDL ya que se incrementa el riesgo de una enfermedad cardíaca (33). Schneeman et al. (34) reportaron que no se observó diferencia en el colesterol de las HDL cuando se usaron diferentes fibras para determinar su efecto en

la composición de las apoproteínas en las HDL.

A diferencia de lo que ocurrió en las variables anteriores, en la fracciones LDL y VLDL sí existió diferencia significativa entre los tratamientos ($P < 0.05$). El tratamiento control resultó con el mayor valor (42.94 mg/dl), los tratamientos II, III, V, y VI fueron considerados similares y tuvieron valores de 33.81 a 17.55 mg/dl, y el tratamiento IV mostró un valor significativamente menor (14.55 mg/dl), lo que indica una reducción del 34% con respecto al grupo control. Esta reducción es sumamente benéfica, ya que se estima que una disminución en cualquiera de estas dos lipoproteínas (LDL y VLDL) decrece el riesgo de enfermedades coronarias (35). Se ha reportado que la pectina, rica en ácido galacturónico y constituyente de la fibra dietética, reduce significativamente el colesterol sanguíneo asociado con las lipoproteínas LDL o VLDL (36). Específicamente, se reportó que la pectina disminuyó el colesterol LDL en 18% en personas saludables (37) y en 35% en personas con hipercolesteremia familiar (38). Durante la absorción de grasa, el intestino delgado sintetiza apoproteínas para la formación de lipoproteínas intestinales; estas proteínas contribuyen significativamente al compartimiento de apoproteínas circulantes en el plasma (39,40). La velocidad y lugar de la absorción de los lípidos pueden alterar la contribución del intestino delgado a la composición de lipoproteínas en el plasma. Las fibras hidrosolubles parecen disminuir la absorción de carbohidratos y lípidos del intestino delgado.

CONCLUSIONES

Se puede concluir que el nopal tiene un alto (> a 11% en base seca) contenido de fibra dietética total, extracto libre de nitrógeno y cenizas. De las cenizas, los principales componentes fueron potasio y calcio. El nopal cocido en una concentración aproximada del 12% de la dieta ocasionó una disminución en el peso de las ratas, en comparación con dosis menores de nopal o la misma dosis de celulosa. El incremento en peso corporal que produce cada gramo de alimento con nopal cocido en concentración alta, es menor al aumento provocado por todos los otros tratamientos. Es importante mencionar que esta investigación se realizó con ratas sanas, por lo que estos resultados no se pueden extrapolar a personas diabéticas, ya que su metabolismo es distinto al de individuos sanos. La adición de nopal, en una proporción de 6 a 12%, a la dieta no provocó la disminución de los niveles sanguíneos de glucosa, colesterol total, y colesterol asociado con las lipoproteínas HDL. Sin embargo, el nopal crudo en concentración alta (12%), mostró una marcada reducción en el nivel de colesterol asociado con las lipoproteínas LDL y VLDL, lo que indica una reducción de aproximadamente 34% comparada con el tratamiento control. Este efecto del nopal es altamente benéfico, ya que se sabe que decrece el riesgo de una enfermedad coronaria.

REFERENCIAS

1. Bravo-Hollis H, Sánchez-Mejorada H. Las Cactáceas de México. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 1991; pp.501-520.
2. Trowell HC. Dietary fibre, ischaemic heart disease and diabetes mellitus. Proc. Nutr. Soc. 1973; 32:151-157.
3. Trowell HC. Definitions of fibre. Lancet 1974; 1:503.
4. Jenkins DJ, Wolever TM, Leeds AR, Gassull MA, Haisman P, Dilawari J et al. Dietary fibres, fibre analogues and glucose tolerance: importance of viscosity. Br. Med. J. 1978; 1:1392-1384.
5. Story JA, Kritchevsky D. Comparison of the binding of various bile acids and bile salts in vitro by several types of fiber. J Nutr, 1976; 106:1292-1294.
6. Anderson JW, Chen WJ. Plant fiber. Carbohydrate and lipid metabolism. Am J Clin Nutr, 1979; 32:346-363.
7. Albrink MJ, Newman T, Davidson PC. Effect of high and low fiber diets on plasma lipids and insulin. Am J Clin Nutr, 1979; 32:1486-1496.
8. Jenkins DJ, Wolever TM, Bacon S, Nineham R, Lees R, Rowden R, et al. Diabetic diets. High carbohydrate combined with high fiber. Am J Clin Nutr, 1980; 33:1729-1733.
9. Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis. 14th ed. The Association 1990; Washington, D.C.
10. Somoyi M. Notes on Sugar Determination. Journal of Biological Chemistry 1952; 195:19-23.
11. Walsh A. The Application of Atomic Absorption Spectra to Chemical Analysis. Spectrochim 1955. Acta 7,108-112.
12. Fiske CH, Subarrow Y. The colorimetric determination of phosphorus. J Biol Chem, 1925; 66:375.
13. Raymond WF, Canaway RJ, Harris CE. An automatic adiabatic bomb calorimeter. J Sci Instrum. 1957; 34:50.
14. Sas Institute, Inc. SAS User's Guide: Statistics. Version 5 ed. SAS Institute, Inc. Cary, NC, USA. 1985.
15. Bravo-Hollis H, Sánchez-Mejorada H. Las Cactáceas de México. Universidad Nacional Autónoma de México. México; 1978; pp. 62-82.
16. Fernández Landero MC. Estudio químico del nopal. Tesis profesional. UNAM. México, 1949.
17. Martínez M. La Familia Cactaceae. En: Martínez, H. y Matuda, E. Flora del Estado de México. Biblioteca Enciclopédica del Estado de México. Toluca, México, 1979.
18. Villarreal F, Rojas P, Arellano V, Moreno J. Estudio químico sobre seis especies de nopales (*Opuntia spp.*). Ciencia Méx. 1963; 23(2):75-82.
19. Granados Sánchez D, Castañeda Pérez AD. El Nopal. Historia, Fisiología, Genética e Importancia Frutícola. Editorial Trillas. México. 1996; pp. 71-75.
20. Robinson DS. Bioquímica y Valor Nutritivo de los Alimentos. Acribia, S.A. Zaragoza, España. 1991; pp. 125, 136-137.
21. Serna Saldívar SO. Química, Almacenamiento e Industrialización de los Cereales. AGT Editor. México. 1996; pp. 452-454.
22. United States Department of Agriculture. Composition of Foods. Agriculture handbook, No. 8-7. Science and Education Administration. Washington, D.C., USA. 1980; pp. 46.
23. Holland B, Unwin ID, Buss DH. Milk Products and Eggs. Royal Society of Chemistry. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. Cambridge, United Kingdom. 1989; pp. 12-14.

24. Rivellese A, Ricardi G, Giaco A, Pacioni D, Genovese S, Mattioli PL, et al. Effect of dietary fibre on glucose control and serum lipoproteins in diabetic patients. *Lancet* 1980; 2:447-450.
25. Anderson JW, Hamilton CC, Horn JL, Spencer DB, Dillon DW, Zeigler J. Metabolic effects of insoluble oat fiber on lean men with type II diabetes. *Cereal Chem.* 1991; 68(3):291-294.
26. Kritchevsky D, Bonfield C. *Dietary Fiber In Health & Disease*. Eagan Press. St. Paul, MN, USA. pp. 59-67, 106, 133, 142-152, 336-344, 1995.
27. Mongeau R, Siddiqui IR, Emery J, Brassard R. Effect of dietary fiber concentrated from celery, parsnip, and rutabaga on intestinal function, serum cholesterol, and blood glucose response in rats. *J Agric Food Chem.* 1990; 38:195-200.
28. Anderson JW, Chen WJ. Cholesterol-lowering properties of oat products. In *Oat Chemistry and Technology*, F. Webster (ed.) American Association of Cereal Chemists, Minneapolis, MN, USA, 1986.
29. Smith CJ, Bryant MP. Introduction to metabolic activities of intestinal flora. *Am J Clin Nutr*, 1979; 32:149.
30. Ide T, Okamatsu H, Sugano M. Regulation by dietary fats of 3-hydroxy-3-methylglutaryl-coenzyme A reductase in rat liver. *J Nutr* 1978; 108:60.
31. Chen WJ, Anderson JW, Jennings D. Propionate may mediate the hypcholesterolemic effects of certain soluble plant fibers in cholesterol fed rats. *Proc Soc Exp Biol Med.* 1984; 175:215-8.
32. Anderson JW. Dietary fiber, lipids and Atherosclerosis. *Am J Cardiol.* 1987; 60:17G-22G.
33. Miller NE, Forde OH, Thelle DS, Mjos OD. The Tromso heart study. High density lipoprotein and coronary heart disease: A prospective case-control study. *Lancet.* 1977; 1:965.
34. Schneeman BO, Cimmarusti J, Cohen W, Downes L, Lefevre M. Composition of high density lipoproteins in rats fed various dietary fibers. *J. Nutr.* 1984; 114:1320-1326.
35. Witzum J, Schonfeld G. High density lipoproteins. *Diabetes.* 1979; 28:326.
36. Arjmandi BH, Anh J, Nathani S, Reeves R. Dietary soluble fiber and cholesterol affect serum cholesterol, hepatic portal venous short-chain fatty acid concentration and fecal sterol excretion in rats. *J Nutr*, 1992; 122:246-253.
37. Durrington PN, Manning AP, Bolton CH, Hartog M. Effect of pectin on serum lipids and lipoproteins, whole-gut transit-time and stool weight. *Lancet.* 1976; 2:394.
38. Schwandt P, Richter WO, Weisweiler P, Neureuther G. Cholestyramine plus pectin in treatment of patients with familiar hypercholesterolemia. *Atherosclerosis.* 1982; 44:379.
39. Tall AR, Green PH, Glickman RM, Riley JW. Metabolic fate of chylomicron phospholipids and apoproteins in the rat. *J Clin Invest.* 1979; 64:977-989.
40. Redgrave TG, Small DM. Quantitation of the transfer of surface phospholipid of chylomicrons to the high density lipoprotein fraction during the catabolism of chylomicrons in the rat. *J Clin Invest.* 1979; 64:162-171.

Recibido: 12-01-1998

Aceptado: 10-08-1998