



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO  
INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA SALUD  
MAESTRÍA EN NUTRICIÓN CLÍNICA

**TESIS**

**EFFECTO DEL CLADODIO DESHIDRATADO  
(*Opuntia ficus-indica* L. Miller) EN EL CONTROL  
METABÓLICO DE ADULTOS CON DIABETES  
MELLITUS TIPO 2 Y SÍNDROME METABÓLICO**

Para obtener el título de  
Maestría en Nutrición Clínica

**PRESENTA**

L.N.H. Castelan Infante Jesica Anjarath

Director (a)

M en NH. Trinidad Lorena Fernández Cortés

**Codirector (a)**

Dra. Esther Ramírez Moreno

**Comité tutorial**

M. en N.C. Arianna Omaña Covarrubias

Dr. José Alberto Ariza Ortega

M. en N.H. Zuli G. Calderón Ramos

Pachuca de Soto, Hgo., México., octubre 2024

# Índice

Acta de revisión de proyecto terminal.....	I
Dedicatoria .....	II
Agradecimientos.....	III
Índice de tablas.....	IV
Índice de gráficas.....	V
Índice de figuras e ilustraciones .....	VI
Abreviaturas .....	VII
Resumen .....	1
Abstract .....	2
1. Marco teórico .....	3
1.1 Epidemiología: Diabetes mellitus y componentes del síndrome metabólico .....	3
1.2 Diabetes mellitus tipo 2.....	4
1.2.1 Definición y clasificación de la diabetes mellitus.....	4
1.2.2 Criterios diagnósticos y cribado de la diabetes mellitus tipo 2.....	4
1.2.3 Fisiopatología de la diabetes mellitus tipo 2.....	6
1.2.4 Complicaciones de la diabetes mellitus tipo 2.....	8
1.2.5 Tratamiento farmacológico en la diabetes mellitus tipo 2.....	9
1.2.6 Tratamiento nutricional en la diabetes mellitus tipo 2.....	9
1.2.7 Objetivos de control metabólico para la diabetes mellitus tipo 2.....	11
1.3 Síndrome metabólico en el adulto con diabetes mellitus tipo 2.....	12
1.3.1 Definición y criterios diagnósticos del síndrome metabólico en el adulto con diabetes mellitus tipo 2.....	12
1.3.2 Fisiopatología del síndrome metabólico en la diabetes mellitus tipo 2.....	12
1.4 Fibra dietética .....	14
1.4.1 Definición de fibra dietética.....	14
1.4.2 Clasificación de la fibra dietética.....	14
1.4.3 Consumo de fibra dietética en la población mexicana.....	15
1.4.4 Consumo fibra dietética en el control de los componentes del síndrome metabólico en adultos con diabetes mellitus tipo 2.....	16
1.5 Nopal ( <i>Opuntia ficus-indica</i> ).....	18
1.5.1 Relevancia nacional del nopal.....	18
1.5.2 Morfología del nopal ( <i>Opuntia ficus-indica</i> L. Miller, variedad <i>Atlixco</i> ).....	19

1.5.3 Contenido nutricional del cladodio ( <i>Opuntia ficus-indica</i> L. Miller, variedad Atlixco)....	20
1.5.4 Consumo de cladodio ( <i>Opuntia ficus-indica</i> ) en el control de los componentes del síndrome metabólico en el adulto con diabetes mellitus tipo 2 .....	21
2. Problema de investigación .....	23
3. Hipótesis.....	24
4. Justificación.....	25
5. Objetivos .....	26
5.1 Objetivo general .....	26
5.2 Objetivos específicos.....	26
6. Métodos y procedimientos del estudio.....	27
6.1 Elaboración del cladodio deshidratado en polvo ( <i>Opuntia ficus-indica</i> L. Miller).....	27
6.1.1 Obtención del cladodio .....	27
6.1.2 Deshidratado y molienda del cladodio.....	28
6.1.3 Dosificación y almacenamiento del cladodio deshidratado en polvo .....	28
6.2 Propiedades fisicoquímicas del cladodio deshidratado .....	29
6.2.1 Rendimiento del cladodio al deshidratado .....	29
6.2.2 Análisis de pH de cladodio deshidratado en polvo.....	29
6.2.3 Análisis de color del cladodio deshidratado en polvo.....	29
6.2.4 Análisis de la capacidad de retención de agua del cladodio deshidratado en polvo .....	30
6.2.5 Análisis de la capacidad de hinchamiento del cladodio deshidratado en polvo .....	30
6.2.6 Análisis de la capacidad de retención de glucosa del cladodio deshidratado en polvo .....	30
6.2.7 Análisis de la capacidad de retención de lípidos del cladodio deshidratado en polvo.....	31
6.3 Proceso de intervención para el consumo de cladodio deshidratado en población con diabetes mellitus tipo 2 y síndrome metabólico .....	31
6.3.1 Pilotaje del estudio.....	31
6.3.2 Tipo y diseño del estudio .....	32
6.3.3 Población de estudio .....	32
6.3.4 Cálculo de tamaño de muestra .....	32
6.3.5 Criterios del estudio .....	33
6.3.6 Proceso de reclutamiento .....	33
6.3.7 Variables .....	34
6.3.8 Ejecución de la intervención.....	37
6.4 Análisis estadístico .....	37
6.4.1 Análisis estadístico de las características fisicoquímicas del cladodio deshidratado en polvo .....	37

6.4.2	Análisis estadístico de las variables de interés en el grupo de estudio .....	37
6.5	Aspectos éticos .....	38
7.	Resultados .....	39
7.1	Análisis fisicoquímico del cladodio deshidratado ( <i>Opuntia ficus-indica</i> L. Miller) .....	39
7.2	Características basales de los adultos con diabetes mellitus tipo 2 y síndrome metabólico ....	40
7.3	Evaluación semanal del consumo de fibra de la dieta habitual de los adultos con diabetes mellitus tipo 2 y síndrome metabólico .....	43
7.4	Evaluación del efecto del consumo de cladodio deshidratado ( <i>Opuntia ficus-indica</i> L. Miller) en adultos con diabetes mellitus tipo 2 y síndrome metabólico .....	46
7.4.1	Evaluación de los indicadores antropométricos en las medidas basal y final.....	46
7.4.2	Evaluación de los indicadores bioquímicos en las medidas basal y final.....	50
7.4.3	Evaluación semanal de la presión arterial.....	52
7.4.4	Determinación de los cambios en los parámetros antropométricos, bioquímicos y presión arterial .....	53
8.	Discusión.....	55
8.1	Propiedades fisicoquímicas del cladodio deshidratado ( <i>Opuntia ficus-indica</i> L. Miller) .....	55
8.2	Consumo de fibra de la dieta habitual de los adultos con diabetes mellitus tipo 2 y síndrome metabólico .....	57
8.3	Efecto del consumo de cladodio deshidratado ( <i>Opuntia ficus-indica</i> L. Miller) en adultos con diabetes mellitus tipo 2 y síndrome metabólico .....	58
8.3.1	Efecto del consumo de cladodio deshidratado en los indicadores antropométricos.....	58
8.3.2	Efecto del consumo de cladodio deshidratado en los indicadores bioquímicos .....	59
8.3.3	Efecto del consumo de cladodio deshidratado en la presión arterial .....	61
9.	Conclusiones .....	62
10.	Referencias .....	65
ANEXOS.....		80
Anexo 1.	Recordatorio de 24 horas .....	80
Anexo 2.	Consentimiento informado.....	81
Anexo 3.	Aprobación del proyecto otorgado por el Comité de Ética de Investigación de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo .....	85
Anexo 4.	Registro fotográfico del proceso de creación del proyecto.....	86

# Acta de revisión de proyecto terminal



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo  
Instituto de Ciencias de la Salud  
*School of Medical Sciences*  
Área Académica de Nutrición  
*Department of Nutrition*

Asunto: Autorización de impresión

**Mtra. Ojuky del Rocío Islas Maldonado**  
**Directora de Administración Escolar**  
**Presente.**

El Comité Tutorial del **Proyecto Terminal** del programa educativo de posgrado titulado **“Efecto del cladodio deshidratado (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) en el control metabólico de adultos con diabetes mellitus tipo 2 y síndrome metabólico”**, realizado por la sustentante **LN Jesica Anjarath Castelán Infante** con **número de cuenta 472605** perteneciente al programa de **Maestría en Nutrición Clínica**, una vez que ha revisado, analizado y evaluado el documento recepcional de acuerdo a lo estipulado en el Artículo 110 del Reglamento de Estudios de Posgrado, tiene a bien extender la presente:

### AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

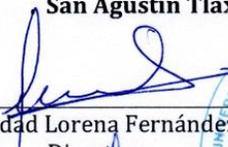
Por lo que la sustentante deberá cumplir los requisitos del Reglamento de Estudios de Posgrado y con lo establecido en el proceso de grado vigente.

**Atentamente**

**“Amor, Orden y Progreso”**

**San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo a 06 de diciembre de 2024**

El Comité Tutorial

  
Mtra. Trinidad Lorena Fernández Cortés  
Directora

  
Dra. Esther Ramírez Moreno  
Codirectora

  
Mtra. Arianna Omaña Covarrubias  
Miembro del comité

  
Dr. José Alberto Ariza Ortega  
Miembro del comité

  
Mtra. Zuli Guadalupe Calderón Ramos  
Miembro del comité



Cirquito ex-Hacienda La Concepción s/n  
Carretera Pachuca Actopan, San Agustín  
Tlaxiaca, Hidalgo, México. C.P. 42160  
Teléfono: 52 (771) 71 720 00 Ext. 4322, 4321  
nutricion@uaeh.edu.mx

uaeh.edu.mx

## **Dedicatoria**

Dedico este logro a ustedes:

A mis padres, Patricia y Mauricio, quienes me han acompañado en cada paso de esta gran aventura. Gracias por confiar en mí, por alentarme a perseguir mis sueños y por brindarme su amor incondicional. Su apoyo ha sido la base de cada meta alcanzada. Este logro no es solo mío, también es suyo.

A mis abuelitas, Gloria y Felipa, quienes con su sabiduría, ternura y amor me han enseñado el verdadero valor de la familia. Su apoyo y cariño han sido una inspiración constante en mi vida.

A mi padrino, Manuel, por su guía, confianza y por siempre estar a mi lado, mostrándome que la fe y la perseverancia son claves para alcanzar cualquier meta.

A mi mejor amiga, Karen Aline, quien estuvo apoyándome y alentándome en todas mis aventuras. A pesar de la distancia, nunca fue un impedimento para que estuviera para mí.

Con todo mi cariño, Jesi.

*“La ciencia se ha construido sobre muchos errores; pero son errores en los que era bueno caer, porque conducían a la verdad”*

*Julio Verne, quien desarrolló diabetes mellitus tipo 2 a los cuarenta años de edad.*

## **Agradecimientos**

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por otorgarme una beca para realizar mis estudios de maestría (CVU 1173514).

Al Instituto de Ciencias de la Salud (ICSa) por permitirme estudiar en sus instalaciones.

A la M. en N.H. Lorena, mi querida asesora, por la paciencia, la motivación y la disponibilidad al aclarar mis dudas. El conocimiento que me ha aportado es inmensurable. Sobre todo, gracias por enseñarme qué veces solo faltan un par de palabras de aliento para poder creer nuevamente en uno mismo.

A la Dra. Esther, mi apreciada codirectora, por las enseñanzas brindadas y por contribuir a mi crecimiento para mejorar como profesional de la nutrición y ser humano. Admiro profundamente su dedicación.

A los miembros del comité tutorial M. en N.C. Ariana, Dr. José Alberto y M. en N.H. Zuli por las observaciones que permitieron que este proyecto se realizara con éxito.

A Leslie, Ana Gabriel, Carmina y Luka por su compañía, amistad y cariño a lo largo de esta maravillosa aventura. Llevaré en mi corazón todos los momentos llenos de conversaciones, cenas, salidas, paseos, alegrías y lágrimas compartidas. Su presencia ha sido invaluable y cada experiencia juntos ha hecho de este viaje algo inolvidable.

A Zuri, Ethan y Marcos, por las noches llenas de ocurrencias, alegrías y risas sin sentido. También les agradezco por aquellas madrugadas de estudio que se hacían amenas con su compañía. Su presencia hizo que cada momento fuera especial y memorable.

A Aquetzali y Tristan, por su apoyo y amistad. Las estancias en el cubículo y el laboratorio fueron mucho más amenas y divertidas gracias a ustedes. Los momentos durante las tardes de café, pastel y comida siempre me traerán una sonrisa.

A Dania, Kimberly, Vania, Araceli, Gloria y Elizabeth por siempre recibirme en el laboratorio con una gran sonrisa y compartir tantas historias maravillosas. También les agradezco profundamente por todo el apoyo brindado en el laboratorio. Su amabilidad y ayuda han sido invaluable.

A el Dr. Alanís y la Dra. Nelly por los comentarios, el aprendizaje brindado y la paciencia que tuvieron durante mi estancia en el laboratorio.

A el Dr. Javier por compartir su conocimiento en el análisis estadístico y dedicar su tiempo al guiarme.

## Índice de tablas

Tabla 1. Consumo de fibra dietética en el control de los componentes del síndrome metabólico en adultos con diabetes mellitus tipo 2.....	17
Tabla 2. Contenido nutricional del cladodio ( <i>Opuntia ficus-indica</i> L. Miller, variedad Atlixco).....	21
Tabla 3. Consumo de cladodio ( <i>Opuntia ficus-indica</i> ) en adultos con diabetes mellitus tipo 2 y síndrome metabólico.....	22
Tabla 4. Variables del estudio .....	35
Tabla 5. Características fisicoquímicas del cladodio deshidratado en polvo .....	40
Tabla 6. Características basales de los adultos con diabetes mellitus tipo 2 y síndrome metabólico .....	41
Tabla 7. Características de la dieta habitual de la población.....	43
Tabla 8. Consumo de fibra de la dieta habitual entre grupos control e intervenido. ....	44
Tabla 9. Comparación de las variables antropométricas en los grupos control e intervenido .....	48
Tabla 10. Comparación de los indicadores bioquímicos en los grupos control e intervenido. ....	51
Tabla 11. Comparación semanal de la presión arterial sistólica entre los grupos control e intervenido.....	52
Tabla 12. Comparación semanal de la presión arterial diastólica entre los grupos control e intervenido. ....	52
Tabla 13. Cambios de la presión arterial sistólica y diastólica en los grupos control e intervenido.....	53
Tabla 14. Cambios en las variables antropométricas, bioquímicas y la presión arterial entre los grupos .....	54

## Índice de gráficas

Gráfica 1. Prevalencia de los componentes del síndrome metabólico según los criterios de la IDF .....	42
Gráfica 2. Distribución porcentual del consumo recomendado de fibra dietética de la población. ....	43
Gráfica 3. Comparación entre grupos del consumo de fibra dietética al incorporar cladodio deshidratado. ....	45
Gráfica 4. Distribución porcentual del consumo recomendado de fibra dietética entre grupos. ....	46
Gráfica 5. Comparación porcentual del diagnóstico por índice de masa corporal inicial y final entre grupos control e intervenido.....	49
Gráfica 6. Comparación porcentual de la circunferencia de cintura elevada inicial y final entre grupos. ....	50

## Índice de figuras e ilustraciones

Figura 1. Estructura de la insulina humana.....	6
Figura 2. Mecanismos que provocan la diabetes mellitus tipo 2.....	7
Figura 3. Estructura del nopal ( <i>Opuntia ficus-indica</i> L. Miller) .....	20
Figura 4. Diagrama del diseño metodológico del estudio. ....	27
Figura 5. Diagrama de flujo del progreso a través de las fases del ensayo clínico aleatorizado de dos grupos	34
Figura 6. Color del cladodio durante el proceso de deshidratado y molido. ....	39

## Abreviaturas

A1C Hemoglobina glucosilada

ADA American Diabetes Association, por sus siglas en inglés

AGCC Ácidos grasos de cadena corta

AGL Ácidos grasos libres

ALAD Asociación Latinoamericana de Diabetes

AMPK Proteína cinasa activada por AMP

CC Circunferencia de cintura

CD Cladodio deshidratado

CH Capacidad de hinchamiento

CRA Capacidad de retención de agua

DM Diabetes mellitus

DMT2 Diabetes mellitus tipo 2

FD Fibra dietética

FDI Fibra dietética insoluble

FDS Fibra dietética soluble

GLP-1 Péptido 1

GLUT Transportador de glucosa

GPC Guías de Práctica Clínica

HDL Lipoproteínas de alta densidad

IDF International Diabetes Federation, por sus siglas en inglés

IMC Índice de masa corporal

IMSS Instituto Mexicano del Seguro Social

INEGI Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática

INS Gen de insulina

OFI *Opuntia ficus-indica*

OMS Organización Mundial de la Salud

RI Resistencia a la insulina

ROS Especies reactivas de oxígeno

SM Síndrome metabólico

UPR respuesta de proteína desplegada

## Resumen

La transición alimentaria en México ha llevado a una disminución en el consumo de fibra dietética (FD) proveniente de alimentos tradicionales como el nopal, el maíz y el frijol, lo que ha contribuido a un aumento en la obesidad central, resistencia a la insulina y liberación de ácidos grasos libres. Estas condiciones son factores clave en el desarrollo de diabetes mellitus tipo 2 (DMT2) y síndrome metabólico (SM). El nopal (*Opuntia ficus-indica*) es una fuente importante de FD con propiedades hipoglucemiantes e hipolipemiantes, lo que lo convierte en un alimento coadyuvante en el manejo de estas enfermedades.

El objetivo del estudio fue evaluar los cambios en indicadores antropométricos, bioquímicos y de presión arterial tras un mes de intervención con el consumo de 21 g diarios de cladodio deshidratado (CD) en polvo en adultos con DMT2 y SM. Se realizó un ensayo clínico con 34 participantes de entre 40 y 58 años, quienes fueron asignados de manera aleatoria en un grupo intervenido (21 g de CD repartidos en tres tomas) y un grupo control, sin modificar la dieta habitual de ambos grupos. Se midieron peso, circunferencia de cintura, índice de masa corporal, grasa corporal, masa muscular, glucosa sanguínea, colesterol HDL, triglicéridos y presión arterial antes y después del periodo de intervención.

En el grupo con el consumo de CD, se observaron reducciones significativas en peso, IMC, circunferencia de cintura, grasa corporal, triglicéridos y presión arterial. Al comparar las diferencias entre grupos, las reducciones en el grupo intervenido fueron significativas, ya que se presentó disminución en peso (0.7 kg), IMC (0.26 kg/m<sup>2</sup>), circunferencia de cintura (8.1 cm) y masa grasa corporal (1.1 kg y 1.4%). Sin embargo, no se detectaron diferencias significativas en los parámetros bioquímicos ni en la presión arterial entre los grupos.

En conclusión, la incorporación de CD en la dieta puede aumentar significativamente la ingesta de fibra, aunque no es suficiente para alcanzar los niveles recomendados en toda la población. Se observó efecto en la reducción de peso corporal, grasa corporal y circunferencia de cintura. No obstante, los parámetros bioquímicos y la presión arterial no mostraron reducciones relevantes. Los resultados subrayan la importancia de seguir explorando y promoviendo fuentes accesibles de fibra dietética para mejorar la salud de las personas con DMT2.

Palabras clave: cladodio, diabetes mellitus, fibra dietética, *Opuntia*, síndrome metabólico

## **Abstract**

The dietary transition in Mexico has led to a decrease in the consumption of dietary fiber (DF) from traditional foods such as nopal, maize, and beans, contributing to an increase in central obesity, insulin resistance, and the release of free fatty acids. These conditions are key factors in the development of type 2 diabetes mellitus (T2DM) and metabolic syndrome (MetS). Nopal (*Opuntia ficus-indica*) is a significant source of DF with hypoglycemic and hypolipidemic properties, making it a complementary food in managing these diseases.

The aim of the study was to evaluate changes in anthropometric, biochemical, and blood pressure indicators after one month of intervention with the consumption of 21 g of dehydrated cladode (DC) powder daily in adults with T2DM and MetS. A clinical trial was conducted with 34 participants aged 40 to 58 years, randomly assigned to an intervention group (21 g of DC divided into three doses) and a control group, with no changes to the habitual diet in either group. Weight, waist circumference, body mass index (BMI), body fat, muscle mass, blood glucose, HDL cholesterol, triglycerides, and blood pressure were measured before and after the intervention period.

In the group consuming DC, significant reductions were observed in weight, BMI, waist circumference, body fat, triglycerides, and blood pressure. When comparing differences between groups, the reductions in the intervention group were significant, with decreases in weight (0.7 kg), BMI (0.26 kg/m<sup>2</sup>), waist circumference (8.1 cm), and body fat mass (1.1 kg and 1.4%). However, no significant differences were detected in biochemical parameters or blood pressure between the groups.

In conclusion, incorporating DC into the diet can significantly increase fiber intake, though it is insufficient to reach the recommended levels for the entire population. Effects were observed in the reduction of body weight, body fat, and waist circumference. However, biochemical parameters and blood pressure did not show relevant reductions. The results underscore the importance of further exploring and promoting accessible sources of dietary fiber to improve the health of individuals with T2DM.

Key words: Cladode, Diabetes Mellitus, Dietary Fiber, Metabolic Syndrome, *Opuntia*

## **1. Marco teórico**

### **1.1 Epidemiología: Diabetes mellitus y componentes del síndrome metabólico**

La diabetes, una enfermedad prevalente en constante aumento, presenta una alta tasa de mortalidad a nivel mundial. Según la International Diabetes Federation (IDF), en 2021, se registraron 537 millones de adultos con diabetes, y se proyecta que esta cifra aumentará a 643 millones para el año 2030 (1). En 2021, México se encontró en el séptimo lugar de los países y territorios con mayor prevalencia de diabetes en la población con 20 a 79 años (1). En el ámbito nacional, la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2021 revela que el 10.2% de la población mexicana mayor de 20 años vive con diabetes (2). Este porcentaje aumentó al 12.2% para 2022 (3). En este contexto, Hidalgo destaca como el tercer estado con el mayor porcentaje de personas afectadas por esta patología (4). Con base en el reporte del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) en 2023, la diabetes figura entre las cinco principales causas de muerte a nivel nacional, ocupando el segundo puesto (5).

La diabetes impone un considerable costo en el sector salud, estimándose que el egreso hospitalario alcanza los 1563 millones de dólares, según datos del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) durante el período de 2008 a 2013 (6). Además, la economía de aquellos que viven con diabetes se ve afectada debido a los significativos costos médicos anuales, para el sector salud estos costos incluyen medicamentos (\$118,561.70 MN), hospitalización (\$243,756.00 MN), consultas (\$327,414.00 MN) y estudios clínicos (\$2416.79 MN), dando como resultado un total anual de \$692,148.58 MN (7). En el 2019, el IMSS reportó una prevalencia del 34.9% de complicaciones tanto microvasculares como macrovasculares. De este porcentaje, las complicaciones más frecuentes reportadas fueron el pie diabético con un 17% y la retinopatía diabética con un 4.4 % (8).

Es importante destacar que la diabetes no es la única entidad patológica que afecta a la población; lamentablemente esta se ve relacionada con otras comorbilidades. En 2022 se presentaron las prevalencias para obesidad del 9.8 %, hipertensión del 9.1 %, y dislipidemia del 9 %, de acuerdo a datos recopilados en la población mexicana mayor de 20 años (3). Estas entidades conforman algunos de los componentes del síndrome metabólico (SM) y son comorbilidades comunes durante el diagnóstico de la diabetes mellitus tipo 2 (DMT2). El SM es un conjunto de alteraciones metabólicas que incrementan la probabilidad de desarrollar DMT2 y enfermedades cardiovasculares, su presencia contribuye al aumento tanto de la morbilidad y la mortalidad en los adultos que viven con diabetes (9).

## **1.2 Diabetes mellitus tipo 2**

### **1.2.1 Definición y clasificación de la diabetes mellitus**

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define a la diabetes mellitus (DM) como un trastorno metabólico de origen multifactorial caracterizada por una hiperglucemia crónica y alteraciones del metabolismo de los hidratos de carbono, los lípidos y las proteínas que provoca un defecto en la secreción y/o la acción de la insulina (10). La American Diabetes Association (ADA) clasifica a la DM en cuatro tipos principales:

1. Diabetes mellitus tipo 1: Se identifica por la destrucción autoinmune de las células  $\beta$  pancreáticas, ocasionando la pérdida paulatina y absoluta de la insulina. En esta clasificación se incluye a la diabetes autoinmune latente del adulto.
2. Diabetes mellitus tipo 2: Se reconoce por la pérdida progresiva no autoinmune de las células  $\beta$  pancreáticas, ante la presencia de la resistencia a la insulina (RI) y SM.
3. Tipos específicos de diabetes por otras causas: Se incluyen la diabetes monogénica, enfermedades exocrinas del páncreas y la diabetes inducida por fármacos o drogas.
4. Diabetes gestacional: Se diagnóstica en el segundo o tercer trimestre del embarazo, en aquellas mujeres sin diabetes previa a la gestación (11).

La alteración de la secreción de insulina y el aumento de la RI desempeñan un papel importante en la patogénesis de todos los tipos de DM.

### **1.2.2 Criterios diagnósticos y cribado de la diabetes mellitus tipo 2**

La DM se diagnostica a través de las pruebas de la hemoglobina glucosilada (A1C) o la medición de glucosa plasmática en personas adultas no embarazadas. Los criterios diagnósticos establecidos por la ADA son los siguientes:

- A1C  $\geq 6.5\%$
- Glucosa plasmática en ayunas  $\geq 126$  mg/dL, considerando el ayuno como la ausencia de la ingesta calórica al menos 8 horas.
- Glucosa plasmática a las 2 horas  $\geq 200$  mg/dL durante una prueba de tolerancia oral a la glucosa, que se realiza con 75 g de glucosa anhidra disuelta en agua.
- Glucosa plasmática aleatoria  $\geq 200$  mg/dL. Se emplea en individuos con síntomas clásicos de hiperglucemia o crisis hiperglucémica, considerando como aleatorio a cualquier momento del día.

El diagnóstico de la DM se establece ante dos resultados anormales en las pruebas de detección, ya sea medidos al mismo tiempo o en dos momentos diferentes (11).

La DM tipo 1 y tipo 2 son enfermedades metabólicas heterogéneas donde se encuentra alterada la homeostasis dada por la insulina y la diferencia entre ambas entidades cae en la fisiopatología de estas. La DM tipo 1 es una enfermedad autoinmune en la que el sistema inmunológico ataca y destruye las células beta del páncreas, lo que resulta en una producción insuficiente de insulina. Mientras que la diabetes mellitus tipo 2 (DMT2) se caracteriza por una RI o una producción inadecuada de esta hormona por parte del cuerpo (12,13). Las características más útiles para diferenciar la diabetes tipo 1 suelen ser una edad más temprana en el momento del diagnóstico (< 35 años) con un índice de masa corporal (IMC) más bajo (< 25 kg/m<sup>2</sup>), pérdida de peso no intencionada, presencia de cetoacidosis y niveles de glucosa plasmática elevados (> 360 mg/dL). Sin embargo, algunas personas con DMT2 pueden presentar cetoacidosis diabética en ciertos grupos raciales y étnicos (11).

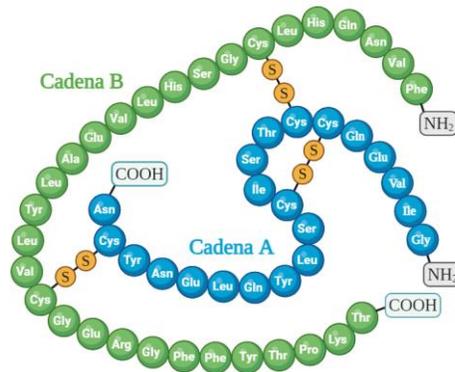
En adultos asintomáticos es crucial llevar a cabo el cribado de detección de prediabetes y DMT2 con la finalidad de identificar la presencia de estas al evaluar los factores de riesgo presentes. Los criterios para el cribado de diabetes en adultos asintomáticos corresponden los siguientes:

- 1) Adultos con IMC  $\geq 25$  kg/m<sup>2</sup> o  $\geq 30$  kg/m<sup>2</sup> que tienen uno o más de los siguientes factores de riesgo: familiar de primer grado con diabetes, raza y origen étnico de alto riesgo (por ejemplo, población latina), historia de enfermedad cardiovascular, hipertensión ( $\geq 130/80$  mm Hg o en tratamiento), nivel de colesterol HDL < 35 mg/dL y/o nivel de triglicéridos > 250 mg/dL, inactividad física, presencia de síndrome de ovario poliquístico u otras condiciones clínicas asociadas con la RI como obesidad grave, acantosis nigricans.
- 2) Adultos con prediabetes, es decir, A1C  $\geq 5,7\%$ , alteración de la glucosa en ayunas o intolerancia a la glucosa, quienes deberán realizar pruebas anuales.
- 3) Mujeres con diagnóstico previo de diabetes gestacional deberán realizar pruebas de por vida al menos cada 3 años.
- 4) Adultos con 35 años recién cumplidos.
- 5) Personas con VIH, exposición a medicamentos de alto riesgo, antecedentes de pancreatitis.

Cuando se presenten resultados normales, se deberán repetir las pruebas en intervalos de al menos 3 años, y se realizarán pruebas más frecuentes de acuerdo con el estado de riesgo y los resultados iniciales (11).

### 1.2.3 Fisiopatología de la diabetes mellitus tipo 2

La DMT2 se origina por diversos procesos que interfieren en la homeostasis del organismo. En condiciones normales, las células  $\beta$  pancreáticas, situadas en los islotes de Langerhans, son las encargadas de la secreción de insulina, esta es una hormona anabólica encargada de la correcta utilización de la glucosa y otros nutrientes (Figura 1) (14). La presencia de glucosa es la señal metabólica inicial que regula la secreción de insulina. En los humanos, a diferencia de los ratones, la insulina se codifica a partir de un único gen denominado gen de insulina (INS), que se encuentra ubicado en el brazo corto del cromosoma 11 (15). La transcripción y traducción del ácido desoxirribonucleico mensajero (ARNm) derivado del gen INS son los pasos iniciales en el proceso de síntesis de insulina, que luego se somete a una serie de modificaciones post-traduccionales para producir la forma madura y funcional de la hormona.



*Figura 1. Estructura de la insulina humana.*

*La insulina es una hormona peptídica conformada por 51 aminoácidos contenidos en 2 cadenas, cadena A y cadena B conformadas de 21 y 30 aminoácidos respectivamente, y unidas por puentes de disulfuro. Esta figura fue creada utilizando BioRender.com*

Las células  $\beta$  son capaces de adaptarse a las demandas metabólicas del cuerpo, no obstante, en situaciones patológicas como en la presencia de obesidad involucra un aumento de la producción de insulina de hasta cinco veces más que las personas sin esta condición (16). Aunado a esto, el tejido adiposo promueve la RI a través de varios mecanismos inflamatorios, incluido el aumento de la liberación de ácidos grasos libres (AGL) y la desregulación de adipocinas. Además, la lipotoxicidad, la glucotoxicidad y su combinación se dan ante la presencia de obesidad. (17). En esta suele presentarse hiperglucemia e hiperlipidemia, favoreciendo la RI y la inflamación crónica ocasionando mayor inflamación, estrés inflamatorio, estrés del retículo endoplásmico, estrés metabólico/oxidativo y estrés amiloide lo que conduce al daño de las células  $\beta$  y eventualmente a la pérdida de la integridad de los islotes (18).

Las alteraciones en los mecanismos implicados en la síntesis y secreción de insulina, y la inadecuada respuesta de los tejidos sensibles a la insulina como hígado, músculo esquelético y tejido adiposo blanco, contribuyen a aumentar los niveles de glucosa en sangre, y paulatinamente, al desarrollo de la DM2 (17,19). Esta disfunción en las células  $\beta$  puede ser desencadenada por niveles elevados de AGL e hiperglucemia, lo que conlleva a estrés en el retículo endoplásmico y la activación de la respuesta apoptótica de las proteínas plegadas, uno de los mecanismos implicados es la inhibición de la ATPasa  $\text{Ca}^{2+}$  responsable de la movilización de  $\text{Ca}^{2+}$  en el retículo endoplásmico. Al mismo tiempo, los niveles elevados de glucosa estimulan la síntesis de proinsulina y los polipéptidos amiloides de los islotes en las células  $\beta$ , lo que resulta en la acumulación de ambos con un mal plegamiento. Esta acumulación aumenta la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) mediadas por el plegamiento de proteínas oxidativas. Estos efectos alteran la movilización de  $\text{Ca}^{2+}$  en el retículo endoplásmico y favorecen las señales proapoptóticas, la degradación del ácido desoxirribonucleico mensajero de proinsulina y la liberación de interleucina-1 (IL-1) recluta macrófagos y fomentando la inflamación local de los islotes pancreáticos (20). En la Figura 2 se esquematiza este proceso fisiopatológico.

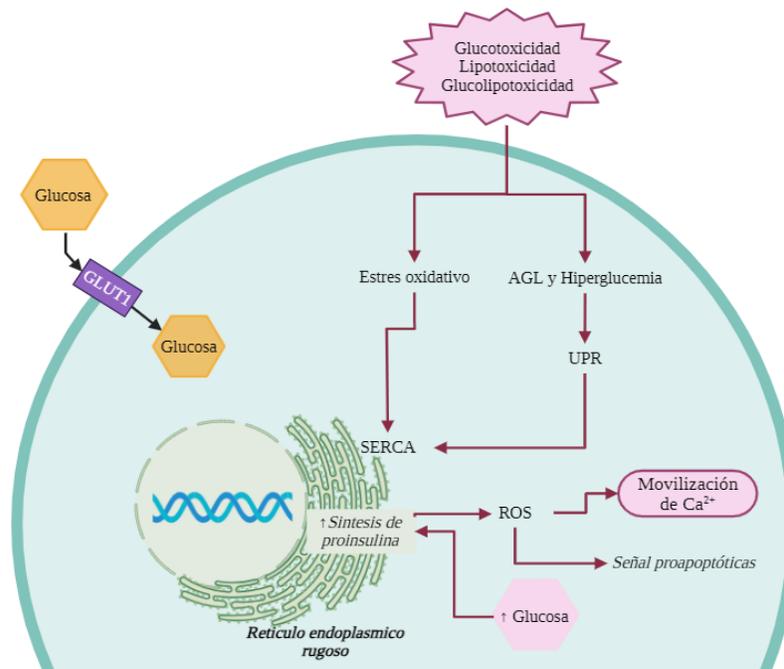


Figura 2. Mecanismos que provocan la diabetes mellitus tipo 2.

GLUT1: transportador de glucosa 1; AGL: Ácidos grasos libres; UPR: respuesta de proteína desplegada; ROS: Especies reactivas de oxígeno; SERCA: retículo sarcoendoplasmático. Esta imagen fue basada de Galicia-García et al (22), se tradujo al español y se recreó utilizando BioRender.com

### **1.2.4 Complicaciones de la diabetes mellitus tipo 2**

La DMT2 es una entidad patológica progresiva y compleja, caracterizada por una serie de mecanismos fisiopatológicos que contribuyen al desarrollo de complicaciones. El desarrollo de complicaciones microvasculares y macrovasculares depende de la interacción entre componentes ambientales y genéticos, así como la presencia de comorbilidades, el uso y la adherencia al tratamiento farmacológico, el control glucémico y las estrategias preventivas (21). Las complicaciones derivadas de la DMT2, tanto microvasculares como macrovasculares, tienden a ocurrir juntas, por ende, existe incremento en la mortalidad y la morbilidad, y disminución en la calidad de vida de quienes las padecen (22). Además, la DMT2 mal controlada conlleva a alteraciones del metabolismo de los lípidos, la presencia de estrés oxidativo y disbiosis intestinal (23).

Las complicaciones microvasculares afectan a órganos específicos, como los ojos, los riñones y los sistemas nerviosos periférico y autónomo. Entre estas complicaciones se incluyen la retinopatía, la nefropatía y la neuropatía (24). Asimismo, la disfunción cognitiva, la fibrosis de pulmones y la fibrosis de hígado son nuevas entidades patológicas que se desarrollan ante la presencia de DMT2 (25).

Las complicaciones macrovasculares afectan a los grandes vasos, y entre ellas se encuentran la enfermedad de las arterias coronarias, la enfermedad vascular periférica y la enfermedad cerebrovascular (26). La aterosclerosis se desarrolla por la formación de placa dentro de las arterias y representa una de las formas más comunes de enfermedad vascular en DMT2 (25). El desarrollo de esta enfermedad inicia por el depósito de lipoproteínas en las paredes arteriales, lo que conlleva a la acumulación de células espumosas dentro del espacio subendotelial y aumento de partículas de lipoproteínas de baja densidad, provocando alteraciones estructurales en la arquitectura vascular. Los macrófagos desempeñan un papel fundamental al mediar la absorción de lípidos y promover la inflamación vascular (27). La hiperglucemia representa un factor importante de riesgo para la aterosclerosis al promover la disfunción de las células endoteliales (25). Los factores de riesgo relacionados con la enfermedad vascular en diabetes incluyen el sexo, la edad, el IMC, el control glucémico, la presión arterial y el tabaquismo (21).

Vale la pena mencionar que el desarrollo de estas complicaciones comparte un denominador común, el cual es el control glucémico y manejo adecuado de comorbilidades asociadas como la hipertensión, la dislipidemia y la obesidad, lo que enfatiza la necesidad de un enfoque integral en la gestión de la DMT2, que aborde tanto la prevención como el manejo efectivo de estas complicaciones interrelacionadas.

### **1.2.5 Tratamiento farmacológico en la diabetes mellitus tipo 2**

Las guías de la ADA de 2024 sugieren que el tratamiento farmacológico debe ser individualizado e ir encaminado al manejo integral, considerando hábitos de vida saludables, educación y apoyo para el autocontrol de la DMT2. Además, se debe considerar las comorbilidades, las complicaciones propias de la diabetes, la eficacia del tratamiento, el riesgo de hipoglucemia, el efecto en el peso, el costo y la accesibilidad al tratamiento, así como el riesgo de reacciones adversas y tolerabilidad (28). Las Guías de Práctica Clínica (GPC) recomiendan comenzar con metformina y cambios de estilo de vida en los pacientes recién diagnosticados. La dosis sugerida de inicio es de 425 mg al día, la cual se incrementará gradualmente cada tres a cinco días hasta alcanzar la dosis meta. Este enfoque tiene como objetivo reducir los efectos gastrointestinales (29). Cuando no se logre alcanzar la tolerancia o exista contraindicación a este fármaco, se puede iniciar con otro tipo de hipoglucemiante y la elección a este dependerá del estado actual del paciente (28,30). La Asociación Latinoamericana de Diabetes (ALAD) considera el uso de sulfonilureas como alternativa para suplir a la metformina, pero no considera su uso en monoterapia, ya que incrementan el riesgo de hipoglucemia, y el peso corporal (30). Es relevante mencionar que las sulfonilureas siguen siendo ampliamente prescritas, principalmente debido a su bajo costo en comparación con otras alternativas de tratamiento (31).

La ADA también recomienda que, en caso de no alcanzar los objetivos de control, realizar evaluaciones periódicas, preferentemente cada 3 a 6 meses, y ajustar el tratamiento según sea necesario. Lo que implica identificar factores específicos que afecten la elección del tratamiento. Se debe considerar la terapia combinada cuando los niveles de A1C están entre 1.5% y 2% por encima de los objetivos de control. La elección del uso de fármacos para la terapia combinada dependerá de la presencia de comorbilidades y complicaciones asociadas a la DMT2 (28).

### **1.2.6 Tratamiento nutricional en la diabetes mellitus tipo 2**

El manejo nutricional de la DMT2 implica brindar orientación basada en evidencia, considerando las comorbilidades, las complicaciones, el tratamiento farmacológico y la accesibilidad al plan de alimentación en estos pacientes (28). Este enfoque comprende varios componentes, incluyendo la evaluación, el diagnóstico nutricional, las intervenciones y el seguimiento continuo para monitorear los cambios de estilo de vida a largo plazo, evaluar los resultados y modificar las intervenciones según sea necesario (32). La ADA enfatiza al tratamiento nutricional como un pilar fundamental en el manejo integral de la diabetes (32,33).

Las recomendaciones nutricionales deben adaptarse a las necesidades individuales del paciente, garantizando una ingesta adecuada para alcanzar o mantener el peso. La combinación de macronutrientes dependerá de la evaluación personalizada, teniendo en cuenta las preferencias y el estado de salud, los cuales deben contribuir a los objetivos en el control de glucemia, perfil de lípidos, presión arterial y otros parámetros relevantes en adultos con DMT2 (32).

El aporte de energía deberá ajustarse para mantener o alcanzar una meta de peso saludable (33). En caso de sobrepeso u obesidad, se recomienda la modificación del comportamiento para lograr y mantener una pérdida de peso  $\geq 5\%$  (33,34). De acuerdo al IMC, se puede establecer un adecuado aporte de energía, para hombres con  $IMC < 37 \text{ kg/m}^2$  o mujeres con  $IMC < 43 \text{ kg/m}^2$  se puede planificar una ingesta entre 800 a 1500 kcal/día, mientras que, para aquellos con IMC superiores, se recomienda una ingesta entre 1500 a 1800 kcal/día (30). Se debe considerar que la prescripción de una ingesta calórica entre 800 a 1000 kcal debe ser a corto plazo y siempre bajo supervisión. También se puede considerar un déficit calórico de 500 a 750 kcal/día para promover la pérdida de peso en aquellos con sobrepeso u obesidad. Se hace hincapié en la integración de estrategias y asesoramiento para el mantenimiento del peso a largo plazo (34).

En cuanto a los hidratos de carbono, se recomienda un consumo entre el 40 al 60 % del valor calórico total (30,35). Lo que respecta al consumo diario de fibra dietética debe ser entre 25 a 30 g (35). De manera alternativa, se puede establecer la ingesta de al menos 14 g de fibra por cada 1000 kcal (36). Con respecto al aporte proteico debe ir del 15 al 30 % del aporte calórico total, y el aporte diario no sea menor a 1 g por kilogramo de peso (30). La recomendación de proteína deberá individualizarse en función al estado de salud actual del paciente (32,33). Mientras que la recomendación para lípidos debe de constituir entre el 25 al 35 % del aporte calórico total (32). Se recomienda que los ácidos grasos monoinsaturados correspondan del 12 al 20 %, mientras que los ácidos grasos saturados deben ser  $< 7\%$  y los ácidos grasos trans  $< 1\%$  del total de las calorías. Los ácidos grasos poliinsaturados deben completar el porcentaje restante (30). Respecto al consumo de sodio, se recomienda un consumo de sodio  $< 2300 \text{ mg}$  al día (33). Además, se aconseja limitar el consumo de sal a menos de 4 g al día en personas con DMT2 (30).

Es primordial realizar el seguimiento continuo para apoyar el monitoreo en los cambios en el estilo de vida a largo plazo, evaluar los resultados y ajustar las intervenciones según sea necesario. Se sugiere que el seguimiento inicie dentro de los primeros 6 meses después del diagnóstico de DMT2,

y las sesiones de seguimiento nutricional se realicen al menos una vez al año, sin dejar de lado los objetivos en el control metabólico (32).

### **1.2.7 Objetivos de control metabólico para la diabetes mellitus tipo 2**

De acuerdo con la ADA, los objetivos de control glucémico se realizan mediante la A1C, el monitoreo de glucosa en sangre mediante dispositivos capilares y el monitoreo continuo de glucosa. Los objetivos establecidos para el control glucémico son los siguientes:

- A1C: < 7,0 % sin hipoglucemia significativa
- Monitoreo de glucosa en dispositivos capilares:
  - Glucosa plasmática capilar preprandial: 80–130 mg/dL
  - Glucosa plasmática capilar posprandial: < 180 mg/dL. Las mediciones de glucosa posprandial se realizarán 1 a 2 horas después del inicio de la comida.
- Monitoreo continuo de glucosa: Tiempo en rango > 70 % con un tiempo por debajo del rango < 1 %.

El control glucémico se debe evaluar al menos 2 veces al año. No obstante, en aquellos que no cumplen las metas del tratamiento, con hipoglucemia o hiperglucemia frecuente o grave, cambios en el estado de salud se deberán realizar al menos cada 3 meses (37).

Además, resulta conveniente el manejo adecuado de comorbilidades asociadas a la diabetes como el control en la presión arterial, manejo de la dislipidemia y control de peso corporal cuando sea necesario con la finalidad de reducir el desarrollo de complicaciones macrovasculares y microvasculares, considerando los siguientes objetivos de control (24,38):

- Presión arterial: < 140/90 mm Hg en todos los adultos con complicaciones microvasculares o  $\leq$  130/80 mm Hg en aquellos con alto riesgo de enfermedad renal diabética con excreción urinaria de albúmina  $\geq$  30 mg/24 horas (24).
- Colesterol LDL: < 70 mg/dL o una reducción del 50 % desde el valor inicial si el C-LDL está entre 170 y 135 mg/dL (24).
- Colesterol HDL: > 45 mg/dL para mujeres y > 40 mg/dL para varones (38).
- IMC: 20 a 25 kg/m<sup>2</sup> (38).
- Perímetro de cintura: < 80 cm en mujeres y < 94 cm en varones (38).

### **1.3 Síndrome metabólico en el adulto con diabetes mellitus tipo 2**

#### **1.3.1 Definición y criterios diagnósticos del síndrome metabólico en el adulto con diabetes mellitus tipo 2**

El síndrome metabólico (SM) es un conjunto de alteraciones metabólicas que incluyen a la obesidad central, la hipertensión arterial, la RI y la dislipidemia aterogénica. Estas alteraciones se evalúan mediante parámetros antropométrico, clínico y bioquímicos como circunferencia de la cintura, presión arterial, niveles de glucosa en ayunas, niveles de triglicéridos, niveles de lipoproteínas de alta densidad (HDL) y niveles de colesterol; respectivamente (39). El diagnóstico de SM se basa en la presencia de todos o algunos de sus componentes, ya que los criterios diagnósticos del SM varían de acuerdo con las organizaciones que lo definen, como OMS en 1999 (40), European Group for the Study of Insulin Resistance en 1999 (41), The US National Cholesterol Education Program Adult Treatment Panel III en 2001 (42), American Association of Clinical Endocrinologists en 2003 (43), American Heart Association en 2005 (44) e IDF en 2006 (45).

La IDF incluye a las DMT2 dentro de los criterios diagnósticos del SM, lo que lo hace inclusivo en esta población. Los criterios de diagnóstico establecidos por la IDF incluyen a la obesidad central, la cual establece la CC elevada basada en la etnia (45). En población mexicana, se considera CC elevada cuando es mayor o igual a 80 en mujeres y 90 cm en hombres (46). Cabe mencionar, si el IMC es  $> 30 \text{ kg/m}^2$ , se puede asumir obesidad central y no es necesario medir la circunferencia de la cintura (45). Para el diagnóstico se requiere la presencia de al menos dos criterios adicionales, como:

- Triglicéridos elevados:  $\geq 150 \text{ mg/dL}$  o en tratamiento
- Colesterol HDL bajo:  $< 40 \text{ mg/dL}$  en hombres y  $< 50 \text{ mg/dL}$  en mujeres o en tratamiento
- Presión arterial elevada: Presión arterial sistólica  $\geq 130$  o presión arterial diastólica  $\geq 85 \text{ mm Hg}$  o en tratamiento
- Glucosa plasmática en ayunas elevada:  $\geq 100 \text{ mg/dL}$  o diagnóstico de DMT2 (45)

#### **1.3.2 Fisiopatología del síndrome metabólico en la diabetes mellitus tipo 2**

La DMT2 y el SM se encuentran relacionados entre la complejidad de sus mecanismos fisiopatológicos. Aunque estas condiciones pueden desarrollarse de manera independiente, la presencia de una puede favorecer al desarrollo de otra, así como sus complicaciones cuando coexisten (22,25,47,48). La DMT2 y el SM comparten componentes etiológicos en común, como la obesidad central y la resistencia a la insulina, lo que establece una estrecha relación entre ambas entidades

(49,50). En este sentido, la obesidad central conlleva a la resistencia a la insulina y a la liberación de AGL no esterificados del tejido adiposo (51); resultando en una acumulación de lípidos en el hígado y los músculos, lo que induce un aumento en la resistencia a la insulina y la dislipidemia (52). Además, el tejido adiposo puede producir varias adipocinas que pueden afectar por separado la resistencia a la insulina y los factores de riesgo de enfermedad cardiovascular (52,53).

El SM se caracteriza por glucosa elevada, presión arterial elevada, alteración en los lípidos sanguíneos e inflamación, lo que induce una respuesta compensatoria para aumentar la capacidad funcional de las células  $\beta$  pancreáticas y la secreción de insulina para satisfacer la demanda metabólica. No obstante, este mecanismo de adaptación conduce la RI, lo que resulta en un aumento en la producción de insulina seguido de la pérdida progresiva de masa y/o función de las células  $\beta$ , lo que da como resultado en un deterioro de la función metabólica de las células  $\beta$  y alteración de la capacidad secretora de insulina (54). La regulación de la secreción de insulina está mediada por varios factores, incluyendo los nervios autónomos, la glucosa, el péptido 1 similar al glucagón y los AGL. Mientras que la RI y la hiperinsulinemia inducen un aumento en la presión arterial mediante diversos mecanismos, como respuesta compensatoria a la reducción de la captación de glucosa estimulada por la insulina por parte del músculo esquelético (39). Entre estos mecanismos incluyen la actividad de la angiotensina II y la aldosterona, el aumento de la actividad del sistema nervioso simpático, el estrés oxidativo y la disfunción endotelial. Además, los adipocitos liberan varios factores, incluidos la adiponectina, la leptina y la resistina, involucrados en el control de la presión arterial (55). Adicionalmente, la RI en los tejidos grasos afectan la inhibición de la lipólisis mediada por la insulina, ocasionando un aumento de los AGL y esto provoca aumento en la RI, creando un círculo vicioso (50). Por otro lado, la RI juega un papel clave en la regulación de los lípidos al aumentar la captación de glucosa en el músculo y el hígado e inhibir la lipólisis y la gluconeogénesis hepática (56). El aumento en las concentraciones de AGL promueve la síntesis de ésteres de colesterol, triglicéridos, y la producción de lipoproteínas de muy baja densidad. Al mismo tiempo, se activa la proteína de transferencia de ésteres de colesterol que contribuye negativamente a la redistribución de lípidos. Este proceso aumenta la eliminación de HDL y la disminución de sus concentraciones en sangre (50).

Como se mencionó anteriormente, los mecanismos fisiopatológicos de la DMT2 incluyen la resistencia a la insulina que se da a nivel de músculo esquelético, tejido adiposo e hígado, y la secreción deficiente o inadecuada de insulina por parte del páncreas. Esto ocasiona una eliminación inadecuada de la glucosa estimulada por la insulina, incapacidad para utilizar la glucosa hepática y aumento en la lipólisis del tejido adiposo (57,58). Estas alteraciones metabólicas resultan en

hiperglucemia, manteniéndose presentes los factores de riesgo asociados, como el sobrepeso u obesidad, la hipertensión arterial, el colesterol HDL bajo y los triglicéridos altos (59). Lo que sugiere la relación entre los componentes del SM, los cuales incrementan el riesgo de las complicaciones asociadas con la DMT2.

## **1.4 Fibra dietética**

### **1.4.1 Definición de fibra dietética**

Se han propuesto varias definiciones para la fibra dietética (FD) por diferentes organismos como CODEX Alimentarius Commission, Institute of Medicine (IoM) y European Food Safety Authority (EFSA). La Codex Alimentarius Commission define a la FD como polímero de carbohidratos compuesto por 10 o más unidades monoméricas, que no son hidrolizadas por las enzimas del intestino delgado (60,61). Por su parte, IoM incluye a la FD como parte de la definición de la fibra dietética total, que es la suma de la FD (carbohidratos no digeribles y lignina que son intrínsecas e intactas en las plantas) y la fibra funcional (fibras aisladas, componentes de carbohidratos no digeribles con efectos fisiológicos beneficiosos demostrados en humanos) (62). La EFSA toma esta definición como punto de partida, y define la FD como carbohidratos no digeribles más la lignina (63). Por lo tanto, se considera la FD como un grupo de polímeros de carbohidratos, incluyendo polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias vegetales asociadas, que no pueden ser digeridos ni absorbidos en el intestino delgado humano. Aunque no aportan energía, estos compuestos pueden ser fermentados total o parcialmente por la microbiota intestinal en el intestino grueso y se encuentran en cereales, leguminosas, tubérculos, verduras y frutas (64–66).

### **1.4.2 Clasificación de la fibra dietética**

Existen varias formas de clasificación de la FD, esto dependerá de sus características y propiedades, así como de su naturaleza u origen, peso molecular o grado de polimerización, solubilidad, fermentación y gelificación. En cuanto a su naturaleza u origen, la FD puede ser dietaria o funcional. La fibra dietaria es intrínseca o intacta que se encuentra en forma natural en los alimentos. La fibra funcional, se refiere a la fibra extraída o sintética utilizada para proporcionar beneficios específicos para la salud (67). Según el peso molecular o el grado de polimerización, la FD puede ser de bajo molecular, con un grado de polimerización que varía de 3 a 9, o alto peso molecular, que incluyen aquellas con un grado de polimerización superior a 9 (68). La solubilidad en agua es la forma más común de clasificación, ya que considera las propiedades de viscosidad y fermentación (69). Se puede dividir en fibra dietética soluble (FDS) y fibra dietética insoluble (FDI). La FDS tiene un alto grado

de fermentación y viscosidad, lo que le permite retener agua y formar geles, retrasando así el vaciamiento gástrico y ralentizando el tránsito intestinal. Por otro lado, la FDI tiene un bajo grado de fermentación, dado que es resistente a la degradación por las bacterias colónicas y no es viscosa. Aumenta la masa fecal, la motilidad gastrointestinal y el peso de las heces (69,70). La capacidad de fermentación bacteriana da lugar a otra clasificación, siendo consideradas a las fibras no fermentables cuando se presenta menos del 10 %, las fibras parcialmente fermentables entre 10 % al 70 %, y las fibras fermentables superan el 70 % de fermentación (70). Lo que concierne a la gelificación, se refiere a la formación de soluciones viscosas o no viscosas. La FD se puede ubicar en baja, mediana y alta viscosidad, lo anterior permite comprender cómo la fibra puede contribuir a la salud digestiva (67).

### **1.4.3 Consumo de fibra dietética en la población mexicana**

La dieta tradicional mexicana ha sufrido cambios derivado de un proceso de transición alimentaria, ya que, estaba constituida por alimentos regionales como el nopal, el maíz y el frijol, estos alimentos se han ido desplazando por alimentos procesados de alta densidad energética con un alto contenido de sodio, grasas saturadas y azúcares (71,72). De acuerdo con los datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), México es el primer país en América Latina con mayor venta de productos procesados (73). Lo que ha conllevado a alteraciones en la dieta correcta, esta es de relevancia en el control de la enfermedad, la calidad de los nutrientes, incluidos los hidratos de carbono, las proteínas, las grasas, la fibra dietética, los minerales y las vitaminas provenientes de la dieta, lo cuales son determinantes en el control de la DMT2 (32). El consumo de FD puede variar en relación a los alimentos que se ingieren en la dieta habitual, pues se ha señalado al consumo de alimentos procesados, ricos en azúcares refinados y bajos en fibra como factores limitantes para el control de la DMT2 en los sujetos con exceso de peso (74). Aunado a esto, una dieta con alimentos de índice glucémico bajo y la integración de hidratos de carbono complejos como la FD, se asocian con una mejor función de las células  $\beta$ , en consecuencia, una mayor sensibilidad a la insulina, teniendo como efecto la regulación de esta hormona (75). La fibra se ha relacionado con efectos positivos en la regulación del microbiota intestinal lo que ayuda a obtener un efecto antiinflamatorio, reducir la glucosa y lípidos sanguíneos, así como reducir el peso corporal beneficiando al control metabólico (76). A pesar de los beneficios conocidos, la transición alimentaria ha afectado negativamente su consumo a nivel nacional. Actualmente, los adultos mexicanos consumen entre 16 y 18 g de fibra al día, lo cual es insuficiente para mantener una alimentación saludable (77), por lo cual no se cubre la recomendación que oscila entre 25 a 30 g al día (78). La disminución en el consumo de este nutriente debido al aumento de alimentos procesados es

preocupante, ya que una ingesta adecuada de él es crucial para la prevención y el manejo de las enfermedades crónicas como la DMT2 y SM.

#### **1.4.4 Consumo fibra dietética en el control de los componentes del síndrome metabólico en adultos con diabetes mellitus tipo 2**

La FD contribuye en el control de los componentes del SM en la DMT2. La FD tiene efectos benéficos en la regulación de la función intestinal, así como en el control de glucosa y lípidos sanguíneos. Se ha observado que la FDI mejora la resistencia a la insulina mediante el aumento en el volumen de las heces. Mientras que la FDS, al ser fermentable, puede mejorar el control de los lípidos sanguíneos y retrasar la absorción de hidratos de carbono de la dieta, reduciendo así la glucosa posprandial (79). Los mecanismos de la FD para regular la glucosa y los lípidos sanguíneos incluyen la inhibición de las actividades de lipasas y glicosidasas, y la absorción de sales biliares, glucosa y colesterol para contribuir en excreción y reducción de estos. Además, la FD aumenta la viscosidad del medio intestinal, ayudando a retrasar la glucosa y lípidos. A la par, tras la fermentación intestinal, la fibra inhibe la formación de colesterol aumentando la generación de ácidos grasos de cadena corta (AGCC) (64). La modulación del microbiota intestinal ante el aumento de la ingesta de la FD se involucra en la producción de ACCG y promueve la formación de acetato y butirato lo que contribuye al control de glucosa al estimular la producción intestinal del péptido 1 (GLP-1) similar al glucagón y del péptido YY, que a su vez promueven la secreción de insulina (64,80). La FD se ha relacionado con la reducción en la ingesta calórica al retrasar el vaciamiento gástrico y prolonga la sensación de saciedad ocasionando reducción en el peso corporal y la CC (70).

En la Tabla 1 se presentan ensayos clínicos aleatorizados en adultos con DMT2 que evalúan la adicción de FD en dosis que oscilan entre 5 a 10.5 g, y su efecto sobre los componentes del SM incluyendo CC, presión arterial, glucosa y lípidos sanguíneos en un periodo mínimo de 4 semanas.

*Tabla 1. Consumo de fibra dietética en el control de los componentes del síndrome metabólico en adultos con diabetes mellitus tipo 2*

Fuente de fibra	Dosis diaria de FD	Cambios en la DH	Seguimiento	Variables respuesta	Referencia
$\beta$ -glucano de avena	5.0 g	No	12 semanas	Disminución no significativa en peso corporal (0.80 kg), PAS (7.83mm Hg), PAD (2.00 mm Hg), glucosa en ayunas (30.8 mg/mL) y triglicéridos (9.6 mg/dL). Incremento no significativo de C-HDL (1.75 mg/dL).	(81)
Avena integral	5.0 g	No	4 semanas	Reducción significativa en glucosa plasmática (1.23 mmol/L) y triglicéridos (0.09 mmol/L)	(82)
Proteína de soya texturizada	5.44 g	No	4 semanas	Reducción significativa en colesterol total ( $5.2\pm 0.9$ a $4.8\pm 0.8$ mmol/L) y triglicéridos ( $3.5\pm 2.2$ a $2.8\pm 2.0$ mmol/L).	(83)
Avena integral	10.0 g	No	4 semanas	Reducción significativa en glucosa plasmática (1.70 mmol/L) y triglicéridos (0.43 mmol/L)	(82)
Goma guar	10.0 g	No	6 semanas	Reducción significativa en CC (103.5 a 102.1 cm).	(84)
Fibra soluble de psyllium	10.5 g	No	8 semanas	Reducción significativa en peso corporal (2.7 kg), CC (2.6 cm) y glucosa en ayunas (43.6 mg/dL)	(85)

*FD: Fibra dietética; DH: dieta habitual; CC: Circunferencia de cintura; C-HDL: Colesterol de lipoproteínas de alta densidad; PAS: presión arterial sistólica; PAD: presión arterial diastólica.*

La evidencia consultada muestra la importancia de la FD en el manejo de la DMT2 y el SM, ya que la inclusión de fibra es relevante en el control de peso, peso corporal, presión arterial, glucosa y lípidos sanguíneos. Sin mencionar, el control que ejerce sobre A1c (81,82,85). En el metaanálisis realizado por Post et al (86) concluyen que una intervención que involucre suplementos de FD en el manejo de la DMT2 puede reducir la glucosa en sangre y la A1c, y sugiere fomentar el consumo de FD proveniente de cualquier fuente como estrategia de tratamiento terapéutico y de control de los sujetos que viven con esta condición. Sin embargo, en el metaanálisis realizado por Reynolds et al (87), señala que las dietas ricas en fibra deben considerarse como componente esencial en el control de la diabetes, recomendando aumentar la ingesta diaria de fibra en hasta 35 g para tener efectos benéficos en las medidas de control glucémico, lípidos en sangre, peso corporal e inflamación, así como una reducción de la mortalidad prematura. Esto respalda lo reportado por Silva et al (88), en su revisión sistemática, que menciona que la suplementación 3.5 a 16.5 g de FD al día adicional a la fibra

consumida por medio de la dieta habitual, principalmente de fibra soluble, reduce el 4,75 % de la HbA1c y un 10 mg/dL los valores de glucosa plasmática en ayunas posterior a un periodo de 2 a 3 meses.

Por lo tanto, el aumento de FD en cantidades adecuadas ha demostrado tener un efecto coadyuvante en el control de la glucosa en ayuno, la hemoglobina glicosilada y el perfil de lípidos. Incorporar alimentos ricos en fibra, como el nopal, en la dieta correcta puede resultar en una estrategia para el control metabólico en adultos con DMT2 y SM.

## **1.5 Nopal (*Opuntia ficus-indica*)**

### **1.5.1 Relevancia nacional del nopal**

El nopal ha sido un componente esencial en la historia, la gastronomía, la cultura y la economía mexicana desde tiempos prehispánicos hasta la actualidad, destacándose por su adaptabilidad, valor nutricional, y multifuncionalidad. La presencia de esta planta originó el establecimiento de las culturas prehispánicas al proporcionar alimento seguro que contribuyó al desarrollo de las civilizaciones indígenas (89). En la cultura Azteca, los estandartes de guerra mostraban un águila posada sobre un nopal devorando una serpiente, imagen que se convirtió en el escudo nacional de México. Además, la capital del imperio azteca, Tenochtitlan, significó “nopal sobre una roca” (90). Con el incremento de la población en la segunda mitad del siglo XX, aumentó la demanda de cladodio (nopal verdura o “nopalitos”) y tuna (nopal fruta), lo que provocó la expansión de la producción agrícola (91). La producción de estos alimentos en zonas áridas donde la posibilidad del cultivo era limitada se presentó como una opción de consumo adecuada para abastecer a la población de fruta y verdura frescos, inclusive en zonas semiáridas (92). Hoy en día, los principales estados productores del cladodio son Morelos, Ciudad de México, Estado de México, Tamaulipas, Jalisco e Hidalgo (93). Este alimento es de fácil acceso ya que se puede conseguir todo el año, aunque su mayor producción ocurre entre los meses de marzo y junio (94). El consumo per cápita del cladodio en 2023 representó el 5.4 % de la producción total de hortalizas, trayendo un valor de producción rural de \$3,417 pesos por tonelada (95).

La diversidad de la flora mexicana contribuye a la identidad visual y cultural de la región, pues México alberga una impresionante variedad de cactáceas, aproximadamente 670 especies, de las cuales 518 son endémicas (94). Su crecimiento es principalmente en zonas áridas y semiáridas, aunque también se pueden encontrar en menor medida en regiones frías como las áreas boscosas. Su adaptación a las variaciones de los niveles de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) atmosférico y su capacidad de crecimiento la

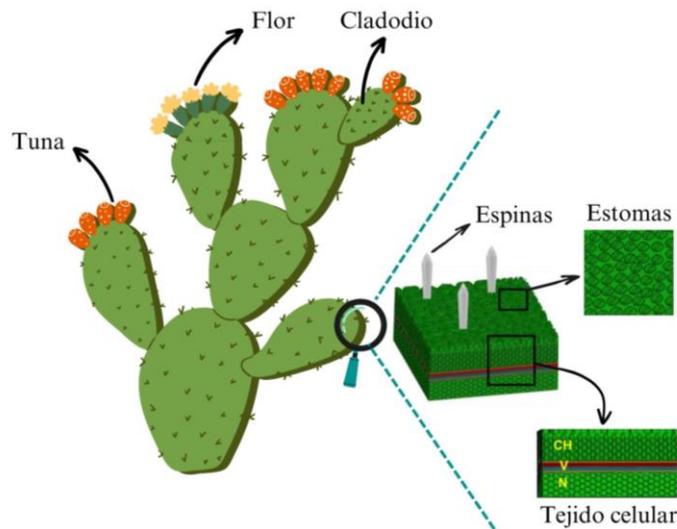
convierten en una planta noble para los programas de reforestación en zonas donde otros cultivos les es difícil su cosecha (92,96). Asimismo, el nopal contribuye a reducir el efecto invernadero, ya que reduce el CO<sub>2</sub> atmosférico y funcionan como reserva de agua y carbono en estas regiones (90,96). Entre las especies mayormente cultivadas en el país se encuentran: *O. ficus-indica*, *O. xoconoxtle*, *O. megacantha* y *O. streptacantha*, mientras que las especies silvestres recolectadas son *O. hypatiacantha*, *O. leucotricha* y *O. streptacantha* (97).

El nopal es una planta versátil de consumo factible, ya que en su totalidad puede ser aprovechada desde el fruto (tuna), el cladodio como de consumo humano o forrajero para alimento de ganado, las semillas, las flores, el mucílago y el nocheztli, también conocido como grana o cochinilla, que se puede utilizar como colorante textil (90,98). Tradicionalmente, el cladodio se consume hervido, asado, guisado, en sopas, ensaladas y jugos (99). Además, se han elaborado productos a base de este con la finalidad de favorecer la salud del consumidor, aprovechando sus propiedades nutricionales. Estos productos incluyen batido de cladodio fresco (100), mermelada (101), tortilla (102), pasta (103), galletas (104), pasteles (105,106) y yogurt (107), los cuales han potenciado sus propiedades nutricionales al adicional del cladodio. Sin mencionar sus aplicaciones en la industria farmacéutica como agente en cápsulas blandas reticuladas con mucílago (108), y en el área dermatológica, por su capacidad para regular la producción de ácido hialurónico inducida por la radiación ultravioleta B (109). Adicionalmente, se ha demostrado ser efectivo en el control de la sintomatología de la resaca, mediante la inhibición de la producción de mediadores inflamatorios (110).

### **1.5.2 Morfología del nopal (*Opuntia ficus-indica* L. Miller, variedad *Atlixco*)**

El nopal es una planta perteneciente a la familia de las cactáceas, tipo arbustiva o rastrera, con ramas carnosas en forma aplanada de color verde amarillento a violáceo (111). Está constituida principalmente por flores, frutos y hojas (Figura 3). Las flores presentan una forma ovoide en la parte inferior y una estructura más abierta en la parte superior, donde ocurre la floración, la cual exhibe de colores brillantes y variados. La floración ocurre en el mes de febrero en los estados de México, Hidalgo y Puebla (111). Después del segundo día de floración, comienza el desarrollo del fruto (98). Los frutos mejor conocidos como tunas, suelen tener una forma globosa, ovoide y esférica, son de color anaranjada y pulpa amarilla (90). Las hojas llamadas cladodios, al igual que la tuna, se encuentran protegidas por espinas (89). El cladodio tiene forma rómbica-ovalada, de intenso color verde y su tamaño depende del agua y los nutrientes disponibles, con una longitud de 30 a 40 cm, aunque en ocasiones puede alcanzar los 80 cm (90). Los cladodios poseen areolas de donde crecen

flores, frutos y espinas. Las espinas tienen la función de proteger contra el reflejo de la luz y la pérdida de agua. Además, la epidermis del nopal contiene una gran cantidad de estomas que regulan la fotosíntesis y la respiración. Debajo de esta, se encuentra el clorénquima, donde se encuentra el tejido vascular y el núcleo que ayudan a la planta en el transporte de nutrientes y el almacenamiento de agua durante periodos prolongados de sequía. El tejido del núcleo es incoloro y contiene reservas de carbohidratos, proteínas y polifenoles (112).



*Figura 3. Estructura del nopal (Opuntia ficus-indica L. Miller)*

*CH: clorénquima; V: tejido vascular; N: tejido del núcleo. Esta imagen fue basada de Perucini-Avendaño et al (112) y se recreó utilizando Canva.com*

### **1.5.3 Contenido nutricional del cladodio (*Opuntia ficus-indica L. Miller, variedad Atlixco*)**

El cladodio se caracteriza por su contenido alto en fibra y bajo en calorías (14.76 a 15.71 kcal/100 g) (113). En base seca contiene 51.14 g de fibra dietética con una relación de FDI y FDS de 6:1 y una proporción baja de grasa (114). Los cladodios son una buena fuente de FD, que incluye componentes como celulosa, hemicelulosa, pectina, lignina y mucílago (92). En la Tabla 2 se muestra el contenido del cladodio (*Opuntia ficus-indica L. Miller, variedad Atlixco*).

Tabla 2. Contenido nutricional del cladodio (*Opuntia ficus-indica* L. Miller, variedad Atlixco)

Nutriente	Cladodio crudo variedad Atlixco	Cladodio hervido variedad Atlixco
Por cada 100 g de materia fresca		
Energía (kcal)	15.71	14.76
Por cada 100 g de materia seca		
Humedad (%)	93.42	93.38
Fibra dietética (g)	51.14	53.36
Fibra dietética soluble (g)	44.7	46.57
Fibra dietética insoluble (g)	7.07	6.79
Hidratos de carbono (g)	18.99	14.07
Azúcares solubles (g)	13.29	7.28
Sacarosa (g)	2.4	1.43
Glucosa (g)	6.3	3.43
Fructosa (g)	4.6	2.73
Proteína (g)	13.84	13.72
Lípidos (g)	0.98	1.09
Acido ascórbico (mg)	25.52	38.25
Vitamina C (mg)	57.03	38.25
β-caroteno (mg)	66.85	38.59

Pérez LAB (113) y Ramírez-Moreno E (114).

#### 1.5.4 Consumo de cladodio (*Opuntia ficus-indica*) en el control de los componentes del síndrome metabólico en el adulto con diabetes mellitus tipo 2

Desde hace algunas décadas, el género *Opuntia spp.* ha despertado un creciente interés en el descubrimiento de sus propiedades en beneficio para la salud. Los primeros estudios, liderados por investigadores como Frati Munari y Castañeda-Andrade, demostraron que el cladodio de *Opuntia spp.* tiene efecto hipoglucemiante en la glucosa posprandial en la población adulta mexicana (115,116). Este descubrimiento ha sido fundamental para comprender el potencial del cladodio como agente hipoglucemiante. El cladodio de *Opuntia ficus-indica* (OFI) ha sido particularmente reconocido y estudiado por su efecto hipoglucemiante. Se ha demostrado que el consumo de cladodio en la dieta habitual contribuye a la reducción de glucosa posprandial en adultos con DMT2. Este efecto se ha evaluado mediante el índice glucémico y el índice insulínico, mostrando que el cladodio puede mejorar la respuesta del cuerpo a la insulina y reducir los niveles de glucosa en sangre después de las comidas (117,118). Sin embargo, estos estudios han sido de corto plazo representando un área de oportunidad para investigar el potencial del cladodio como hipoglucemiante en el control de la glucosa

plasmática a largo plazo. Además de sus efectos hipoglucemiantes (119), el nopal ofrece una variedad de beneficios adicionales gracias a su alto contenido en fibra dietética y compuestos bioactivos como ácidos fenólicos, flavonoides y carotenoides (92). Estos compuestos no solo ayudan a regular los niveles de glucosa en sangre, sino que también proporcionan beneficios antioxidantes y antiinflamatorios, lo que puede contribuir a una mejor salud general y a la prevención de complicaciones relacionadas con la DMT2 y SM.

En la Tabla 3 se presentan estudios realizados en el consumo de cladodio (*Opuntia ficus-indica*) en adultos con DMT2 y SM. Estos estudios muestran la reducción de la CC, los niveles de glucosa y triglicéridos sanguíneos, indicando que el consumo de cladodios puede ser benéfico para el manejo de estas entidades patológicas.

*Tabla 3. Consumo de cladodio (Opuntia ficus-indica) en adultos con diabetes mellitus tipo 2 y síndrome metabólico*

Población	Especie	Dosis, y presentación	Seguimiento	Variables respuesta	Referencia
Adultos con DMT2	OFI	70 mL/día jugo de cladodio y 6 minutos caminata de	4 días	Reducción significativa en glucosa plasmática.	(120)
Adultos con SM	OFI	500 g de pasta suplementada con 3 % de extracto de cladodio	1 mes	Reducción significativa en CC (92.3 a 91.4 cm), glucosa plasmática (de 84.6 a 74.4 mg/dL) y triglicéridos (de 104.6 a 92.8 mg/dL).	(121)
Adultas con SM	OFI	1.6 g de cladodio deshidratado (NeOpuntia®) y 30 min de actividad física/día.	6 semanas	Reducción para el diagnóstico de SM; aumento de c-HDL y reducción en triglicéridos y CC.	(122)
Adultos con dislipidemia e IMC < 25 kg/m <sup>2</sup>	OFI	1 g de cladodio deshidratado en cápsulas	3 meses	Reducción significativa en CC (2.7 %) y triglicéridos (15.3 %)	(123)

*DMT2: Diabetes mellitus tipo 2; SM: Síndrome metabólico; OFI: Opuntia ficus-indica; CC: Circunferencia de cintura*

## 2. Problema de investigación

La transición alimentaria en México ha resultado en una disminución en el consumo de fibra dietética proveniente de alimentos tradicionales como el nopal, el maíz y el frijol, estos alimentos se han ido desplazando por alimentos de alta densidad energética y bajo contenido en fibra. Este cambio en la dieta tradicional mexicana ha dificultado que gran parte de la población alcance la recomendación diaria de 25 a 30 g de fibra, ya que el consumo promedio oscila entre 16 a 18 g por día. La deficiencia en la ingesta de FD ha contribuido al incremento de la obesidad central, una condición asociada con la resistencia a la insulina y la liberación de ácidos grasos libres, factores que favorecen el desarrollo de enfermedades crónicas como la DMT2 y el SM. La presencia de SM en adultos que viven con DMT2 incrementa el riesgo de complicaciones y mortalidad, lo cual genera aumento en las estancias hospitalarias y el número de incapacidades. La prevalencia de diabetes ha aumentado en los últimos años, con un ascenso del 2% entre 2021 y 2022. En particular, Hidalgo es el segundo estado con mayor prevalencia de DM, lo que resalta la importancia de abordar dicha problemática en esta región. En este contexto, el cladodio deshidratado en polvo (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) se presenta como una alternativa viable para aumentar la ingesta de fibra.

Por lo cual, se plantea la siguiente pregunta de investigación: En adultos con DMT2 y SM ¿El consumo de cladodio deshidratado en polvo (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) tendrá efecto en indicadores antropométricos, bioquímicos y presión arterial?

### 3. Hipótesis

H0: El consumo de cladodio deshidratado en polvo (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) disminuye el peso corporal, la circunferencia de cintura, la masa grasa, los niveles de glucosa, triglicéridos y colesterol HDL, así como disminución en la presión arterial en el adulto con diabetes mellitus tipo 2 y síndrome metabólico de Pachuca, Hidalgo.

H1: El consumo de cladodio deshidratado en polvo (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) no disminuye el peso corporal, la circunferencia de cintura, la masa grasa, los niveles de glucosa, triglicéridos y colesterol HDL, y la presión arterial en el adulto con diabetes mellitus tipo 2 y síndrome metabólico de Pachuca, Hidalgo.

#### **4. Justificación**

El cladodio (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) es un alimento tradicional mexicano que forma parte de la alimentación habitual de esta población, reconocido por su alto contenido de fibra dietética (51.14 g/100 g bs), con una relación adecuada de fibra insoluble y soluble (6:1). Además de su aporte nutricional, este alimento ha sido reconocido por su efecto hipoglucemiante, así como los beneficios que aporta en el control de la presión arterial, colesterol y reducción de peso corporal. El cladodio deshidratado en polvo ofrece ventajas adicionales, como aportar una mayor cantidad de fibra en menor volumen, tener una amplia vida de anaquel y ser de práctico consumo. Estas características no solo contribuyen al cumplimiento de la recomendación diaria de fibra dietética (25 a 30 g), sino que pueden contribuir al control metabólico. Por lo que el cladodio deshidratado en polvo puede ser coadyuvante en el tratamiento integral de personas que viven con DMT2 y SM.

## 5. Objetivos

### 5.1 Objetivo general

Evaluar los cambios en los parámetros antropométricos, bioquímicos y presión arterial que se generan en 1 mes de intervención con el consumo de 21 g de cladodio deshidratado (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) en polvo en adultos con diabetes mellitus tipo 2 y síndrome metabólico.

### 5.2 Objetivos específicos

1. Determinar las propiedades fisicoquímicas (pH, color, capacidad de hinchamiento, capacidad de retención de agua, capacidad de retención de glucosa y capacidad de retención de líquidos) del cladodio deshidratado en polvo (*Opuntia ficus-indica* L. Miller, variedad Atlixco) con el tamaño de partícula de 500  $\mu\text{m}$  sometido a deshidratado a 45 °C.
2. Evaluar el consumo de fibra de la dieta habitual de los adultos con diabetes mellitus tipo 2 y síndrome metabólico durante un mes de seguimiento, mediante el recordatorio de 24 horas realizando su registro por triplicado.
3. Determinar el efecto del consumo de 21 g cladodio deshidratado durante un mes en adultos con DMT2 y SM sobre:
  - a) Indicadores antropométricos (peso, circunferencia de cintura, masa muscular, masa grasa y el índice de masa corporal).
  - b) Indicadores bioquímicos (glucosa, triglicéridos y colesterol HDL).
  - c) Evaluación semanal de la presión arterial.

## 6. Métodos y procedimientos del estudio

La Figura 4 ilustra la metodología empleada en el estudio, el cual se dividió en tres etapas fundamentales: la etapa 1, enfocada en la elaboración del CD en polvo para cubrir el consumo de la población; la etapa 2, dedicada al pilotaje; y finalmente, la etapa 3, centrada en la intervención.

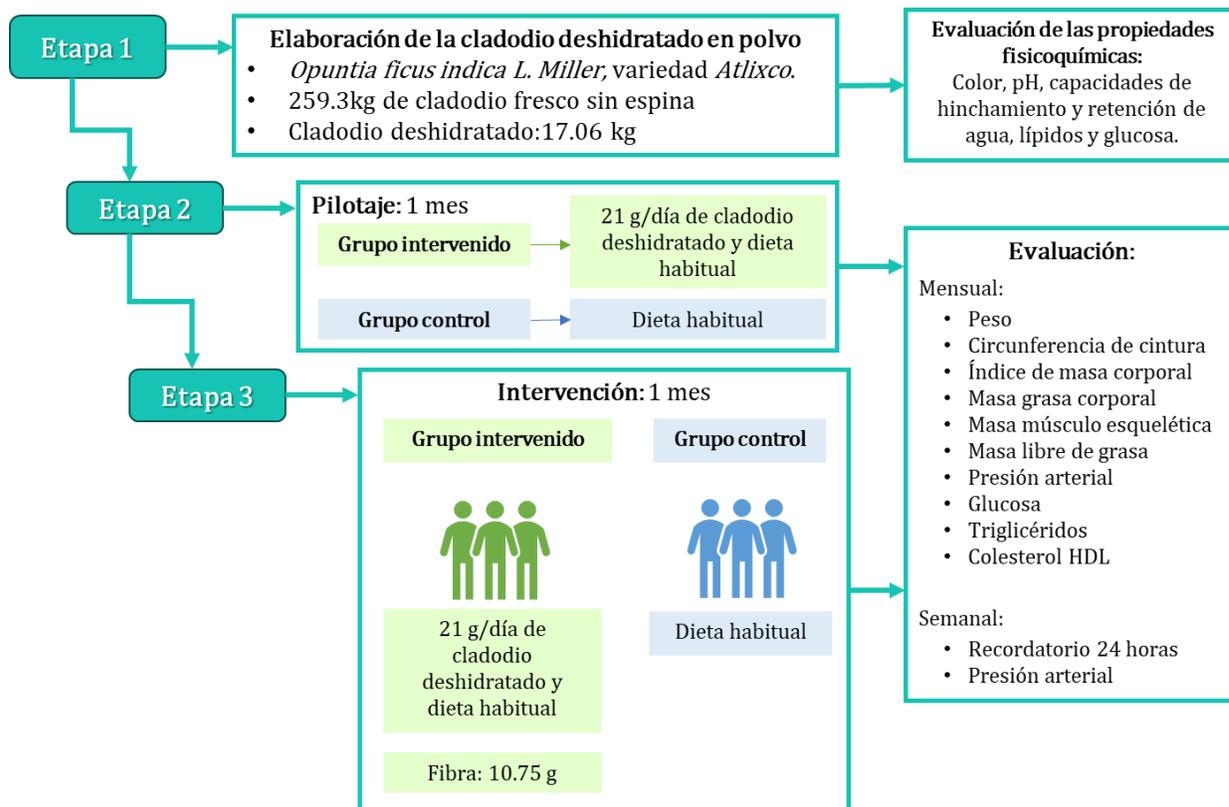


Figura 4. Diagrama del diseño metodológico del estudio.

### 6.1 Elaboración del cladodio deshidratado en polvo (*Opuntia ficus-indica L. Miller*)

#### 6.1.1 Obtención del cladodio

El cladodio utilizado fue adquirido directamente con los productores afiliados a la Comisión Mexicana de Nopal y Tuna A.C. (CoMeNTuna), situada en Actopan, Hidalgo, México. En esta región, se lleva a cabo el cultivo de cladodio destinados al consumo regional. Se recolectaron cladodios de la especie *Opuntia ficus-indica L. Miller*, pertenecientes a la variedad *Atlixco*.

### **6.1.2 Deshidratado y molienda del cladodio**

El proceso de deshidratado de cladodio se llevó a cabo entre marzo de 2022 y febrero de 2023. Durante este periodo, se deshidrataron en total 259.3 kg de cladodio fresco sin espina, obteniendo finalmente 17.06 kg de producto, suficiente para abastecer 1 mes de consumo de los participantes del estudio considerando tanto la fase del pilotaje como la intervención. El proceso del deshidratado del cladodio consistió de 6 etapas, las cuales se describen a continuación:

1. Pelado del cladodio. Inicialmente, se procedió al pelado del cladodio, retirando las espinas del cladodio con un cuchillo, asegurándose de eliminar únicamente las espinas sin dañar el producto.
2. Picado del cladodio. Posteriormente, se llevó a cabo el picado del cladodio de manera uniforme, con rebanadas aproximadas de 1 cm<sup>3</sup>
3. Desinfectado del cladodio. El cladodio fue sometido a un proceso de desinfección utilizando Microdyn®, permitiendo que el cladodio reposara en la solución durante 10 minutos, siguiendo las indicaciones del fabricante. Posteriormente, el cladodio se retiró de la solución desinfectante, permitiendo un breve escurrimiento para eliminar el exceso de líquido.
4. Tratado de cladodio para conservación. El cladodio rebanado se sumergió en una solución de ácido cítrico al 1 %, ácido ascórbico al 0.2 %, y 500 ppm de bisulfuro de sodio durante 10 minutos, actuando como conservador. Posteriormente, se eliminó el exceso de solución del producto.
5. Deshidratado de cladodio. El cladodio rebanado se extendió uniformemente en charolas de acero inoxidable, las cuales estuvieron previamente envueltas con papel encerado marca Great Value®. Se sometió a un proceso de deshidratación a 45°C durante 48 horas (124), utilizando el deshidratador Weston® modelo 74-1001-W.

La molienda del CD se llevó a cabo en un molino Lejieyin® modelo 750 para obtener el polvo de cladodio, con un tamaño de partícula de 500 µm. Luego, el polvo de CD se tamizó a través de un tamiz W.S. Tyler® número 35 para asegurar el tamaño de partícula deseado.

### **6.1.3 Dosificación y almacenamiento del cladodio deshidratado en polvo**

El pesaje del CD en polvo se llevó a cabo en la campana de flujo laminar (NOVATECH CFLH1-20, México) y se pesó mediante una báscula digital Truper® modelo BASE-5EP. Posteriormente, se procedió a envasar el CD en bolsas selladas al vacío, depositando cuidadosamente 7 g de CD en polvo

en cada una de ellas. Para preservar su calidad, del CD en polvo fue almacenado a -20°C hasta el momento de su utilización.

## **6.2 Propiedades fisicoquímicas del cladodio deshidratado**

Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

### **6.2.1 Rendimiento del cladodio al deshidratado**

Se tomaron 100 gramos de la muestra de cladodio fresco sin espina, y se colocaron en el deshidratador. Posteriormente, se llevó a cabo una segunda medición del peso de las muestras después del proceso de deshidratación. El cálculo del rendimiento de la muestra de CD se realizó mediante la siguiente fórmula, expresando los resultados como porcentaje de rendimiento.

$$\% \text{ rendimiento} = \frac{(P0 - P1)}{P0} \times 100$$

Donde:

- P0 = peso de muestra fresca en gramos
- P1 = peso de la muestra deshidratado en gramos

### **6.2.2 Análisis de pH de cladodio deshidratado en polvo**

El análisis de pH determina el nivel de acidez o alcalinidad en la muestra. El pH se midió en la muestra de CD utilizando un potenciómetro Hanna Instruments®, modelo 210, EUA, el cual se calibró con soluciones buffer de pH 4.0 y 7.0 estandarizadas. Se mezcló 200 mg de muestra de CD con 20 mL de agua destilada en un vaso de precipitado de 25 mL y se introdujo el electrodo (125).

### **6.2.3 Análisis de color del cladodio deshidratado en polvo**

La evaluación del color se llevó a cabo mediante un colorímetro portátil Minolta CM-80 (500 SM-508D, Japón). Este dispositivo dirige un haz de luz paralela monocromática a través de la muestra y mide la intensidad del haz luminoso emergente. Durante este proceso, se registraron tres coordenadas de color. La primera, L, define la intensidad lumínica, es decir, qué tan claro u oscuro es el color (donde 100 es igual a blanco y 0 es igual a negro). La coordenada a\* representa el eje rojo (+a\*) y verde (-a), mientras que la coordenada b indica la referencia de amarillo (+b\*) y azul (-b\*) (126).

#### **6.2.4 Análisis de la capacidad de retención de agua del cladodio deshidratado en polvo**

La determinación de la capacidad de retención de agua se llevó a cabo pesando 500 mg de la muestra, la cual fue colocada en una probeta con 10 mL de agua destilada. A continuación, se dejó reposar por 24 horas a temperatura ambiente y después se centrifugó a 3000 rpm por 20 minutos (Hamilton Bell, VanGuard V6500, EUA) (127). Posteriormente se retiró el sobrante y se pesó el sedimento. La fórmula empleada fue la siguiente:

$$CRA = \frac{P1 - P0}{P0}$$

Donde:

- P0 = Peso de muestra en gramos
- P1 = Peso sedimento en gramos

#### **6.2.5 Análisis de la capacidad de hinchamiento del cladodio deshidratado en polvo**

La capacidad de hinchamiento se realizó pesando 200 mg de la muestra, la cual se colocó en una probeta de 10 ml. Se procedió a medir el volumen ocupado por la muestra en la probeta. Luego, se añadieron 10 ml de agua destilada y se agitó cuidadosamente la mezcla con una espátula Smim para lograr una distribución homogénea. La probeta se dejó reposar durante 16 horas a temperatura ambiente, mientras se cubrió con papel aluminio para protegerla de la luz. Después del periodo de reposo, se midió el volumen final de la muestra en la probeta (128). El cálculo de la capacidad de hinchamiento de la muestra se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$CH = \frac{V1 - V0}{Peso\ muestra}$$

Donde:

- V0 = Volumen inicial de la muestra en mililitros
- V1 = Volumen final de la muestra en mililitros

#### **6.2.6 Análisis de la capacidad de retención de glucosa del cladodio deshidratado en polvo**

Se empleó la solución de ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) para evaluar la capacidad de retención de glucosa, la cual se preparó de la siguiente manera: se calentaron 80 mL de agua a 35 °C en un matraz aforado de 100 mL. Luego, se añadieron, de forma individual, 1 g de DNS, 1 g de NaOH, 20 g de tartrato de sodio y 0.05 g de metabisulfito de sodio hasta su completa disolución. Cuando la mezcla

alcanzó los 50 °C, se incorporaron 0.2 g de fenol, y se aforó a 100 mL. La solución resultante se llevó a ebullición durante 1 minuto, se enfrió a temperatura ambiente y se almacenó a 4 °C durante 16 horas antes de su uso. Para la curva patrón, se preparó una solución de glucosa con una concentración de 10 g/L. Esto se logró pesando 0.25 g de glucosa en 25 mL de agua destilada y realizando diluciones para obtener concentraciones de 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 mg/mL de glucosa en agua destilada. Luego, se aplicó la técnica de azúcares reductores, tomando 30 µL de cada concentración, mezclándolo con 180 µL de DNS, calentándolo a ebullición durante 15 minutos, enfriando y agregando 1230 µL de agua destilada antes de leerlo a 540 nm en un lector de microplacas (Power Wave XS UV-Biotek, Software Gen5 v. 2.09, EUA). En cuanto a la muestra, se pesaron 250 mg en tubos de centrífuga de 15 mL, a los cuales se les añadieron 10 mL de una solución glucosada concentrada (0.5 g de glucosa en 100 mL de agua destilada), y se homogeneizaron. La mezcla se incubó a 37 °C con agitación a 100 rpm durante 6 horas, seguido de una centrifugación a 3500 rpm durante 15 minutos. Al sobrenadante resultante se le aplicó la técnica de azúcares reductores mencionada anteriormente. Los resultados se reportaron en miligramos de glucosa retenidos por gramo de peso seco de la muestra (mg/g) (129,130).

### **6.2.7 Análisis de la capacidad de retención de lípidos del cladodio deshidratado en polvo**

La capacidad de retención de lípidos se llevó a cabo pesando 500 mg de la muestra, la cual fue colocada en una probeta con 10 mL de aceite de girasol comercial Cristal®. Se dejó reposar por 24 horas a temperatura ambiente y después se centrifugó a 3000 rpm por 20 minutos (Hamilton Bell, VanGuard V6500, EUA) (131). Después se retiró el sobrante y se pesó el sedimento. La fórmula empleada fue la siguiente:

$$CRL = \frac{P1 - P0}{P0}$$

Donde:

- P0 = Peso de muestra en gramos
- P1 = Peso sedimento en gramos

## **6.3 Proceso de intervención para el consumo de cladodio deshidratado en población con diabetes mellitus tipo 2 y síndrome metabólico**

### **6.3.1 Pilotaje del estudio**

Se llevó a cabo un periodo de pilotaje con una duración de un mes, abarcando una muestra representativa correspondiente al 10 % de la muestra final calculada, y siguiendo los criterios de

inclusión, exclusión y eliminación establecidos. Durante esta fase preliminar, se evaluaron exhaustivamente los procedimientos y protocolos del estudio. Esto permitió identificar desafíos logísticos, realizar ajustes metodológicos basados en la retroalimentación inicial, y optimizar la estrategia general para la implementación en la población objetivo.

### 6.3.2 Tipo y diseño del estudio

Se realizó un estudio con diseño de ensayo clínico aleatorizado.

### 6.3.3 Población de estudio

La población de estudio fue conformada por adultos de 40 a 58 años con DMT2 y SM de Pachuca, Hidalgo y sus alrededores.

### 6.3.4 Cálculo de tamaño de muestra

Se realizó el cálculo del tamaño de la muestra con la calculadora *ClinCalc.com* disponible en la página de internet <https://clincalc.com/stats/samplesize.aspx>. Esta herramienta fue diseñada para determinar la cantidad mínima de sujetos que deben ser reclutados en un estudio, asegurando un poder estadístico adecuado para detectar los efectos de un tratamiento específico. Se estimó un mínimo de 32 sujetos adultos con DMT2 y SM, para determinar este tamaño de muestra, se tomó como referencia la glucosa (194±10 mg/dL) proveniente del informe trimestral de vigilancia epidemiológica hospitalaria de DMT2 (132), y se consideró la reducción de 10.2 mg/dL en la glucosa plasmática reportado del estudio de Giglio et al (121). En el cálculo, se empleó una potencia del 80 % y una significancia del 5 % ( $\alpha = 0.05$ ).

El cálculo matemático se muestra a continuación:

$$k = \frac{n_2}{n_1} = 1$$

$$n_1 = \frac{(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 / K)(z_{1-\frac{\alpha}{2}} + z_{1-\beta})^2}{\Delta^2}$$

$$n_1 = \frac{(9^2 + 9^2 / 1)(1.96 + 0.84)^2}{9^2}$$

$$n_1 = 16$$

$$n_2 = K * n_1 = 16$$

Donde:

- $\Delta = |\mu_1 - \mu_2|$  = diferencia absoluta entre dos medias
- $\sigma_1, \sigma_2$  = varianza de la media #1 y #2
- $n_1$  = tamaño de muestra para el grupo #1
- $n_2$  = tamaño de muestra para el grupo #2
- $\alpha$  = probabilidad de error tipo I (usualmente 0.05)
- $\beta$  = probabilidad de error tipo II (normalmente 0.2)
- $z$  = valor crítico de Z por un  $\sigma$  o  $\beta$  dado
- $k$  = relación entre el tamaño de la muestra del grupo n.º2 y el grupo n.º1

Se estableció una muestra final de 40 participantes, considerando una pérdida muestral del 25 % del tamaño inicial de 32 sujetos adultos con diagnóstico de DMT2 y SM.

### **6.3.5 Criterios del estudio**

Los criterios del estudio estuvieron conformados por criterios de inclusión, criterios de no inclusión, criterios de exclusión y criterios de eliminación. Los criterios de inclusión fueron el diagnóstico confirmado de DMT2, bajo tratamiento farmacológico con metformina y/o glibenclamida, así como la presencia de SM de acuerdo con los criterios diagnósticos de la IDF, que considera una CC de  $\geq 80$  cm para mujeres y  $\geq 90$  cm para hombres, junto con al menos uno de los criterios adicionales: presión arterial  $\geq 130/85$  mm Hg, triglicéridos  $\geq 150$  mg/dL, colesterol HDL  $< 40$  mg/dL para hombres o  $< 50$  mg/dL para mujeres, o cualquiera de las anteriores en tratamiento farmacológico para su control. Adicionalmente, se consideró como criterio de inclusión una edad entre 40 y 58 años, sexo indistinto, y consentimiento informado firmado. Los criterios de no inclusión incluyeron enfermedades como insuficiencia renal, cirrosis hepática, enfermedades cardíacas, enfermedades autoinmunes y otras que requieran tratamiento farmacológico y/o dietético; mujeres embarazadas; alergia alimentaria al cladodio; hospitalización en los últimos 3 meses previos al reclutamiento; y no tener parentesco o convivencia entre los sujetos del estudio. Los criterios de exclusión fueron valoraciones incompletas y fallecimiento. El criterio de eliminación fue el retiro del consentimiento informado.

### **6.3.6 Proceso de reclutamiento**

Se realizó una convocatoria mediante redes sociales entre los meses de abril y octubre del 2023, logrando seleccionar a 45 sujetos, de los cuales 40 cumplieron con los criterios de inclusión e ingresaron al protocolo de intervención (Figura 5). Los pacientes fueron asignados al grupo

intervenido y grupo control de manera aleatoria mediante la herramienta digital *Graphpad by Dotmatics* disponible en <https://www.graphpad.com/quickcalcs/randMenu/>. El seguimiento se realizó en ambos grupos durante 1 mes de intervención. Existieron pérdidas a lo largo del seguimiento por deserción de los participantes los cuales no continuaron con las evaluaciones, y la interrupción de la intervención fue por motivos personales (ej, horarios laborales) que les impedían continuar en el estudio, imposibilitando concluir con las evaluaciones finales. El análisis de resultados se realizó en 34 participantes los cuales terminaron con los seguimientos semanales (presión arterial y recordatorio de 24 horas) y mensual (peso corporal, CC, masa grasa, masa músculo esquelética, glucosa plasmática, triglicéridos y colesterol HDL sanguíneos).

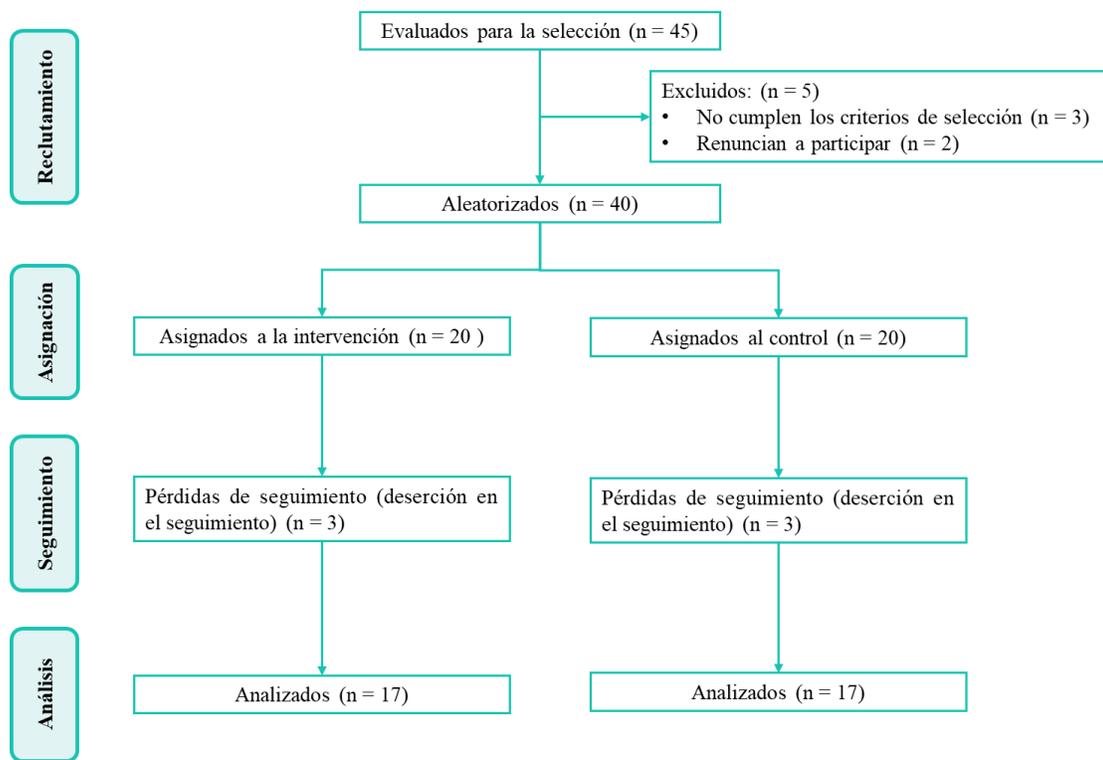


Figura 5. Diagrama de flujo del progreso a través de las fases del ensayo clínico aleatorizado de dos grupos

### 6.3.7 Variables

En la Tabla 4 se presentan las variables fundamentales abordadas en el estudio. Estas variables han sido seleccionadas para considerar los efectos del consumo de la fibra del CD en polvo (*Opuntia ficus-indica* L. Miller). Cada columna representa una variable específica, detallando su naturaleza y las unidades de medida correspondientes.

Tabla 4. Variables del estudio

Variable	Definición conceptual	Definición operativa	Tipo de variable	Escala	Sub escala	Unidad de medida
Consumo de cladodio deshidratado	Partes espinosas o sin espinas, alargadas (hasta 70–80 cm), gruesas y suculentas de la planta <i>Opuntia</i> con anchos variables (133).	Consumo de 21 g de cladodio deshidratado en polvo (45°C, 500 µm).	Independiente	Cualitativa	Nominal	g
Glucosa sanguínea	Determinación de glucosa en sangre después de no comer durante 8 o 12 horas (134).	Concentración de glucosa en plasma medida tras un periodo de ayuno de 8 a 12 horas, analizada por el Laboratorio Clínico Hakes. Los niveles de referencia se establecieron de acuerdo a los criterios diagnósticos de la IDF para SM, el cual considera un valor $\geq 100$ mg/dL (45).	Dependiente	Cuantitativa	Continua	mg/dL
Triglicéridos plasmáticos	Determinación de triglicéridos en sangre con un ayuno mínimo de 8 horas (134). Los triglicéridos son moléculas lipídicas con tres ácidos grasos unidos a una cadena principal de glicerol (135).	Concentración de triglicéridos en plasma medida tras un periodo de ayuno de 8 a 12 horas, analizada por el Laboratorio Clínico Hakes. Los niveles de referencia se establecieron de acuerdo a los criterios diagnósticos de la IDF para SM, el cual considera un valor alto cuando era $\geq 150$ mg/dL (45).	Dependiente	Cuantitativa	Continua	mg/dL
Colesterol HDL plasmático	Determinación de colesterol HDL en sangre con un ayuno mínimo de 8 horas (134). Proteína conjugada cuyos componentes no proteicos son lípidos de alta densidad (136).	Concentración de lipoproteínas de alta densidad en plasma medida tras un periodo de ayuno de 8 a 12 horas, analizada por el Laboratorio Clínico Hakes. Los niveles de referencia se establecieron de acuerdo a los criterios diagnósticos de la IDF para SM, considerando valores bajos cuando eran $< 40$ mg/dL en hombres y $< 50$ mg/dL en mujeres (45).	Dependiente	Cuantitativa	Continua	mg/dL
Peso corporal	Masa total del cuerpo (137)	Medición en kilogramos del peso tomado en sujetos con la menor cantidad de vestimenta posible y vejiga vacía. Se utilizó InBody 270.	Dependiente	Cuantitativa	Continua	kg
Índice de masa corporal	Indicador antropométrico del estado de nutrición que se obtiene dividiendo el peso de una persona en kilogramos entre su talla en metros cuadrados (138).	Índice de clasificación del estado nutricional de acuerdo con OMS (139): <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sobrepeso: 25 a 29.9 kg/m<sup>2</sup></li> <li>• Obesidad grado I: 30-34.9 kg/m<sup>2</sup></li> <li>• Obesidad grado II: 35 -34.9 kg/m<sup>2</sup></li> <li>• Obesidad grado III: <math>\geq 40</math> kg/m<sup>2</sup></li> </ul>	Dependiente	Cuantitativa	Continua	kg/m <sup>2</sup>
Circunferencia de cintura	Medida antropométrica tomada sobre la piel del individuo entre el punto medio de la cresta ilíaca y la última costilla (46).	Medida de cintura obtenida por cinta antropométrica Lufkin®. Se consideró elevada cuando esta era $\geq 80$ en mujeres y $\geq 90$ cm en hombres, de acuerdo con los criterios de la IDF para SM (45,46).	Dependiente	Cuantitativa	Continua	cm
Masa grasa corporal	Cantidad total de lípidos en el cuerpo (140).	Medición en kilogramo tomada en sujetos con la menor cantidad de vestimenta posible y vejiga vacía. Se utilizó InBody 270. Los niveles de referencia fueron: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rango aceptable: 6 a 24% en varones y 9 a 31% en mujeres.</li> <li>• Rango no saludable: <math>&gt; 25\%</math> en varones y <math>&gt; 32\%</math> en mujeres (141).</li> </ul>	Dependiente	Cuantitativa	Continua	% y kg

Masa músculo esquelética	Tejido altamente plástico de adaptación constante a diferentes condiciones fisiológicas (142).	Medición en kilogramos tomada en sujetos con la menor cantidad de vestimenta posible y vejiga vacía. Se utilizó InBody 270.	Dependiente	Cuantitativa	Continua	kg
Masa libre de grasa	Masa corporal compuesta por minerales, proteínas, glucógeno y agua (143).	Medición en kilogramos tomada en sujetos con la menor cantidad de vestimenta posible y vejiga vacía. Se utilizó InBody 270.	Dependiente	Cuantitativa	Continua	kg
Presión arterial	Fuerza que ejerce la sangre sobre la superficie de los vasos (144).	Medición de presión arterial sistólica y diastólica. La medición se realizó con el baumanómetro digital Omron HEM712C. Se consideró elevada cuando la presión arterial sistólica era $\geq 130$ o presión arterial diastólica era $\geq 85$ mm Hg, de acuerdo con los criterios de la IDF para SM (45).	Dependiente	Cuantitativa	Continua	mm Hg
Consumo de fibra dietética	La fibra se define como polímeros de hidratos de carbono con tres o más unidades monoméricas y no son hidrolizados por las enzimas del intestino delgado humano (145). La fibra dietética es la parte comestible de las plantas o hidratos de carbono resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado, con fermentación completa o parcial en el intestino grueso (146).	Medición en gramos obtenida mediante recordatorio de 24 horas. Se realizó un registro semanal por triplicado. Los datos se analizaron en el software Nutrimid® y se promediaron los registros semanales. Se consideró la recomendación diaria de fibra para la población mexicana adulta y población con diabetes, establecida entre 25 a 30g/día (35,78). Se implementaron herramientas visuales como réplicas de alimentos, tazas y cucharas medidoras para realizar un mejor registro de las porciones consumidas.	Dependiente	Cuantitativa	Continua	g
Consumo energético	Cantidad de energía ingerida por un individuo a partir del consumo de alimentos; normalmente se mide en calorías (kcal) (147).	Medición en kcal obtenida mediante recordatorio de 24 horas. Se realizó un registro semanal por triplicado. Los datos se analizaron en el software Nutrimid® y se promediaron de los registros semanales.	Dependiente	Cuantitativa	Continua	kcal
Edad	Tiempo que ha vivido una persona o ciertos animales o vegetales (148).	Tiempo transcurrido desde el día de su alumbramiento hasta el día del estudio.	Confusora	Cuantitativa	Continua	años
Sexo	Condición orgánica, masculina o femenina, de los animales y las plantas (148).	Condición biológica que se le atribuye desde el nacimiento.	Confusora	Cualitativa	Nominal	Femenino o masculino

### **6.3.8 Ejecución de la intervención**

La intervención se ejecutó a lo largo de un periodo de un mes, con una asignación aleatoria de los participantes a dos grupos: el grupo control y el grupo intervenido. El grupo intervenido incorporó 21 g diarios de CD de *Opuntia ficus-indica* L. Miller (variedad Atlixco), se planificó el consumo en 3 tomas de 7 g antes de las comidas principales (desayuno, comida y cena). Esta dosificación proporcionó una cantidad total diaria de 10.73 g de fibra, cubriendo del 44 al 37 % de la recomendación diaria de fibra para la población mexicana adulta, que oscila entre 25 y 30 g al día (78). Ambos grupos mantuvieron su dieta habitual, sin cambios.

El seguimiento de la intervención se realizó durante un periodo de 30 días. Durante el estudio, se realizaron dos mediciones, al inicio (semana 0) y al finalizar (semana 5), donde se registraron diversos indicadores. Se evaluó semanalmente la ingesta de fibra mediante recordatorio de 24 horas (Anexo 1), y la presión arterial sistólica y diastólica. Mientras que las evaluaciones basales y finales se realizaron en el peso corporal, el IMC, la CC, la masa grasa y los parámetros bioquímicos como glucosa, colesterol HDL y triglicéridos.

## **6.4 Análisis estadístico**

### **6.4.1 Análisis estadístico de las características fisicoquímicas del cladodio deshidratado en polvo**

El análisis de las características fisicoquímicas del CD en polvo se realizó por triplicado. Los datos se expresaron en media y desviación estándar empleando el software Statistical Package for the Social Sciences® (SPSS) versión 15.

### **6.4.2 Análisis estadístico de las variables de interés en el grupo de estudio**

El análisis estadístico se realizó en el software SPSS, se calculó la homocedasticidad para la distribución aleatoria y la normalidad de los datos obteniendo un resultado de no normalidad por lo que se aplicaron estadísticos no paramétricos. Los datos se expresaron en mediana, percentil 25 y 75, y rango. Se realizó la prueba de Wilcoxon para comparar las diferencias entre las medidas basales y finales de cada grupo y la prueba de U de Mann-Whitney para determinar las diferencias entre los grupos. Las diferencias significativas se establecieron con un nivel de significancia de  $p < 0.05$ . Además, se utilizó porcentaje y ji cuadrada para las variables categóricas.

## **6.5 Aspectos éticos**

El presente estudio sigue las directrices establecidas en la Declaración de Helsinki de 1964 (149) y el Código de Nuremberg de 1947 (150). A nivel nacional, se adhiere a la Norma Oficial Mexicana NOM-012-SSA3-2012, que establece los criterios para la ejecución de proyectos de investigación para la salud en seres humanos (151), y al Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación, específicamente al artículo 17, que considera al método aleatorio de asignación al esquema de intervención como un riesgo mayor que el mínimo (152). Dada esta consideración de riesgo, se requiere que cada sujeto participante firme obligatoriamente un consentimiento informado (Anexo 2), en el cual se le proporcionó información detallada y se le explicaron los procedimientos a realizar. Posteriormente, el sujeto asentó por escrito su decisión de participar en una carta de consentimiento informado.

La aprobación para llevar a cabo el estudio fue otorgada por el Comité de Ética de Investigación del Instituto de Ciencias de la Salud de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, con el número 148 de aprobación del proyecto (Anexo 3).

## 7. Resultados

### 7.1 Análisis fisicoquímico del cladodio deshidratado (*Opuntia ficus-indica* L. Miller)

El cladodio deshidratado (CD) se obtuvo mediante cladodio fresco sin espina, del cual se perdió el 93.42 % de humedad del producto, con un rendimiento del 6.58 % con el producto seco. Los resultados del análisis de pH de la muestra indican un valor de pH de 4.24. El pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución, y en este caso, un valor de 4.24 indica que la muestra es ácida. El producto deshidratado mostró un color verde oliva (Figura 6) con valores de  $L^* = 68.40 \pm 0.57$  (0 para negro, 100 para blanco),  $a^* = -6.62 \pm 0.57$  (rojos positivos, verdes negativos),  $b^* = 28.29 \pm 0.35$  (amarillos positivos, azules negativos). La interacción de la muestra de cladodio con el agua puede medirse como la capacidad de hinchamiento y la capacidad de retención de agua. La capacidad de hinchamiento refleja el volumen de la muestra cuando se rehidrata, en donde se encontró un valor de  $17.49 \pm 1.43$  mL/g. La capacidad de retención de agua se determinó como  $19.60 \pm 0.80$  g/g, este valor indica la cantidad de agua que la muestra de cladodio es capaz de retener por unidad de peso. Mientras que otra propiedad de esta muestra deshidratada es la capacidad de retención de glucosa la cual fue de  $28.80 \pm 0.63$  mg/g. Por último, se obtuvo  $2.56 \pm 0.34$  g/g en la determinación de la capacidad de retención de lípidos en la muestra. Los datos del análisis fisicoquímico del CD en polvo se encuentran plasmados en la Tabla 5.



Figura 6. Color del cladodio durante el proceso de deshidratado y molido.

Tabla 5. Características fisicoquímicas del cladodio deshidratado en polvo

Determinaciones	Caracterización del cladodio deshidratado Md±DE
Porcentaje de rendimiento	6.58 %
pH	4.24±0.01
Color	
L*	68.40±0.57
a*	-6.61±0.57
b*	28.29±0.35
Capacidad de hinchamiento (mL/g)	17.49±1.43
Capacidad de retención de agua (g/g)	19.60±0.80
Capacidad retención de glucosa (mg/g)	28.80±0.63
Capacidad de retención de lípidos (g/g)	2.56±0.34

*Md: Media; DE: Desviación estándar.*

## 7.2 Características basales de los adultos con diabetes mellitus tipo 2 y síndrome metabólico

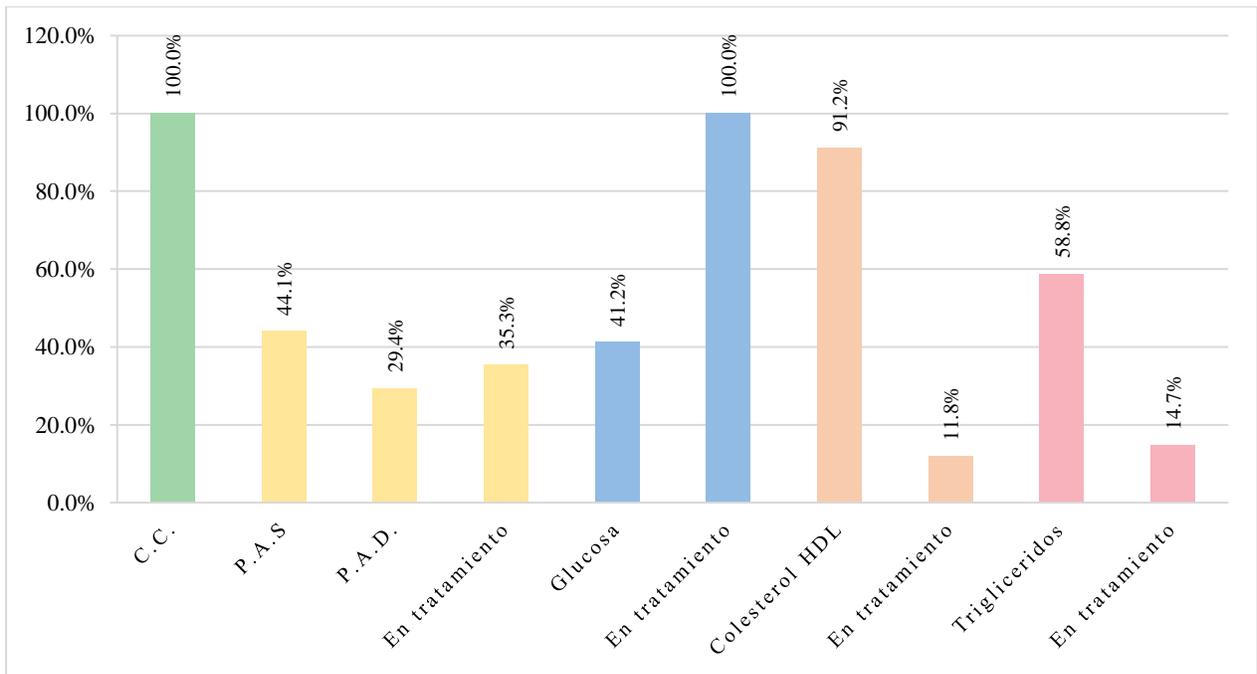
La población estudiada estuvo conformada por 34 adultos con diagnóstico de DMT2 y edad de 48.5 años (p25-75: 45.0-53.2 años; r: 19.0), con predominio en el sexo femenino (85.3 %) y mayoritariamente con diagnóstico para IMC de obesidad grado I (38.2 %). Además, la totalidad de la población presentó CC elevada en ambos sexos con 109.2 cm (p25-75: 96.1-117.8 cm; r: 109.2) en mujeres y 106.3 cm (p25-75: 97.5-112 cm; r: 20.0) en hombres. La composición corporal mostró un valor de 34.5 kg (p25-75: 29.9-47.0 kg; r: 49.5) en la grasa corporal con un porcentaje de grasa corporal de 45.5 % (p25-75: 40.1-50.8 %; r: 31.9). La masa libre de grasa fue de 45.2 kg (p25-75: 40.9-52.6 kg; r: 44.0) y la masa músculo esquelético de 25.0 kg (p25-75: 22.6-29.2 kg; r: 26.8). Los valores bioquímicos fueron de glucosa sanguínea de 109.0 mg/dL (p25-75: 95.3-154.2 mg/dL; r: 206.0), triglicéridos 186.0 mg/dL (p25-75: 115.7-256.0 mg/dL; r: 334) y colesterol HDL 39.0 mg/dL (p25-75: 38.0-41.2 mg/dL; r: 16.0). El indicador clínico capturado fue de presión arterial con valores para presión arterial sistólica de 127.0 mm Hg (p25-75: 114.2-134.0 mm Hg; r:74.0) y diastólica de 81.0 mm Hg (p25-75: 74.0-85.2 mm Hg; r: 73). Los datos antes mencionados se encuentran en la Tabla 6.

Tabla 6. Características basales de los adultos con diabetes mellitus tipo 2 y síndrome metabólico

Variable	Muestra total Mdn (p25-75; r) n = 34
Sexo n (%)	
Femenino	29 (85.3 %)
Masculino	5 (14.7 %)
Edad (años)	48.5 (45.0-53.2;19.0)
Peso (kg)	82.7 (74.4-94.1;61.2)
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	32.5 (29.8-36.7;26.3)
Clasificación de IMC n (%)	
Normopeso	1 (2.9 %)
Sobrepeso	9 (26.5 %)
Obesidad I	13 (38.2 %)
Obesidad II	5 (14.7 %)
Obesidad III	6 (17.6 %)
Circunferencia de cintura (cm)	
Mujeres	109.2 (96.1-117.8;109.2)
Hombres	106.3 (97.5-112;20.0)
Masa grasa corporal (kg)	34.5 (29.9-47.0; 49.5)
Masa libre de grasa (kg)	45.2 (40.9-52.6; 44.0)
Masa músculo esquelética (kg)	25.0 (22.6-29.2; 26.8)
Porcentaje de grasa corporal (%)	45.5 (40.1-50.8; 31.9)
Glucosa sanguínea en ayuno (mg/dL)	109.0 (95.3-154.2;206.0)
Triglicéridos (mg/dL)	186.0 (115.7-256.0;334)
Colesterol HDL (mg/dL)	39.0 (38.0-41.2;16.0)
Presión arterial sistólica (mm Hg)	127.0 (114.2-134.0;74.0)
Presión arterial diastólica (mm Hg)	81.0 (74.0-85.2;73)

Mdn: Mediana; p25-p75: percentil 25 y 75; r: rango; IMC: Índice de masa corporal

En la gráfica 1 se muestra la prevalencia de los componentes del SM según los criterios de la IDF en los adultos con DMT2. Los datos indican que el 100 % de la población presenta una CC elevada, destacándose como el componente inicial del SM. En cuanto a los demás componentes del SM, se observó que el 44.1 % de los individuos presentó una presión arterial sistólica superior a 130 mm Hg, y el 19.4 % diastólica mayor a 85 mm Hg. Además, el 35.3 % de la población estudiada estaba bajo tratamiento farmacológico para el control de la presión arterial. Mientras que el 41.2 % de los participantes presentaron niveles de glucosa superiores a 100 mg/dL, lo cual indica descontrol en el manejo de la DMT2. En relación al perfil de lípidos, el colesterol HDL presentó un 91.2 % de niveles por debajo de 40 mg/dL en hombres y 50 mg/dL en mujeres. En cuanto a los triglicéridos, se observó que el 58.8 % tenían niveles superiores a 150 mg/dL. En la población estudiada, sólo el 11.8 % y el 14.7 % estaban en tratamiento farmacológico para el control de los lípidos sanguíneos. Los medicamentos reportados para el tratamiento de las alteraciones asociadas del SM, excluyendo aquellos específicamente para el control de la DMT2, fueron bezafibrato, atorvastatina, captopril y losartan.



*Gráfica 1. Prevalencia de los componentes del síndrome metabólico según los criterios de la IDF  
CC: Circunferencia de cintura; P.A.S. Presión arterial sistólica; P.A.D. Presión arterial diastólica.*

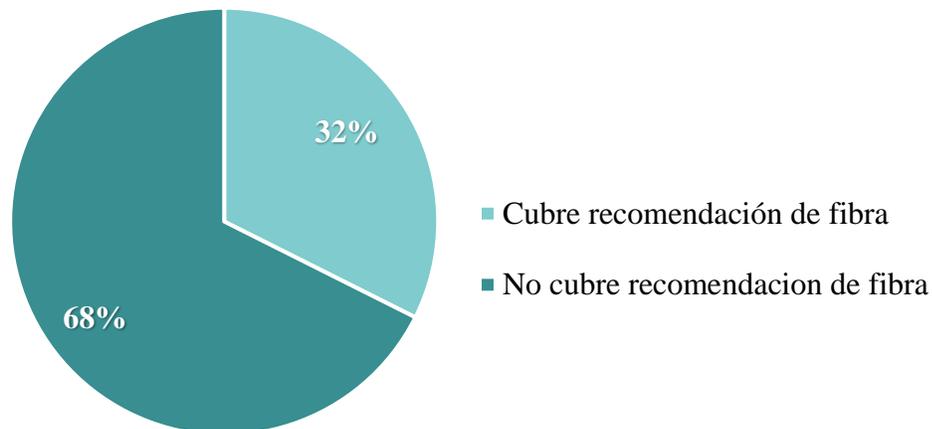
Las características de la dieta habitual de la población se detallan en la Tabla 7. En términos de ingesta calórica, se observa un consumo de 1848.6 kcal (p25-75: 1506.6-2331.9 kcal; r: 3213.6) al día, con un aporte de FD de 20.3 g (p25-75: 15.6-25.0 g; r: 28.0).

*Tabla 7. Características de la dieta habitual de la población.*

Componentes de la dieta	Muestra total
	Mdn (p25-75; r) n = 34
Energía (kcal)	1848.6 (1506.6-2331.9; 3213.6)
Fibra (g)	20.3 (15.6-25.0; 28.0)

*Mdn: Mediana; p25-p75: percentil 25 y 75; r: rango*

La Gráfica 2 proporciona una representación en porcentajes de la población que cumple con la recomendación de ingesta de FD y se determinó un consumo bajo de FD < 25 g/día. Se destaca que el 68 % de la población presenta un bajo consumo de FD



*Gráfica 2. Distribución porcentual del consumo recomendado de fibra dietética de la población.*

### **7.3 Evaluación semanal del consumo de fibra de la dieta habitual de los adultos con diabetes mellitus tipo 2 y síndrome metabólico**

En la Tabla 8 se presenta el consumo semanal de fibra de los adultos con DMT2 y SM durante un mes de seguimiento, mediante el registro del recordatorio de 24 horas por triplicado. Se puede

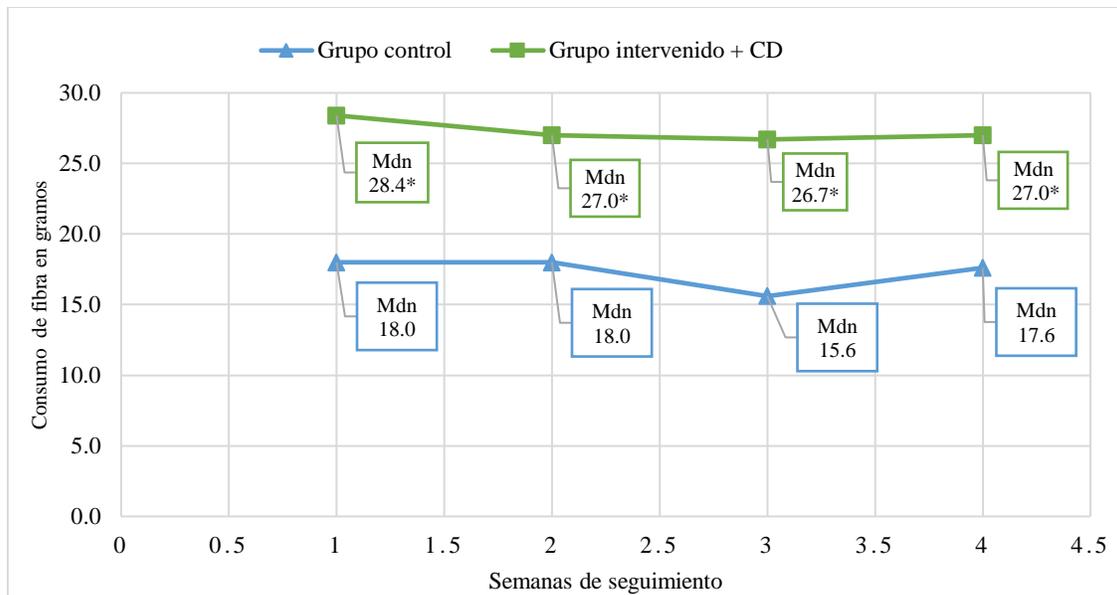
apreciar que entre los grupos no existe diferencia significativa en el consumo de fibra proveniente de la dieta habitual.

*Tabla 8. Consumo de fibra de la dieta habitual entre grupos control e intervenido.*

Consumo semanal promedio de fibra	Control	Intervenido	<i>p</i>
	(g de fibra) Mdn (p25-75; r) n = 17	(g de fibra) Mdn (p25-75; r) n = 17	
Semana 1	18.0 (14.1-20.6; 21.3)	17.67 (14.5-22.1; 18.0)	0.339
Semana 2	18.0 (14.3-22.0; 17.3)	16.3 (11.8-21.6; 19.6)	0.131
Semana 3	15.6 (12.1-19.3;15.6)	16.0 (12.3-20.3; 19.3)	0.812
Semana 4	17.6 (12.1-19.3; 13.6)	16.3 (11.3-21.0; 19.3)	0.586
Semana 5	17.0 (16.3-21.3; 20.0)	15.6 (14.0-22.5; 16.0)	0.306

*Significancia estadística se obtuvo mediante U Mann-Whitney ( $p < 0.05$ ). Mdn: Mediana; p25-75: percentiles 25 y 75; r: rango.*

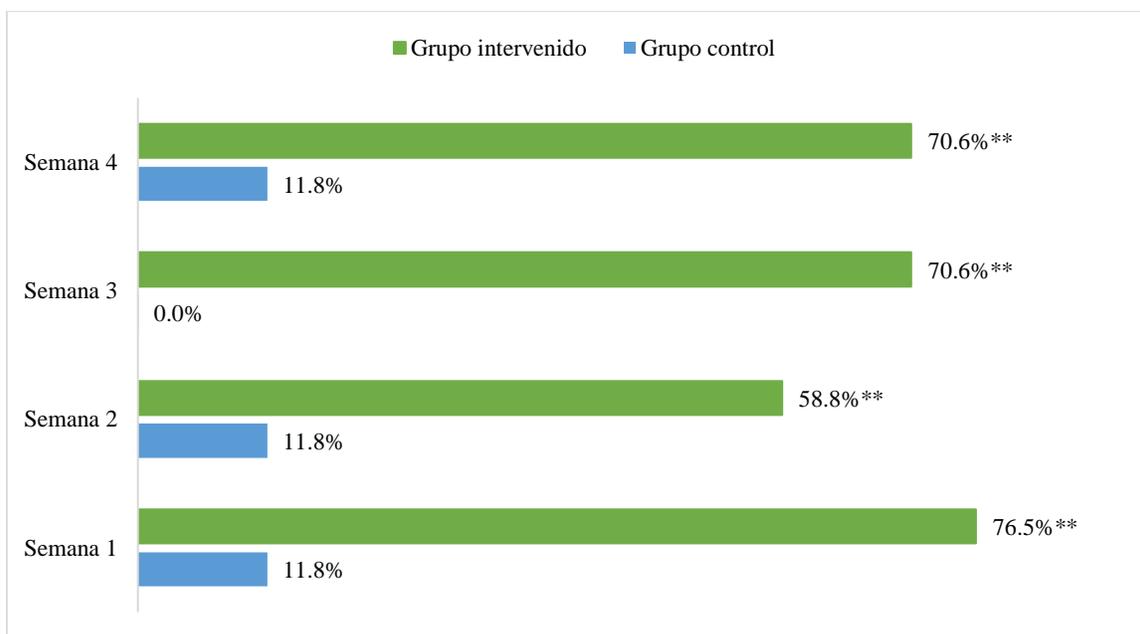
Sin embargo, al incluir el consumo de CD, como se muestra en la Gráfica 3, se observa un cambio significativo. El grupo intervenido con CD muestra un consumo de fibra superior al grupo control evidenciado por un valor de  $p < 0.05$  en cada semana de consumo registrado. Además, se destaca que el consumo mínimo recomendado de fibra se alcanza mediante la ingesta del CD.



*Gráfica 3. Comparación entre grupos del consumo de fibra dietética al incorporar cladodio deshidratado.*

*Significancia estadística se obtuvo mediante U Mann-Whitney ( $p < 0.05$ ). Mdn: Mediana; \*:  $p < 0.05$ . CD: Cladodio deshidratado*

En la Gráfica 4, se esquematiza la proporción de participantes que lograron alcanzar la ingesta recomendada de fibra, es decir al menos 25 g/día. Se puede observar que el consumo de CD ayuda al aumento de fibra de manera significativa entre los individuos. A lo largo del seguimiento semanal, se observan variaciones en la ingesta de fibra entre los grupos. A pesar de la inclusión de fibra proveniente de CD en el grupo intervenido, no se logra alcanzar el 100% del mínimo recomendado. Se destaca una disminución en la ingesta durante la semana 2 para el grupo intervenido, mientras que en la semana 3, el grupo control muestra un consumo nulo de fibra.



Gráfica 4. Distribución porcentual del consumo recomendado de fibra dietética entre grupos. Significancia con Chi-cuadrada  $p < 0.05$ . \*:  $p < 0.05$ ; \*\*:  $p < 0.01$ .

#### 7.4 Evaluación del efecto del consumo de cladodio deshidratado (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) en adultos con diabetes mellitus tipo 2 y síndrome metabólico

##### 7.4.1 Evaluación de los indicadores antropométricos en las medidas basal y final

En la Tabla 9, se muestran los indicadores antropométricos evaluados, incluyendo el peso, el IMC, la CC, así como la masa grasa corporal, la masa músculo esquelética y la masa libre de grasa al inicio y al mes de seguimiento. Al comparar al interior de los grupos, no se observó diferencia significativa ( $p = 0.098$ ) entre el peso basal y final en el grupo control [82.2 kg (p25-75: 69.2-92.8 kg; r:57.5) vs 82.1 kg (p25-75: 69.4-92.8 kg; r: 60.0)]. En contraste, en el grupo intervenido, la diferencia fue significativa ( $p = 0.001$ ), mostrando una reducción en el peso [84.4 kg (p25-75: 75.6-99.1 kg; r: 61.2) vs 82.1 kg (p25-75: 69.4-92.8 kg; r: 60.0)]. Además, el IMC basal fue de 32.4 kg/m<sup>2</sup> (p25-75:28.7-37.2 kg/m<sup>2</sup>; r: 25.5) en el grupo control y 32.5 kg/m<sup>2</sup> (p25-75: 29.8-37.2 kg/m<sup>2</sup>; r: 23.8) en el grupo intervenido, en ambos grupos se puede observar la presencia de obesidad I de acuerdo con los criterios de la OMS. En el IMC final, obtuvo una disminución importante para el grupo intervenido con una  $p < 0.05$ , alcanzando 32.3 kg/m<sup>2</sup> (p25-75: 29.8-36.8 kg/m<sup>2</sup>; r: 22.3).

En cuanto a la CC, en el grupo control fue 108.4 cm (p25-75: 95.0-116.0 cm; r: 43.4) y el grupo intervenido fue 98.4 cm (p25-75: 91.6-107.4 cm; r: 47.1), señalando a ambas muestras con CC

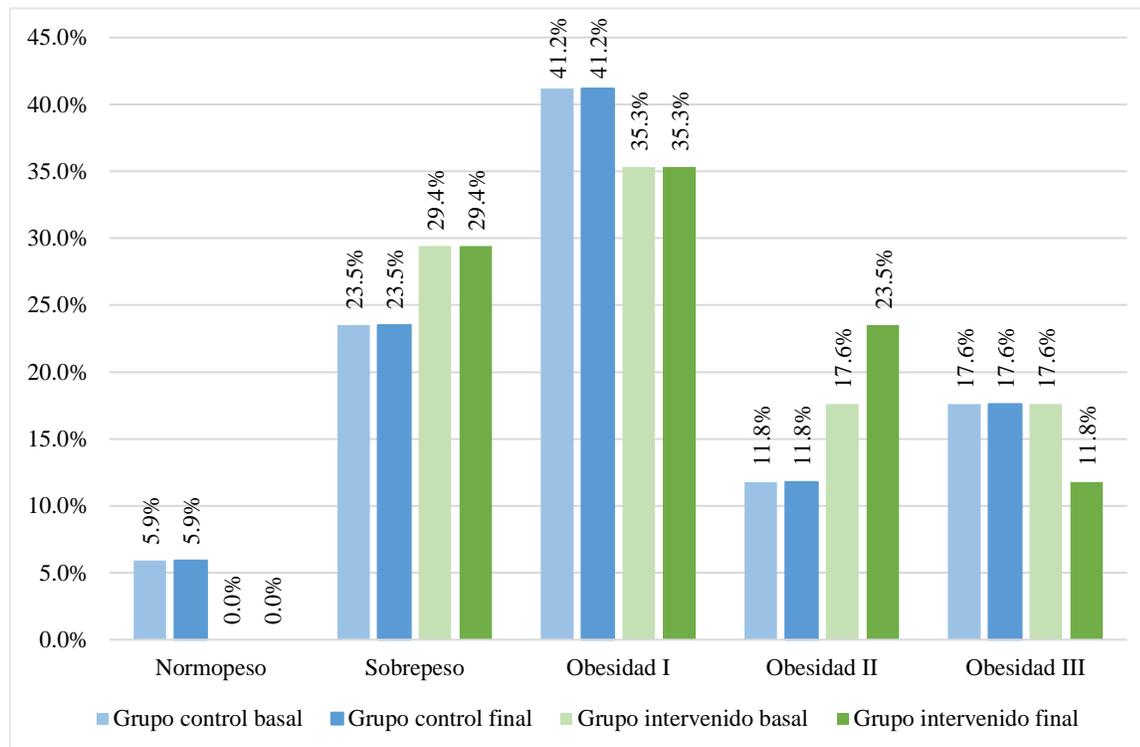
elevada. Sin embargo, en el grupo intervenido la CC final redujo a 98.4 cm (p25-27: 91.6-107.4 cm; r: 47.1) con una  $p < 0.05$ . Respecto a la grasa corporal basal observada para los grupos estuvo dada en kilogramos y porcentaje, el grupo control obtuvo 32.7 kg (p25-75: 29.5-44.9 kg; r: 47.3) y 44.6 % (p25-75: 40.3-50.9 %; r: 31.9), mientras que en el grupo intervenido fue de 37.4 kg (p25-75: 29.1-47.4 kg; r: 43.9) y 45.9 % (p25-75: 40.0-51.3 %; r: 29.3). La reducción en la grasa corporal fue relevante para el grupo intervenido, obteniendo una  $p < 0.05$  reportando 35.8 kg (p25-75: 28.2-45.9 kg; r: 42.30) y 44.7 % (p25-75: 38.9-51.2 %; r: 28.9). Finalmente, no se observaron cambios significativos en la masa libre de grasa ni en la masa músculo esquelética en ninguno de los dos grupos estudiados.

Tabla 9. Comparación de las variables antropométricas en los grupos control e intervenido

Variable	Grupo control Mdn (p25-75; r) n = 17			Grupo intervenido Mdn (p25-75; r) n = 17		
	Basal	Final	<i>p</i>	Basal	Final	<i>p</i>
Peso (kg)	82.2 (69.2-92.8; 57.5)	82.1 (69.4-92.8; 60.0)	0.098	<b>84.4 (75.6-99.1; 61.2)</b>	<b>84.7 (73.0-97.7; 54.70)</b>	<b>0.001</b>
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	32.4 (28.7-37.2; 25.5)	32.4 (29.1-37.1; 26.2)	1.630	<b>32.5 (29.8-37.2; 23.8)</b>	<b>32.3 (29.8-36.8; 22.3)</b>	<b>0.001</b>
CC (cm)	108.4 (95.0-116.0; 43.4)	109.2 (96.1-117.2; 36.2)	0.326	<b>109.2 (99.6-117.0;44.5)</b>	<b>98.4 (91.6-107.4; 47.1)</b>	<b>0.000</b>
Masa grasa corporal (kg)	32.7 (29.5-44.9; 47.3)	32.8 (29.0-46.1; 50.2)	0.628	<b>37.4 (29.1-47.4; 43.9)</b>	<b>35.8 (28.2-45.9; 42.30)</b>	<b>0.003</b>
Masa libre de grasa (kg)	46.3 (38.1-52.4; 22.30)	44.6 (38.1-52.9; 22.6)	0.477	45.0 (41.8-53.5; 41.1)	45.5 (42.9-52.7; 41.9)	0.116
Masa músculo esquelética (kg)	25.6 (20.6-29.2; 13.5)	24.7 (20.4- 29.5; 13.3)	0.674	24.7 (22.8-29.7; 25.1)	25.2 (23.2-29.1; 25.2)	0.333
Porcentaje de grasa corporal (%)	44.6 (40.3-50.9; 31.9)	44.7 (39.7-50.6; 32.6)	0.489	<b>45.9 (40.0-51.3; 29.3)</b>	<b>44.7 (38.9-51.2; 28.9)</b>	<b>0.006</b>

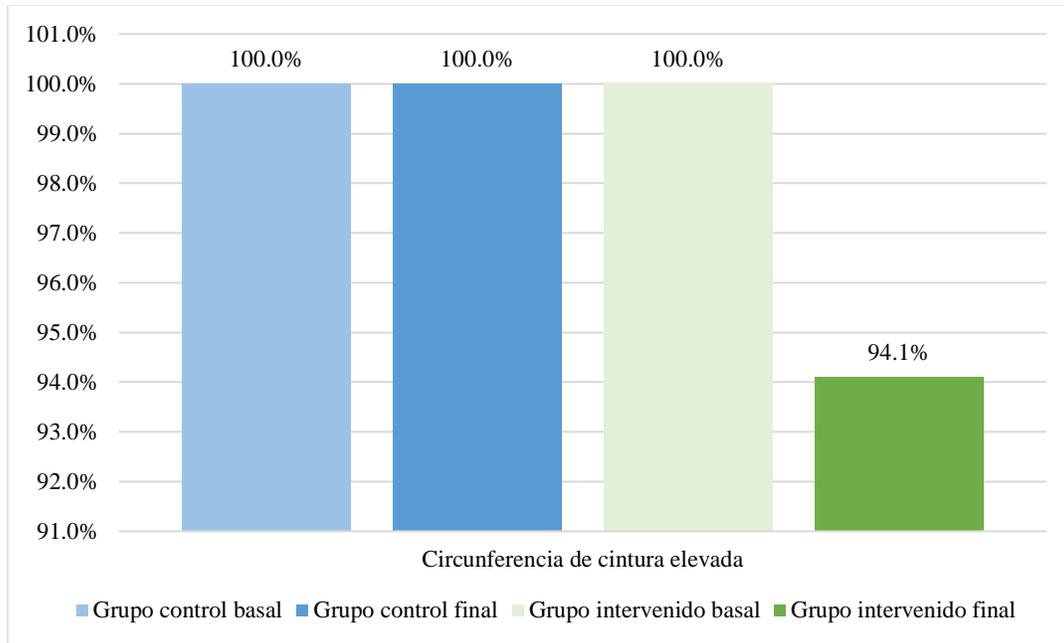
Significancia estadística se obtuvo mediante Wilcoxon ( $p < 0.05$ ). Mdn: Mediana; p25-p75: percentiles 25 y 75; r: rango. IMC: Índice de Masa Corporal. CC: Circunferencia de cintura.

En la Gráfica 5 se presentan los cambios porcentuales para el diagnóstico de IMC inicial y final entre los grupos. El grupo control muestra ausencia de cambios porcentuales en el diagnóstico por IMC. En contraste, el grupo intervenido muestra reducción en el diagnóstico de obesidad III (de 17.6 % a 11.8 %) y un aumento en el diagnóstico de obesidad II (de 17.6 % a 23.5 %), en comparación con el diagnóstico basal. Cabe destacar que no se observan cambios en el resto de los diagnósticos.



*Gráfica 5. Comparación porcentual del diagnóstico por índice de masa corporal inicial y final entre grupos control e intervenido.*

En la Gráfica 6 proporciona una comparación entre los grupos control e intervenido de la distribución porcentual de la CC elevada. Se resalta al grupo intervenido con una reducción en este porcentaje, disminuyendo del 100 % inicial al 94.1 %.



*Gráfica 6. Comparación porcentual de la circunferencia de cintura elevada inicial y final entre grupos.*

#### **7.4.2 Evaluación de los indicadores bioquímicos en las medidas basal y final**

En la Tabla 10, se muestran los indicadores bioquímicos, específicamente la glucosa, los triglicéridos y el colesterol HDL al inicio y al mes de seguimiento. La glucosa sanguínea obtuvo cambios significativos en el grupo control ( $p = 0.006$ ). En cuanto a los triglicéridos, se observaron cambios relevantes tanto en los grupos control e intervenido; la medida inicial para el grupo control fue de 189.0 mg/dL (p25-75: 106.0-296.0 mg/dL; r: 334.0), mientras que la medida final fue de 155.0 mg/dL (p25-75: 134.5-188.0 mg/dL; r:199.0) con una  $p = 0.039$ . Para el grupo intervenido fue de 178.0 mg/dL (p25-75: 123.0-232.5 mg/dL; r: 215.0) y la final fue de 141.0 mg/dL (p25-75: 113.0-157.0 mg/dL; r: 116.0), con una  $p = 0.002$ . En lo que respecta al colesterol HDL no se observaron diferencias relevantes.

Tabla 10. Comparación de los indicadores bioquímicos en los grupos control e intervenido.

Variable	Grupo control Mdn (p25-75; r) n = 17			Grupo intervenido Mdn (p25-75; r) n = 17		
	Basal	Final	<i>p</i>	Basal	Final	<i>p</i>
Glucosa sanguínea (mg/dL)	<b>109.0 (92.7-188.5; 171.0)</b>	<b>101.0 (92.5-110.0; 146.0)</b>	<b>0.006</b>	109.0 (97.5-121.5; 199.0)	104.0 (96.5-118.0; 139.0)	0.462
Triglicéridos (mg/dL)	<b>189.0 (106.0-296.0; 334.0)</b>	<b>155.0 (134.5-188.0; 199.0)</b>	<b>0.039</b>	<b>178.0 (123.0-232.5; 215.0)</b>	<b>141.0 (113.0-157.0; 116.0)</b>	<b>0.002</b>
Colesterol HDL (mg/dL)	40.0 (39.0-42.0; 7.0)	40.0 (39.0-40.5; 10.0)	0.303	39.0 (37.5-41.0;16)	40.0 (39.0-41.5; 6.0)	0.271

Significancia estadística se obtuvo mediante Wilcoxon ( $p < 0.05$ ). Mdn: Mediana; p25-p75: percentiles 25 y 75; r: rango. Colesterol HDL: colesterol de lipoproteínas de alta densidad.

### 7.4.3 Evaluación semanal de la presión arterial

Las Tablas 11 y 12 ofrecen una visión detallada de la evaluación semanal de la presión arterial como indicador clínico a lo largo del seguimiento de 1 mes. En la Tabla 11, se presenta la presión sistólica registrada, sin cambios significativos entre los grupos.

*Tabla 11. Comparación semanal de la presión arterial sistólica entre los grupos control e intervenido.*

Presión arterial sistólica	Grupo control (mm Hg) Mdn (p25-75; r) n = 17	Grupo intervenido (mm Hg) Mdn (p25-75; r) n = 17	<i>P</i>
Semana 1	118.0 (113.0-132.0; 82.0)	125.0 (113.0-137.5; 54.0)	0.667
Semana 2	120.0 (109.0-130.0; 62.0)	124.0 (111.5-131.0; 54.0)	0.581
Semana 3	124.0 (113.0-139.0; 58.0)	120.0 (111.5-136.0; 62.0)	0.850
Semana 4	125.0 (116.0-130.0; 75.0)	121.0 (111.0-131.0; 41.0)	0.569
Semana 5	124.0 (114.5-130.0; 46.0)	120.0 (110.0-127.0; 63.0)	0.408

*Significancia estadística se obtuvo mediante U Mann-Whitney ( $p < 0.05$ ). Mdn: Mediana; p25-p75: percentiles 25 y 75; r: Rango.*

En la Tabla 12 muestra la ausencia de cambios de relevancia estadística en la presión arterial diastólica entre los grupos.

*Tabla 12. Comparación semanal de la presión arterial diastólica entre los grupos control e intervenido.*

Presión arterial diastólica	Grupo control (mm Hg) Mdn (p25-75; r) n = 17	Grupo intervenido (mm Hg) Mdn (p25-75; r) n = 17	<i>P</i>
Semana 1	75.0 (69.5-84.0; 38.0)	81.0 (69.5-86.0; 33.0)	0.605
Semana 2	76.0 (64.5-83.5; 46.0)	74.0 (67.0-86.0; 39.0)	0.836
Semana 3	75.0 (69.0-85.0; 34.0)	73.0 (65.5-84.0; 32.0)	0.277
Semana 4	80.0 (68.5-87.5; 54.0)	78.0 (70.0-83.0; 31.0)	0.546
Semana 5	78.0 (67.0-81.5; 37.0)	73.0 (69.5-81.5; 46.0)	0.972

*Significancia estadística se obtuvo mediante U Mann-Whitney ( $p < 0.05$ ). Mdn: Mediana; p25-p75: percentiles 25 y 75; r: Rango.*

En la Tabla 13 se detallan los cambios de presión arterial en los grupos. Se observan cambios significativos en la presión arterial sistólica y diastólica en el grupo intervenido, evidenciado por una presión arterial sistólica inicial de 125.0 mm Hg (p25-75: 117.5-132.0 mm Hg; r: 68.0) y final de 120.0 mm Hg (p25-75: 110.0-127.0 mm Hg; r: 63.0) con una  $p = 0.023$ , en consecutivo se expone la presión arterial diastólica con una medida basal de 79.0 mm Hg (p25-75: 74.50-85.5 mm Hg; r: 57.0) y final de 73.0 mm Hg (p25-75: 69.5-81.5 mm Hg; r: 46.0) con una  $p = 0.021$ . Sin de dejar de lado al grupo control, el cual tuvo una significancia estadística en la presión diastólica con una medida basal de 81.0 mm Hg (p25-75: 70.5-87.5 mm Hg; r: 57.0) y final de 78.0 mm Hg (p25-75: 67.0-81.5 mm Hg; r: 37.0) con una  $p = 0.011$ .

Tabla 13. Cambios de la presión arterial sistólica y diastólica en los grupos control e intervenido.

Presión arterial	Grupo control Mdn (p25-75; r) n = 17			Grupo intervenido Mdn (p25-75; r) n = 17		
	Basal	Final	$p$	Basal	Final	$p$
Sistólica (mm Hg)	131.0 (108.0-135.5; 46.0)	124.0 (114.5-130.0; 46.0)	0.887	<b>125.0 (117.5-132.0; 68.0)</b>	<b>120.0 (110.0-127.0; 63.0)</b>	<b>0.023</b>
Diastólico (mm Hg)	<b>81.0 (70.5-87.5; 57.0)</b>	<b>78.0 (67.0-81.5; 37.0)</b>	<b>0.011</b>	<b>79.0 (74.50-85.5; 57.0)</b>	<b>73.0 (69.5-81.5; 46.0)</b>	<b>0.021</b>

Significancia estadística se obtuvo mediante Wilcoxon ( $p < 0.05$ ). Mdn: Mediana; p25-p75: percentiles 25 y 75; r: rango.

#### 7.4.4 Determinación de los cambios en los parámetros antropométricos, bioquímicos y presión arterial

Los cambios en los parámetros antropométricos, bioquímicos y presión arterial que se generan en 1 mes de intervención con el consumo de 21 g de CD en polvo en adultos con DMT2 y SM, se encuentran plasmados en la Tabla 14. Los datos se obtuvieron mediante la comparación de las medidas iniciales y finales, presentando valores negativos para los datos que aumentaron y valores positivos para los que disminuyeron. Al comparar el peso entre los grupos, se observó que el grupo control tuvo un aumento, mientras que el grupo intervenido mostró una reducción de 0.70 kg (p25: 0.25; p75: 2.30; r: 11.80) con un valor de  $p = 0.001$ . En cuanto el IMC, se observaron cambios relevantes, el grupo control aumentó  $-0.09 \text{ kg/m}^2$  (p25:  $-0.56$ ; p75:  $0.04$ ; r: 2.28) y el grupo intervenido mostró reducción de  $0.26 \text{ kg/m}^2$  (p25:  $0.09$ ; p75:  $0.95$ ; r: 4.84) en un mes de seguimiento. La evaluación de CC fue especialmente significativa, mostrando un aumento en el grupo control y una reducción en el grupo

intervenido, con un valor de  $p = 0.000003$ . Este dato está respaldado por la reducción en grasa corporal en los adultos que consumieron el CD con una  $p = 0.005$  para los kilogramos y  $p = 0.006$  para el porcentaje de grasa corporal. El resto de los parámetros no presentaron diferencias estadísticamente significativas.

*Tabla 14. Cambios en las variables antropométricas, bioquímicas y la presión arterial entre los grupos*

Variables	Grupo control				Grupo intervenido				<i>p</i>
	p25	Mediana	p75	r	p25	Mediana	p75	r	
<b>Peso (kg)</b>	<b>-1.30</b>	<b>-0.20</b>	<b>0.10</b>	<b>5.70</b>	<b>0.25</b>	<b>0.70</b>	<b>2.30</b>	<b>11.8</b>	<b>0.001</b>
<b>IMC (kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>-0.56</b>	<b>-0.09</b>	<b>0.04</b>	<b>2.28</b>	<b>0.09</b>	<b>0.26</b>	<b>0.95</b>	<b>4.84</b>	<b>0.001</b>
<b>C. Cintura (cm)</b>	<b>-3.20</b>	<b>-0.80</b>	<b>1.45</b>	<b>11.90</b>	<b>5.20</b>	<b>8.10</b>	<b>12.25</b>	<b>19.20</b>	<b>0.000</b>
<b>Masa grasa corporal (kg)</b>	<b>-1.05</b>	<b>-0.10</b>	<b>0.70</b>	<b>5.30</b>	<b>0.10</b>	<b>1.10</b>	<b>2.05</b>	<b>10.00</b>	<b>0.005</b>
Masa libre de grasa (kg)	-0.50	0.10	0.70	4.60	-1.10	-0.20	0.05	4.70	0.081
Masa músculo esquelética (kg)	-0.30	0.00	0.35	2.70	-0.55	-0.10	0.20	2.70	0.308
<b>Porcentaje de grasa corporal (%)</b>	<b>-0.95</b>	<b>0.00</b>	<b>0.75</b>	<b>3.90</b>	<b>0.00</b>	<b>1.40</b>	<b>2.10</b>	<b>3.80</b>	<b>0.006</b>
Glucosa sanguínea (mg/dL)	1.00	8.40	63.50	113.00	-4.50	3.00	14.00	222.00	0.152
Triglicéridos (mg/dL)	-8.00	44.00	97.00	267.00	3.50	30.00	56.00	247.70	0.630
Colesterol HDL (mg/dL)	-2.50	-2.00	1.50	13.00	-1.00	1.00	2.00	13.00	0.114
Presión arterial sistólica (mg/dL)	-12.50	4.00	10.50	44.00	2.00	5.00	15.50	51.00	0.317
Presión arterial diastólica (mg/dL)	3.50	5.00	9.00	52.00	2.00	7.00	11.00	39.00	0.959

*Significancia estadística se obtuvo mediante U Mann-Whitney ( $p < 0.05$ ). Mdn: Mediana; p25: percentil 25; p75: percentil 75; r: Rango. Los datos se obtuvieron mediante la diferencia de la medida inicial y la final, obteniendo valores negativos en los datos que aumentaron, mientras que las reducciones en los valores se muestran en números positivos.*

## 8. Discusión

El presente estudio evaluó el efecto del consumo del CD (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) en los indicadores antropométricos, bioquímicos y presión arterial en adultos con DMT2 y SM. El interés en el control de patologías crónicas ha ido en aumento, por lo que la incorporación de coadyuvantes adicionales al tratamiento farmacológico y nutricional convencionales se ha vuelto campo de interés. Es de relevancia mencionar que el OFI ofrece beneficios potenciales en la reducción de peso corporal, control en la glucosa y los lípidos sanguíneos. Sin embargo, el campo de estudio aún presenta limitaciones, una de ellas es la presencia de la DMT2, el SM y la combinación de ambas entidades. Por tanto, la investigación en esta área continúa siendo de gran interés, especialmente en relación con el manejo integral de los componentes del SM en adultos con DMT2, dado que la mayoría de los pacientes presentan ambas condiciones.

### 8.1 Propiedades fisicoquímicas del cladodio deshidratado (*Opuntia ficus-indica* L. Miller)

El cladodio es una fuente rica en fibra, reconocido por sus propiedades hipoglucemiantes e hipolipemiantes. El análisis de las propiedades fisicoquímicas reveló un color en tonalidad verde olivo. Este dato es similar a lo reportado en otros estudios quienes observaron una coloración semejante en su análisis del CD (124,126,153). El color del cladodio en polvo puede variar según el proceso de deshidratación utilizado, en el caso del CD por liofilizado tiende a mostrar una mayor luminosidad (114). La diferencia de color puede atribuirse a la susceptibilidad del tratamiento térmico de los pigmentos presentes en el cladodio como la clorofila, ya que este pigmento puede sufrir cambios químicos, como la liberación iones de magnesio, lo que transforma la clorofila a feofitina, dando así este color característico del CD (154). Aunque la coloración puede verse afectada por otros factores como la madurez del cladodio y el riego del nopal, se ha observado que los OFI tienden a tener un color más brillante y menos verde cuando no se riega adecuadamente (155). En cuanto al pH, el análisis reveló que la muestra de CD es ácida, resultado similar al obtenido en otros estudios (114,126,156–158).

Las propiedades de hidratación de la FD corresponden a la capacidad de hinchamiento (CH) y la capacidad de retención de agua (CRA). La CH representa el volumen máximo que puede ocupar una muestra al hidratarse, lo cual es el resultado de la absorción de agua causada por las fuerzas intermoleculares presentes (159). Esta capacidad está relacionada con la porosidad (160) y la viscosidad de la fibra dietética soluble (FDS) (67), lo que ocasiona enlentecimiento de la absorción de nutrientes en la mucosa intestinal, lo que a su vez reduce la glucosa posprandial e insulina en sangre

(161). El análisis del CD mostró un aumento en el volumen para esta capacidad. Diversos estudios han reportado un aumento del volumen en la CH favorable para el cladodio de *Opuntia Ficus Indica* (105,114,126,162–164). Estos estudios han mostrado una variedad de resultados, con una CH mínima de 5.6 mL/g (162) y una máxima de 24.83 mL/g (114), y representando una CH del 18 % (126). Esta diversidad en el resultado puede verse influenciada por la temperatura del deshidratado (105) y el tamaño de partícula empleados (164). La capacidad de CRA, por su parte, figura como la cantidad de agua retenida por la muestra mediante una fuerza externa como la centrifugación (165), y está vinculada con la capacidad de digestión y la velocidad del transporte a través del intestino, permitiendo heces más suaves y de rápida expulsión (67). Esta propiedad se encuentra relacionada con la fibra dietética insoluble (FDI) (161). La CRA del CD fue mayor en comparación con otros autores. Los resultados reportados en la literatura sobre la CRA de cladodio de OFI son diversos, con valores que oscilan entre 5 y 16 g/g (106,114,163,164), representando el 27.1 % de la CRA (126). Mientras que para el mucílago de OFI es aproximadamente 7.81 g/g (166). Chahdoura et al (106) reportaron una CRA de  $7.29 \pm 0.05$  g/g, mientras que el CD analizado obtuvo una CRA más alta. Esta variabilidad en los resultados puede deberse a las diferencias en el tipo de deshidratado, así como a las metodologías analíticas utilizadas en cada estudio. Cabe mencionar que el cladodio del presente estudio tiene mayor CH y CRA en comparación con las propiedades de otras fuentes vegetales de fibra dietética, como camote, frijoles negros (*Phaseolus vulgaris*), frijoles rojos (*P. vulgaris*), frijoles mungos (*Vigna radiata*) y plátanos verdes (167).

La capacidad de retención de glucosa (CRG) y la capacidad de retención de lípidos (CRL) muestran las propiedades funcionales de la FD. Esta capacidad de retención corresponde a la habilidad de la FD para adherirse a las moléculas de glucosa, lo cual disminuye su contacto con el tracto intestinal, y con ello, se retrasa la glucosa posprandial (69). La FD del cladodio en estudio indicó una capacidad considerable de adherencia a la glucosa. Esto se debe a la unión de la grasa mediante la cadena lateral no polar de las proteínas (168). Además, está vinculada con las características hidrofóbicas y las propiedades de emulsión de las fibras (169). En el caso del CD analizado, la CRL es superior a lo reportado en otros estudios sobre cladodios, como lo reportado por Chaloulos et al (106) quienes obtuvieron un valor de 1.28 g/g, Sepúlveda et al (163) informaron un valor de 1.34 g/g y Bayar et al (166) quienes analizaron el mucílago, observaron un valor de 1.34 g/g. Sin embargo, los resultados del análisis del CD concuerdan con López-Cervantes et al (169) quienes obtuvieron un valor homogéneo a diferentes temperaturas de deshidratado (60, 70 y 80°C). La temperatura de deshidratado, el tamaño de partícula, la variedad y la edad del cladodio puede afectar la CRL de

cladodios de OFI (105,169). La CRL de las fibras dietéticas tiene relevancia en el control de colesterol sanguíneo, ya que esta propiedad influye en la absorción o unión del colesterol y los ácidos biliares durante el proceso de digestión (170,171).

## **8.2 Consumo de fibra de la dieta habitual de los adultos con diabetes mellitus tipo 2 y síndrome metabólico**

En general, la población mostró un bajo consumo de FD proveniente de la dieta habitual, reflejando similitud con el consumo nacional (16 a 18 g/día) (77) y lo reportado en otra población de adultos con DMT2, cuyo consumo promedio fue de  $18.8 \pm 5.9$  g/día (172). Este bajo consumo podría estar relacionado con los cambios en la dieta tradicional mexicana, caracterizados por un aumento en el consumo de alimentos procesados, ricos en azúcares refinados y, principalmente, bajos en fibra (74). Aunque la incorporación del CD mostró un aumento significativo en el consumo de fibra en el grupo intervenido, no se logró cubrir el 100 % de la recomendación diaria mínima de 25 g que sugiere la OMS (78). Además, se ha reportado que una ingesta diaria de 35 g de FD reduce el riesgo de mortalidad prematura porque mantiene control en glucosa, lípidos, peso corporal e inflamación en personas con DMT2 (87,173). El patrón alimentario es fundamental en el control del adulto con DMT2 y SM, ya que puede fomentar el consumo adecuado de fibra proveniente de la dieta habitual. El patrón alimentario considera la totalidad de los alimentos y bebidas consumidos en la dieta habitual, y enfatiza el consumo de las verduras sin almidón, desaconseja el consumo de los azúcares añadidos y granos refinados, y promueve el consumo de alimentos integrales en lugar de alimentos altamente procesados en la medida de lo posible (32). El cladodio contiene una cantidad adecuada de fibra con una proporción mayor de fibra insoluble, manteniendo una relación de 6:1 (114). Aunque el aumento de la ingesta de fibra se ha relacionado con aumento en la sensación de saciedad, esto se debe a que esta puede retrasar el vaciamiento gástrico y aumentar la distensión abdominal (174), los resultados del estudio no mostraron cambios significativos en el consumo de calorías entre los grupos. Este hallazgo sugiere que, en este caso particular, el aumento de la fibra por parte del CD no alteró la ingesta calórica.

### **8.3 Efecto del consumo de cladodio deshidratado (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) en adultos con diabetes mellitus tipo 2 y síndrome metabólico**

#### **8.3.1 Efecto del consumo de cladodio deshidratado en los indicadores antropométricos**

La inclusión de CD en la dieta habitual mostró un efecto positivo en la reducción de peso corporal, IMC, circunferencia de cintura y masa grasa corporal sugiriendo que su inclusión tiene un efecto positivo en la composición corporal de los adultos con DMT2 y SM.

Se observaron reducciones significativas para el peso corporal e IMC, destacando la reducción en el diagnóstico de obesidad grado III. Los hallazgos del estudio concuerdan con investigaciones anteriores, tal es el caso de Grube et al (175) quienes evidenciaron una reducción significativa en el peso corporal y el IMC en sujetos que, tras una pérdida de peso  $\geq 3\%$  previa al estudio, disminuyeron el peso corporal ( $-0.62 \pm 1.55$  kg). Así mismo, Corona-Cervantes et al (176) reportaron reducción en peso corporal ( $-2.1\%$ ) e IMC ( $-2.8\%$ ) en mujeres con obesidad. Sin embargo, otros autores no reportaron cambios de relevancia en estos parámetros, ejemplo de ello son los resultados del estudio de Giglio et al (121) quienes no obtuvieron cambios en estas variables en 1 mes de seguimiento al incorporar 500g de pasta adicionada con extracto de cladodio al 3%. De manera similar, Godard et al (177) tampoco observaron variaciones en el peso corporal a lo largo de 16 semanas de consumo de 400 mg de una formulación de extracto de cladodio de *Opuntia ficus-indica* al 75% y extracto de piel de fruta al 25%. La diferencia de los resultados de los estudios puede deberse a la dosis y la formulación que se empleó en el cladodio, así como las características basales de los participantes y el tiempo de exposición. Sin embargo, se debe de mencionar que el peso corporal y el IMC son indicadores que carecen de validez clínica cuando no son acompañados de otros parámetros antropométricos que se relacionen directamente con la grasa corporal (178), no obstante, una reducción del peso corporal atribuible a la grasa corporal, ha demostrado mejoras metabólicas en DMT2 (179).

De igual manera, se reportaron reducciones en la CC, que es un criterio diagnóstico clave para el SM. Este hallazgo se asemeja con los resultados de Linarès et al (122) quienes obtuvieron reducción en 39% el diagnóstico de SM en mujeres tras el consumo de CD, indicando efectividad en los componentes del síndrome principalmente para la CC. Además, diversos autores han documentado reducción de peso corporal y CC tanto para aquellos con intervenciones de cladodio (121–123) y fibra dietética (81,85) en poblaciones adultas con DMT2 o SM. Los resultados del estudio muestran, que al incorporar el CD en la dieta habitual se redujo el peso lo cual se atribuye a la disminución

meramente de masa grasa corporal, lo que puede contribuir al óptimo control metabólico de ambas patologías. La masa grasa corporal es un tejido sensible a la insulina, este produce adipocinas que pueden afectar la acción de la insulina e incrementar el riesgo de enfermedad cardiovascular (52,53), por lo que la reducción concierne a una mejora metabólica. La acción de cladodio de OFI en estudios preclínicos con ratas obesas alimentadas con dietas ricas en grasas, observaron efectos benéficos en la función prebiótica lo que contribuyó a mejorar la permeabilidad intestinal y la regulación del microbioma intestinal (183), así como reducción en el peso corporal, peso del tejido adiposo (184) y peso de la grasa abdominal (185). En síntesis, la reducción de la masa grasa corporal total y el peso podrían contribuir al óptimo control metabólico.

Continuando con la evaluación antropométrica, no se observaron cambios en la masa libre de grasa y la masa músculo esquelética en ambos grupos. Este resultado coincide con Godard et al (177), quienes tampoco detectaron cambios en masa libre de grasa. Este suceso podría explicarse por la ausencia de entrenamiento de resistencia en la intervención, dado que se este tipo de entrenamiento se ha asociado con el aumento y mantenimiento de la masa libre de grasa y la masa músculo esquelética en estos pacientes (186,187).

### **8.3.2 Efecto del consumo de cladodio deshidratado en los indicadores bioquímicos**

Los indicadores bioquímicos mostraron una reducción significativa en los niveles de glucosa y triglicéridos, mientras que el colesterol HDL no presentó variaciones relevantes. Los hallazgos sugieren efecto positivo del consumo de cladodio en la regulación de lípidos en adultos con DMT2 y SM.

El cladodio y la FD han mostrado efectos benéficos en el control de la glucosa sanguínea, evidenciando su papel en el manejo de ambas entidades patológicas. La FD retrasa la absorción de hidratos de carbono lo que reduce la glucosa posprandial al aumentar la viscosidad intestinal (64,79). Diversas fuentes de fibra como avena y *psyllium*, han evidenciado efectos positivos en la regulación de glucosa (81,82,86,87), y la inclusión entre 3.5 a 16.5 g de FD en la dieta habitual se ha asociado con mejoras en los niveles de glucosa (88). De manera similar, el cladodio ha mostrado efectos positivos en la reducción de los niveles de glucosa en poblaciones con DMT2 y SM (120,121). Se ha propuesto que la fibra del cladodio se adhiere a la glucosa, siendo capaz de reducir el contacto con el tracto intestinal y, con ello, los picos de glucosa posprandial (69,168). Aunque los mecanismos exactos por los cuales el cladodio ejerce efectos hipoglucemiantes aún no se han dilucidado por completo, existen diversas teorías. Se ha propuesto que el cladodio activa la vía AMPK (proteína

cinasa activada por AMP), lo que estimula el transporte de GLUT4 a la membrana. Del mismo modo, se sugiere que el cladodio ejerce un efecto benéfico en la microbiota intestinal y los picos posprandiales de glucosa. Finalmente, se ha descrito que puede suprimir el efecto inflamatorio de las dietas altas en lípidos al inhibir la resistencia a la insulina y la tolerancia a la glucosa inducida por lipopolisacáridos (188). Sin embargo, en cuanto a lo reportado en este estudio, los efectos significativos en la reducción de glucosa se observaron meramente en el grupo control, lo que podría atribuirse a factores externos no controlados como el tiempo del diagnóstico, inicio del tratamiento farmacológico y la adherencia a este. El hecho de que el grupo intervenido no haya mostrado efectos significativos sugiere que se requiere mayor tiempo y seguimiento para observar cambios en los niveles de la glucosa. Además, la glucosa puede verse afectada por factores inmediatos como cambios en la alimentación, la actividad física y otros aspectos no considerados en este estudio como el asesoramiento sobre conductas de salud y atención psicosocial (33). Se ha evidenciado que una ingesta de fibra superior a 35 g al día confiere una mejora metabólica en individuos con diabetes (95). No obstante, en esta población, el consumo de fibra es insuficiente, si bien un porcentaje de la población alcanzó la recomendación de 25 g de FD al día con apoyo del CD, la mayoría quedó muy por debajo de esta cantidad, lo que pudo haber limitado el control metabólico de la glucosa.

En relación a los triglicéridos, se observaron reducciones significativas tanto en el grupo control como en el grupo intervenido, siendo la mejoría más relevante en el grupo con CD. Cabe resaltar, la FD del CD ha demostrado tener efectos beneficiosos en la regulación de perfil lipídico, ya que mejora la absorción de grasas a nivel intestinal y limita su contacto con el intestino, esta propiedad influye en la absorción y unión del colesterol y los ácidos biliares durante la digestión (170,171). Estudios clínicos han evidenciado mejoras favorables en el perfil lipídico (119,176). En este contexto, Gliglio et al (121) obtuvieron una reducción del 11.3% en triglicéridos tras incorporar cladodio en una pasta. De manera similar, Muñoz et al (123) reportaron disminución del 15.3% en el grupo intervenido mediante la administración de 1g de cladodio en cápsulas. Además, Linarès et al (122) sugieren que la inclusión de cladodio en la dieta habitual en adultos con SM resulta una reducción potencial de los triglicéridos. En la presente investigación, los hallazgos conciernen una mejora en niveles de triglicéridos en 1 mes de intervención en adultos con DMT2 y SM. Esta reducción momentánea podría implicar reducción en el riesgo de complicaciones cardiovasculares, dado que se ha evidenciado que la reducción perfil de lípidos mejora la supervivencia en esta población (189,190).

Por otro lado, el colesterol HDL no mostró diferencias significativas en ninguno de los grupos. Los resultados obtenidos contrastan con los reportados por Linarès et al (122) quienes observaron un aumento de colesterol HDL ante la ingesta de 1.6g cladodio, aunque el tiempo de intervención fue mayor. La falta de efecto en el HDL podría deberse al corto tiempo de intervención, lo que limita el potencial de observar cambios en este marcador. Conjuntamente, los posibles mecanismos involucrados con los efectos benéficos del cladodio de *Opuntia* en la regulación del perfil lipídico parecen estar relacionados con la reducción del estrés oxidativo y la modulación de los marcadores inflamatorios (191,192).

### **8.3.3 Efecto del consumo de cladodio deshidratado en la presión arterial**

El indicador clínico analizado fue la presión arterial, se observó reducción significativa en la población estudiada. La incorporación de CD en la dieta contribuyó a una evidente reducción tanto en la presión arterial sistólica como en la diastólica, lo que evidencia un efecto favorable en la regulación de este indicador. Aunque los mecanismos exactos por los cuales el cladodio y la FD influyen en la reducción de la presión arterial no están completamente claros, se han propuesto algunos mecanismos. Se menciona que la fermentación de la FD produce ácidos grasos de cadena corta (AGCC) como el propionato y butirato, los cuales están asociados con la reducción de la presión arterial. Los AGCC pueden tener efectos vasodilatadores mediante la relajación de las paredes de los vasos sanguíneos o mediante la modulación del sistema renina-angiotensina-aldosterona (193). El cladodio, por su parte, se ha evidenciado su efecto hipertensivo. El estudio preclínico de Bakour et al, demostró que aumenta el volumen de orina y el aclaramiento de la creatinina, cuyo efecto fue semejante a la furosemida, e inclusive tuvo un incremento en la excreción de potasio y sodio sin ocasionar hipocalcemia significativa, además de aumentar la osmolaridad urinaria sin cambios en la osmolaridad plasmática (194). Sin embargo, el mecanismo específico sigue sin ser dilucidado, los autores sugieren que el efecto diurético puede estar relacionado con un potencial efecto vasodilatador, atribuido a los flavonoides presentes en el cladodio, que actúan tanto en la excreción de electrolitos como en la mejora de la elasticidad vascular. Adicionalmente, el efecto hipolipemiante propio de la FD mejora la elasticidad de los vasos sanguíneos, y una mayor ingesta de fibra se ha asociado con un aumento en los niveles de óxido nítrico, lo cual podría favorecer la sensibilidad a la insulina y contribuir a una regulación positiva en la presión arterial (195). Finalmente, se ha documentado que el uso de OFI influye en la reducción de la presión arterial en intervenciones humanas, teniendo como efecto adverso intolerancia gástrica (196).

## 9. Conclusiones

El cladodio posee características fisicoquímicas distintivas que favorecen sus efectos hipoglucemiantes e hipolipemiantes. Estas propiedades incluyen su capacidad para retener agua, glucosa y lípidos, así como su notable capacidad de hinchamiento. Por lo tanto, el consumo de fibra proveniente del cladodio, ya sea como suplemento o incorporado a la dieta, podría contribuir al control de los componentes del SM en adultos con DMT2.

El consumo de fibra dietética es una gran área de oportunidad para el control de la DMT2 y los componentes del SM. Es fundamental una ingesta adecuada de FD mediante la inclusión de alimentos ricos en fibra como frutas, verduras y cereales integrales, así como seguir un patrón alimentario. En este sentido, el CD es una fuente valiosa de fibra que contribuye significativamente a cubrir gran parte de las necesidades de FD en el adulto con DMT2 y SM. Promover el consumo de cladodio, junto con la adopción de un patrón alimentario, puede ser una estrategia efectiva para mejorar la ingesta de fibra y, por ende, el control de estas condiciones.

La inclusión de 21 g de CD en la dieta habitual mostró efectos benéficos en la composición corporal de los adultos con DMT2 y SM, evidenciando reducciones significativas en peso corporal, IMC, circunferencia de cintura y masa grasa corporal. Esto sugiere que el cladodio puede contribuir de manera efectiva al manejo adecuado de la composición corporal, enfatizando en la reducción en la grasa corporal, lo que conlleva a menor riesgo cardiovascular y con ello mejoras metabólicas.

La inclusión de CD en adultos con DMT2 y SM no ejerció efectos en la glucosa sanguínea en un mes de intervención, por lo que, en este caso en particular, el efecto hipoglucemiante del cladodio podría verse afectado por factores externos no considerados en el estudio, la cantidad total de FD consumida, y el tiempo de intervención. Mientras que el consumo del cladodio disminuyó los triglicéridos, lo que sugiere una mejora metabólica para el control del perfil de lípidos en adultos con ambas patologías. No obstante, se requieren estudios para comprender su efecto a largo plazo sobre otros parámetros bioquímicos como la glucosa y el colesterol HDL.

La incorporación del cladodio en la dieta habitual confirió una mejora en la presión arterial, teniendo efectos benéficos tanto en la presión sistólica como la diastólica ante 1 mes de intervención. Este hallazgo sugiere que el CD podría fungir como coadyuvante en el manejo de los adultos con DMT2 y SM.

## **Recomendaciones**

La incorporación de cladodio, ya sea como alimento o suplemento, en la dieta puede aumentar significativamente la ingesta de fibra, aunque por sí solo no es suficiente para alcanzar los niveles recomendados en la población. Se observaron efectos significativos en la reducción para peso corporal, triglicéridos, y presión arterial. No obstante, los cambios reportados solo fueron significativos para peso corporal, masa grasa corporal y circunferencia de cintura. Los resultados subrayan la importancia de seguir explorando y promoviendo fuentes accesibles de FD para mejorar la salud de las personas con DMT2. Futuros estudios deberán enfocarse en estrategias para alcanzar niveles óptimos de ingesta de fibra y evaluar los efectos a largo plazo de intervenciones con CD.

## **Limitaciones de estudio**

A pesar de las fortalezas del estudio, se presentaron algunas limitaciones como:

1. La duración del seguimiento, ya que esta fue relativamente corta, lo que impide evaluar los efectos de CD a largo plazo.
2. La adherencia al tratamiento farmacológico, lo que podría haber influido en los resultados.
3. El sexo, pues existió predominio del sexo femenino en la población, aunque en ambos grupos existió homogeneidad en el número de varones, podría limitar la generalización de los resultados. Esto impidió la posibilidad de dividir los grupos en subgrupos basados en el sexo.

## 10. Referencias

1. International Diabetes Federation. IDF Diabetes Atlas 10th edition 537 million people worldwide have diabetes [Internet]. Brussels, Belgium; 2021. Available from: [www.diabetesatlas.org](http://www.diabetesatlas.org)
2. Shamah-Levy T, Romero-Martínez M, Barrientos-Gutiérrez T, Cuevas-Nasu L, Bautista-Arredondo S, Colchero MA, et al. Instituto Nacional de Salud Pública. Cuernavaca, México; 2022 [cited 2024 Jan 17]. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2021 sobre Covid-19. Resultados nacionales. Available from: [https://spmediciones.mx/libro/encuesta-nacional-de-salud-y-nutricion-2021-sobre-covid-19-resultados-nacionales\\_142740/](https://spmediciones.mx/libro/encuesta-nacional-de-salud-y-nutricion-2021-sobre-covid-19-resultados-nacionales_142740/)
3. Escamilla-Nuñez MC, Castro-Porras L, Romero-Martínez M, Zárate-Rojas E, Rojas-Martínez R. Detección, diagnóstico previo y tratamiento de enfermedades crónicas no transmisibles en adultos mexicanos. *Ensanut 2022. Salud Publica Mex.* 2023;65.
4. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018. Instituto Nacional de Salud Pública. 2020 [cited 2023 May 24]. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018; trabajo conjunto de INSP e INEGI. Available from: <https://insp.mx/avisos/5206-primeros-resultados-ensanut-2018.html>
5. Instituto Nacional de Estadística G e I. INEGI. 2023 [cited 2023 Apr 24]. Estadísticas de defunciones registradas. Available from: <https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2023/EDR/EDR2022.pdf>
6. Salas-Zapata L, Palacio-Mejía LS, Aracena-Genao B, Hernández-Ávila JE, Nieto-López ES. Costos directos de las hospitalizaciones por diabetes mellitus en el Instituto Mexicano del Seguro Social. *Gac Sanit.* 2018 May 1;32(3):209–15.
7. Pérez-Lozano DL, Camarillo-Nava VM, Juárez-Zepeda TE, Andrade-Pineda JE, Pérez-López D, Reyes-Pacheco JA, et al. Costo-efectividad del tratamiento de diabetes en México. *Rev Med Inst Mex Seguro Soc* [Internet]. 2023;61(2):172–80. Available from: <http://revistamedica.imss.gob.mx/>
8. Ovalle-Luna OD, Jiménez-Martínez IA, Rascón-Pacheco RA, Gómez-Díaz RA, Valdez-González AL, Gamiochipi-Cano M, et al. Prevalencia de complicaciones de la diabetes y comorbilidades asociadas en medicina familiar del instituto Mexicano del seguro social. *Gac Med Mex.* 2019 Jan 1;155(1):30–8.
9. Ceriello A, Prattichizzo F. Variability of risk factors and diabetes complications. *Cardiovasc Diabetol.* 2021 Dec 1;20(1).
10. CIE-11 para estadísticas de mortalidad y morbilidad. Who. 2023 [cited 2023 Apr 18]. Diabetes mellitus. Available from: <https://icd.who.int/browse11/l-m/es#/http%3a%2f%2fid.who.int%2fid%2fentity%2f465177735>
11. American Diabetes Association Professional Practice Committee. 2. Diagnosis and Classification of Diabetes: Standards of Care in Diabetes—2024. *Diabetes Care.* 2024 Jan 1;47:S20–42.

12. Hoogwerf BJ. Type of diabetes mellitus: Does it matter to the clinician? *Cleve Clin J Med*. 2020 Feb 1;87(2):100–8.
13. Genuth SM, Palmer JP, Nathan DM, Cowie CC, Casagrande SS, Menke A, et al. Chapter 1: Classification and Diagnosis of Diabetes. In: Cowie CC, Casagrande SS, Menke A et al. editors., editors. 3rd ed. Bethesda (MD): National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases ; 2018 [cited 2023 Aug 3]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK568014/>
14. Sushmita Thota, Aelia Akbar. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. 2023 [cited 2024 Mar 29]. Insulin. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK560688/>
15. Harper ME, Ullricht A, Saunders GF. Localization of the human insulin gene to the distal end of the short arm of chromosome 11 (gene mapping/in situ hybridization/recombinant DNA). *Genetics*. 1981;78(7):4458–60.
16. Atkinson MA, Campbell-Thompson M, Kusmartseva I, Kaestner KH. Organisation of the human pancreas in health and in diabetes. *Diabetologia*. 2020 Oct 1;63(10):1966–73.
17. Petersen MC, Shulman GI. Mechanisms of Insulin Action and Insulin Resistance. *Physiol Rev* [Internet]. 2018;98:2133–223. Available from: [www.prv.org](http://www.prv.org)
18. Christensen AA, Gannon M. The Beta Cell in Type 2 Diabetes. *Curr Diab Rep*. 2019 Sep 1;19(9).
19. Roden M, Shulman GI. The integrative biology of type 2 diabetes. *Nature*. 2019 Dec 5;576(7785):51–60.
20. Galicia-Garcia U, Benito-Vicente A, Jebari S, Larrea-Sebal A, Siddiqi H, Uribe KB, et al. Pathophysiology of type 2 diabetes mellitus. *Int J Mol Sci*. 2020 Sep 1;21(17):1–34.
21. Cole JB, Florez JC. Genetics of diabetes mellitus and diabetes complications. *Nat Rev Nephrol*. 2020 Jul 1;16(7):377–90.
22. Schiborn C, Schulze MB. Precision prognostics for the development of complications in diabetes. *Diabetologia* [Internet]. 2022;65:1867–82. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00125-022-05731-4>
23. Iatcu CO, Steen A, Covasa M. Gut microbiota and complications of type-2 diabetes. Vol. 14, *Nutrients*. 2022.
24. Crasto W, Patel V, Davies MJ, Khunti K. Prevention of Microvascular Complications of Diabetes. *Endocrinol Metab Clin North Am*. 2021 Sep 1;50(3):431–55.
25. Demir S, Nawroth PP, Herzig S, Ekim Üstünel B. Emerging Targets in Type 2 Diabetes and Diabetic Complications. *Advanced Science*. 2021 Sep 1;8(18).
26. Tonyan ZN, Nasykhova YA, Danilova MM, Glotov AS. Genetics of macrovascular complications in type 2 diabetes. *World J Diabetes*. 2021 Aug 15;12(8):1200–19.

27. Guan H, Tian J, Wang Y, Niu P, Zhang Y, Zhang Y, et al. Advances in secondary prevention mechanisms of macrovascular complications in type 2 diabetes mellitus patients: a comprehensive review. *Eur J Med Res*. 2024 Dec 1;29(1).
28. American Diabetes Association Professional Practice Committee. 9. Pharmacologic Approaches to Glycemic Treatment: Standards of Care in Diabetes—2024. *Diabetes Care*. 2024 Jan 1;47:S158–78.
29. Guía de Evidencias y Recomendaciones: Guía de Práctica Clínica. Diagnóstico y Tratamiento Farmacológico de la Diabetes Mellitus Tipo 2 en el Primer Nivel de Atención [Internet]. Instituto Mexicano del Seguro Social, editor. México; 2018. Available from: <http://imss.gob.mx/profesionales-salud/gpc>
30. Aschner, Carlos A. Aguilar Salinas P. Guías ALAD sobre el Diagnóstico, Control y Tratamiento de la Diabetes Mellitus Tipo 2. *Encyclopedia of Cancer*. 2019;
31. Zhou X, Shrestha SS, Shao H, Zhang P. Factors contributing to the rising national cost of glucoselowering medicines for diabetes during 2005–2007 and 2015–2017. *Diabetes Care*. 2020;43(10).
32. Evert AB, Dennison M, Gardner CD, Timothy Garvey W, Karen Lau KH, MacLeod J, et al. Nutrition therapy for adults with diabetes or prediabetes: A consensus report. *Diabetes Care*. 2019;42(5):731–54.
33. American Diabetes Association Professional Practice Committee. 5. Facilitating Positive Health Behaviors and Well-being to Improve Health Outcomes: Standards of Care in Diabetes—2024. *Diabetes Care*. 2024 Jan 1;47:S77–110.
34. American Diabetes Association Professional Practice Committee. 8. Obesity and Weight Management for the Prevention and Treatment of Type 2 Diabetes: Standards of Care in Diabetes—2024. *Diabetes Care*. 2024 Jan 1;47:S145–57.
35. Riobó Serván P. Pautas dietética en la diabetes y en la obesidad. *Nutr Hosp*. 2018 Sep 1;35(Spe4):109–15.
36. U.S. Department of Agriculture and U.S. Department of Health and Human Services. Dietary Guidelines for Americans Make Every Bite Count With the Dietary Guidelines [Internet]. [cited 2023 Aug 8]. Available from: [https://www.dietaryguidelines.gov/sites/default/files/2020-12/Dietary\\_Guidelines\\_for\\_Americans\\_2020-2025.pdf](https://www.dietaryguidelines.gov/sites/default/files/2020-12/Dietary_Guidelines_for_Americans_2020-2025.pdf)
37. American Diabetes Association Professional Practice Committee. 6. Glycemic Goals and Hypoglycemia: Standards of Care in Diabetes—2024. *Diabetes Care*. 2024 Jan 1;47:S111–25.
38. Medina-Chávez JH, Vázquez-Parrodi M, Santoyo-Gómez DL, Azuela-Antuna J, Garnica-Cuellar JC, Herrera-Landero A, et al. Protocolo de Atención Integral: complicaciones crónicas de diabetes mellitus 2. *Rev Med Inst Mex Seguro Soc* [Internet]. 2022;60(Supl 1):S19–33. Available from: <http://revistamedica.imss.gob.mx/>

39. Ahmed M, Kumari N, Mirgani Z, Saeed A, Ramadan A, Ahmed MH, et al. Metabolic syndrome; Definition, Pathogenesis, Elements, and the Effects of medicinal plants on it's elements. *J Diabetes Metab Disord*. 2022 Jun 1;21(1):1011–22.
40. World Health Organization. Definition, diagnosis and classification of diabetes mellitus and its complications [Internet]. 1999 [cited 2023 Dec 7]. Available from: <https://www.paho.org/en/documents/who-definition-diagnosis-and-classification-diabetes-mellitus-and-its-complications-1999>
41. Balkau B, Charles MA. Comment on the provisional report from the WHO consultation. European Group for the Study of Insulin Resistance (EGIR). *Diabet Med*. 1999;16(5).
42. Cleeman JI. Executive summary of the third report of the National Cholesterol Education Program (NCEP) expert panel on detection, evaluation, and treatment of high blood cholesterol in adults (adult treatment panel III). *J Am Med Assoc*. 2001;285(19).
43. Bloomgarden ZT. American Association of Clinical Endocrinologists (AACE) consensus conference on the insulin resistance syndrome: 25-26 August 2002, Washington, DC. In: *Diabetes Care*. 2003.
44. Grundy SM, Cleeman JI, Daniels SR, Donato KA, Eckel RH, Franklin BA, et al. Diagnosis and management of the metabolic syndrome: An American Heart Association/National Heart, Lung, and Blood Institute scientific statement. Vol. 112, *Circulation*. 2005.
45. International Diabetes Federation. The IDF consensus worldwide definition of the metabolic syndrome [Internet]. 2006 [cited 2022 Jun 19]. Available from: <https://idf.org/media/uploads/2023/05/attachments-30.pdf>
46. Secretaria de Salud. Norma Oficial Mexicana NOM-043-SSA2-2012, Servicios básicos de salud. Promoción y educación para la salud en materia alimentaria. Criterios para brindar orientación. *Diario Oficial de la Federación*. 2013;24(1).
47. Regufe VMG, Pinto CMCB, Perez PMVHC. Metabolic syndrome in type 2 diabetic patients: a review of current evidence. *Porto Biomed J*. 2020;5(6).
48. Htay T, Soe K, Lopez-Perez A, Doan AHA, Romagosa MA, Aung KK. Mortality and Cardiovascular Disease in Type 1 and Type 2 Diabetes. Vol. 21, *Current Cardiology Reports*. 2019.
49. Chobot A, Górowska-Kowolik K, Sokołowska M, Jarosz-Chobot P. Obesity and diabetes— Not only a simple link between two epidemics. Vol. 34, *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*. 2018.
50. Fahed G, Aoun L, Zerdan MB, Allam S, Zerdan MB, Bouferraa Y, et al. Metabolic Syndrome: Updates on Pathophysiology and Management in 2021. Vol. 23, *International Journal of Molecular Sciences*. 2022.
51. Sauder KA, Ritchie ND. Reducing intergenerational obesity and diabetes risk. Vol. 64, *Diabetologia*. 2021.

52. Sherling DH, Perumareddi P, Hennekens CH. Metabolic Syndrome: Clinical and Policy Implications of the New Silent Killer. Vol. 22, *Journal of Cardiovascular Pharmacology and Therapeutics*. 2017.
53. Litwin M, Kułaga Z. Obesity, metabolic syndrome, and primary hypertension. *Pediatric Nephrology*. 2021;36(4).
54. Hudish LI, Reusch JEB, Sussel L.  $\beta$  Cell dysfunction during progression of metabolic syndrome to type 2 diabetes. *Journal of Clinical Investigation*. 2019;129(10).
55. Mancusi C, Izzo R, di Gioia G, Losi MA, Barbato E, Morisco C. Insulin Resistance the Hinge Between Hypertension and Type 2 Diabetes. Vol. 27, *High Blood Pressure and Cardiovascular Prevention*. 2020.
56. Rochlani Y, Pothineni NV, Kovelamudi S, Mehta JL. Metabolic syndrome: Pathophysiology, management, and modulation by natural compounds. Vol. 11, *Therapeutic Advances in Cardiovascular Disease*. 2017.
57. Javeed N, Matveyenko A V. Circadian etiology of type 2 diabetes mellitus. Vol. 33, *Physiology*. 2018.
58. Laakso M. Biomarkers for type 2 diabetes. Vol. 27, *Molecular Metabolism*. 2019.
59. Halim M, Halim A. The effects of inflammation, aging and oxidative stress on the pathogenesis of diabetes mellitus (type 2 diabetes). Vol. 13, *Diabetes and Metabolic Syndrome: Clinical Research and Reviews*. 2019.
60. Howlett JF, Betteridge VA, Champ M, Craig SAS, Meheust A, Jones JM. The definition of dietary fiber - Discussions at the Ninth Vahouny Fiber Symposium: Building scientific agreement. *Food Nutr Res*. 2010;54.
61. Jones JM. CODEX-aligned dietary fiber definitions help to bridge the “fiber gap.” *Nutr J*. 2014;13(1).
62. Institute of Medicine. Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids (Macronutrients). *Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids (Macronutrients)*. 2005.
63. European Food Safety Authority. Scientific Opinion on Dietary Reference Values for carbohydrates and dietary fibre. *EFSA Journal*. 2010;8(3).
64. Zheng Y, Wang X, Tian H, Li Y, Shi P, Guo W, et al. Effect of four modification methods on adsorption capacities and in vitro hypoglycemic properties of millet bran dietary fibre. *Food Research International*. 2021;147.
65. Zhu Y, Chu J, Lu Z, Lv F, Bie X, Zhang C, et al. Physicochemical and functional properties of dietary fiber from foxtail millet (*Setaria italic*) bran. *J Cereal Sci*. 2018;79.

66. He Y, Li W, Zhang X, Li T, Ren D, Lu J. Physicochemical, functional, and microstructural properties of modified insoluble dietary fiber extracted from rose pomace. *J Food Sci Technol*. 2020;57(4).
67. Abreu y Abreu AT, Milke-García MP, Argüello-Arévalo GA, Calderón-de la Barca AM, Carmona-Sánchez RI, Consuelo-Sánchez A, et al. Fibra dietaria y microbiota, revisión narrativa de un grupo de expertos de la Asociación Mexicana de Gastroenterología. *Rev Gastroenterol Mex*. 2021;86(3).
68. Vilcanqui-Pérez F, Vílchez-Perales C. Fibra dietaria: nuevas definiciones, propiedades funcionales y beneficios para la salud. Revisión. Vol. 67, *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*. 2017.
69. He Y, Wang B, Wen L, Wang F, Yu H, Chen D, et al. Effects of dietary fiber on human health. Vol. 11, *Food Science and Human Wellness*. 2022.
70. Calizaya-Maman UG, Sotelo-Méndez AH, Chire-Fajardo GC. La fibra dietaria, importante componente fisicoquímico. *Tecnología Química* [Internet]. 2023 [cited 2024 Jun 2];43(3):676–701. Available from: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-61852023000300676&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852023000300676&lng=es&tlng=es).
71. García Franco A, Gómez Galindo AA. La milpa y la alimentación en México. *Educación Química*. 2023;34.
72. Camps SP, Chávez Gómez P. LA TRANSICIÓN ALIMENTARIA EN MÉXICO: Causas económicas y consecuencias para la salud humana y ambiental. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*. 2022;35(2).
73. FAO. El sistema alimentario en México - Oportunidades para el campo mexicano en la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible [Internet]. 2019. Available from: <http://www.wipo.int/amc/en/>
74. Livesey G, Taylor R, Livesey HF, Buyken AE, Jenkins DJA, Augustin LSA, et al. Dietary glycemic index and load and the risk of type 2 diabetes: Assessment of causal relations. Vol. 11, *Nutrients*. 2019.
75. Toi PL, Anothaisintawee T, Chaikledkaew U, Briones JR, Reutrakul S, Thakkinstian A. Preventive role of diet interventions and dietary factors in type 2 diabetes mellitus: An umbrella review. Vol. 12, *Nutrients*. 2020.
76. Barber TM, Kabisch S, Pfeiffer AFH, Weickert MO. The health benefits of dietary fibre. Vol. 12, *Nutrients*. 2020.
77. Secretaría de Salud. ¿Cuánta fibra dietética se debe consumir? [Internet]. 2016 [cited 2023 Aug 24]. Available from: <https://www.gob.mx/salud/articulos/cuanta-fibra-dietetica-se-debe-consumir#:~:text=En%20M%C3%A9xico%2C%20los%20adultos%20consumen,que%20es%20la%20fibra%20diet%C3%A9tica>.
78. Bourges H, Casanueva E, Rosado Jorge L. Recomendaciones de ingestión de nutrimentos para la población mexicana. Bases fisiológicas. Médica Panamericana. México ; 2005.

79. Weickert MO, Pfeiffer AFH. Impact of dietary fiber consumption on insulin resistance and the prevention of type 2 diabetes. *Journal of Nutrition*. 2018;148(1).
80. Zhao L, Zhang F, Ding X, Wu G, Lam YY, Wang X, et al. Gut bacteria selectively promoted by dietary fibers alleviate type 2 diabetes. *Science* (1979) [Internet]. 2018;359(6380):1151–6. Available from: [www.hmpdacc.org/reference\\_genomes/finishing](http://www.hmpdacc.org/reference_genomes/finishing).
81. Pino JL, Mujica V, Arredondo M. Effect of dietary supplementation with oat  $\beta$ -glucan for 3 months in subjects with type 2 diabetes: A randomized, double-blind, controlled clinical trial. *J Funct Foods*. 2021;77.
82. Li X, Cai X, Ma X, Jing L, Gu J, Bao L, et al. Short-and long-term effects of wholegrain oat intake on weight management and glucolipid metabolism in overweight type-2 diabetics: A randomized control trial. *Nutrients*. 2016;8(9).
83. Ta NT, Ngo HTT, Nguyen PM, Truong TT, Nguyen GH, Dinh HTD, et al. Effectiveness of Textured Soybean Protein on Blood Biochemistry in Vietnamese Type 2 Diabetes Mellitus Patients. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)*. 2022;68(1).
84. Dall'Alba V, Silva FM, Antonio JP, Steemburgo T, Royer CP, Almeida JC, et al. Improvement of the metabolic syndrome profile by soluble fibre - guar gum - in patients with type 2 diabetes: a randomised clinical trial. *Br J Nutr*. 2013;110(9).
85. Abutair AS, Naser IA, Hamed AT. Soluble fibers from psyllium improve glycemic response and body weight among diabetes type 2 patients (randomized control trial). *Nutr J*. 2016;15(1).
86. Post RE, Mainous AG, King DE, Simpson KN. Dietary fiber for the treatment of type 2 diabetes mellitus: A meta-analysis. *Journal of the American Board of Family Medicine*. 2012;25(1).
87. Reynolds AN, Akerman AP, Mann J. Dietary fibre and whole grains in diabetes management: Systematic review and meta-analyses. *PLoS Med*. 2020;17(3).
88. Silva FM, Kramer CK, de Almeida JC, Steemburgo T, Gross JL, Azevedo MJ. Fiber intake and glycemic control in patients with type 2 diabetes mellitus: A systematic review with meta-analysis of randomized controlled trials. *Nutr Rev*. 2013;71(12).
89. Bravo-Hollis H. *Las cactaceas de Mexico: vol 1*. Mexico: Universidad Nacional Autonoma de Mexico. 1978;
90. FAO. *Ecología del cultivo, manejo y usos del Nopal*. Vol. 1, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2018.
91. Flores Valdés CA, Luna Esquivel JM, Ramírez Moreno PP. *Mercado Mundial del Nopalito*. ASERCA–UACH–CIESTAAM. 1995;
92. Rodrigues C, Paula CD de, Lahbouki S, Meddich A, Outzourhit A, Rashad M, et al. *Opuntia spp.: An Overview of the Bioactive Profile and Food Applications of This Versatile Crop Adapted to Arid Lands*. Vol. 12, *Foods*. 2023.
93. Boucher F, Riveros Cañas RA, Ocampo Ochoa F. *Caracterización del SIAL nopal verdura y fruta en el estado de Hidalgo, México*. *Caracterización del SIAL*. 2017;

94. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. El nopal, parte de la riqueza del campo mexicano [Internet]. 2020 [cited 2024 May 31]. Available from: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/el-nopal-parte-de-la-riqueza-del-campo-mexicano>
95. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. ¡Y el nopal ingreso en la dieta simbólica y real de los mexicanos! [Internet]. 2023 [cited 2024 Jun 9]. Available from: <https://www.gob.mx/siap/articulos/y-el-nopal-ingreso-en-la-dieta-simbolica-y-real-de-los-mexicanos#:~:text=Para%202022%2C%20la%20superficie%20cosechada,de%2010.2%20toneladas%20por%20hect%C3%A1rea.>
96. Torres R, Morales D, Ballinas M, Nevárez G. El nopal: planta del semidesierto con aplicaciones en farmacia, alimentos y nutrición animal. *Rev Mex De Cienc Agric.* 2015;6.
97. Nobel PS. Los incomparables agaves y cactus. 1st ed. Ciudad de México : Editorial Trillas; 1998.
98. INEGI. Características principales del cultivo de nopal en el Distrito Federal: caso Milpa Alta: Censo Agropecuario 2007 [Internet]. 2013 [cited 2024 Jun 9]. Available from: [https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/censos/agropecuario/2007/agricola/nopal\\_df/CulnopDF.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/censos/agropecuario/2007/agricola/nopal_df/CulnopDF.pdf)
99. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Nopal, indiscutiblemente mexicano [Internet]. 2016 [cited 2024 May 27]. Available from: <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/nopal-indiscutiblemente-mexicano#:~:text=Dentro%20de%20la%20gastronom%C3%ADa%20mexicana,nivel%20de%20nutrientes%20que%20contiene.>
100. Fabela-Illescas HE, Ávila-Domínguez R, Hernández-Pacheco A, Ortega JAA, Betanzos-Cabrera G. Efecto de una bebida a base de nopal (*Nopalea cochenillifera* (L) Salm-dyck) en pacientes de una población rural de Hidalgo, México; ensayo clínico piloto. *Nutr Hosp.* 2015;32(6).
101. Ruiz JCR, Campos MRS. Development of nopal-pineapple marmalade formulated with stevia aqueous extract: Effect on physicochemical properties, inhibition of  $\alpha$ -amylase, and glycemic response. *Nutr Hosp.* 2019;36(5).
102. Ramírez-Moreno E, Cordoba-Díaz M, de Cortes Sánchez-Mata M, Marqués CD, Goñi I. The addition of cladodes (*Opuntia ficus indica* L. Miller) to instant maize flour improves physicochemical and nutritional properties of maize tortillas. *LWT.* 2015;62(1).
103. Attanzio A, Diana P, Barraja P, Carbone A, Spanò V, Parrino B, et al. Quality, functional and sensory evaluation of pasta fortified with extracts from *Opuntia ficus-indica* cladodes. *J Sci Food Agric.* 2019;99(9).
104. Bouazizi S, Montevecchi G, Antonelli A, Hamdi M. Effects of prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L.) peel flour as an innovative ingredient in biscuits formulation. *LWT.* 2020;124.
105. Boukid F, Boukid Z, Mejri M. *Opuntia* Cladodes: Physicochemical parameters, Functional Properties and Application in Formulation of Rolled Cake of Cladode Flour Fabric (Part 2).

- Article in International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. 2015;1(4).
106. Chahdoura H, Chaouch MA, Chouchéne W, Chahed A, Achour S, Adouni K, et al. Incorporation of *Opuntia macrorhiza* Engelm. in cake-making: Physical and sensory characteristics. LWT. 2018;90.
  107. Carmona JC, Robert P, Vergara C, Sáenz C. Microparticles of yellow-orange cactus pear pulp (*Opuntia ficus-indica*) with cladode mucilage and maltodextrin as a food coloring in yogurt. LWT. 2021;138.
  108. Camelo Caballero LR, Wilches-Torres A, Cárdenas-Chaparro A, Gómez Castaño JA, Otálora MC. Preparation and physicochemical characterization of softgels cross-linked with cactus mucilage extracted from cladodes of *Opuntia ficus-indica*. Molecules. 2019;24(14).
  109. Park K, Choi HS, Hong YH, Jung EY, Suh HJ. Cactus cladodes (*Opuntia humifusa*) extract minimizes the effects of UV irradiation on keratinocytes and hairless mice. Pharm Biol. 2017;55(1).
  110. Wiese J, McPherson S, Odden MC, Shlipak MG. Effect of *Opuntia ficus indica* on symptoms of the alcohol hangover. Arch Intern Med. 2004;164(12).
  111. Gaona EG, Argente-Martínez L, Aguilar LP, Peñuelas-Rubio O, Munguía AMG, Ramos KVDL. El Nopal: ecofisiología del nopal en México. El Nopal: ecofisiología del nopal en México. 2024.
  112. Perucini-Avenidaño M, Nicolás-García M, Jiménez-Martínez C, Perea-Flores M de J, Gómez-Patiño MB, Arrieta-Báez D, et al. Cladodes: Chemical and structural properties, biological activity, and polyphenols profile. Vol. 9, Food Science and Nutrition. 2021.
  113. Pérez LAB, Gonzáles PB. SMAE Sistema Mexicano de Alimentos Equivalentes. Fomento de Nutrición y Salud. 2022;
  114. Ramírez-Moreno E, Córdoba-Díaz D, de Cortes Sánchez-Mata M, Díez-Marqués C, Goñi I. Effect of boiling on nutritional, antioxidant and physicochemical characteristics in cladodes (*Opuntia ficus indica*). LWT. 2013;51(1).
  115. Frati-Munari AC, Gordillo BE, Altamirano P, Ariza CR. Hypoglycemic effect of *Opuntia streptacantha* Lemaire in NIDDM. Diabetes Care. 1988;11(1).
  116. Castañeda-Andrade I, Gonzalez-Sanchez J, Frati-Munari AC. Hypoglycemic Effect of an *Opuntia streptacantha* Lemaire Dialysate. 1997.
  117. Bacardi-Gascon M, Dueñas-Mena D, Jimenez-Cruz A. Lowering effect on postprandial glycemic response of nopales added to Mexican breakfasts. Diabetes Care. 2007;30(5).
  118. López-Romero P, Pichardo-Ontiveros E, Avila-Nava A, Vázquez-Manjarrez N, Tovar AR, Pedraza-Chaverri J, et al. The Effect of Nopal (*Opuntia Ficus Indica*) on Postprandial Blood Glucose, Incretins, and Antioxidant Activity in Mexican Patients with Type 2 Diabetes after Consumption of Two Different Composition Breakfasts. J Acad Nutr Diet. 2014;114(11).

119. Gouws C, Mortazavi R, Mellor D, McKune A, Naumovski N. The effects of Prickly Pear fruit and cladode (*Opuntia* spp.) consumption on blood lipids: A systematic review. Vol. 50, *Complementary Therapies in Medicine*. 2020.
120. Abdelmalek S, Aloui K, Boussetta N, Alahmadi B, Zouch M, Chtourou H, et al. Does *Opuntia ficus-indica* Juice Supplementation Improve Biochemical and Cardiovascular Response to a 6-Minute Walk Test in Type 2 Diabetic Patients? *Medicina (Lithuania)*. 2022;58(11).
121. Giglio RV, Carruba G, Cicero AFG, Banach M, Patti AM, Nikolic D, et al. Pasta supplemented with *Opuntia ficus-indica* extract improves metabolic parameters and reduces atherogenic small dense low-density lipoproteins in patients with risk factors for the metabolic syndrome: A four-week intervention study. *Metabolites*. 2020;10(11).
122. Linarès E, Thimonier C, Degre M. The effect of NeOpuntia® on blood lipid parameters - Risk factors for the metabolic syndrome (Syndrome X). *Adv Ther*. 2007;24(5).
123. Muñoz L, Díaz Y. Efecto de la administración oral de nopal deshidratado sobre el perfil de lípidos en individuos con dislipidemia y sobrepeso/obesidad. *Rev Med Chil*. 2003;131.
124. Chaloulos P, Bazanis AE, Georgiadou M, Protonotariou S, Mandala I. Effect of drying and grinding or micro-grinding process on physical and rheological properties of whole cladode (*Opuntia ficus-indica*) flour. *LWT*. 2021 Nov 1;151.
125. A. Vaz A, Odriozola-Serrano I, Oms-Oliu G, Martín-Belloso O. Physicochemical Properties and Bioaccessibility of Phenolic Compounds of Dietary Fibre Concentrates from Vegetable By-Products. *Foods*. 2022;11(17).
126. Nabil B, Ouaabou R, Ouhammou M, Saadouni L, Mahrouz M. Impact of particle size on functional, physicochemical properties and antioxidant activity of cladode powder (*Opuntia ficus-indica*). *J Food Sci Technol*. 2020;57(3).
127. Sowbhagya HB, Suma PF, Mahadevamma S, Tharanathan RN. Spent residue from cumin - a potential source of dietary fiber. *Food Chem*. 2007;104(3).
128. Robertson JA, De Monredon FD, Dysseler P, Guillon F, Amadò R, Thibault JF. Hydration properties of dietary fibre and resistant starch: A European collaborative study. *LWT*. 2000;33(2).
129. Ou S, Kwok KC, Li Y, Fu L. In vitro study of possible role of dietary fiber in lowering postprandial serum glucose. *J Agric Food Chem*. 2001;49(2).
130. Chau CF, Huang YL, Lee MH. In Vitro Hypoglycemic Effects of Different Insoluble Fiber-Rich Fractions Prepared from the Peel of *Citrus Sinensis* L. cv. Liucheng. *J Agric Food Chem*. 2003;51(22).
131. Femenia A, Lefebvre AC, Thebaudin JY, Robertson JA, Bourgeois CM. Physical and sensory properties of model foods supplemented with cauliflower fiber. *J Food Sci*. 1997;62(4).
132. Sistema de Vigilancia Epidemiológica Hospitalaria de Diabetes Mellitus Tipo 2. Informe Trimestral de Vigilancia Epidemiológica Hospitalaria de Diabetes Mellitus Tipo 2 [Internet]. México; 2022 [cited 2023 Mar 14]. Available from:

- [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/728563/Informe\\_SVEHDMT2\\_Corte1T2022.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/728563/Informe_SVEHDMT2_Corte1T2022.pdf)
133. Aruwa CE, Amoo SO, Kudanga T. *Opuntia* (Cactaceae) plant compounds, biological activities and prospects – A comprehensive review. Vol. 112, *Food Research International*. 2018.
  134. Laguna RT, Claudio VS. *Diccionario de nutrición y dietoterapia*. McGraw-Hill. 2007.
  135. Viécili PRN, da Silva B, Hirsch GE, Porto FG, Parisi MM, Castanho AR, et al. Triglycerides Revisited to the Serial. In: *Advances in Clinical Chemistry*. 2017.
  136. Solís GRO, Hernández HHY. I. Norma oficial mexicana nom-037-ssa2-2012, para la prevención, tratamiento y control de las dislipidemias. *Revista Mexicana de Cardiología*. 2013;24(SUPPL.1).
  137. Rubio Blancas A, Espinosa Marrón A. Nutrición y enfermedades gastrointestinales. In: Yamamoto Furusho JK, editor. *Nutrición y enfermedades gastrointestinales Clínicas Mexicanas de Gastroenterología* [Internet]. Ciudad de México: Editorial Alfil, S. A. de C. V.; 2023 [cited 2023 Dec 14]. Available from: <https://www.gastro.org.mx/pdf/clinicas/2023/2023-11-nutricion-y-enfermedades-gastrointestinales.pdf>
  138. Secretaría de Salud. DOF. 2018 [cited 2022 Jun 19]. NORMA Oficial Mexicana NOM-008-SSA3-2017, Para el tratamiento integral del sobrepeso y la obesidad. Available from: [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5523105&fecha=18/05/2018#](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5523105&fecha=18/05/2018#)
  139. Organización Mundial de la Salud. Proyectos de recomendaciones para la prevención y el tratamiento de la obesidad a lo largo del curso de la vida, incluidas las posibles metas [Internet]. 2021 [cited 2022 Jun 19]. Available from: [https://cdn.who.int/media/docs/default-source/obesity/who-discussion-paper-on-obesity---final190821-es.pdf?sfvrsn=4cd6710a\\_24](https://cdn.who.int/media/docs/default-source/obesity/who-discussion-paper-on-obesity---final190821-es.pdf?sfvrsn=4cd6710a_24)
  140. Martins PC, Alves Junior CAS, Silva AM, Silva DAS. Phase angle and body composition: A scoping review. Vol. 56, *Clinical Nutrition ESPEN*. 2023.
  141. Lohman TG. *Advances in Body Composition Assessment*. *Med Sci Sports Exerc*. 1993;25(6).
  142. Viécilli C, Ewald CY. The non-modifiable factors age, gender, and genetics influence resistance exercise. Vol. 3, *Frontiers in Aging*. 2022.
  143. González Jiménez E. *Composición corporal: Estudio y utilidad clínica*. Vol. 60, *Endocrinología y Nutrición*. 2013.
  144. PROY-NOM-030-SSA2-2017. Vol. 5002338, *Diario Oficial de la Federación*. 2017. PROYECTO de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-030-SSA2-2017, Para la prevención, detección, diagnóstico, tratamiento y control de la hipertensión arterial sistémica.
  145. Secretaría de Economía. NOM-051-SCFI/SSA1-2010, Especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados- Información comercial y sanitaria. *Diario Oficial de la Federación*. 2010;

146. American Association of Cereal Chemists (AAC). The Definition of Dietary Fiber 1 [Internet]. 1AD [cited 2023 Aug 28]. Available from: <https://www.cerealsgrains.org/resources/definitions/Documents/DietaryFiber/DFDef.pdf>
147. LaCaille L, Patino-Fernandez AM, Monaco J, Ding D, Upchurch Sweeney CR, Butler CD, et al. Energy: Expenditure, Intake, Lack of. In: Encyclopedia of Behavioral Medicine. 2013.
148. Real Academia Española. REAL ACADEMIA ESPAÑOLA: Diccionario de la lengua española [Internet]. 2022 [cited 2022 Oct 3]. Available from: <https://dle.rae.es>
149. World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. J Am Coll Dent. 2014;81(3).
150. Shuster E. Fifty Years Later: The Significance of the Nuremberg Code. New England Journal of Medicine. 1997;337(20).
151. Diario Oficial de la Federación. NORMA Oficial Mexicana NOM-012-SSA3-2012, Que establece los criterios para la ejecución de proyectos de investigación para la salud en seres humanos. Diario Oficial de la Federación. 2012.
152. Secretaria de Salud. Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigaciones para la Salud. Ley General de Salud. 1987;
153. Beyá-Marshall V, Apablaza E, Dias A, Sáenz C. Physical and chemical characteristics of cladodes powder (*Opuntia ficus-indica* Mill.) of different maturation stages and drying temperatures. In: Acta Horticulturae. 2022.
154. Rodríguez-Amaya DB. Natural Food Pigments and Colorants. In: Reference Series in Phytochemistry. 2019.
155. Luna-Zapién EA, Zegbe JA, Meza-Velázquez JA, Contreras-Esquivel JC, Morales-Martínez TK. Mucilage Yield, Composition, and Physicochemical Properties of Cultivated Cactus Pear Varieties as Influenced by Irrigation. Agronomy. 2023;13(2).
156. Rodríguez-García ME, De Lira C, Hernández-Becerra E, Cornejo-Villegas MA, Palacios-Fonseca AJ, Rojas-Molina I, et al. Physicochemical characterization of nopal pads (*Opuntia ficus indica*) and dry vacuum nopal powders as a function of the maturation. Plant Foods for Human Nutrition. 2007;62(3).
157. Mounir B, Younes EG, Asmaa M, Abdeljalil Z, Abdellah A. Physico-chemical changes in cladodes of *Opuntia ficus-indica* as a function of the growth stage and harvesting areas. J Plant Physiol. 2020;251.
158. Méndez LP, Flores FT, Martín JD, Rodríguez Rodríguez EM, Díaz Romero C. Physicochemical characterization of cactus pads from *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus indica*. Food Chem. 2015;188.
159. Marikkar N, Marasinghe S, Yalagama C, Hewapathirana D. The Physical and Functional Properties of Partially Defatted Coconut Testa Flour. CORD. 2021;37.

160. Elleuch M, Bedigian D, Roiseux O, Besbes S, Blecker C, Attia H. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. Vol. 124, Food Chemistry. 2011.
161. Rivas MÁ, Casquete R, Córdoba M de G, Ruíz-Moyano S, Benito MJ, Pérez-Nevaldo F, et al. Chemical composition and functional properties of dietary fibre concentrates from winemaking by-products: Skins, stems and lees. *Foods*. 2021;10(7).
162. Sáenz C, Sepúlveda E, Pak N, Lecaros M. Chemical and physical characterization of cactus cladode (*Opuntia Ficus-Indica*) powder. *Italian Journal of Food Science*. 2010;22(4).
163. Sepúlveda E, Gorená T, Chiffelle I, Sáenz C, Catalán E. Effect of the cactus cladodes peeling in the functional, technological and chemical characteristics and bioactive compounds in cactus cladodes powders. *Acta Hortic*. 2013;995.
164. Saenz C, Yoong M, Figuerola F, Chiffelle I, María Estevez A. Cactus pear cladodes powders as a source of dietary fibre: Purification and properties. *Int J Food Sci Nutr*. 2012;63(3).
165. Bas-Bellver C, Barrera C, Betoret N, Seguí L. Impact of Disruption and Drying Conditions on Physicochemical, Functional and Antioxidant Properties of Powdered Ingredients Obtained from Brassica Vegetable By-Products. *Foods*. 2022;11(22).
166. Bayar N, Kriaa M, Kammoun R. Extraction and characterization of three polysaccharides extracted from *Opuntia ficus indica* cladodes. *Int J Biol Macromol*. 2016;92.
167. Thuy NM, Too BC, Vuong KM, Lan PTT, Tuyen PTT, Tram NB, et al. Resistant starch in various starchy vegetables and the relationship with its physical and chemical characteristics. *J Appl Biol Biotechnol*. 2022;10(1).
168. Awuchi CG, Igwe VS, Echeta CK. The Functional Properties of Foods and Flours. *International Journal of Advanced Academic Research | Sciences*. 2019;5(11).
169. López-Cervantes J, Sánchez-Machado DI, Campas-Baypoli ON, Bueno-Solano C. Functional properties and proximate composition of cactus pear cladodes flours. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 2011;31(3).
170. Dong Y, Li Q, Guo Y, Zhao Y, Cao J. Comparison of physicochemical and in vitro hypoglycemic activity of bamboo shoot dietary fibers from different regions of Yunnan. *Front Nutr*. 2023;9.
171. Luo X, Wang Q, Zheng B, Lin L, Chen B, Zheng Y, et al. Hydration properties and binding capacities of dietary fibers from bamboo shoot shell and its hypolipidemic effects in mice. *Food and Chemical Toxicology*. 2017;109.
172. Zapata ME, Hoet AM, Simonini D. Evaluación del consumo de fibra alimentaria en pacientes con diabetes tipo 2 que concurren a un centro asistencial de la ciudad de Rosario. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*. 2013;17(3).
173. Nitzke D, Czermainski J, Rosa C, Coghetto C, Fernandes SA, Carteri RB. Increasing dietary fiber intake for type 2 diabetes mellitus management: A systematic review. *World J Diabetes*. 2024 May 15;15(5):1001–10.

174. Tan C, Wei H, Zhao X, Xu C, Peng J. Effects of dietary fibers with high water-binding capacity and swelling capacity on gastrointestinal functions, food intake and body weight in male rats. *Food Nutr Res.* 2017;61(1).
175. Grube B, Chong PW, Alt F, Uebelhack R. Weight maintenance with liraglutide (IQL-G-002AS): A 24-week double-blind, randomized, placebo-controlled study. *J Obes.* 2015;2015.
176. Corona-Cervantes K, Parra-Carriedo A, Hernández-Quiroz F, Martínez-Castro N, Vélez-Ixta JM, Guajardo-López D, et al. Physical and Dietary Intervention with *Opuntia ficus-indica* (Nopal) in Women with Obesity Improves Health Condition through Gut Microbiota Adjustment. *Nutrients.* 2022;14(5).
177. Godard MP, Ewing BA, Pischel I, Ziegler A, Benedek B, Feistel B. Acute blood glucose lowering effects and long-term safety of *OpunDia*<sup>TM</sup> supplementation in pre-diabetic males and females. *J Ethnopharmacol.* 2010;130(3).
178. Chandrasekaran P, Weiskirchen R. The Role of Obesity in Type 2 Diabetes Mellitus—An Overview. Vol. 25, *International Journal of Molecular Sciences.* 2024.
179. Li M, Zhu P, Wang SX. Risk for Cardiovascular Death Associated With Waist Circumference and Diabetes: A 9-Year Prospective Study in the Wan Shou Lu Cohort. *Front Cardiovasc Med.* 2022;9.
180. Zhou Y, Chai X, Yang G, Sun X, Xing Z. Changes in body mass index and waist circumference and heart failure in type 2 diabetes mellitus. *Front Endocrinol (Lausanne).* 2023;14.
181. Xing Z, Peng Z, Wang X, Zhu Z, Pei J, Hu X, et al. Waist circumference is associated with major adverse cardiovascular events in male but not female patients with type-2 diabetes mellitus. *Cardiovasc Diabetol.* 2020;19(1).
182. Li M, Zhu P, Wang SX. Risk for Cardiovascular Death Associated With Waist Circumference and Diabetes: A 9-Year Prospective Study in the Wan Shou Lu Cohort. *Front Cardiovasc Med.* 2022;9.
183. Sánchez-Tapia M, Aguilar-López M, Pérez-Cruz C, Pichardo-Ontiveros E, Wang M, Donovan SM, et al. Nopal (*Opuntia ficus indica*) protects from metabolic endotoxemia by modifying gut microbiota in obese rats fed high fat/sucrose diet. *Sci Rep.* 2017;7(1).
184. Aboura I, Nani A, Belarbi M, Murtaza B, Fluckiger A, Dumont A, et al. Protective effects of polyphenol-rich infusions from carob (*Ceratonia siliqua*) leaves and cladodes of *Opuntia ficus-indica* against inflammation associated with diet-induced obesity and DSS-induced colitis in Swiss mice. *Biomedicine and Pharmacotherapy.* 2017;96.
185. Héliès-Toussaint C, Fouché E, Naud N, Blas-Y-Estrada F, del Socorro Santos-Diaz M, Nègre-Salvayre A, et al. *Opuntia* cladode powders inhibit adipogenesis in 3 T3-F442A adipocytes and a high-fat-diet rat model by modifying metabolic parameters and favouring faecal fat excretion. *BMC Complement Med Ther.* 2020;20(1).

186. Nguyen NTK, Vo NP, Huang SY, Wang W. Fat-Free Mass and Skeletal Muscle Mass Gain Are Associated with Diabetes Remission after Laparoscopic Sleeve Gastrectomy in Males but Not in Females. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(2).
187. Kirwan JP, Sacks J, Nieuwoudt S. The essential role of exercise in the management of type 2 diabetes. Vol. 84, *Cleveland Clinic journal of medicine*. 2017.
188. Kashif RR, D’cunha NM, Mellor DD, Alexopoulos NI, Sergi D, Naumovski N. Prickly Pear Cacti (*Opuntia* spp.) Cladodes as a Functional Ingredient for Hyperglycemia Management: A Brief Narrative Review. Vol. 58, *Medicina (Lithuania)*. 2022.
189. Alexopoulos AS, Qamar A, Hutchins K, Crowley MJ, Batch BC, Guyton JR. Triglycerides: Emerging Targets in Diabetes Care? Review of Moderate Hypertriglyceridemia in Diabetes. Vol. 19, *Current Diabetes Reports*. 2019.
190. Shinhar N, Marcoviciu D, Dicker D. Reduction in serum triglyceride levels in diabetic patients may result in decreased insulin dependence and disease regression. *Israel Medical Association Journal*. 2018;20(6).
191. Gómez-García I, Fernández-Quintela A, González M, Gómez-Zorita S, Muguerza B, Trepiana J, et al. Usefulness of *Opuntia* spp. on the Management of Obesity and Its Metabolic Co-Morbidities. Vol. 16, *Nutrients*. 2024.
192. Moran-Ramos S, He X, Chin EL, Tovar AR, Torres N, Slupsky CM, et al. Nopal feeding reduces adiposity, intestinal inflammation and shifts the cecal microbiota and metabolism in high-fat fed rats. *PLoS One*. 2017;12(2).
193. Tejani VN, Dhillon SS, Damarlapally N, Usman NUB, Winson T, Basu Roy P, et al. The Relationship Between Dietary Fiber Intake and Blood Pressure Worldwide: A Systematic Review. *Cureus*. 2023;
194. Bakour M, Al-Waili N, El-Haskoury R, El-Menyiy N, Al-Waili T, AL-Waili A, et al. Comparison of hypotensive, diuretic and renal effects between cladodes of *Opuntia ficus-indica* and furosemide. *Asian Pac J Trop Med*. 2017;10(9).
195. Reynolds AN, Akerman A, Kumar S, Diep Pham HT, Coffey S, Mann J. Dietary fibre in hypertension and cardiovascular disease management: systematic review and meta-analyses. *BMC Med*. 2022;20(1).
196. Onakpoya IJ, O’Sullivan J, Heneghan CJ. The effect of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) on body weight and cardiovascular risk factors: A systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials. *Nutrition*. 2015;31(5).

1 ANEXOS

2 Anexo 1. Recordatorio de 24 horas



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO  
INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA SALUD  
ÁREA ACADÉMICA DE NUTRICIÓN



RECORDATORIO DE 24 HORAS

Nombre: \_\_\_\_\_ Entrevistador: \_\_\_\_\_  
Fecha del reporte: \_\_\_\_/\_\_\_\_/2023 Día reportado: L ( ) M ( ) X ( ) J ( ) V ( ) S ( ) D ( )

Hora	Alimento/bebida	Descripción del alimento			¿Qué tanto consumió?
		Cantidad	Ingredientes	Preparación	

¿Dicho consumo de alimentos / bebidas es habitual? Sí ( ) No ( )      ¿Cuánta agua potable consume al día? \_\_\_\_\_

**No olvidar:** Café, té, leche, atole, jugo natural o industrializado, agua de sabor, refresco, cerveza, vino, tequila, coctel, dulces, galletas, pasteles, chocolates, gelatina, nieve, helado, flan, cacahuates, nueces, pistaches, papas, totopos, palomitas de maíz, frutas frescas o deshidratadas, verduras frescas o congeladas, cereal, pan, tortilla, aceite, mantequilla, crema, aderezos, salsas, aguacate, queso, yogurt, agua natural.

## Anexo 2. Consentimiento informado



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO  
INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA SALUD  
ÁREA ACADÉMICA DE NUTRICIÓN



### CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

(Grupo intervenido)

Título del proyecto: **Efecto del consumo de nopal deshidratado en polvo (*Opuntia ficus indica* L. Miller) en indicadores antropométricos, bioquímicos, presión arterial; y estilo de vida en población adulta con diabetes mellitus tipo 2 y síndrome metabólico**

Investigadores: **M. en N.H. Trinidad Lorena Fernández Cortés, Dra. Esther Ramírez Moreno, L.N.H. Jesica Anjarath Castelán Infante**

#### **Estimado(a) señor/señora:**

Se le hace la cordial invitación para participar en el estudio el cual tiene como objetivo evaluar *el efecto del consumo de nopal deshidratado en polvo sobre el estado de nutrición de personas con diabetes mellitus tipo 2 y síndrome metabólico*. Hacemos de su conocimiento que los responsables a cargo de este estudio son profesionales en el área de la investigación y nutrición, por lo que están ampliamente capacitados para llevarlo a cabo.

El material que se utilizará para la recolección de sangre es nuevo, estéril y desechable, mientras que los equipos para la toma de medidas como peso, circunferencia de cintura y presión arterial se sanitizarán entre cada medición.

**¿En qué consistirá su participación?** Si acepta formar parte de este estudio, su participación consistirá en consumir nopal deshidratado en polvo, el consumo lo realizará en 3 tomas al día, antes de las comidas principales que son desayuno, comida y cena durante 4 semanas. Además, se le tomará con previa cita una muestra de sangre para la determinación de glucosa, colesterol HDL y triglicéridos, así como mediciones corporales como el peso, la talla y la circunferencia de cintura. Así mismo, se le tomará la presión arterial y se le aplicarán algunos cuestionarios que nos permitirán conocer algunos hábitos.

**Beneficios.** Se le brindará para su consumo personal, la cantidad de nopal deshidratado en polvo para 4 semanas, se le proporcionará un plan de alimentación según sus características individuales y se le proporcionarán los resultados del análisis de la química sanguínea, medidas antropométricas y presión arterial al inicio y a las 4 semanas del estudio.

**Su participación es voluntaria, privada y confidencial.** Su participación es absolutamente voluntaria. Usted tendrá la libertad de participar y de detener su participación en cualquier momento que lo desee, en el entendido de que su participación no representa ninguna inversión económica ni condiciona su atención en ninguna institución. Sin embargo, le recordamos que su participación, apego a las indicaciones y que concluya el proyecto es muy importante.

1



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO  
INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA SALUD  
ÁREA ACADÉMICA DE NUTRICIÓN



Sus datos serán resguardados por los investigadores responsables de modo confidencial y mantenidos en estricta reserva. Su uso será exclusivamente para fines académicos y de investigación. Los resultados de la investigación no serán usados para ningún propósito engañoso; su uso será meramente educativo y científico, siendo publicados en revistas especializadas y representarán los datos de toda una muestra.

**Riesgos potenciales/compensación.** Los riesgos potenciales que implican su participación en este estudio son mínimos. Si algunas preguntas le hicieran sentir un poco incómodo(a), tiene el derecho de no responder. En cuanto a la toma de muestra de sangre puede presentar un pequeño moretón o dolor en el momento.

**Contacto:** En caso de tener alguna duda, comentario o preocupación con respecto al proyecto, por favor comuníquese con la investigadora responsable del proyecto **M. en N.H. Trinidad Lorena Fernández Cortés** ([tfernandez@uaeh.edu.mx](mailto:tfernandez@uaeh.edu.mx)). Si usted acepta participar en el estudio, le entregamos una copia de este documento que le pedimos sea tan amable de firmar.

**Consentimiento para su participación en el estudio.** Su firma indica su aceptación para participar en el presente estudio.

**Nombre completo del participante:** \_\_\_\_\_

**Fecha:** \_\_\_\_\_ **Firma:** \_\_\_\_\_ **Teléfono de contacto:** \_\_\_\_\_

**Nombre completo del testigo:** \_\_\_\_\_

**Fecha:** \_\_\_\_\_ **Firma:** \_\_\_\_\_

**Nombre completo del testigo:** \_\_\_\_\_

**Fecha:** \_\_\_\_\_ **Firma:** \_\_\_\_\_



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA SALUD

ÁREA ACADÉMICA DE NUTRICIÓN

CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO



(Grupo control)

Título del proyecto: **Efecto del consumo de una dieta adecuada en fibra en indicadores antropométricos, clínicos, presión arterial y estilo de vida en población adulta con diabetes mellitus tipo 2 y síndrome metabólico.**

Investigadores: **M. en N.H. Trinidad Lorena Fernández Cortés, Dra. Esther Ramírez Moreno, L.N.H. Jesica Anjarath Castelán Infante**

**Estimado(a) señor/señora:**

Se le hace la cordial invitación para participar en el estudio el cual tiene como objetivo evaluar *el efecto del consumo de una dieta adecuada en fibra sobre el estado de nutrición de personas con diabetes mellitus tipo 2 y síndrome metabólico*. Hacemos de su conocimiento que los responsables a cargo de este estudio son profesionales en el área de la investigación y nutrición, por lo que están ampliamente capacitados para llevarlo a cabo.

El material que se utilizará para la recolección de sangre es nuevo, estéril y desechable, mientras que los equipos para la toma de medidas como peso, circunferencia de cintura y presión arterial se sanitizarán entre cada medición.

**¿En qué consistirá su participación?** Si acepta formar parte de este estudio, su participación consistirá en consumir una dieta adecuada en fibra durante 4 semanas. Además, se le tomará con previa cita toma de sangre para la determinación de glucosa, colesterol HDL y triglicéridos, así como mediciones corporales como el peso, la talla y la circunferencia de cintura. Así mismo, se le tomará la presión arterial y se le aplicarán algunos cuestionarios que nos permitirán conocer algunos hábitos.

**Beneficios.** Se le se le proporcionará un plan de alimentación según sus características individuales y se le proporcionarán los resultados del análisis de la química sanguínea, medidas antropométricas y presión arterial al inicio y a las 4 semanas del estudio.

**Su participación es voluntaria, privada y confidencial.** Su participación es absolutamente voluntaria. Usted tendrá la libertad de participar y de detener su participación en cualquier momento que lo desee, en el entendido de que su participación no representa ninguna inversión económica ni condiciona su atención en ninguna institución. Sin embargo, le recordamos que su participación, apego a las indicaciones y que concluya el proyecto es muy importante.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO  
INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA SALUD  
ÁREA ACADÉMICA DE NUTRICIÓN



Sus datos serán resguardados por los investigadores responsables de modo confidencial y mantenidos en estricta reserva. Su uso será exclusivamente para fines académicos y de investigación. Los resultados de la investigación no serán usados para ningún propósito engañoso; su uso será meramente educativo y científico, siendo publicados en revistas especializadas y representarán los datos de toda una muestra.

**Riesgos potenciales/compensación.** Los riesgos potenciales que implican su participación en este estudio son mínimos. Si algunas preguntas le hicieran sentir un poco incómodo(a), tiene el derecho de no responder. En cuanto a la toma de muestra de sangre puede presentar un pequeño moretón o dolor en el momento.

**Contacto:** En caso de tener alguna duda, comentario o preocupación con respecto al proyecto, por favor comuníquese con la investigadora responsable del proyecto **M. en N.H. Trinidad Lorena Fernández Cortés** ([tfernandez@uaeh.edu.mx](mailto:tfernandez@uaeh.edu.mx)). Si usted acepta participar en el estudio, le entregamos una copia de este documento que le pedimos sea tan amable de firmar.

**Consentimiento para su participación en el estudio.** Su firma indica su aceptación para participar en el presente estudio.

**Nombre completo del participante:** \_\_\_\_\_

**Fecha:** \_\_\_\_\_ **Firma:** \_\_\_\_\_ **Teléfono de contacto:** \_\_\_\_\_

**Nombre completo del testigo:** \_\_\_\_\_

**Fecha:** \_\_\_\_\_ **Firma:** \_\_\_\_\_

**Nombre completo del testigo:** \_\_\_\_\_

**Fecha:** \_\_\_\_\_ **Firma:** \_\_\_\_\_

### Anexo 3. Aprobación del proyecto otorgado por el Comité de Ética de Investigación de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO  
Instituto de Ciencias de la Salud  
School of Medical Sciences  
Coordinación de Investigación  
Area of Research

San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo a 10 de octubre de 2023

Oficio Comiteei.icsa «148» / 2023

Asunto: DICTAMEN DEL COMITÉ DE ÉTICA E INVESTIGACIÓN.

**Fernández Cortés Trinidad Lorena**

**Investigador Principal**

Correo: [tfernandez@uaeh.edu.mx](mailto:tfernandez@uaeh.edu.mx)

**PRESENTE**

**Título del Proyecto: Efecto del consumo de nopal deshidratado en polvo (Opuntia ficus indica L. Miller) en indicadores antropométricos, bioquímicos, presión arterial; y estilo de vida en población adulta con diabetes mellitus tipo 2 y síndrome metabólico.**

Le informamos que su proyecto de referencia ha sido evaluado por el Comité de Ética e Investigación del Instituto de Ciencias de la Salud y las opiniones acerca de los documentos presentados se encuentran a continuación:

<b>Decisión</b>
«Aprobado»

Este protocolo tiene vigencia del 10 de octubre de 2023 al 10 de octubre de 2024.

En caso de requerir una ampliación, le rogamos tenga en cuenta que deberá enviar al Comité un reporte de progreso de avance de su proyecto al menos 60 días antes de la fecha de término de su vigencia.

Le rogamos atender las indicaciones realizadas por el revisor, y enviar nuevamente una versión corregida de su protocolo para una nueva evaluación.

Atentamente

**Dra. Itzia María Cazares Palacios**  
**Presidenta del Comité**



Para la validación de este documento informe el siguiente código en la sección Validador de documentos del sitio web oficial del Comité: «qD)z=jLe7\*»

<https://sites.google.com/view/comiteei-icsa/validador-de-documentos>



Circuito ex-Hacienda La Concepción s/n  
Carretera Pachuca Actopan, San Agustín  
Tlaxiaca, Hidalgo, México. C.P. 42160  
Teléfono: 52 (771) 71 720 00 Ext. 4306  
[investigacion\\_icsa@uaeh.edu.mx](mailto:investigacion_icsa@uaeh.edu.mx)

[www.uaeh.edu.mx](http://www.uaeh.edu.mx)

**Anexo 4. Registro fotográfico del proceso de creación del proyecto**

