



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES ZONA
HUASTECA



MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOQUÍMICAS

**Caracterización y aprovechamiento de compuestos activos de
jacabe (*Acanthocereus tetragonus* (L) Hummelinck) y su efecto
hipoglucémico**

TESIS

Presentada como requerimiento parcial para obtener el título de:

Maestra en Ciencias Bioquímicas

Presenta

BQ. Christian Sánchez Ramírez

Directora

Dra. Abigail Reyes Munguía

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
Facultad de Estudios Profesionales Zona Huasteca

Co-Directora

Dra. Brenda Alvarado Sánchez

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
Facultad de Estudios Profesionales Zona Huasteca

Asesor

Dr. Pedro Aguilar Zárate

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
Instituto Tecnológico de Ciudad Valles

Cd. Valles, San Luis Potosí

Julio, 2025



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES ZONA
HUASTECA

MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOQUÍMICAS



**Caracterización y aprovechamiento de compuestos activos de jacube
(*Acanthocereus tetragonus*) (L) Hummelinck y su efecto
hipoglucémico**

TESIS

Presentada como requerimiento parcial para obtener el título de:

Maestra en Ciencias Bioquímicas

Presenta

BQ. Christian Sánchez Ramírez

COMITÉ TUTELAR

Directora: **Dra. Abigail Reyes Munguía**

Co-Directora: **Dra. Brenda Alvarado Sánchez**

Asesor: **Dr. Pedro Aguilar Zárate**

SINODALES

PRESIDENTE: _____

SECRETARIO: _____

VOCAL: _____

SUPLENTE: _____

Cd. Valles, San Luis Potosí

**Ciencia y
Tecnología**

Secretaría de Ciencia, Humanidades,
Tecnología e Innovación

Julio, 2025





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES ZONA
HUASTECA

MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOQUÍMICAS



**Caracterización y aprovechamiento de compuestos activos de jacube
(*Acanthocereus tetragonus*) (L) Hummelinck y su efecto
hipoglucémico**

TESIS

Presentada como requerimiento parcial para obtener el título de:

Maestra en Ciencias Bioquímicas

Presenta

BQ. Christian Sánchez Ramírez

SINODALES

PRESIDENTE: _____

SECRETARIO: _____

VOCAL: _____

SUPLENTE: _____

Caracterización y aprovechamiento de compuestos activos de
jacube (*Acanthocereus tetragonus* (L) Hummelinck) y su efecto
hipoglucémico © 2025 por *Christian Sánchez Ramirez* tiene
licencia CC BY-NC-ND 4.0

AGRADECIMIENTO ACADÉMICO Y FINANCIERO

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por su apoyo brindado durante el desarrollo del proyecto a través de una beca con número de apoyo 822471.



Ciencia y Tecnología
Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación

AGRADECIMIENTO PERSONAL

El esfuerzo y empeño con el que realice esta investigación no habría sido posible sin el apoyo y cariño de mi esposo **Miguel Ángel León Camargo** y sin la paciencia y motivación de mi hija **Miranda León Sánchez**, gracias por brindarme tiempo, comprensión y espacio para poder realizar esta investigación.

A mis padres, María del Rosario Ramirez y Tito Sánchez por darme la oportunidad de estudiar una licenciatura que fue la base para la obtención de un grado más en mi desarrollo profesional.

A mis amigos, profesores y compañeros que me brindaron su ayuda y apoyo incondicional y a las personas voluntarias que contribuyeron a la realización de esta investigación.

“Cuando una situación imprevista interrumpe el curso normal de tu vida, esta puede generar un estado de angustia porque te confronta con la necesidad de decidir qué hacer en respuesta. La angustia actúa como un catalizador: Por un lado, te obliga a reconocer que el camino que tomes no está predeterminado. Por otro, pone de manifiesto el peso existencial de tu libertad: eres tú quien debe elegir cómo responder y qué significado dar a ese evento en tu vida”

Søren Kierkegaard

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO ACADÉMICO Y FINANCIERO	4
AGRADECIMIENTO PERSONAL	5
CRÉDITOS INSTITUCIONALES.....	14
FINANCIAMIENTO	14
1. INTRODUCCIÓN.....	15
2. ANTECEDENTES	17
2.1 Síndrome metabólico	17
2.2 Resistencia a la insulina.....	18
2.3 Balance y estrés oxidativo en diabetes tipo II (DMT2).....	18
2.4 Principales mecanismos moleculares para la inducción de resistencia a la insulina y DMT2	19
2.4.1 Estrés oxidativo y defensa antioxidante en las células beta	19
2.4.2 Resistencia y señalización a la insulina	20
2.5 Diabetes Mellitus.....	20
2.5.1 Diabetes tipo I	21
2.5.2 Diabetes gestacional	21
2.5.3 Diabetes tipo II	21
2.6 Obesidad y sobrepeso (SP+OB).....	24
2.7 Fármacos utilizados en el tratamiento de la diabetes tipo II	29
2.8 Perspectiva sobre alternativas de alimentación	30
2.9 Distribución y consumo de las cactáceas.....	31
2.9.1 Consumo de cactáceas	32
2.9.2 Distribución del ingreso de los consumidores de cactáceas	33
2.9.3 Territorios productores de cactáceas.....	36
2.10 Cactáceas con propiedades funcionales	41
2.10.1 Nopal (<i>Opuntia ficus indica</i>)	41
2.10.2 Jacube (<i>Acanthocereus tetragonus</i> (L) Hummelinck).....	42
2.11 Actividad de agua	49
2.12 Relevancia de las isotermas de sorción en productos alimentarios.....	51

2.13	Isotermas de sorción de humedad	52
2.13.1	Tipos de isotermas.....	54
2.14	Histéresis	57
2.14.1	Tipos de histéresis	58
2.15	Influencia de la temperatura sobre isotermas de sorción	59
2.16	Aplicaciones de las isotermas de sorción en la industria alimentaria	60
2.17	Procedimientos para la medición de isotermas de sorción.....	62
2.18	Modelos matemáticos	63
2.18.1	Modelo BET	64
2.18.2	Modelo GAB	64
3.	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	66
4.	JUSTIFICACIÓN	67
5.	OBJETIVO GENERAL.....	68
5.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	68
6.	HIPÓTESIS	68
7.	METODOLOGÍA.....	69
7.1	Materia prima	69
7.2	Identificación taxonómica del ejemplar vegetal	70
7.3	Preparación de muestras	70
7.3.2	Proceso de deshidratado.....	71
7.4	Análisis químico proximal.....	72
7.4.1	Identificación de humedad.....	72
7.4.2	Determinación de cenizas	72
7.4.3	Determinación de grasas.....	73
7.4.4	Determinación de proteínas.....	73
7.4.5	Determinación de azúcares	74
7.4.6	Determinación de fibra cruda.....	76
7.5	Análisis fisicoquímicos	76
7.5.1	Determinación del pH	76
7.5.2	Determinación de sólidos solubles	77
7.5.3	Determinación de ácido ascórbico.....	77
7.6	Análisis fitoquímicos	78

7.6.1	Preparación de muestras	78
7.6.2	Tratamiento de muestras.....	79
7.6.3	Presencia de Alcaloides	79
7.6.4	Esteroles	79
7.5.3.	Insaturaciones	80
7.6.5	Saponinas	80
7.6.6	Cumarinas.....	80
7.6.7	Oxhidrilos fenólicos	81
7.6.8	Glicósidos.....	81
7.6.9	Antocianinas.....	81
7.6.10	Quinonas	82
7.6.11	Oxalato	82
7.6.12	Flavonoides	82
7.6.13	Determinación de taninos	83
7.7	Determinación compuestos fenólicos totales	83
7.8	Determinación de flavonoides	84
7.9	Determinación de las propiedades antioxidantes	84
7.9.1	Técnica DPPH.....	84
7.10	Isotermas de adsorción y desorción.....	85
7.11	Elaboración de una galleta con jacube deshidratado	88
7.12	Elaboración de un yogur	90
7.14	Aplicación de encuestas sobre consumo de jacube	91
7.15	Evaluación de efecto hipoglucémico en individuos de prueba.....	92
7.15.1	Selección de sujetos de prueba	92
7.15.2	Toma de muestras sanguíneas e ingesta del alimento	92
7.15.3	Evaluación del efecto hipoglucémico	93
7.16	Análisis estadístico	94
8.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	95
8.1	Recolección de materia prima.....	95
8.1.1	Identificación taxonómica del jacube.....	95
8.1.2	Preparación de muestras para su análisis.....	96
8.2	Caracterización análisis químico proximal de jacube fresco y deshidratado.....	97

8.3	Caracterización fitoquímica del jacube en fresco y deshidratado.	100
8.3.1	Tamiz cualitativo fitoquímico.....	100
8.3.1	Cuantificación de concentración de compuestos fenólicos totales y flavonoides	102
8.4	Determinación de actividad antioxidante	104
8.5	Determinación de la estabilidad del jacube mediante isotermas de sorción 105	
8.5.1	Isotermas de adsorción	105
8.5.2	Isoterma de desorción	111
8.5.1	Histéresis	116
8.6	Conocimiento e incorporación del jacube deshidratado a un alimento y realización de análisis sensorial.....	118
8.6.1	Determinación de cantidad promedio de ingesta de jacube.....	118
8.6.2	Evaluación sensorial del alimento	119
8.7	Evaluación del efecto hipoglucémico en sujetos de prueba.	122
8.7.1	Comportamiento de la categoría de individuos con concentración de glucosa normal (<100 mg/dL)	123
8.7.2	Comportamiento de la categoría de sujetos con concentración de glucosa basal alterada (100 - 125 mg/dL).....	127
9.	Conclusiones	132
10.	Referencias bibliográficas.....	133
11.	Anexos	144
11.1	Anexo 1. Curva estándar de calibración de ácido gálico	144
11.2	Anexo 2. Curva estándar de calibración de catequina	145
11.3	Anexo 3. Registro de pesos de muestras de jacube fresco y deshidratado 146	
11.4	Anexo 4 Ajuste de los modelos matemáticos	152
11.4.1	Ajuste de los datos experimentales obtenidos a 35°C en muestras de jacube deshidratado.	152
11.4.2	Ajuste de los datos experimentales obtenidos a 35°C en muestras de jacube fresco.	153
11.4.3	Ajuste de los datos experimentales obtenidos a 45°C en muestras de jacube deshidratado.	154

11.4.4	Ajuste de los datos experimentales obtenidos a 45°C en muestras de jacube fresco.	155
11.5	Anexo 5 Encuesta de propiedades organolépticas	156
11.6	Anexo 6 Encuesta de conocimiento y consumo de jacube.	157
11.7	Anexo 7 Carta de consentimiento y privacidad de identidad	158
11.8	Anexo 8 Carta de solicitud al Comité de Bioética	160
11.9	Anexo 9 Solicitud de identificación taxonómica del jacube	161
11.10	Anexo 10 Publicación de un capítulo de libro titulado “The Food-Energy-Water Triangle for Sustainable Development Integrative and Synergic Solution ..	162
11.11	Anexo 11 Carta de aceptación de propuesta de tema de tesis	163

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Incidencia de factores previos al diagnóstico de diabetes por características sociodemográficas en la población adulta mexicana.	23
Tabla 2. Desintegración de gini en los consumidores de cactáceas en México.	34
Tabla 3. Condiciones de los sistemas de micro atmósferas.	85
Tabla 4. Concentraciones para las soluciones salinas saturadas de las isotermas. ...	86
Tabla 5. Formulaciones utilizadas para la elaboración de la galleta.	89
Tabla 6. Formulaciones utilizadas para la elaboración del yogur adicionado con jacube.	90
Tabla 7. Análisis químico proximal de jacube en base a 100g de materia fresca.	98
Tabla 8. Análisis químico proximal de jacube en base a 100 g de materia seca.	99
Tabla 9. Análisis fitoquímico cualitativo en jacube fresco y deshidratado.	101
Tabla 10. Comparación de contenido total de polifenoles y flavonoides en muestras de jacube fresco y deshidratado en distintas estaciones del año.	103
Tabla 11. Capacidad antioxidante en muestras de jacube fresco y deshidratado en distintas estaciones del año.	104
Tabla 12. Valores de humedad en equilibrio W_e (gr agua/gr bs) experimentales de las muestras de jacube deshidratado en función de la actividad de agua a las temperaturas de 35°C y 45°C.	106
Tabla 13. Parámetros de ajuste de las isotermas de adsorción a 35°C y 45°C de jacube deshidratado para los modelos matemáticos de BET y GAB.	107
Tabla 14. Valores de humedad en equilibrio W_e (gr agua/gr bs) experimentales de las muestras de jacube deshidratado en función de la actividad de agua a las temperaturas de 35°C y 45°C.	111
Tabla 15. Parámetros de ajuste de las isotermas de desorción a 35°C y 45°C de jacube deshidratado para los modelos matemáticos de BET y GAB.	113
Tabla 16. Valores de concentración de glucosa basal normal en muestras sanguíneas al ingerir el yogur sin jacube.	123
Tabla 17. Valores de concentraciones de glucosa en muestras sanguíneas al ingerir el yogur con jacube.	124
Tabla 18. Diferenciales de concentraciones de glucosa en muestras sanguíneas. .	125
Tabla 19. Valores de concentración de glucosa basal alterada en muestras sanguíneas al ingerir el yogur sin jacube.	128
Tabla 20. Valores de concentración de glucosa basal alterada en muestras sanguíneas al ingerir el yogur con jacube.	128
Tabla 21. Diferenciales de concentraciones de glucosa en muestras sanguíneas. .	129

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Incidencia de diabetes con diagnóstico médico, no diagnosticado y total por factores sociodemográficos en personas adultas (ENSANUT., 2022).	24
Figura 2. Cotejo de la incidencia nacional de sobrepeso y obesidad en población infantil de 5 a 11 años, clasificados por sexo, del año 2006 al periodo de 2020-2022 (ENSANUT., 2022).	26
Figura 3. Cotejo de la incidencia en México de sobrepeso y obesidad en la población adolescente de 12 a 19 años, por sexo, de 2006 a 2020-2022 en México (ENSANUT., 2022).	27
Figura 4 Incidencia de patologías crónicas en adultos con obesidad, medida Por el índice de masa corporal (imc)* y circunferencia de cintura en México (ENSANUT.,2022).	28
Figura 5. Curva de Lorenz de los consumidores de cactáceas en México.	35
Figura 6. Dispersión del cultivo de nopal en México en el 2021. Fuente: SIAP, 2021-SADER	37
Figura 7. Registro de producción de jacubes en México. Fuente: Global Biodiversity Information Facility (GBIF) 2022.	38
Figura 8. Dispersión del cultivo de tuna en México en el 2021. Fuente: SIAP, 2021-SADER.	39
Figura 9. Dispersión del cultivo de pitaya en México en el 2019. Fuente: SIAP, 2021-SADER.	40
Figura 11. Fotografía de cactácea del género <i>Acanthocereus</i> del municipio de Ébano, San Luis Potosí. Fuente: Propia del autor.	43
Figura 12. Fotografía de cultivo de jacube en el Ejido Ojo de agua, del municipio de Ciudad Valles, San Luis Potosí. Fuente: Propia del autor.	45
Figura 13. Fotografía de la forma de comercio en mercado local de abastos de Ciudad Valles, S.L.P. Fuente: Propia del autor.	46
Figura 14. Fotografía de la forma de preparación del jacube en la gastronomía mexicana. Fuente: Propia del autor.	46
Figura 15. Procesos desarrollados en los alimentos según la actividad del agua. a) Oxidación de lípidos; b) reacciones hidrolíticas; c) oscurecimiento no enzimático; d) isoterma de adsorción; e) actividad enzimática; f) crecimiento de hongos; g) crecimiento de levaduras, y h) crecimiento de bacteria. Fuente: Badui Dergal, (2006).	50
Figura 16. Representación gráfica de curvas de las isotermas de adsorción y desorción de los alimentos. Fuente: Badui (2006).	53
Figura 17. Isoterma característica de los alimentos. Fuente: Hay et al. (2022).	53

Figura 18. Tipos I y II de isothermas según S. Brunauer (1940). Fuente: Shafiur, (2003).	55
Figura 19. Tipos III, IV y V de isothermas según S. Brunauer (1940). Fuente: Shafiur, (2003).	56
Figura 20. Ejemplo del fenómeno de histéresis. Fuente: (Badui Dergal, (2013).	57
Figura 21. Ejemplos de histéresis en algunos alimentos. Fuente: Arslan & Toğrul, (2005).	58
Figura 22. Efecto de la temperatura en las isothermas. Fuente: Badui, (2006).	60
Figura 23. Cultivo de jacube en el ejido Ojo de agua en Ciudad Valles, San Luis Potosí. Fuente propia del autor.	69
Figura 24. Localización del ejido Ojo de Agua en Ciudad Valles, San Luis Potosí. Fuente: Google maps.....	70
Figura 25. Frascos adaptados con el soporte y la muestra. Fuente: Propia del autor	87
Figura 26. Frascos cerrados herméticamente con cada micro atmosfera. Fuente: Propia del autor.....	88
Figura 27. Tallos de jacube (<i>Acanthocereus tetragonus</i> (L) Hummelinck). A) Recolecta de tallos en cultivo del Ejido Ojo de Agua. B) Lavado y secado de tallos. c) Corte horizontal de tallos. Fuente propia del autor.	95
Figura 28. Efectividad del proceso de escaldado en jacube. (Prueba de guayacol). 97	
Figura 29. Isotherma de adsorción de jacube deshidratado a 35°C. Elaboración propia del autor.....	109
Figura 30. Isotherma de adsorción de jacube de deshidratado a 45°C. Elaboración propia del autor.	110
Figura 31. Isotherma de desorción de jacube fresco a 35°C. Fuente: Elaboración propia del autor	114
Figura 32. Isotherma de desorción de jacube fresco a 45°C. Fuente: Elaboración propia del autor.	115
Figura 33. Isotherma de jacube a 35°C.	116
Figura 34. Isotherma de jacube a 45°C.	117
Figura 35. Gráfica radial de los porcentajes de las características sensoriales evaluadas en la galleta adicionada con jacube deshidratado.	120
Figura 36. Galleta adicionada con jacube deshidratado. Foto propia del autor	120
Figura 37. Gráfica radial de los porcentajes de las características sensoriales evaluadas en la galleta adicionada con jacube deshidratado.	121
Figura 38. Yogur adicionado con jacube deshidratado	122
Figura 39. Gráfica de comparación de los valores diferenciales de concentraciones de glucosa en la categoría de individuos con <100 mg/dL de glucosa sanguínea. ...	127
Figura 40. Gráfica de comparación de los valores diferenciales de concentraciones de glucosa en la categoría de individuos entre 100 - 125 mg/dL de glucosa sanguínea alterada.	131

CRÉDITOS INSTITUCIONALES

La presente investigación se desarrolló en los Laboratorios de Desarrollo de Productos y Ciencias Básicas II en colaboración con el Laboratorio de Análisis Clínicos ambos pertenecientes a la Universidad Autónoma de San Luis Potosí de la Facultad de Estudios Profesionales Zona Huasteca y al Laboratorio Nacional CONAHCYT de Apoyo a la Evaluación de Productos Bióticos- LaNAEPBi, Unidad de Servicio Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Valles, por el apoyo en el desarrollo de una estancia de investigación.



UASLP
Universidad Autónoma
de San Luis Potosí



FACULTAD DE
ESTUDIOS PROFESIONALES
ZONA HUASTECA



LANAEPBI
LABORATORIO NACIONAL CONAHCYT
DE APOYO A LA EVALUACIÓN DE PRODUCTOS BIÓTICOS

FINANCIAMIENTO

Este trabajo ha sido financiado por la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) mediante el número de apoyo de beca 822471.



Ciencia y Tecnología

Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación

1. INTRODUCCIÓN

Los hábitos nutricionales en la sociedad han sido muy variables a través del tiempo lo que ha provocado el aumento de padecimientos que han deteriorado la salud humana. La Organización Mundial de la Salud, (2022) menciona que existe un aumento de personas con obesidad/sobrepeso, hipertensión, hiperlipidemia e hiperglucemia, que son factores que componen el Síndrome Metabólico (Smet), la combinación de estos ha provocado que las personas sean más propensas a padecer enfermedades cardiovasculares y diabetes tipo II (DMT2). La diabetes es una enfermedad crónica en donde el páncreas secreta poca insulina en el organismo o la que secreta es utilizada ineficazmente. Cuando existe un desequilibrio en el régimen alimentario, peso corporal, una falta de actividad física y sedentarismo la combinación de estos factores aumenta las probabilidades que las personas sean propensas a padecer DMT2, este tipo de diabetes predomina en adultos mayores, pero la OMS ha reportado que la prevalencia de obesidad/sobrepeso se ha elevado en niños y adolescentes, lo que ha provocado un incremento en el diagnóstico de diabetes tipo II en adultos jóvenes en los últimos años. A nivel mundial, se ha incrementado hasta cinco veces las tasas de obesidad/sobrepeso en niños y adolescentes, existen 41 millones de niños menores de cinco años y 340 millones de adolescentes de 5 a 19 años con sobrepeso/obesidad (World Health Organization, 2023). Se reporta que más del 95% de las personas que padecen diabetes son del tipo 2. Su prevalencia durante el año 2000 al 2019 ha influido en el aumento de la tasa de mortalidad hasta un 3% a nivel mundial (Institute for Health Metrics and Evaluation & Global Burden of Disease Collaborative Network, 2020). La Organización Panamericana de la Salud (OPS) reporta que la Región de las Américas registra que el 80.7% de los adolescentes son poco activos, y dentro de este mismo territorio se encuentran los dos países con mayor tasa de mortalidad de diabetes son; Guyana en primer lugar y México en segundo lugar (Organización Panamericana de la Salud, 2023). En México según estadísticas del ENSANUT en 2022, existe un creciente predominio de obesidad/sobrepeso del 75% en personas adultas jóvenes de más de 20 años, y en adolescentes dentro de un rango de edad

de 12 a 19 años y en población infantil entre 5 y 11 años y estos últimos del 36%. Sobre la prevalencia de diabetes, existe un incremento en el diagnóstico en adultos jóvenes de edad de 20 años y más, estas cifras pasaron de 6.4 millones en el 2012 a 8.4 millones en el 2022 (ENSANUT et al., 2022) (Basto-Abreu et al., 2023).

El aumento de estos padecimientos va ligado a la dieta la cual es un factor importante en la salud. Se ha reportado que la ingesta de fibra mejora la hiperglucemia en personas con DMT2 (Kim et al., 2016) dentro de la composición de la fibra se encuentran compuestos antioxidantes. Además, estas personas que están diagnosticadas con DMT2 se ha descrito que presentan una disminución en su función antioxidante (Dragsbaek et al., 2016) por consecuencia, la ingesta de factores antioxidantes es una opción de tratamiento ante esta patología (Rodrigo et al., 2017; Rossi et al., 2016). Existen algunas plantas cactáceas, como el nopal y el jacube, que han demostrado tener capacidad antioxidante.

A nivel mundial existen 1,400 especies de cactáceas, esta familia es endémica del continente americano. En México, existen 669 especies de cactáceas que son mexicanas las cuales predominan en las entidades de Tamaulipas, Querétaro, Veracruz y San Luis Potosí (SEMARNAT, 2018). En este último estado se reporta la mayor biodiversidad de plantas cactáceas con 151 especies registradas. En la región Huasteca se consume una cactácea conocida como jacube (*Acanthocereus tetragonus*) (L) Hummelinck). Generalmente, se consumen los tallos tiernos en trozos guisados, y se encuentra en la gastronomía de México.

Sin embargo, aún es limitada la información de los compuestos biológicos activos y actividad antioxidante que pueda presentar el jacube. Por lo que el objetivo de este proyecto de investigación se basa en caracterizar y aprovechar los compuestos activos que se encuentran en el jacube debido a que no existe información sobre el comportamiento de sus compuestos activos al incorporarlos a un alimento, pueda generar un efecto hipoglucémico, y contribuir a mejorar la salud de la sociedad mexicana.

2. ANTECEDENTES

2.1 Síndrome metabólico

El Smet comprende distintas descompensaciones metabólicas que cuando se presentan al mismo tiempo son considerados factores de riesgos en la persona que los padece, porque está expuesto a desarrollar diabetes mellitus y enfermedad cardiovascular, las cuales se acompañan generalmente de la hipertensión, dislipidemia y obesidad, este cúmulo de patologías se asocian con la resistencia a la insulina. Además, según (Dragsbaek et al., 2016) el síndrome metabólico aumenta significativamente el riesgo de desarrollar diabetes (dos veces) y enfermedad cardiovascular (cinco veces), siendo un agente relevante para el desarrollo de complicaciones entre la población (Bustamante et al., 2021).

En regiones de países centroamericanos y del sur se ha producido un aumento en obesidad, Smet, hipertensión y otros agentes de riesgo cardiovascular en las últimas décadas (Ruilope et al., 2018).

En 2021, Rojas Martínez y colaboradores realizaron un estudio donde se analizaron a 27 mil adultos mexicanos que participaron en las encuestas de ENSANUT en los años 2006, 2012, 2016 y 2018, en donde se estimó que 36.5 millones de los adultos mexicanos padecen Smet, de este estimado; 2 millones tienen una alta probabilidad de ser diagnosticados con DMT2 y 2.5 millones de personas de desarrollar enfermedades cardiovasculares en un periodo de 10 años (Rojas-Martínez et al., 2021).

En otro estudio realizado por el ENSANUT en 2019, se determinó que el 7.62% de las ocurrencias de Smet presentan un considerable riesgo de adquirir DMT2 y el 11.6% de enfermedades cardiovasculares. Esto sustentado con el aumento del diagnóstico de diabetes, hipertensión, obesidad y sobrepeso en poblaciones jóvenes de México.

Estos factores han cobrado aún más importancia a la luz de la epidemia de estos padecimientos, en donde la inactividad física y el sobrepeso/obesidad son las principales causas para el desarrollo de DMT2 (Padrón et al., 2020).

2.2 Resistencia a la insulina

Es una condición en donde las células del organismo no responden adecuadamente a la insulina. Esta es una hormona se produce en el páncreas su trabajo es regular los niveles de glucosa en la sangre. Cuando un individuo padece resistencia a la insulina, las células no absorben la glucosa de manera eficiente, lo que provoca que se acumule y aumente la glicemia, lo cual puede llevar a un cuadro prediabético y eventualmente a DMT2, debido a que el páncreas secreta más insulina para compensar la resistencia, lo que puede ocasionar una sobrecarga del órgano y consecuentemente a su disfunción. Además, la resistencia a la insulina también puede estar relacionada con otros problemas de salud, como la obesidad, alta presión arterial, hipercolesterolemia y enfermedad cardiovascular (Gutiérrez-Solís et al., 2018). Investigaciones reportan que la insulinoresistencia relacionada con el conjunto celular adiposo, el hígado y los músculos es un sello distintivo de la disfunción metabólica causada principalmente por la obesidad (Varghese et al., 2020).

Existe evidencia experimental y clínica que indica que la obesidad/obesidad provoca cambios en el tejido adiposo, el hígado y los músculos, generando una respuesta inflamatoria crónica menor, pero que contribuye a la disfunción metabólica y a la insulinoresistencia (Berraouan et al., 2015; Park et al., 2005).

2.3 Balance y estrés oxidativo en diabetes tipo II (DMT2)

Cuando existen condiciones fisiológicas normales en el organismo predomina un equilibrio en el balance redox y las funciones normales celulares con los compuestos oxidantes generados en la parcial reducción del oxígeno en H₂O conocidas como

ROS (*Especies Reactivas de Oxígeno*) (Poblete-Aro et al., 2018). Estas moléculas reactivas y tóxicas que están formadas de átomos de oxígeno en diferentes estados de oxidación y poseen una estructura que se compone por un número impar de electrones en el último orbital por lo que producen reacciones químicas una tras otra causando oxidación en las biomoléculas (Núñez-Musa et al., 2020). Estas moléculas son el resultado propio de la actividad metabólica celular y también se producen cuando existe un desequilibrio en el balance redox. Algunas de ellas son; el anión superóxido ($O_2^{\bullet-}$), radical hidroxilo ($OH\cdot$), peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y agentes antioxidantes enzimáticos como superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT), glutatión peroxidasa (GPx) y no enzimáticos; como el glutatión reducido y la vitamina C (Poblete-Aro et al., 2018). Cuando existe un desequilibrio en el balance redox por un aumento en generación de agentes oxidantes sobre los agentes antioxidantes sucede un estado de estrés oxidativo (EO), las moléculas antioxidantes reducen las ROS mediante la donación de un electrón a un radical libre sin perder su estabilidad, y el efecto oxidativo no cause daño celular, el efecto oxidativo es un estado crónico que daña a la célula, porque ocasiona la pérdida de electrones de biomoléculas y altera las rutas de comunicación celular por alteraciones en el balance redox modificando el mecanismo de la célula incluso llegando hasta su muerte. El EO está ligado con la etiopatogénesis de una gran cantidad de patologías, dentro de ellas se encuentra la DMT2 que es una de las más estudiadas y relacionadas (Baba & Bhatnagar, 2018).

2.4 Principales mecanismos moleculares para la inducción de resistencia a la insulina y DMT2

2.4.1 Estrés oxidativo y defensa antioxidante en las células beta

Casi todas las ROS realizan funciones fisiológicas importantes a nivel celular, por el contrario, también participan en reacciones de oxidación indeseables, ante estas reacciones el organismo ha creado ciertas defensas antioxidantes (Núñez-Musa et

al., 2020). En homeostasis celular, la producción endógena de una cierta cantidad de ROS es un proceso celular típico e inevitable, exento del mínimo daño oxidativo debido a la provisión por parte de la célula, el cual es esencial para la vida de esta, al ser un mecanismo que se relaciona en la regulación y producción de energía metabólica, activación o inactivación de biomoléculas, y que tiene mecanismos antioxidantes con los que la célula ataca estos daños (Zhu et al., 2019).

2.4.2 Resistencia y señalización a la insulina

La resistencia a la insulina genera secreción de esta de manera compensatoria que puede ocasionar fallas en las células beta del páncreas (Simonsson et al., 2023). Este padecimiento es como una anomalía fisiológica que aumenta la probabilidad de desarrollar alteraciones de las concentraciones de glucosa en ayuno, disfunción endotelial, tolerancia a la glucosa, dislipidemia y disfunción endotelial. Se caracteriza por ser una de las disfunciones endócrinas principales relacionadas a la DM2, enfermedades cardiovasculares, hipertensión, síndrome de ovario poliquístico, hígado graso no alcohólico, algunas formas de cáncer y apnea del sueño (Baba & Bhatnagar, 2018).

2.5 Diabetes Mellitus

La diabetes mellitus (DM) se define como una enfermedad crónica que aparece porque el páncreas secreta insuficiente insulina o cuando el organismo utiliza de manera ineficaz la insulina que genera. Esta hormona modera la concentración de glucosa en la sangre, además transporta la glucosa de la sangre hacia las células (World Health Organization, 2023). Cuando la glucosa ingresa a las células, se utiliza como combustible para producir energía o se almacena para utilizarla más tarde. Un individuo con diabetes mellitus, tiene problemas con la insulina, pero no todas las personas con diabetes padecen el mismo problema. Por lo cual se clasifican en

distintos tipos de diabetes; tipo I, tipo II y un estado llamado diabetes gestacional (ADA American Diabetes Association, 2024) (World Health Organization, 2023).

2.5.1 Diabetes tipo I

La diabetes tipo I es un padecimiento autoinmune caracteriza por el hecho de que el páncreas no produce insulina debido a que las células beta que están en el páncreas son inactivadas por el mismo sistema inmunológico del organismo y por consecuencia existe un incremento de concentraciones de glucosa en la sangre (Basto-Abreu et al., 2023; OPS, 2024).

2.5.2 Diabetes gestacional

La diabetes gestacional se desarrolla en el periodo de embarazo se caracteriza por presentar hiperglucemia con valores de glucosa por encima de lo normal, pero por debajo de los valores para diagnóstico de diabetes. Las mujeres que padecen esta condición tienen altas probabilidades que sus hijos padezcan diabetes tipo II en el futuro (ADA American Diabetes Association, 2024).

2.5.3 Diabetes tipo II

Se caracteriza debido a que el cuerpo no utiliza la insulina adecuadamente, conocido como resistencia a la insulina. Inicialmente, las células beta aumentan la producción de insulina para poder compensar, pero esta compensación provoca que el páncreas disminuya la capacidad de producir suficiente insulina para mantener la glucosa en la sangre dentro de los niveles normales, es más común en adultos mayores. La prevalencia de la diabetes tipo II (DMT2) ha aumentado en las últimas tres décadas drásticamente en países de todos los niveles de ingresos (Basto-Abreu et al., 2023).

Alrededor de 422 millones de personas a nivel mundial padecen DMT2, su mayoría vive en países de ingresos bajos y medianos. Anualmente a la DMT2 se le atribuyen directamente 1.5 millones de fallecimientos. Durante las últimas décadas se ha incrementado constantemente el número de eventos y la prevalencia de diabetes. Según datos de la OPS, un estimado de 62 millones de personas en América viven con diabetes tipo II, esta cifra se ha triplicado desde 1980 y se visualiza que llegará a 109 millones para el año 2040 (Organización Panamericana de la Salud, 2023).

En México, durante el año 2018 la incidencia de diabetes fue de 16.8%, porcentaje que ubicó a este tipo de diabetes como la primera causa de discapacidad y la segunda de descensos a nivel nacional (Basto-Abreu et al., 2023). Datos de la ENSANUT reportados en 2022, mencionan que la incidencia de síntomas previos al diagnóstico de la DMT2 es del 22.1% (IC95%: 19.6,24.7) (Tabla 1), dentro de lo que predominan personas adultas mayores de edad y secciones de población con más bajo nivel de escolaridad y socioeconómico.

Tabla 1. Incidencia de factores previos al diagnóstico de diabetes por características sociodemográficas en la población adulta mexicana.

	<i>Prediabetes*</i>	
	%	IC95%
Total	22.1	19.6,24.7
Sexo		
Hombre	18.9	15.0,23.6
Mujer	24.9	20.6,29.7
Edad (años)		
20-39	12.8	8.9,18.1
40-59	27.1	22.3,32.5
60 o más	32.8	26.2,40.2
Nivel socioeconómico		
Bajo	24.5	19.8,29.8
Medio	23.7	18.2,30.1
Alto	18.6	14.1,24.1
Nivel educativo		
Primaria	33.8	27.5,40.8
Secundaria	21.4	16.6,27.1
Preparatoria	14.8	10.5,20.6
Universidad	14.3	10.4,19.4
Derechohabiencia		
IMSS	21.8	17.9,26.4
ISSSTE	22.6	14.9,32.8
Sin derechohabiencia	21.4	17.8,25.5
Otros públicos o privados	35.0	18.3,56.5
Tipo de localidad		
Rural	22.8	17.4,29.2
Urbana	24.5	20.0,29.6
Metropolitana	20.4	17.0,24.1

*Definida como glucosa en sangre en ayuno ≥ 100 mg/dl y ≤ 125 mg/dl, o hemoglobina glucosilada (HbA1c) $\geq 5.7\%$ y $< 6.5\%$, sin diagnóstico previo de diabetes.

IC: Intervalo de confianza.

IMSS: Instituto Mexicano del Seguro Social.

ISSSTE: Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado.

Ensanut: Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT et al.,2022).

Se reporta que un 22.1% aproximadamente 17.6 millones de personas presentan factores que influyen en un previo diagnóstico de diabetes tipo II, el porcentaje de incidencia con diagnóstico fue del 12.6% y la incidencia de no diagnosticada fue de 5.8%, estos porcentajes dan como resultado un 18.3% que es equivalente a 14.6 millones de personas en el país (ENSANUT et al., 2022) (Figura 1).

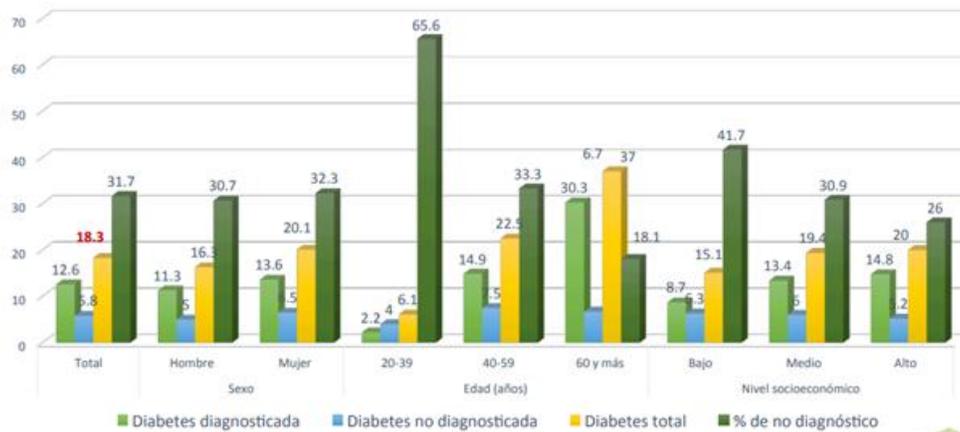


Figura 1. Incidencia de diabetes con diagnóstico médico, no diagnosticado y total por factores sociodemográficos en personas adultas (ENSANUT., 2022).

El monitoreo y la recolección constante de datos relacionados con la incidencia de diabetes en México es imprescindible para supervisar su evolución. Es importante aplicar programas de prevención y control, como políticas que impulsen el desarrollo y fortalecer acciones que generen un ambiente y opciones saludables por parte de la población, con la finalidad de disminuir la prevalencia de este padecimiento. Dentro de ello, esta evitar ingerir bebidas con azúcar y alimentos ultraprocesados incrementar el consumo de agua natural, alimentos frescos y naturales, y promover la práctica de ejercicio y actividades físicas en poblaciones juveniles e infantiles.

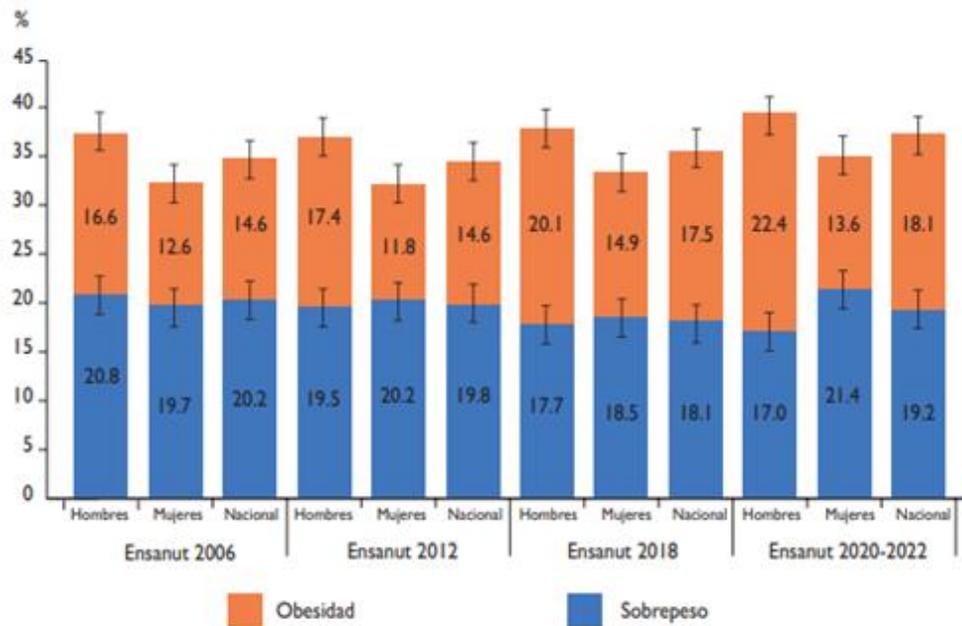
2.6 Obesidad y sobrepeso (SP+OB)

El sobrepeso y la obesidad (SP+OB) se caracterizan por presentar acumulación inusual o excesiva de grasa que puede ocasionar daños en la salud. Cuando un individuo presenta obesidad, tiene la posibilidad de ser diagnosticado con diversas enfermedades crónicas, una de ellas es la diabetes (World Obesity Federation & Global Obesity Observatory, 2024). Una de las maneras de conocer si se tiene exceso de peso u obesidad es midiendo el índice de masa corporal (IMC), en donde nos dice que un valor mayor a 25 se considera sobrepeso, y mayor a 30 es obesidad. Este problema tiene un comportamiento similar a una epidemia debido a la cantidad

de personas que reportan incidencias, ya que se estima que, en 2017 alrededor de cuatro millones de ellas fallecen por año por causas asociadas con el sobrepeso o la obesidad sobre la carga mundial de morbilidad (OPS & OMS, 2024). De igual forma, las tasas de obesidad han aumentado casi tres veces desde 1975 y hasta casi cinco veces en población infantil y adolescente, estas cifras perjudican a personas de todas las edades y de todos los grupos sociales a nivel mundial. América latina reporta la incidencia más elevada de SP y OB de todas las regiones de la Organización Mundial de la Salud con el 62.5% en personas adultas. Solo en México este porcentaje es más elevado con un 75.2% de incidencia en total. Este brote no solo se centra en adultos, ya que también afecta a la población infantil y adolescente con un rango de edad de 5 y 19 años se reportó que el 33.6% padecen sobrepeso u obesidad, y el 7.3% de esta población tienen menos de cinco años (OPS & OMS, 2024).

En México, la incidencia de SP+OB en población infantil y adolescente, se observa con un permanente incremento durante los años. Desde el año de 1999, esta incidencia se presentó solo en el 26.8% de los estudiantes (Hernández-Cordero et al., 2017), sin embargo, para el año 2018 se elevó a 35.2% (Shamah-Levy et al., 2021). En el año de 1988 la incidencia de SP+OB era de 11.1% en mujeres adolescentes, y en 2018 aumento a un 38.4%, para los hombres adolescentes, la incidencia de SP+OB en 2006 era de 33% y en 2018 aumento a un 35.6%, este aumento marcado en mujeres se les atribuye a cambios hormonales que se atraviesan en varias etapas del desarrollo como; adolescencia, embarazo, lactancia y menopausia (Shamah-Levy et al., 2021).

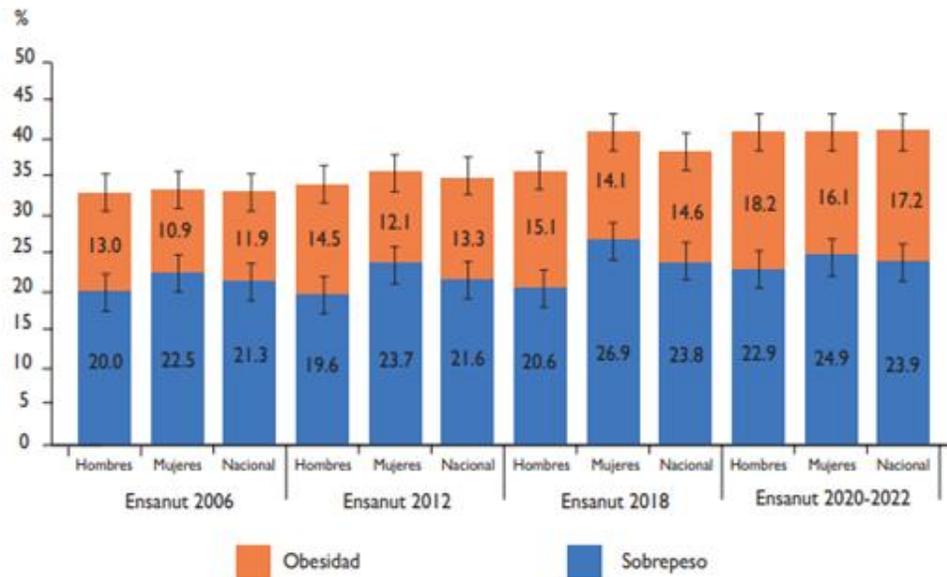
A nivel nacional, una comparación de antecedentes del SP+OB, se observa que, en niños de 5 a 11 años, la incidencia de sobrepeso no ha cambiado y ha permanecido en el rango del 20%, por el contrario, la incidencia en obesidad muestra una inclinación en aumento, debido a que en el 2006 se reportó un 14.6% y en 2020-2022 se reportó un 18.1%. Por sexo, en hombres estudiantes se reporta una elevación en la obesidad de 5.8 puntos porcentuales (pp), en cambio para mujeres esta incidencia permanece entre 13 y 14% (ENSANUT et al., 2022) (Figura 2).



Fuente: Ensanut 2006,⁴ 2012,⁵ 2018⁹ y 2020-2022⁹
 Ensanut: Encuesta Nacional de Salud y Nutrición

Figura 2. Cotejo de la incidencia nacional de sobrepeso y obesidad en población infantil de 5 a 11 años, clasificados por sexo, del año 2006 al periodo de 2020-2022 (ENSANUT., 2022).

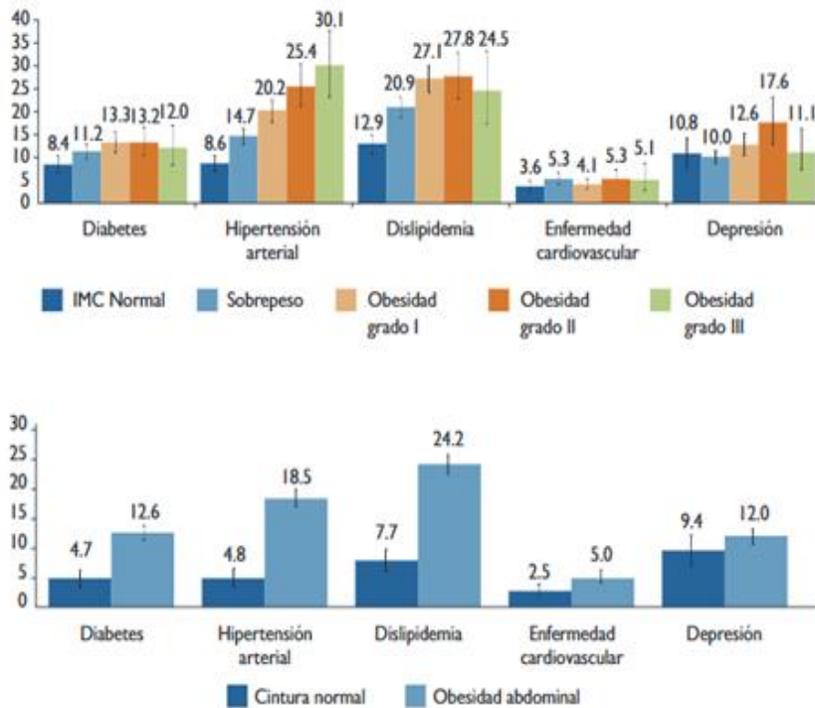
En el periodo 2006 a 2020- 2022, en la población adolescente el sobrepeso fluctuó entre 21.3 y 23.9%, por otro lado, la obesidad muestra un incremento en ese mismo periodo, de 11.9% en el año 2006 a 17.2% en el periodo de 2020-2022 (Figura 3). En la clasificación por sexo se reporta que en hombres y mujeres existe un aumento en la obesidad de alrededor de 5 pp en ese periodo.



Fuente: Ensanut 2006,⁴ 2012,⁵ 2018⁶ y 2020-2022⁹
 Ensanut: Encuesta Nacional de Salud y Nutrición

Figura 3. Cotejo de la incidencia en México de sobrepeso y obesidad en la población adolescente de 12 a 19 años, por sexo, de 2006 a 2020-2022 en México (ENSANUT., 2022).

En cuanto a la incidencia de obesidad en adultos jóvenes > 20 años, esta ronda en el 36.9% y de sobrepeso es del 38.3%. Un adulto joven con estas características tiene una probabilidad del 45% de padecer obesidad, esta es mayor en mujeres que en hombres y aumenta 1.7 veces más en adultos mayores de entre 40 y 59 años a comparación con jóvenes con una edad menor de 39 años. En personas adultas con diagnóstico de obesidad abdominal es más común encontrar enfermedades crónicas como diabetes, alta presión arterial, alta concentración de triglicéridos y colesterol en la sangre y trastornos cardiovasculares (ENSANUT et al., 2022) (Figura 4).



* Puntos de corte de la Organización Mundial de la Salud: índice de masa corporal (IMC) normal (18.5-24.9 kg/m²), sobrepeso (25.0-29.9 kg/m²) y obesidad (≥30.0 kg/m²). Subcategorías de obesidad: obesidad grado I (30.0 a 34.9 kg/m²), obesidad grado II o severa (35.0-39.9 kg/m²) y obesidad grado III o mórbida (≥40.0 kg/m²).
 † Obesidad abdominal: circunferencia de cintura ≥80 cm en mujeres y ≥90 cm en hombres. Cintura normal: <80 cm en mujeres y <90 cm en hombres.
 Ensanut: Encuesta Nacional de Salud y Nutrición

Figura 4. Incidencia de patologías crónicas en adultos con obesidad, medida Por el índice de masa corporal (imc)* y circunferencia de cintura en México (ENSANUT.,2022).

Las estadísticas nacionales indican que México se ubica entre los cinco países con mayor incidencia de obesidad (IMC ≥30 kg/m²) en América Latina solo por detrás de los países de San Cristóbal (45%), Bahamas (43.7%), Antigua (43.1%) y Estados Unidos (42.7%). Estos datos corresponden con lo reportado en el resto del mundo, la existencia de un incremento en las prevalencias de SP+OB en población infantil y adolescente en los últimos 30 años (Güngör, 2014; Han et al., 2010; OPS, 2024).

El SP y OB se relacionan con trastornos crónicos que incluyen la DMT2, alta presión arterial y alteraciones en concentraciones de colesterol y triglicéridos en la sangre (Mokdad et al., 2003) el control de estos padecimientos es una estrategia efectiva para disminuir la incidencia de Smet.

2.7 Fármacos utilizados en el tratamiento de la diabetes tipo II

Al seleccionar un tratamiento farmacológico para pacientes con obesidad y diabetes mellitus tipo 2, es fundamental considerar los efectos secundarios y adversos de los medicamentos sobre el peso corporal. Asimismo, debe prestarse atención a la elección de fármacos utilizados para tratar comorbilidades, evitando aquellos que puedan favorecer el aumento de peso. La eficacia del manejo farmacológico de la diabetes tipo 2 se optimiza cuando se adapta a las características y necesidades individuales de cada paciente, complementándose siempre con recomendaciones generales de alimentación saludable y actividad física regular (Mellado-Orellana et al., 2019). Algunas opciones de fármacos se describen a continuación:

- **Acarbosa:** Es un fármaco antidiabético clasificado dentro de los inhibidores de la alfa-glucosidasa. Su mecanismo de acción consiste en retrasar la digestión de los carbohidratos en el intestino, lo que contribuye a evitar elevaciones bruscas de glucosa en sangre después de ingerir alimentos. La acarbosa se indica comúnmente en pacientes con diabetes mellitus tipo 2, como complemento de un tratamiento integral que abarca cambios en la alimentación, actividad física y, en algunos casos, otros medicamentos hipoglucemiantes.

Orlistat: El orlistat es un fármaco indicado principalmente en el tratamiento del sobrepeso y la obesidad. Su acción se basa en bloquear la absorción de grasas a nivel intestinal, lo que disminuye la cantidad de calorías ingeridas y favorece la pérdida de peso. Para potenciar sus efectos, se recomienda su uso acompañado de una dieta baja en calorías y un plan regular de actividad física (Win et al., 2025).

- **Semaglutida:** El fármaco Semaglutida es un análogo de GLP1, fue aprobada por la FDA en el año 2017 para el tratamiento de diabetes tipo 2 y con efectos muy buenos para pérdida de peso (Rajamand Ekberg et al., 2021) es similar a liraglutida, pero más estable, por ende tiene una vida media más larga,

pertenece a la familia de las hormonas incretinas, que disminuye la hiperglucemia, estimulando la secreción de insulina, mediada por la glucosa, reduciendo la secreción de glucagón y glucosa hepática y disminuyendo la velocidad del vaciamiento gástrico (Mishriky et al., 2019). Este mecanismo hace que disminuya el apetito y los antojos, que sumado a una dieta baja en carbohidratos y ejercicio han demostrado pérdida de peso, disminución de riesgo cardiovascular y control glucémico (Goldenberg & Steen, 2019).

- **Liraglutida:** La liraglutida es un agonista recombinante del receptor del péptido similar al glucagón tipo 1 (GLP-1), que no solo ejerce un efecto hipoglucemiante, sino que también contribuye a la reducción del peso corporal y mejora diversos factores de riesgo cardiovascular, como la presión arterial y los perfiles lipídicos (Barnett, 2012). Su eficacia antidiabética es comparable a la de la insulina basal, con ventajas adicionales como un riesgo prácticamente inexistente de hipoglucemia y su capacidad para favorecer la pérdida de peso (Russell-Jones et al., 2009). Los efectos secundarios más comunes son gastrointestinales, destacando las náuseas, que suelen presentarse durante las primeras semanas de tratamiento y, en general, son leves y transitorias. No obstante, tanto la liraglutida como otros agonistas del receptor de GLP-1 tienen como principal limitante su costo, superior al de otras alternativas terapéuticas disponibles (Mezquita Raya & Reyes García, 2014).

2.8 Perspectiva sobre alternativas de alimentación

El escenario sobre el incremento en la cifra de individuos que sufren las anormalidades que comprenden el Smet, se puede relacionar con el consumo de alimentos procesados, una urbanización rápida con lugares donde predominan los lugares de venta de comida rápida, además la población realiza actividades no físicas, como ver televisión y videojuegos en donde se han observado estas incidencias de SP y OB. Estos cambios en los hábitos cotidianos han creado un

cambio en el régimen alimentario, ya que las personas adquieren más alimentos hipercalóricos, grasas, azúcares libres y sal, por otro lado, se consumen pocas frutas, verduras y fibra dietética (Wang et al., 2019) (Torres-Ponce et al., 2015).

En la actualidad, la ciencia concentra sus esfuerzos en los compuestos naturales, se fomenta el uso de nutraceuticos, compuestos bioactivos de origen vegetal con importantes valores nutricionales (Sinicropi et al., 2022). Las plantas con propiedades beneficiosas son conocidas en la medicina tradicional, esto ha impulsado un creciente interés por compuestos bioactivos de origen vegetal con importantes valores nutricionales (Aragona et al., 2018). En México, la Secretaría de Salud, reporta que aproximadamente el 90% de la población mexicana ha recurrido a utilizar por lo menos una vez en su vida una de las 4,500 plantas medicinales que están registradas en México. Así mismo, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) menciona que el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) tiene registro de 3,000 especies de plantas con propiedades medicinales. De las 4,000 que se estima que crecen en México, representan el 15% de la flora total en territorio mexicano, pero solo se ha investigado el comportamiento farmacológico del 5% del total de esas plantas. De esa biodiversidad, 250 especies se comercializan de manera cotidiana, el 85% son extraídas del medio silvestre sin planes de manejo sustentable y el 80% de la población mexicana ha hecho uso de ella (SEMARNAT, 2021).

2.9 Distribución y consumo de las cactáceas

Esta familia es endémica del continente americano, se distribuye desde el norte hasta el sur de América. En esta región se encuentran diversos tipos de hábitats en los que las cactáceas pueden desarrollarse, como desiertos, zonas semiáridas, bosques secos y zonas costeras. En Norteamérica, las cactáceas se encuentran principalmente en el sur y oeste de los desiertos de los Estados Unidos y en la parte norte de México. En Centroamérica y el Caribe, se pueden encontrar en las zonas secas de México y en el caribe. En Sudamérica, las cactáceas son más comunes en los desiertos de Perú, en la parte norte de Chile y Argentina. En México, existen 669

de especies de cactáceas que son mexicanas estas se distribuyen por la zona media del país, como en las entidades de Tamaulipas, Veracruz, Querétaro y San Luis Potosí. En esta última entidad, posee 151 especies registradas lo que lo convierte en el estado con la mayor diversidad de cactáceas en México (Bravo H.H. & Sanchez Mejorada H., 1978) (SEMARNAT, 2018).

Las especies de la familia cactácea se caracterizan por la producción de mucílago que, en conjunto con diferentes tejidos, representa una fuente de metabolitos funcionales para el ser humano. Dentro de los metabolitos funcionales, los fenólicos han ganado una fuerte atención ya que inciden en la calidad de los alimentos vegetales, tanto frescos como procesados, y se ha descrito su contribución al mantenimiento de la salud humana (Cornejo-Campos et al., 2022).

2.9.1 Consumo de cactáceas

En un análisis de la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares del Instituto Nacional de Geografía y Estadística en México existe una demanda por el consumo de nopal, pitaya o tuna, donde aproximadamente 4.7 millones jefes y jefas de hogares señalaron gastar para el consumo de esos productos. De esta cifra aproximada, el 84.39% se localiza en zonas urbanas y el 15.61% en territorios rurales. Al multiplicar en los hogares por los integrantes de familia se obtiene que existen 17.8 millones de personas que han estado consumiendo estas cactáceas de los cuales, el 73.92% corresponden a hombres y el 26.08 % a mujeres (ENIGH & INEGI, 2022).

Cuando se relacionan las características de salud pública, inseguridad alimentaria clasificada según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) (FAO, 2012) los hogares mexicanos encuestados que señalaron haber realizado consumo de las cactáceas anteriormente mencionadas presentan la siguientes características socioeconómicas: los jefes y jefas de hogares que manifestaron haber comprado medicinas para prevención de diabetes y que

consumen las cactáceas alcanzó el 41.46% (1.9 millones de jefes de hogares) de los cuales 662 mil se encontraban en condiciones de pobreza y 1.3 millones en condiciones de no pobreza. Asimismo, los hogares mexicanos que realizaron consumo de las cactáceas mencionadas y que compraron medicamentos para la prevención de diabetes 343 mil presentó carencias de salud y 651 mil carencias de seguridad social (ENIGH & INEGI, 2022). Por el contrario, el 58.54 % (2.8 millones de hogares consumidoras de cactáceas) manifestaron no haber comprado medicina para diabetes, de los cuales 1.1 millones de líderes de hogares se encontraban en condiciones de pobreza y 1.6 millones en condiciones de no pobreza, de acuerdo con la medición de la CONEVAL (CONEVAL, 2020). Al mismo tiempo, la distribución de los jefes de hogares consumidores de las cactáceas según inseguridad alimentaria, en 2020, osciló en 2.2 millones de jefes de hogares en condiciones de estabilidad alimentaria, 1.4 millones con vulnerabilidad alimentaria leve, 714 mil con inseguridad alimentaria severa y 295 mil presentando inseguridad alimentaria extrema (ENIGH & INEGI, 2022).

Es importante señalar que los precios de los principales cactáceas como, por ejemplo, la pitaya osciló entre los \$40.00 y \$70.00 pesos mexicanos (MXN) en el primer trimestre del año 2023, en promedio, en la república mexicana; lo cual demuestra que al ser una planta exótica únicamente aquellos consumidores con un nivel de ingresos medios altos podrán tener acceso a ella. En el caso de la tuna osciló en promedio en los \$33.00 pesos mexicanos (MXN), mientras que el nopal en las centrales de abasto se ubicó entre los \$15.00 pesos mexicanos (MXN) en promedio (SNIIM, 2023). Esta relación explica que el 61.55% de la población que consume estas cactáceas se encuentra en condiciones de no pobreza mientras que el 38.45% en condiciones de pobreza.

2.9.2 Distribución del ingreso de los consumidores de cactáceas

Para conocer mejor la dispersión del ingreso de los individuos consumidores de cactáceas, se analizó el coeficiente de Gini y la curva de Lorenz de los 4.7 millones de consumidores de nopal, pitaya (pitahaya) y nopal. Estos resultados fueron

obtenidos a partir de la ENIGH & INEGI (ENIGH & INEGI, 2022) referida a un trimestre a la renta (ingreso) monetario corriente del trabajo (ing_lab); renta monetaria corriente de las transferencias (ing_tra); renta monetaria corriente de las rentas (ing_ren); principalmente. El coeficiente de Gini tiene un rango de valores entre 0 y 1. Un valor de 1 representa la concentración de la renta y la máxima desigualdad, y 0 muestra la máxima igualdad (la renta se distribuye entre los individuos).

En la Tabla 2, se expresan las relaciones de los procedentes de ingresos de los consumidores de cactáceas en México. Para contextualizar mejor la relevancia de la renta, se examina la importancia de las distintas fuentes en relación con la renta total (Sk), la condición de distribución balanceada o irregular de la fuente de renta (Gk) y la relación entre la fuente de renta y la dispersión de la renta total (Rk).

Tabla 2. Desintegración de Gini en los consumidores de cactáceas en México.

Ingreso total	Variable:	ing_m on			
Ingreso	Sk	Gk	Rk	Participación	% Cambio
Ingreso laboral	0.7854	0.5291	0.8857	0.8212	0.0358
Ingreso por rentas	0.0159	0.9792	0.6427	0.0224	0.0064
Ingreso por transferencias	0.1987	0.7670	0.4602	0.1564	-0.0422
Ingreso promedio mensual por programas de adultos mayores	0.0133	0.8872	- 0.1560	-0.0041	-0.0174
Total, ingreso		0.4482			

(Vázquez, 2023) con datos de la ENIGH & INEGI (2022).

Según los datos, existe un crecimiento del 1% en esa fuente de rentas para las remuneraciones laborales, en similares condiciones, se ve incrementado el coeficiente de Gini proveniente de la remuneración total en un 0.0358%; mismo comportamiento muestra la distribución del ingreso.

Las remuneraciones laborales están dispersas no equitativamente Gk (0.5291) y la correlación de Gini entre las remuneraciones laborales y las ganancias totales es de

Rk (0.8857), lo que indica que las remuneraciones laborales benefician a las personas con alto recurso económico más que otra parte de la población.

Por otro lado, los ingresos por rentas reportan un crecimiento del 1% en ese origen de rentas, en mismas condiciones, se eleva mínimamente el coeficiente de Gini con un 0.0064%, sin embargo, no tienen una distribución uniforme Gk (0.9792) y la correlación de Gini entre las remuneraciones por rentas y las ganancias totales es de Rk (0.6427).

Por otra parte, en los ingresos por transferencias se observa una ligera similitud con la dispersión de las remuneraciones totales generando una mínima reducción del GINI en -0.0422%; de igual forma que la remuneración media por mes en programas de adultos mayores (-0.0422%). Las remuneraciones medias por mes en programas de adultos mayores están dispersas de manera desproporcionada Gk (0.8872) y la correlación de Gini entre estos ingresos y la suma de todos los tipos de ingresos es negativa Rk (-0.1560).

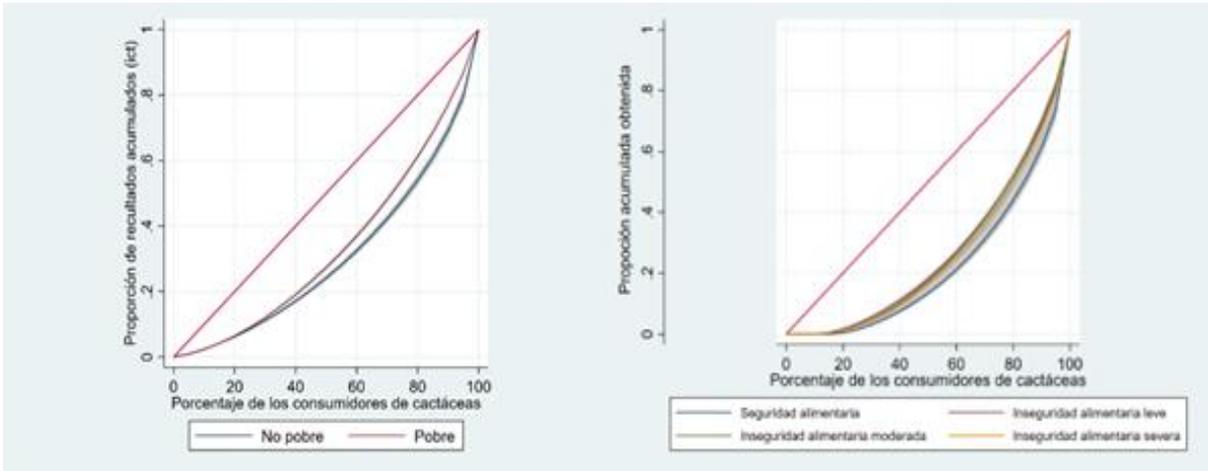


Figura 5. Curva de Lorenz de los consumidores de cactáceas en México.

- a) Ingresos corrientes per cápita.
 - b) Ingresos laborales de la población consumidora.
- (Vázquez, 2023) Elaborado con datos generados a partir de ENIGH

La desigualdad incrementa conforme la curva de Lorenz se aparta de la línea recta de distribución hacia los ejes. Sin embargo, cuando la curva se ajusta con la diagonal, la dispersión media de la renta crea una forma similar. La figura 5a describe la existencia de mayor desproporción entre la población consumidora no necesitada en términos de renta per cápita. En la Figura 5b se muestra la distribución del ingreso laboral normal de las residencias consumidoras de cactáceas en la Curva de Lorenz según inseguridad alimentaria generada a partir de la Escala Latinoamericana y Caribeña de Inseguridad Alimentaria – ELCSA (FAO, 2012a). Se observa que los consumidores con niveles de seguridad alimentaria se aproximan más hacia una distribución equitativa errónea, y una relación menos equitativa donde aproximadamente con el 80% de la población mantiene el 43% de los ingresos; lo que confirma que los individuos en vulnerabilidad alimentaria, generalmente, tienen una mejor dispersión de las remuneraciones per cápita entre las personas, por el contrario, con los individuos con estabilidad alimentaria.

De esta manera, es imprescindible enfatizar que el acceso a las principales cactáceas que se producen en México en los diferentes territorios del país se encuentran con un mejor alcance en aquellos pobladores con mejores niveles de ingresos. Para dimensionar la distribución que existe en México sobre la producción, es necesario visualizar los territorios, por lo cual, en los siguientes apartados se estudian estas temáticas.

2.9.3 Territorios productores de cactáceas

Económicamente, en la oferta nacional de producción de nopal (nopalitos), en el año 2021, se reportó la siembra de 12.5 mil hectáreas (ha), donde destaca el estado de Morelos, Ciudad de México, Estado de México y Tamaulipas con una superficie sembrada de 4.2 mil ha, 2.2 mil ha, 1.0 mil ha y 995 ha, respectivamente (SIAP, 2022) (Figura 6). Es importante señalar qué gran parte de la cosecha se distribuye en

la República Mexicana pero también se exporta considerando los altos valores que los consumidores de otros países están dispuestos a pagar sobre el precio dadas las características de calidad en el mercado.

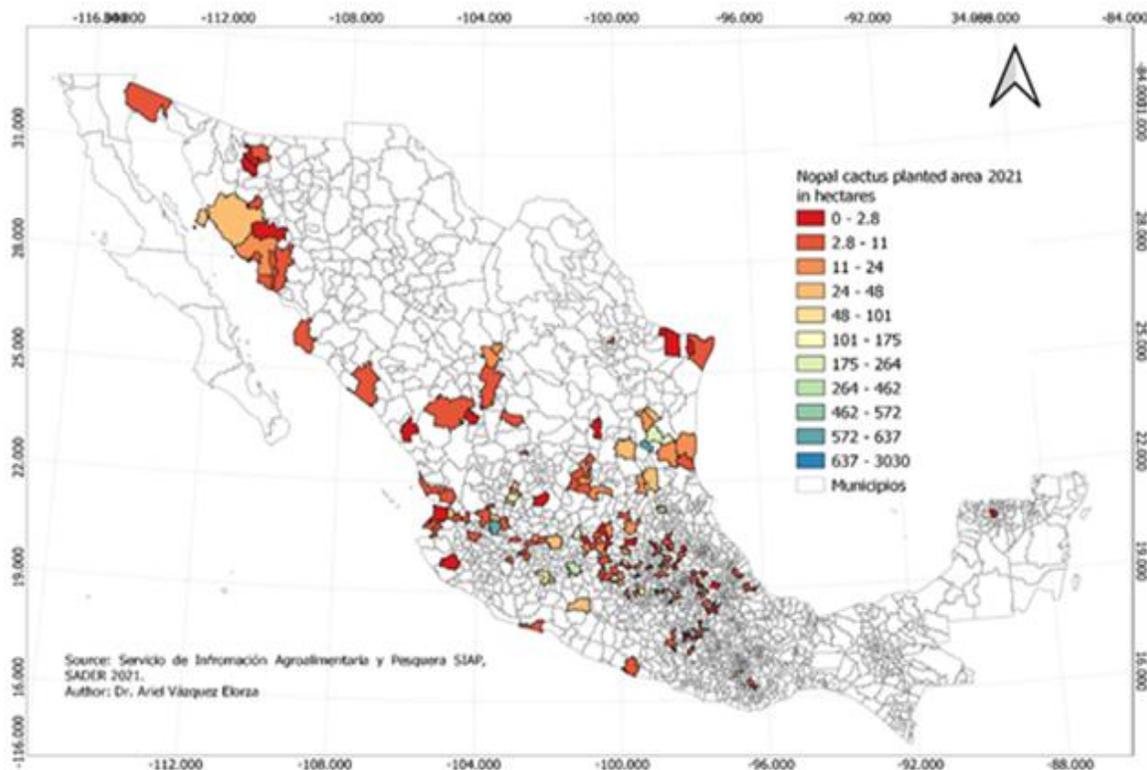


Figura 6. Dispersión del cultivo de nopal en México en el 2021. Fuente: SIAP, 2021- SADER

La cruceta es una cactácea conocida como cruceta, cardón, nopal de cruz, jacube, jacubo o pitahaya anaranjada (Peña-Montes et al., 2021). En México, el jacube (*Acanthocereus tetragonus*) representa una alternativa sustentable para combatir la mala alimentación e inseguridad alimentaria. Desafortunadamente no existen documentos oficiales sobre producción en México del Jacube, sin embargo, a partir de los registros oficiales de *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF) fue posible identificar cuáles son las divisiones geográficas donde existe presencia en el país, los cuales suman aproximadamente 267 municipios (Figura 7). No obstante, también a los jacubes se le pueden encontrar en otros territorios, aunque, no necesariamente cuenten con registros oficiales de su producción.



Figura 7. Registro de jacubes en México. Fuente: *Global Biodiversity Information Facility (GBIF) 2022.*

Respecto al cultivo de la tuna en México en el año 2021, existían en total 90.4 mil ha distribuidas en al menos 16 entidades federativas, sobresaliendo Estado de México, Zacatecas y Puebla con 31.7 mil ha, 23.2 mil ha y 11.0 mil ha respectivamente (Figura 8).

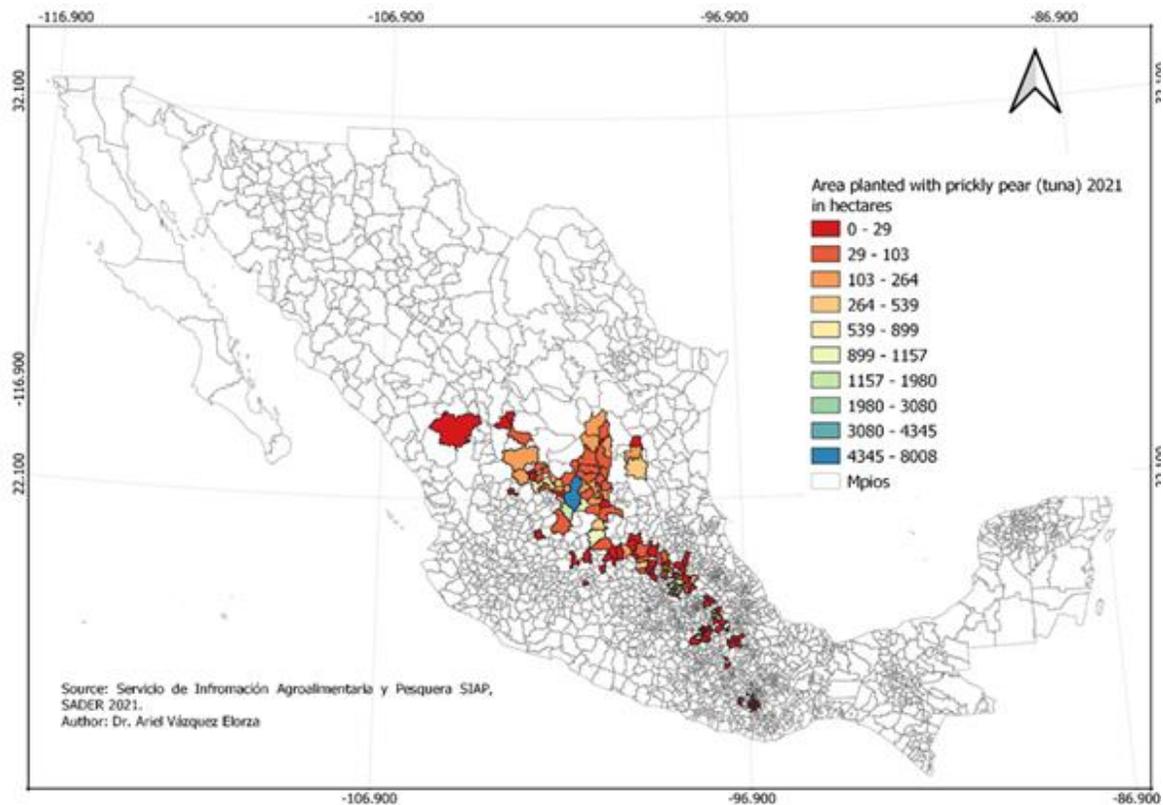


Figura 8. Dispersión del cultivo de tuna en México en el 2021. *Fuente: SIAP, 2021- SADER.*

Respecto al cultivo de la pitaya en México en el año 2019, existían 3,675 ha sembradas en el país, alcanzando una producción de 14,836.18 toneladas. Estas se encuentran en los siguientes estados en orden de importancia porcentual, de acuerdo con los registros oficiales de SADER Quintana Roo 32.67%, Oaxaca 30.09%, Jalisco 13.67%, Yucatán 11.27%, Puebla 8.23%, Baja California Sur 0.98%, principalmente (Figura 9).

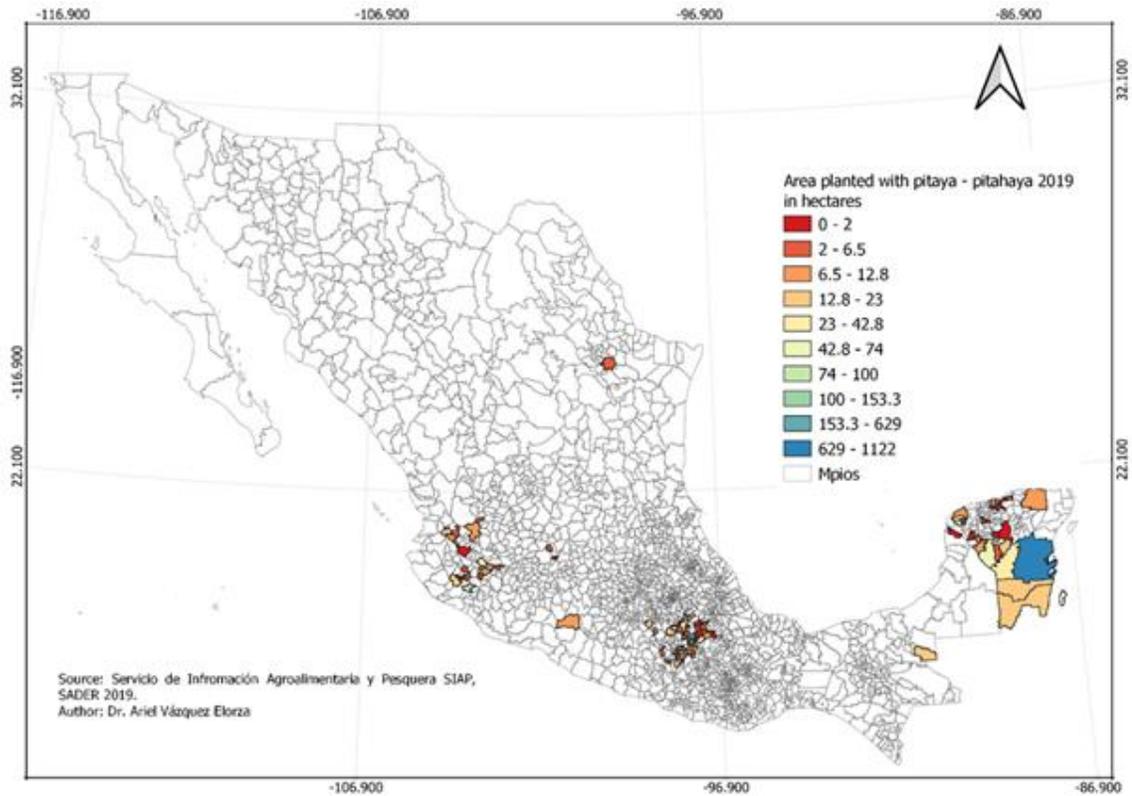


Figura 9. Dispersión del cultivo de pitaya en México en el 2019. *Fuente: SIAP, 2021- SADER.*

Sin duda, la pitaya representa un importante cultivo para el sureste mexicano fundamentalmente para la entidad de Yucatán y Quintana Roo. Asimismo, se encuentra en el occidente presente, entre otros territorios. Sin duda, la producción de frutas y generación de derivados provenientes de las cactáceas es primordial para satisfacer las necesidades nutrimentales en la población especialmente de los que tienen carencias de recursos o mínimo acceso, además, si sufren o encuentran en condiciones de prevalencia de diabetes. Sin embargo, en algunas zonas donde se producen, estos productos pueden estar infravalorados o mal procesados, lo que impide que generen valor social y nutricional.

Es importante resaltar la necesidad de difundir la producción y transformación de cactáceas entre los diferentes territorios del país para incrementar la oferta y abastecer la demanda con mejores precios más competitivos. Se requiere aumentar su valor nutricional y promover las innovaciones científicas y de consumo entre la población con mayores problemas de diabetes.

Fomentar la producción local de estos frutos también puede crear puestos de trabajo y mejorar las economías locales, al tiempo que promueve dietas sanas y equilibradas. Se requiere incrementar la cultura en la sociedad sobre sus beneficios nutricionales. Para ello, se requieren implementar y diseñar políticas públicas de difusión y transferencia del conocimiento, así como, lanzar campañas de sensibilización y programas de educación alimentaria para promover el consumo y su inclusión en la dieta diaria.

2.10 Cactáceas con propiedades funcionales

Las plantas cactáceas y sus frutos, se consideran ricas fuentes de metabolitos funcionales, entre ellos se encuentran los compuestos fenólicos, betalaínas, vitaminas, carotenoides, minerales y fibra soluble. Algunas matrices cactáceas, han sido consumidas y consideradas como una fuente de alimentación por mucho tiempo, como en México, por ejemplo, una cactácea muy popular es el nopal, el cual es considerado como un alimento funcional, su consumo puede conferir beneficios para la salud (SADER, 2021) sin embargo, existe otra planta poco conocida que apunta a tener propiedades funcionales similares a las descritas del nopal, esta es conocida como jacube o cruceta. Las cactáceas podrían ser una fuente de nuevos compuestos bioactivos relevantes para el área de la fitomedicina (SADER, 2022).

2.10.1 Nopal (*Opuntia ficus indica*)

Dentro de las plantas de la familia *cactaceae*, predominan el *Opuntia ficus indica*, que es ampliamente distinguido por sus propiedades beneficiosas (Aragona et al., 2018) y es por excelencia el cactus más utilizado en la alimentación humana y animal (Figura 10). También es una planta muy noble, sus principales características fisicoquímicas, nutricionales y nutraceuticas permiten el uso del nopal en diversas aplicaciones alimentarias (Angulo-Bejarano et al., 2019), como microencapsulación

de compuestos activos e integrarlos a alimentos como pastas (Oniszczyk et al., 2020).



Figura 10. Fotografía de cactácea del género *Opuntia* del municipio de Tanlajás, San Luis Potosí.
Fuente: Propia del autor.

2.10.2 Jacube (*Acanthocereus tetragonus* (L) Hummelinck)

El jacube es una cactácea también conocida como cruceta. Es una planta cactácea con forma columnar originaria de América central y del sur. Este cactus crece en tierra drenada y en ubicaciones soleadas, zonas semidesérticas o desérticas, es resistente a la sequía y a las altas temperaturas, por lo que puede cultivarse en climas cálidos y secos (Bravo H.H. & Sanchez Mejorada H., 1978).

2.10.2.1 Descripción del jacube

Este cactus puede alcanzar los 5 metros de altura, su forma es cilíndrica y con varios ángulos marcados en su superficie, presenta entre 4 y 8 espinas por areola, que pueden medir entre 1 y 3 centímetros de largo (Figura 11).



Figura 11. Fotografía de cactácea del género *Acanthocereus* del municipio de Ébano, San Luis Potosí. Fuente: Propia del autor.

Las espinas son fuertes y afiladas y están compuestas en un patrón radial alrededor del cactus. Así mismo, produce flores grandes y blancas, que miden entre 15 y 20 centímetros de diámetro, estas aparecen en la punta de los tallos y se abren por la noche, emitiendo un agradable aroma. También produce frutos comestibles que miden entre 5 y 8 centímetros de longitud (Bravo H.H. & Sanchez Mejorada H., 1978).

2.10.2.2 Etapa biológica

El desarrollo y crecimiento de *Acanthocereus tetragonus* se caracteriza por ser una planta que vive más de dos años y en general florece y genera semillas, es decir es una planta perenne. Debido a la continua cosecha, se pueden obtener tallos tiernos, que significa una poda en su ciclo de rejuvenecimiento. La época en donde genera una alta producción de esta cactácea es durante los meses de marzo, abril y mayo.

2.10.2.3 Proliferación y rendimiento

Para proliferar el jacube se recogen los tallos que tengan más de un año de crecimiento. Primero, se corta sobre la parte de la articulación para favorecer la cicatrización y que genere raíz. Los tallos cortados deben de estar limpios, maduros, y ser de un color verde que los caracteriza, y deben de estar carentes de plagas o enfermedades. Este cactus crece en condiciones hostiles de temperatura, ya que requiriere poca agua, por lo que puede ser una alternativa de cultivo alimentario en una futura escases de agua. Se adapta a terrenos arcillosos que presenten un buen drenaje. Cuando se siembra como cerco ornamental se realizan excavaciones de aproximadamente 35 cm de profundidad, los tallos se cultivan hasta 20 cm. La distancia entre ellos es de 10 cm, depende de la distancia que se requiera de separación ya que es una planta con característica rampante entrelazante. Se valora que en 10 m lineales de *Acanthocereus tetragonus* se obtiene un rendimiento de 10 kg por temporada (Gabriel C, 2010).

2.10.2.4 Cultivo y comercialización

La zona Huasteca de la entidad de San Luis Potosí, en el municipio de Ciudad Valles en el Ejido de Ojo de agua, es uno de los lugares donde se cultiva el jacube, se recolecta y se cortan los tallos tiernos de aproximadamente 8 ± 1 días de crecimiento, los cuales crecen antes o después de época pluvial (Ramos A, 2008) (Figura 12).



Figura 12. Fotografía de cultivo de jacube en el Ejido Ojo de agua, del municipio de Ciudad Valles, San Luis Potosí. *Fuente: Propia del autor.*

2.10.2.5 Usos alimenticios

En la gastronomía de México, en la región Huasteca de la entidad de San Luis Potosí y la zona del sur de Veracruz, se consumen los tallos tiernos sin espinas, los cuales son distribuidos en los mercados locales (Figura 13) (Cornejo-Campos et al., 2022) (Gabriel C, 2010).



Figura 13. Fotografía de la forma de comercio en mercado local de abastos de Ciudad Valles, S.L.P. *Fuente: Propia del autor.*

Para su preparación, los tallos tiernos se cortan y se les retira la cutícula, (Figura 14) se lavan y se cortan en forma horizontal, estos se hierven en agua. Una vez que están cocidos los tallos, se escurren y están listos para combinar al gusto. Habitualmente se preparan en guisado combinados con carne de puerco o res, chile, arroz, frijoles, huevo o solos como verdura (Córdoba et al., 2000).



Figura 14. Fotografía de la forma de preparación del jacube en la gastronomía mexicana. *Fuente: Propia del autor*

2.10.2.6 Propiedades nutricionales de jacube

Las propiedades nutricionales de las plantas cactáceas han sido de interés científica, dentro de ellas destaca el jacube (*Acanthocereus tetragonus*). Se han realizado estudios sobre sus propiedades y composición química de sus tallos inmaduros, los cuales se ha demostrado que poseen considerables cantidades de proteínas, fibra y minerales como fósforo, potasio, magnesio, sodio y cobre, además de contener un alto nivel de calcio (Cornejo-Campos et al., 2022). Según su composición en base seca por cada 100 g, contienen entre 13.38 - 15.80 gramos de fibra; 24.49 - 21.77 gramos de proteína; 2.80 - 2.42 % de K; 29.18 y 25.76 mg•kg⁻¹ de Zn (Juárez Cruz et al., 2012).

2.10.2.7 Propiedades medicinales del jacube

La composición de *Opuntia ficus-indica* (nopal) una de las cactáceas más estudiadas en comparación con *Acanthocereus tetragonus* (L) *Hummelinck* (jacube) que es una especie de cactácea infravalorada, ambas son de interés biotecnológico en el ámbito de la investigación alimentaria no solo porque son una fuente rica en nutrientes, sino también por las propiedades funcionales que pueden generar los compuestos bioactivos que contienen. Estos tienen la capacidad para prevenir trastornos metabólicos como la diabetes. Sobre las propiedades medicinales que se han reportado que contiene el jacube se encuentran los siguientes:

- **Actividad antioxidante:** Se ha demostrado que los extractos de *A. tetragonus* poseen una notable capacidad antioxidante, atribuida a su contenido de compuestos fenólicos y flavonoides. Un estudio identificó 35 metabolitos en los tallos jóvenes, incluyendo ácidos carboxílicos (como ácido cítrico y málico) y flavonoides glicosilados como la luteolina-O-rutinósido, que contribuyen a esta actividad antioxidante (Cornejo-Campos et al., 2022).
- **Propiedades nutricionales y funcionales:** Los tallos jóvenes de *A. tetragonus* son ricos en proteínas, fibra y minerales esenciales como calcio, magnesio, potasio y fósforo. Además, contienen mucílagos que actúan como

prebióticos, promoviendo la salud intestinal y prolongando la sensación de saciedad, lo que puede ser beneficioso en dietas para el control de peso (Juárez-Cruz et al., 2012; Lagunes-Vela et al., 2019).

- **Potencial hipoglucemiante e hipolipemiante:** El consumo de *A. tetragonus* podría ayudar a estabilizar los niveles de glucosa en sangre al retardar la absorción de azúcares, gracias a su alto contenido de fibra y mucílagos. Asimismo, se ha sugerido que puede tener efectos hipolipemiantes, ayudando a reducir los niveles de lípidos en sangre. Una investigación realizada por Lagunes (2019), demostró que la ingesta de extracto de *Acanthocereus tetragonus* y su mucílago a ratas Wistar inducidas con síndrome metabólico, tienen un efecto benéfico sobre parámetros de glucosa, colesterol, triglicéridos, presión arterial, por lo que puede ser utilizado como terapéutico ante este padecimiento (Lagunes Vela et al., 2019).
- **Otros usos en la medicina tradicional:** En diversas regiones de México, *A. tetragonus* se ha utilizado tradicionalmente como diurético mediante infusiones de sus tallos. Además, su consumo se asocia con beneficios para personas que padecen estreñimiento, síndrome del intestino irritable o hemorroides, debido a su efecto laxante y regulador del tránsito intestinal (Lagunes Vela et al., 2019).

2.11 Actividad de agua

La actividad de agua (Activity water) *aw* tiene muchos roles durante el proceso de alimentos, la influencia que ejerce en la estabilidad y calidad de los alimentos es más importante a diferencia de un aditivo alimentario. En los alimentos, se ha descrito que existe dos clases de agua; móvil e inmóvil, que son los conocidos conceptos de agua libre y agua ligada. La proporción de agua unida al sistema alimentario, en condiciones específicas, se refiere al agua ligada del material (Vilgis, 2015) (Fennema O et al., 2013).

La dependencia de concentración entre el agua libre y el agua ligada aumenta si en el alimento predominan las proporciones de agua, de manera contraria en los alimentos deshidratados, esta relación disminuye considerablemente. Investigaciones realizadas por Badui Dergal en 2006 determinaron que el “agua ligada” está muy enlazada al alimento mediante puentes de hidrógeno, pero otros mencionan que esta agua ligada sólo está físicamente contenida en una matriz de carácter viscoso que evita que se mueva o se difunda, lo que ocasiona que no está disponible (Badui Dergal, 2006).

Estos procesos están ligados con las propiedades de conservación de agua de algunas proteínas y polisacáridos, ya que de manera normal forman parte de tejidos y debido a la hidratación mantienen frescos a los alimentos. Esta propiedad los hace elegibles como polímeros en la industria alimentaria como aditivos. La propiedad de retención de agua es una medida en que una proporción puede quedar atrapado en una red, sin provocar sinéresis o exudación (Fennema O et al., 2013) (Badui Dergal, 2006).

En la figura 15, se muestran las zonas hipotéticas en las que se dispone el agua contenida en un alimento. El agua en la zona III se considera “libre”, se encuentra en

macrocapilares y es parte de las soluciones que disuelven sustancias de bajo peso molecular, es la que contiene mayor proporción, de fácil congelamiento y evaporación, y su exclusión disminuye la actividad del agua a 0.8. En la zona II, el agua se distribuye en distintas capas estructurales y en microcapilares; es un poco más complicado de eliminar, pero una vez logrado se producen valores de la actividad del agua 0.25. Esta parte restante acompañada de la monocapa, corresponde al agua “ligada”. Al final se encuentra el agua contenida en la zona I, es igual a la capa monomolecular, se caracteriza por ser difícil de eliminar en los procesos industriales de secado. Algunos procesos se pueden reducir parcialmente en la deshidratación, sin embargo, no se recomienda, debido a que causa daños en el alimento. La presencia del agua ligada cumple un efecto de protección contra las reacciones de oxidación de lípidos, porque se comporta como un escudo del oxígeno (Badui Dergal S, 2013).

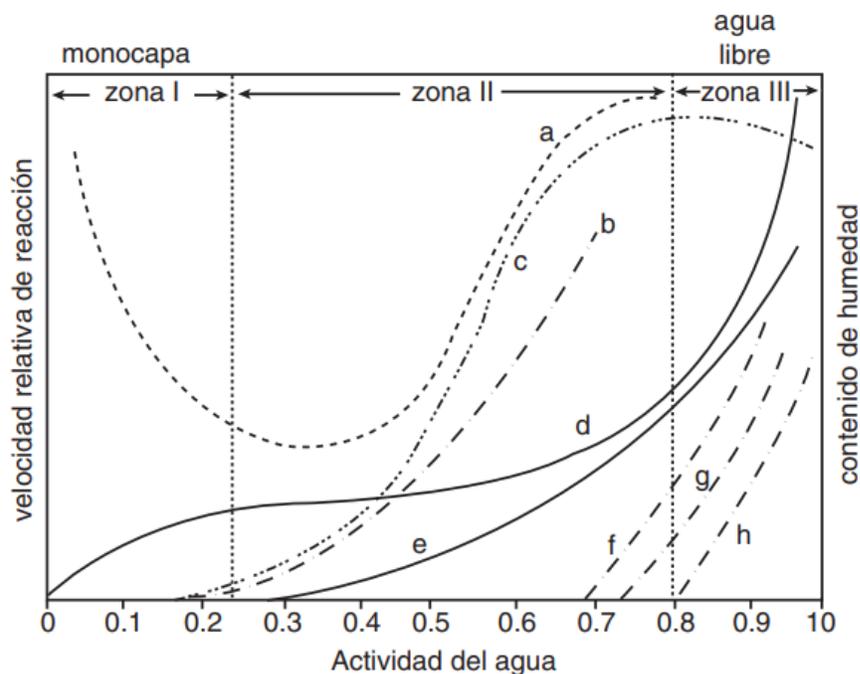


Figura 15. Procesos desarrollados en los alimentos según la actividad del agua. a) Oxidación de lípidos; b) reacciones hidrolíticas; c) oscurecimiento no enzimático; d) isoterma de adsorción; e) actividad enzimática; f) crecimiento de hongos; g) crecimiento de levaduras, y h) crecimiento de bacteria. Fuente: Badui Dergal, (2006).

El agua ligada presenta una solubilidad reducida para otros compuestos, lo que limita la dispersión de solutos solubles en agua y del adsorbente. Asimismo, su coeficiente de difusión disminuye a medida que el contenido de humedad se reduce. Esta baja velocidad de difusión dificulta el proceso de secado, ya que impide el desplazamiento eficiente del agua hacia la superficie (Belitz H.D. et al., 2012).

El agua ligada posee diversas propiedades distintivas, como bajas presiones de vapor, alta energía de enlace evidenciada en procesos de deshidratación, movilidad reducida o nula (según lo observado en resonancia magnética nuclear), incapacidad de congelarse a bajas temperaturas y falta de disponibilidad como disolvente. Aunque estas características describen el agua ligada, cada una refleja distintos valores en la cantidad de agua que permanece en este estado. Debido a la complejidad de las interacciones entre las fuerzas de enlace involucradas, aún no existe un concepto universalmente aceptado de agua ligada.

La definición de actividad de agua es el más usado por personal de investigación enfocado en la industria de los alimentos, la cual puede ser representada como:

Ecuación 1

$$a_w = \frac{p}{p_0} = \frac{\text{humedad relativa}}{100}$$

p: presión parcial de agua en el producto alimentario (atm), ***p*₀**: la presión de vapor del agua pura a una temperatura igual (atm)

(Al-Muhtaseb et al., 2002).

2.12 Relevancia de las isotermas de sorción en productos alimentarios

El agua es la sustancia líquida elemental en los alimentos, debido a que mantiene a los alimentos frescos, les proporciona sabor, textura y color. Sin embargo, es relevante identificar la humedad presente en un alimento, es importante conocer si está disponible en donde puedan interactuar ciertas reacciones químicas, enzimáticas microbianas, o reaccionar con otros solutos disponibles en el alimento,

como; proteínas, carbohidratos, lípidos y vitaminas. De esta manera la actividad de agua (a_w) propicia el ambiente en donde se podrán generar cambios físicos y químicos en el alimento (Alvarado J. de D., 2013). Por lo que la manipulación del contenido de humedad al procesar alimentos es considerada como una opción de conservación de alimentos desde la antigüedad, en donde puede remover el agua o ligándola, causando que el alimento permanezca estable al daño químico y microbiológico.

Por ello, resulta fundamental comprender las características de sorción en los alimentos. Actualmente, estas propiedades se analizan e investigan debido a su impacto en la estabilidad durante el almacenamiento de productos deshidratados y en la difusión del vapor de agua. Las propiedades del agua en los sistemas biológicos pueden clasificarse en tres categorías:

- **Estructurales:** se relaciona con la ubicación y posicionamiento entre moléculas de agua y su relación con otras macromoléculas;
- **Aspecto dinámico:** se refiere al movimiento de las moléculas del agua y su influencia en la interacción de esta con la estructura del alimento.
- **Efectos termodinámicos:** describe a el agua en equilibrio con el ambiente, a una temperatura y humedad relativa determinada (Belitz H.D. et al., 2012).

2.13 Isotermas de sorción de humedad

La actividad del agua se considera una propiedad inherente porque se relaciona de manera no lineal con el contenido de humedad, esta interacción se representa mediante curvas o isotermas de adsorción y desorción (Badui Dergal S, 2013). La interacción del total de humedad y la actividad de agua del alimento se expresa en una escala de valores, y se realiza a una temperatura constante. Con los datos obtenidos se genera una isoterma de sorción de humedad (Figura 16).

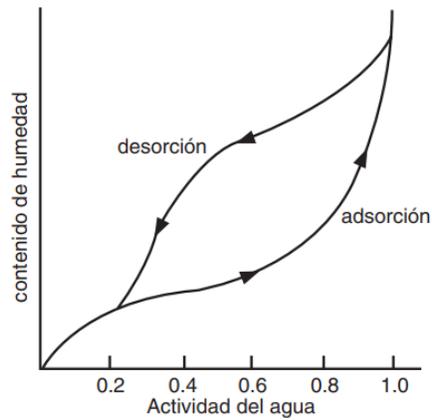


Figura 16. Representación gráfica de curvas de las isotermas de adsorción y desorción de los alimentos. *Fuente: Badui (2006).*

La temperatura, la composición del alimento y su presentación, son aspectos que determinarán la forma de las isotermas. La gráfica obtenida de la humedad de equilibrio del alimento es según la actividad de agua de este, usualmente se representan en curvas de distintas formas, como sigmoideal, exponencial, algunas con elevaciones y generalmente se observa una división de tres regiones (A, B y C), que van a depender del estado del agua en el alimento (Figura 17) (Hay et al., 2022).

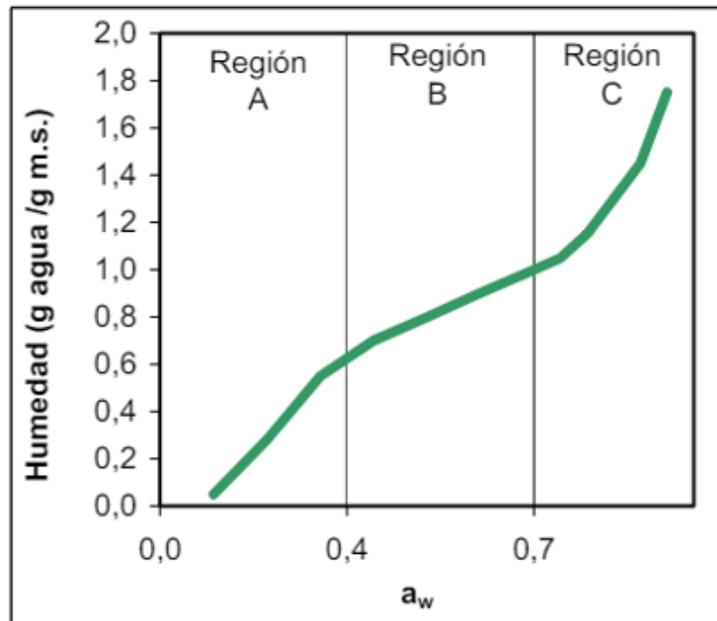


Figura 17. Isoterma característica de los alimentos. *Fuente: Hay et al. (2022).*

A continuación, se menciona la descripción de cada región;

- **Zona A:** hace referencia a la adsorción de la capa monomolecular de agua sobre “puntos activos”.
- **Zona B:** en esta región se realiza la adsorción de consecutivas capas moleculares de agua sobre esta capa monomolecular.
- **Zona C:** es en donde ocurre la evaporización de agua en los poros del alimento, después de la disolución del material soluble presente.

Se describe como isoterma de adsorción cuando se expone un producto seco a diferentes humedades relativas y se mantiene a una temperatura constante, se registran los pesos obtenidos a causa del agua absorbida. En la desorción se realiza de la misma manera que la de adsorción, con la diferencia que esta se obtiene a partir de un producto fresco, y se registra el peso perdido del alimento (Al-Muhtaseb et al., 2002).

2.13.1 Tipos de isotermas

Los procesos de adsorción y desorción no son completamente reversibles. No obstante, es posible diferenciarlos analizando los niveles de humedad en el alimento. Un aumento en estos valores indica que la muestra está absorbiendo humedad, mientras que una disminución sugiere que el producto se está desecando para alcanzar el equilibrio con el ambiente (Moreira et al., 2008). Según las investigaciones de Van der Waals sobre la adsorción de gases en distintos sustratos, las isotermas de adsorción han sido clasificadas en cinco tipos generales:

- **Tipo I:** también llamada isoterma de Langmuir, la cual describe la adsorción en la monocapa del alimento. Una vez obtenido un valor equivalente a la capa total de la superficie de la monocapa la cantidad que se absorbe incrementa. Siendo esta un punto no habitual en las isotermas de adsorción en alimentos. De los procesos únicos de fisio-sorción es la isoterma la más representativa (Figura 18).

- **Tipo II:** representan una adsorción física en multicapa. El aumento inicial es más rápido cuando se forma la primera capa y mantiene una constante mayor que para que las demás capas (entalpía de formación negativa). Cuando se forma la segunda capa seguida de otras más la presión continúa ascendiendo. Este tipo de curvas se presentan comúnmente en productos diluibles y son conocidas como sigmoidea, es decir a medida que la a_w se acerque a la unidad la curva muestra una tendencia asíntota (Figura 18).

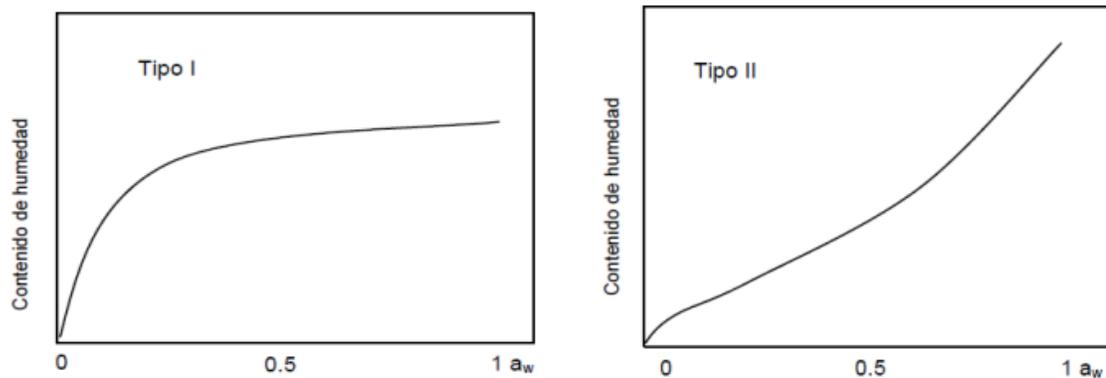


Figura 18. Tipos I y II de isothermas según S. Brunauer (1940). Fuente: Shafiur, (2003).

- **Tipo III:** La obtención de este tipo de curvas describe que la formación de la primera capa ocurre de manera similar para las demás. La adsorción física en las múltiples capas es resultado de la constante de equilibrio de formación, debido a que la primera capa y las demás son iguales (Figura 19).
- **Tipo IV y V:** Describe la absorción en multicapas en productos porosos. Se distinguen por presentar dos cualidades fundamentales: histéresis y saturación, a causa de que el absorbente puede retener adsorbato hasta un límite, la capacidad de los poros (Jin Park et al., 2002). Son distintas a la del tipo II y III por la presencia de una rama horizontal (saturación) (Figura 19).

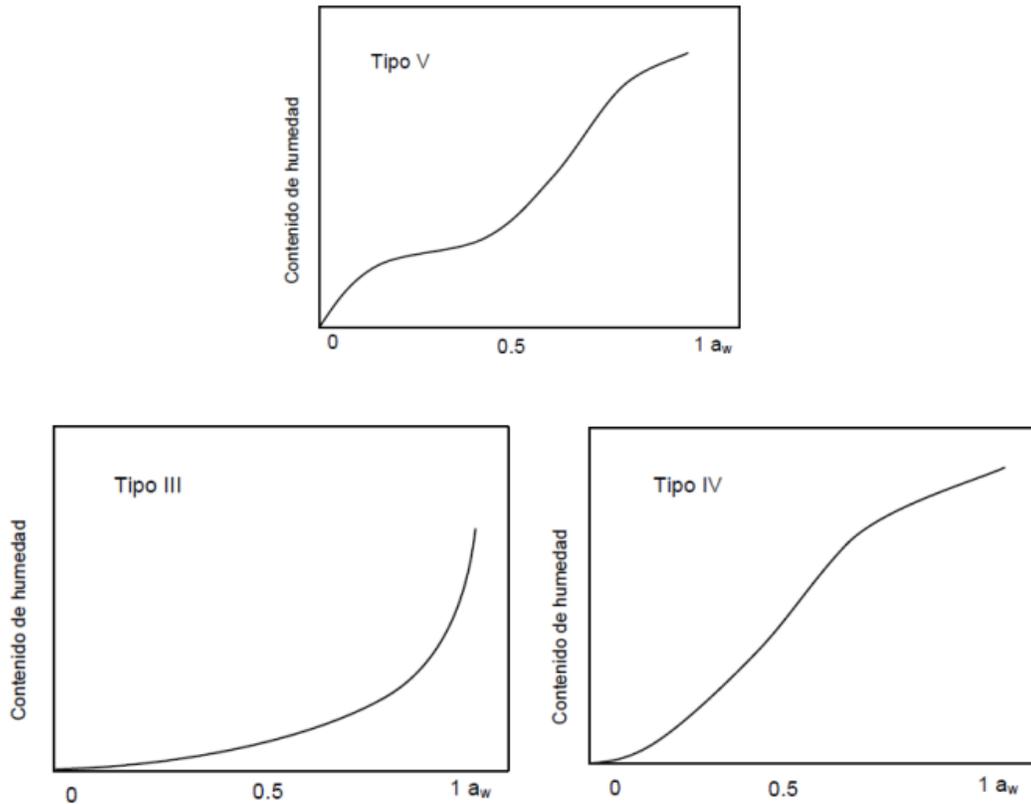


Figura 19. Tipos III, IV y V de isothermas según S. Brunauer (1940). *Fuente: Shafiur, (2003).*

Las curvas de tipo II y III se relacionan a las curvas de los tipos IV y V, con la excepción que la máxima adsorción se presenta cuando hay una presión más baja que la presión de vapor de gas. A pesar de ello, si el sólido tiene características porosas como su estructura interna, cuando el ancho de la capa es absorbido en las laterales de los poros se ve obstruido por su mismo grosor (Hay et al., 2022).

En la mayoría de los productos alimentarios, las isothermas de sorción de humedad que se obtienen no tienen forma lineal, generalmente son sigmoideas, y entran en la categoría de las curvas que se asemejan a las de tipo II. Se reporta que casi toda el agua contenida en los alimentos presenta una presión de vapor similar a la del agua pura, por ejemplo, la unidad. Dicha presión de vapor se mantiene hasta que el contenido de humedad en el alimento desciende hasta un 22 % aproximadamente. Cuando el nivel de humedad no puede mantener la presión de vapor del alimento en la unidad, comienza a mostrar presiones de vapor bajas, como en una solución (Alvarado J. de D., 2013) (Fennema O et al., 2013).

Las variaciones en la humedad atmosférica afectan a esta fracción de agua (22 %) en los alimentos deshidratados, lo que se refleja gráficamente en la típica forma sigmoidea de las isothermas de sorción. Al obtener experimentalmente estas isothermas para ambos productos, se puede observar la formación de un lóbulo entre ellas, un fenómeno conocido como histéresis (Mcminn et al., 2004).

2.14 Histéresis

Es un fenómeno que se forma cuando existen dos vías diferentes entre la adsorción y desorción. Es decir, cuando se expone un alimento a diferentes niveles de humedad y se registran los cambios en la cantidad de agua absorbida o liberada, se observa que las curvas de absorción y desorción no coinciden completamente (Figura 20) (Badui Dergal S, 2013).

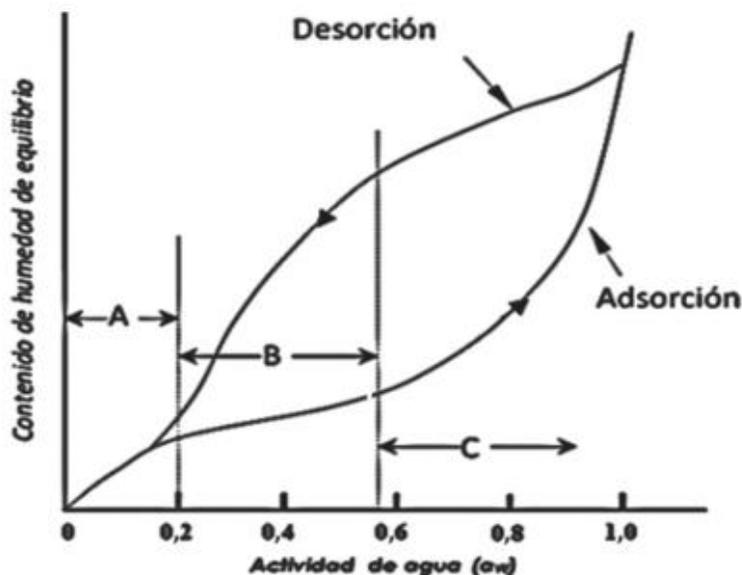


Figura 20. Ejemplo del fenómeno de histéresis. Fuente: (Badui Dergal, (2013).

Esto se debe a que el material del alimento retiene parte del agua absorbida durante la fase de desorción, lo que resulta en una histéresis entre las dos curvas. La histéresis en las isothermas de sorción puede estar influenciada por variables como la estructura del alimento, la presencia de componentes solubles en agua y las

interacciones entre los elementos del alimento y el agua. Esta discrepancia es importante en la industria de alimentos, ya que puede afectar la estabilidad y calidad del producto durante el almacenamiento y procesamiento (Rahman M.S., 2002) (Alvarado J. de D., 2013).

2.14.1 Tipos de histéresis

Se han obtenido diversas curvas que exhiben histéresis en productos alimentarios (Arslan & Toğrul, 2005). Entre las reportadas, se han identificado diferencias en la magnitud, forma y extensión de la histéresis en alimentos deshidratados (Figura 21). Estas variaciones dependen del tipo de alimento y la temperatura, y pueden clasificarse en tres categorías;

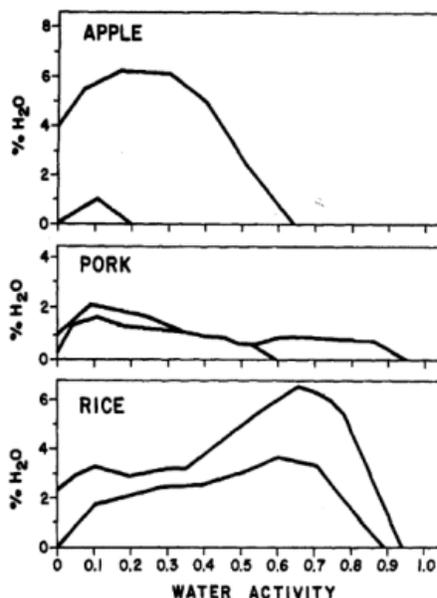


Figura 21. Ejemplos de histéresis en algunos alimentos. Fuente: Arslan & Toğrul, (2005).

- **Alimentos con contenido elevado de pectina y azúcar:** la histéresis es evidente en la zona con una menor cantidad de humedad.
- **Alimentos con contenido elevado de proteína:** la histéresis comienza con elevados valores de actividades de agua, en la zona de condensación

capilar y se produce sobre la isoterma con una actividad de agua igual a cero.

- **Alimentos con contenido elevado de almidón:** se caracterizan por presentar una pronunciada curva, con una máxima desviación entre las curvas este fenómeno sucede alrededor del 0.7 de actividad de agua (o más allá de la región de condensación capilar (Alvarado J. de D., 2013; Fennema O et al., 2013).

2.15 Influencia de la temperatura sobre isotermas de sorción

Los alimentos se exponen a distintas temperaturas durante su industrialización, manejo de almacén y distribución y por consecuencia sufren cambios en su actividad de agua, por lo cual es de importancia conocer cómo influye la temperatura sobre los alimentos y obtener el comportamiento de su isoterma de sorción. La temperatura afecta la estabilidad del movimiento de la composición del agua y el balance dinámico entre el vapor y las fases adsorbidas (Belitz H.D. et al., 2012). Cuando la actividad de agua se mantiene constante, un aumento en la temperatura reduce la cantidad de agua adsorbida, lo que disminuye la higroscopicidad del alimento. Además, se ha propuesto que, a temperaturas más altas, algunas moléculas de agua alcanzan niveles de energía suficientes para romper sus puntos de sorción, lo que provoca una disminución en el contenido de humedad de equilibrio (Figura 22) (Badui Dergal S, 2013).

Este fenómeno se ha identificado en algunos azúcares y otros componentes de bajo peso molecular, como la sal, que tienden a volverse más higroscópicos a temperaturas elevadas debido a su capacidad de disolverse en agua. Sin embargo, cuando la actividad de agua supera 0.7, ocurre una inversión del efecto térmico, provocando un aumento en el contenido de humedad de equilibrio a medida que la temperatura se incrementa. Este efecto se atribuye porque generalmente, a valores bajos de la sorción de agua es principalmente por efecto de los biopolímeros, con un

aumento de temperatura se obtiene un efecto normal de disminución en la isoterma (Hay et al., 2022).

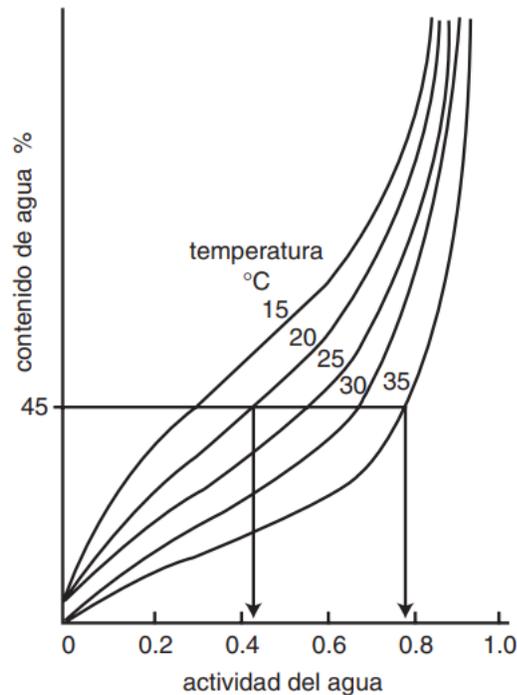


Figura 22. Efecto de la temperatura en las isotermas. *Fuente: Badui, (2006).*

2.16 Aplicaciones de las isotermas de sorción en la industria alimentaria

La importancia de las isotermas se basa en la evaluación y elaboración de varios procesos, como; deshidratación y cinética de secado de los productos alimentarios. Su aplicación sirve para determinar condiciones y materiales de envasado, elección de ingredientes para el mezclado de alimentos y predecir cambios en el almacenamiento de los alimentos deshidratados en cuanto a su estabilidad o vida útil.

- **Mezcla de ingredientes:** su importancia se basa en predecir la estabilidad del conjunto de ingredientes, conociendo el comportamiento de su isoterma, en donde se podrá observar cómo sus componentes los cuales

pueden ser: biomoléculas (carbohidratos, proteínas y lípidos) además de fibra, tienen diferentes maneras de interactuar con el agua.

- **Alimentos deshidratados (polvo):** especialmente para estos alimentos es necesario la determinación de su isoterma, con el objetivo de manejar la forma los procesos de producción y el almacenamiento y evitar la aparición de características indeseables como: grumosidad y cristalización. Los alimentos deshidratados perecederos son los más vulnerables a estos cambios, como la leche, jugos y café entre otros. Estos criterios aplican para cualquier proceso de deshidratación, ya sea por aire caliente, deshidratación osmótica, liofilización, atomización.
- **Espicias e infusiones:** la aplicación de las isotermas se fundamenta en obtener óptimas condiciones de calidad de estos productos, especialmente durante su almacenamiento, ya que son propensos a perder su sabor y aromas especiales que proporcionan las comidas, por factores ambientales.
- **Materiales para envasado:** conocer la isoterma de sorción propia de cada alimento específico permitirá seleccionar los componentes adecuados para la fabricación un envase según las características de este como; la susceptibilidad del alimento de hidratarse o deshidratarse, a su vez monitorear el comportamiento en la permeabilidad de su estructura sobre el vapor de agua y otros gases.
- **Alimentos frescos:** Su importancia se centra en los cambios que pueden sufrir al exponerse a temperaturas y humedad relativas altas que ocasionan su deterioro.

2.17 Procedimientos para la medición de isotermas de sorción

Las metodologías más empleadas para la medición de las isotermas de sorción se encuentran: métodos gravimétricos, manométricos, higrométricos (Rahman M.S., 2002). El fundamento de métodos gravimétricos es determinar el equilibrio de las muestras al exponerlas a una atmosfera de humedad y temperatura conocidas. Existen dos tipos de métodos gravimétricos.

- **Método gravimétrico:** La medición de los cambios de peso en la muestra alimentaria es la base de este método. Estos cambios pueden determinarse mediante técnicas continuas, que emplean balanzas de cuarzo, o mediante métodos discontinuos, donde se utilizan soluciones de sal o ácido sulfúrico en condiciones de vacío o en sistemas atmosféricos junto con la muestra para estimar la humedad relativa de equilibrio. Además, existen sistemas dinámicos y estáticos, en los cuales el aire puede circular o permanecer estancado.
- **Método manométrico:** consiste en medir la presión de vapor de agua en el espacio de cabeza alrededor del alimento. Para ello, el sistema se mantiene a una temperatura constante, permitiendo que la muestra libere agua hasta alcanzar el equilibrio con el espacio de cabeza. Este equilibrio se refleja en la variación de la altura del manómetro.
- **Método higrométrico:** se fundamenta en la medición de la humedad relativa de equilibrio del aire expuesto al alimento a un contenido de humedad determinado. Existen instrumentos como los higrómetros eléctricos que miden el cambio en la conductancia de los higosensores, que generalmente son cubiertos con una sal higroscópica, que absorbe humedad de la muestra alimentaria (Jin Park et al., 2002).

En este proyecto de investigación se aplicó la metodología estática gravimétrica que consiste en encontrar el contenido de humedad en equilibrio del material en un amplio rango de humedad relativa del aire a una temperatura dada. Es un método sencillo y comúnmente aplicado para obtener isothermas de sorción en diversos productos alimentarios. Emplear esta metodología tiene poco costo y es de fácil operación para la realización de investigaciones experimentales, estas son las principales ventajas de este método en comparación con otros (Lutovska et al., 2017).

Este método estático gravimétrico consiste en colocar la muestra alimentaria dentro de un sistema cerrado herméticamente, esta muestra interaccionará con una solución de sal saturada de una a_w conocida, creando un ambiente en donde la humedad relativa en el equilibrio será similar a la a_w de la sal a esa temperatura. Entonces dentro del sistema se coloca la muestra de alimento, este perderá o ganará agua hasta alcanzar un peso constante que indicará el equilibrio alcanzado con el ambiente (Belitz H.D. et al., 2012).

2.18 Modelos matemáticos

Para interpretar los datos obtenidos en las isothermas de sorción es necesario emplear modelos matemáticos de isothermas de sorción. Se han propuesto científicamente varios modelos los cuales han sido basados en literatura que describen los procesos de sorción, como los modelos de GAB y BET (Moreira et al., 2008) (Brunauer et al., 1938). Las ecuaciones de BET y GAB predicen el contenido de humedad de la monocapa (x_0) y son consideradas como las más factibles para encontrar las condiciones óptimas de humedad y asegurar la estabilidad durante el almacenamiento especialmente para alimentos deshidratados (Arslan & Toğrul, 2005). La humedad de la monocapa se refiere a la cantidad de agua (g agua/g ms) que está unida fuertemente en todos los sitios activos de la fase sólida adsorbente del alimento y se considera como el valor en la cual el alimento es estable durante el almacenamiento.

2.18.1 Modelo BET

Implementado y desarrollado por Stephen Brunauer, Paul Emmet y Edward Teller, el cual se fundamenta en la interacción de la humedad en el equilibrio (w_e) con la actividad de agua (a_w) mediante la aplicación de dos parámetros, w_0 y C , en donde w_0 representa la humedad del alimento que corresponde a una capa monomolecular de agua adsorbida en las mismas unidades que la humedad de equilibrio, (g agua/g sólido seco) y C es una constante propia del material que se refiere con el calor desprendido en el proceso de sorción. Estos parámetros se representan en la ecuación 2.

Ecuación 2.

$$\frac{1}{X_w} * \frac{a_w}{1 - a_w} = \frac{1}{X_{w,a} * C} + \frac{C - 1}{X_{w,a} * C} * a_w$$

X_w Contenido de humedad (Humedad inicial)

a_w Actividad de agua (Humedad relativa en equilibrio)

$X_{w,a}$ Contenido de humedad de la monocapa

C Constante del modelo de BET

Sin embargo, este modelo tiene algunas condiciones, ya que solo se puede aplicar para isotermas dentro de un intervalo de valores de 0 a 0.55. El significado del valor de monocapa de BET, es reconocido como el contenido de humedad de mayor estabilidad para los alimentos secos (Mcminn et al., 2004).

2.18.2 Modelo GAB

Debido a las restricciones del modelo de BET, se realizó el desarrollo de otros modelos, como el modelo de GAB (ecuación 3), propuesto por Guggenheim, Anderson y De Boer. Este modelo se basa en tres parámetros, w_0 humedad de la

monocapa (g agua/g sólido seco), C constante de Guggenheim, propia del producto, y relacionada con el calor de sorción de la monocapa y K , constante relacionada con el calor de sorción de la multicapa (Al-Muhtaseb et al., 2002).

Esta ecuación de GAB expresa los resultados prácticos en un rango de a_w de 0 a 0.95 para casi todos los alimentos (Hay et al., 2022).

Tanto el modelo BET como el GAB comparten principios similares en la descripción de la monocapa. Sin embargo, el modelo GAB incorpora un grado de libertad adicional mediante la constante K , lo que le otorga mayor flexibilidad en comparación con el modelo BET, que supone que la adsorción física ocurre en multicapas sin interacciones laterales. Gracias a la inclusión de la constante K , el modelo GAB considera que las moléculas en las multicapas interactúan con el adsorbente con niveles energéticos equivalentes a los de las moléculas de la monocapa (Alvarado J. de D., 2013).

El modelo de GAB se describe en ecuación 3.

Ecuación 3.

$$\frac{aw}{we} = \left(\frac{1}{w_0 * C * K} \right) + \left(\frac{C - 2}{w_0 * C} \right) (aw) + \left(\frac{K(1 - C)}{w_0 * C} \right) (aw^2)$$

a_w	Actividad de agua
w_e	Humedad en el equilibrio
C	Constante de la monocapa
w_0	Humedad de la capa monomolecular
K	Constante de la multicapa

3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La sociedad ha experimentado cambios drásticos en sus estilos de vida en los últimos años, principalmente en adoptar un sedentarismo cotidiano y un mínimo gasto de energía en su rutina de vida. Paralelamente a este cambio progresivo, se ha observado un aumento de enfermedades metabólicas, provocando el aumento significativo de la incidencia del Síndrome Metabólico (Mendoza-Caamal et al., 2020).

El Síndrome Metabólico se relaciona con dos factores primordiales de salud pública a nivel nacional que son el sobrepeso y obesidad en población infantil y adolescente, debido a que, según estadísticas emitidas por el ENSANUT en 2022, se ha reportado el aumento de estos en los últimos años. Estos dos factores son las principales causas de riesgo que pueden desencadenar el síndrome metabólico especialmente problemas de hipertensión y diabetes mellitus tipo II a temprana edad, los cuales provocan desordenes metabólicos en el organismo, que conducen a padecimientos complejos y multifactoriales, disminuyendo la calidad de vida. Estos factores han sido la consecuencia de nuestro ritmo acelerado de vida teniendo poco tiempo para dedicar a nuestra alimentación, por lo que hay una necesidad de contar con alimentos saludables que puedan contribuir a disminuir desordenes metabólicos que afectan a la salud, de ahí la relevancia de buscar fuentes naturales con compuestos biológicos activos que puedan funcionar como una alternativa de prevención para los padecimientos que comprenden el síndrome metabólico para mejorar la salud mediante la ingesta de alimentos funcionales que brinden un mayor bienestar en la sociedad mexicana.

4. JUSTIFICACIÓN

La importancia de realizar esta investigación se basa en generar opciones de alimentación saludable esto mediante el estudio de una planta cactácea poco valorada, conocida comúnmente como jacube su nombre científico es *Acanthocereus tetragonus* (L) Hummelinck). Sus propiedades pueden ser utilizadas y valoradas sobre el control del Síndrome Metabólico y las enfermedades crónicas que se desarrollan posteriormente como lo es la diabetes mellitus tipo II y la resistencia a la insulina. Estos son uno de los principales problemas de salud en México.

5. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar el jacube en fresco y deshidratado e incorporarlo a un alimento y evaluar el efecto hipoglucémico.

5.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar las características químico-proximales y fitoquímicas del jacube fresco y deshidratado.
2. Evaluar las propiedades antioxidantes del jacube fresco y deshidratado.
3. Evaluar la estabilidad del jacube mediante isotermas de sorción.
4. Incorporar el producto deshidratado a un alimento y realizar análisis sensoriales.
5. Evaluar el efecto hipoglucémico del jacube deshidratado incorporado a un alimento en sujetos de prueba.

6. HIPÓTESIS

La incorporación del jacube deshidratado a un alimento tiene un efecto hipoglucémico.

7. METODOLOGÍA

7.1 Materia prima

El material vegetal utilizado en esta investigación constó de tallos inmaduros de jacube los cuales se seleccionaron visualmente con la finalidad de que las muestras fueran lo más uniformes en cuanto a tamaño y apariencia. Este material vegetal se cultivó y cosechó en el Ejido Ojo de Agua (Figura 23) del municipio de Ciudad Valles, San Luis Potosí con coordenadas geográficas; longitud (dec): -99.114444 y latitud (dec): 21.9616678 (Figura 24). Este mismo material vegetal se distribuye en el mercado de abastos de Ciudad Valles, San Luis Potosí, en donde se comercializa.



Figura 23. Cultivo de jacube en el ejido Ojo de agua en Ciudad Valles, San Luis Potosí. *Fuente propia del autor.*

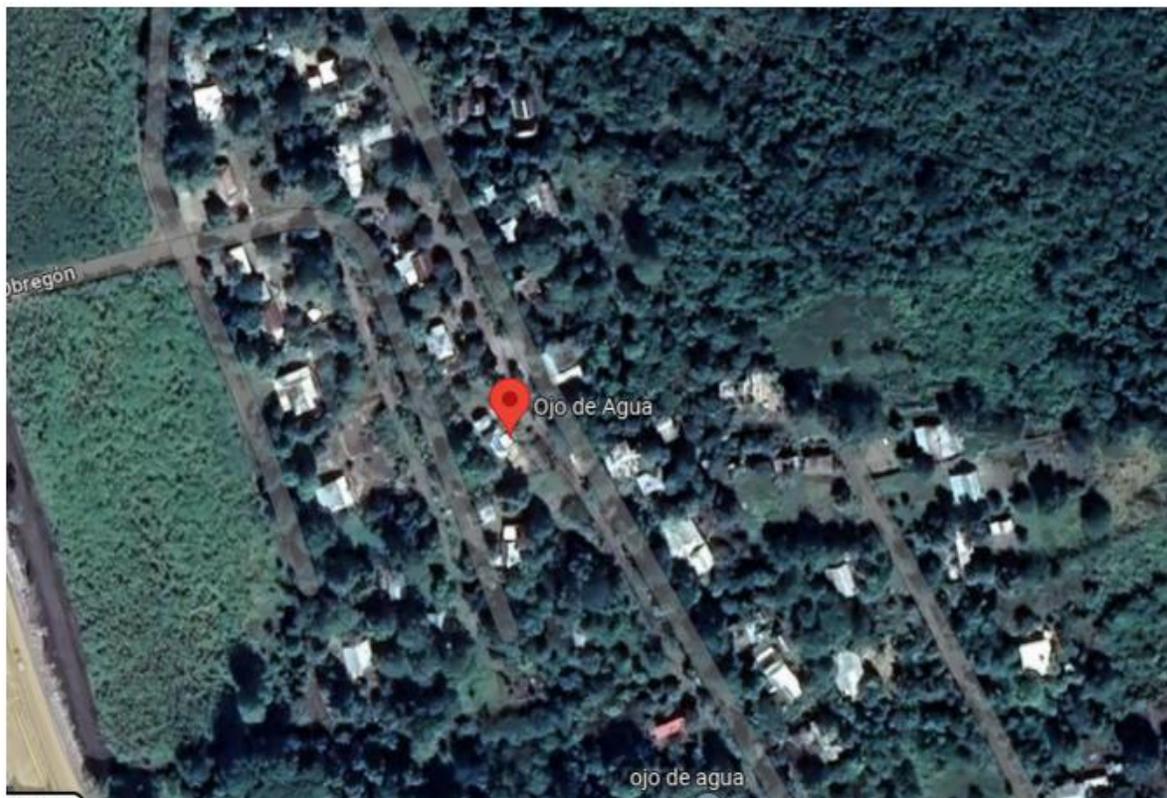


Figura 24. Localización del ejido Ojo de Agua en Ciudad Valles, San Luis Potosí. Coordenadas geográficas; longitud (dec): -99.114444 y latitud (dec): 21.9616678. *Fuente: Google maps.*

7.2 Identificación taxonómica del ejemplar vegetal

Se recolectó la planta de jacube completa desde la raíz hasta sus tallos, el cual fue preparado y enviado para su clasificación acorde al sistema jerárquico de la taxonomía biológica. Esta identificación se realizó en el Instituto de Zonas Desérticas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

7.3 Preparación de muestras

Se seleccionaron las muestras de tallos inmaduros de jacube, las cuales se lavaron con agua purificada, y el exceso de humedad se retiró mediante escurrimiento. Los tallos se cortaron aproximadamente en trozos de 1 cm².

7.3.1 Proceso de escaldado

Una vez obtenidos los trozos de jacube, esta muestra se expuso a un proceso de escaldado mediante choque térmico, en donde los trozos de jacube se colocaron en agua purificada a 90°C por 2 minutos, enseguida estas mismas muestras fueron sumergidas en un baño de agua a 5°C por 2 minutos. A estas muestras escaldadas se les realizó la prueba de guayacol, en un mortero de porcelana en donde se colocaron 5 g de muestra escaldada y se le añadieron 5 mL de solución de guayacol al 1% y enseguida 5 mL de peróxido de hidrógeno al 0.5%, la muestra se evaluó transcurridos 3 minutos.

Una vez realizado el escaldado y la prueba de guayacol en las muestras de jacube en fresco, a dicho material vegetal se les realizó los análisis correspondientes.

7.3.2 Proceso de deshidratado

Para la obtención del jacube deshidratado, la muestra vegetal se llevó a un proceso de secado en una estufa marca BINDER a una temperatura de 55°C durante 32 h. Transcurrido este lapso, estas muestras fueron pulverizadas en un molino eléctrico colocando 10 g de muestra por 5 minutos de pulverizado. La muestra obtenida se reservó dentro una bolsa Whirl-pak en un lugar fresco y oscuro para sus posteriores análisis.

7.4 Análisis químico proximal

7.4.1 Identificación de humedad

Para la identificación del porcentaje de humedad en base húmeda, se realizó en una termobalanza marca OHAUS, se colocaron 5 g de muestra sobre la charola dentro de la termobalanza hasta que se obtuvo el porcentaje de humedad.

Para la determinación de humedad de muestra en base seca, se cortaron los tallos inmaduros en trozos de aproximadamente 1 cm², y se pesaron 40 g para cada muestra, las cuales se colocaron en una estufa marca Binder, a una temperatura de 55°C donde permanecieron hasta alcanzar el peso constante, después se pesaron y por diferencia de peso se obtuvo el porcentaje de humedad (AOAC, 2005). Para obtener dichos resultados se empleó la siguiente ecuación:

Ecuacion 4.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{B - C}{B - A} * 100$$

A: Peso crisol, **B:** Peso crisol + masa húmeda, **C:** Peso crisol + masa seca

7.4.2 Determinación de cenizas

Se realizó por el método directo AOAC (2005) se pesaron 5 g de muestra en un crisol y se sometió a una combustión en una mufla marca Thermo Fisher Scientific a una temperatura de 550°C por 4 h, en donde la materia orgánica es oxidada y las cenizas representan los minerales en las muestras a analizar (AOAC, 2005) (Kirk R. S. et al., 1996). Para obtener los resultados se utilizó la siguiente ecuación:

Ecuación 5.

$$\% \text{ de Cenizas} = \frac{B - A}{C} * 100$$

A: Peso del crisol **B:** Peso del crisol + cenizas **C:** Peso de la muestra húmeda

7.4.3 Determinación de grasas

Se pesaron 3 g de muestra en un cartucho de papel filtro, el cual se colocó en cada una de las celdas del extractor de grasas, y así sucesivamente con cada una de las muestras. Después, se procedió a cerrar la cubierta y programar el equipo Fat Extractor modelo E-500 marca Buchi con el número de ciclos adecuados para la extracción de las grasas, y se seleccionó como solvente hexano. Finalizados los ciclos de extracción programados se procedió a extraer los cartuchos y colocarlos dentro de una incubadora marca Thermo modelo IGS-100 a una temperatura de 105°C durante 24 horas. Posterior a ello, se procedió a pesar cada cartucho y por diferencia de peso se obtuvo el porcentaje de grasa extraído, utilizando la siguiente ecuación

Ecuación 6.

$$\% \text{ de lípidos: } B - A/C * 100$$

A: Peso de vasos de vidrio **B:** Peso del vaso de vidrio con grasa **C:** Peso de la muestra.

7.4.4 Determinación de proteínas

7.4.4.1 Digestión

Se pesó 1 g de muestra en charolas de papel libres de nitrógeno, después se introdujo cada charola dentro de un tubo Kjeldahl, enseguida se colocó una tableta de catalizador y 12 mL de ácido sulfúrico concentrado. Una vez preparados los tubos con la muestra se colocaron dentro de las celdas del digestor donde se cubrieron con la flauta de recolección de vapores. La digestión se realizó a una temperatura de 420°C ± 10°C durante 30 min, para no generar contaminación con los vapores, se utilizó un neutralizador de vapores. Una vez que se llevó a cabo la reacción, se dejó enfriar y la ausencia de vapores para poder retirar la flauta y los tubos del digestor.

Cuando los tubos se encontraron a temperatura ambiente se adicionó 50 mL de agua destilada.

7.4.4.2 Destilación y valoración

Cada tubo fue colocado dentro de un destilador de proteína en donde previo fueron sometidos a cinco ciclos de lavado. En el equipo se realizó la destilación y titulación de manera automática desplegando el valor del volumen de HCl 0.1 N utilizado para titular la muestra. Al final de las mediciones se realizó una verificación, midiendo una muestra de sulfato de amonio estándar primario. El porcentaje de proteína fue determinado mediante la siguiente ecuación

Ecuación 7.

$$\%P = \frac{V_{HCl} * N_{HCl} * 0,014 * F}{M_{muestra}} * 100$$

V HCl: volumen de HCl consumido en la titulación, **N HCl:** normalidad del HCl utilizado en la titulación, **F factor:** utilizado para la conversión de % nitrógeno a % de proteína, **M muestra:** gramos de muestra utilizada.

7.4.5 Determinación de azúcares

7.4.5.1 Azúcares reductores

Se pesaron 5 g de la muestra y se aforaron a 100 mL, enseguida las muestras se colocaron en un tubo cónico y se centrifugaron a 4000 rpm durante 30 min, el sobrenadante obtenido se colocó en una bureta.

En un matraz Erlenmeyer se agregaron 5 mL de solución Fehling-Sohxlet A, 5 mL de solución Fehling-Sohxlet B, y 40 mL de agua destilada, enseguida se colocó el matraz sobre una parrilla caliente y se llevó a ebullición. Una vez en ebullición se

añadieron 2 a 3 gotas de azul de metileno al 1%. La solución se tituló hasta que la reacción se tornara de color rojo ladrillo con precipitado. Para el cálculo del porcentaje de azúcares reductores se consideró el volumen gastado en la titulación, sustituyendo en la siguiente ecuación:

Ecuación 8.

$$\% \text{ azucares reductores: } \frac{\text{TFS} * \text{Vol. De aforo}}{\text{mL gastados} * \text{gr de muestra}} * 100$$

TFS: Título de la solución Fehling-Soxhlet.

7.4.5.2 Azúcares totales

En un vaso de precipitado de 50 mL se colocaron 30 mL de extracto de cada muestra y se les añadió 1 mL de HCl, la cual se incubó en una estufa marca BINDER a una temperatura de 45°C durante 12 horas. Transcurrido el tiempo de incubación a cada muestra se le añadió 1 mL de Lugol. Para la titulación se procedió como la metodología descrita en azúcares reductores. Para el cálculo del % de azúcares totales se consideró el volumen gastado en la titulación, sustituyendo en la siguiente ecuación:

Ecuación 9.

$$\% \text{ de azucares totales: } \frac{\text{TFS} * \text{Volumen de aforo}}{\text{mL gastados} * \text{g de muestra}} * 100$$

Para la obtención del % de azúcares no reductores, se realizó el siguiente cálculo:

% de azúcares no reductores: % de azúcares totales - % de azúcares reductores

7.4.6 Determinación de fibra cruda

Se pesaron 5 g de muestra seca y se colocaron en un matraz de Erlenmeyer, al cual se le añadieron 50 mL de etanol. Las muestras se mantuvieron en agitación en un shaker por 24 horas. Cada muestra se filtró mediante un papel filtro Whatman número 2. Las muestras desengrasadas obtenidas se pesaron, y cada muestra se transfirió a un matraz de Erlenmeyer en donde se les añadió 100 mL de H₂SO₂ 0.2 N, dichas muestras se llevaron a incubación a 45°C durante 24 horas. Transcurridas las 24 horas, las muestras incubadas se filtraron y se lavaron tres veces con 150 mL de agua destilada, enseguida cada muestra se colocó dentro de un matraz Erlenmeyer y se le adicionó 100 mL de NaOH a cada muestra. Se incubaron las muestras a 45°C por 24 horas, al mismo tiempo que colocó un crisol a peso constante por muestra a una temperatura de 110°C. Transcurridas las 24 horas, las muestras incubadas se filtraron y se lavaron tres veces con 150 mL de agua destilada. Se colocó la muestra junto con el papel filtro dentro de cada crisol en una estufa a 110°C durante 24 horas. Después se pesó cada crisol con la muestra seca. Las muestras se llevaron a incineración en una mufla marca Thermo Fisher Scientific a 550°C durante 5 horas. Por último, se pesó el crisol con las cenizas (AOAC, 2012). Para la obtención del porcentaje de fibra cruda, se realizó la siguiente ecuación:

Ecuación 10.

$$\% \text{ de fibra cruda: } \left[\frac{\text{Peso del crisol con muestra seca}}{\text{Peso del crisol con ceniza}} \right] * 100$$

7.5 Análisis fisicoquímicos

7.5.1 Determinación del pH

Mediante un potenciómetro calibrado, se midieron soluciones amortiguadoras de pH 4, 7 y 10 a temperatura ambiente. Enseguida, se colocaron 20 mL de cada muestra

en un vaso de precipitado de 50 mL, y se introdujo el electrodo del potenciómetro de sobremesa marca Thermo Scientific modelo A211y se tomó lectura del dato obtenido.

7.5.2 Determinación de sólidos solubles

Se calibró un refractómetro BRUX 0-95% marca ATC modelo SPER-300053, con 2 o 3 gotas de agua en la placa inferior y se cubrió con la placa superior, la lectura se ajustó a 0. Después se secó con papel, enseguida se colocaron 2 a 3 gotas de la muestra filtrada en el refractómetro y se realizó la lectura de cada muestra.

7.5.3 Determinación de ácido ascórbico

7.5.3.1 Titulación del 2,6-dicloindofenol

En un matraz Erlenmeyer se preparó una solución estándar de ácido ascórbico. Se transfirió 1 mL a un matraz de Erlenmeyer de la solución estándar, y después se agregó 2.5 mL de ácido metafósforico al 20% (solución extractora).

La solución estándar se tituló con 2,6-dicloindofenol al 5% en una bureta de 50 mL, hasta que se tornó a un color rosa. Después se preparó un blanco, con 3.5 mL de la solución extractora más un volumen de agua destilada igual a la cantidad gastada en la titulación del estándar. Esta mezcla se tituló con 2,6-dicloindofenol al 5% en una bureta de 50 mL, hasta que se obtuvo un tono color rosa. Se restó el valor obtenido del blanco al valor obtenido del estándar, la cual se expresó como mg de ácido ascórbico equivalentes a 1 mL de indofenol. El valor obtenido es el factor de titulación del 2,6-dicloindofenol.

7.6.1.2 Jacube deshidratado

Se preparó una dilución 1:40 de muestra de jacube deshidratado con agua destilada la cual se introdujo en un tubo falcón para su posterior análisis.

7.6.2 Tratamiento de muestras

Ambos tubos cónicos se colocaron dentro de una centrifuga marca IEC Centra modelo CL3 por 15 minutos a 3000 rpm. Enseguida las muestras fueron colocadas en un sonicador durante 20 minutos. Transcurrido este lapso, se le realizaron los análisis correspondientes.

7.6.3 Presencia de Alcaloides

7.6.3.1 Ensayo de Wagner

Para este ensayo se usaron 200 µL de muestra filtrada dentro un tubo de ensayo al cual se le adicionaron tres gotas del reactivo de Wagner por un lado del tubo de ensayo. La obtención de un precipitado de color marrón-rojizo confirmó el ensayo como positivo. Como control negativo se empleó agua destilada y como control positivo cafeína (Raaman N., 2006).

7.6.4 Esteroles

7.6.4.1 Reacción de Liebermann-Burchard

Para este ensayo se usaron 200 µL de muestra filtrada, la cual se disolvió en un tubo de ensayo con 200 µL de cloroformo concentrado. Posteriormente se tomaron 200 µL de la solución anterior, la cual se mezcló con 200 µL de anhídrido acético y 200 µL de H₂SO₄ concentrado. Una serie de cambios de color mostró la presencia de fitoesteroles. La formación de un aro entre color azul y verde confirmó la presencia

de terpenoides. Como control negativo se usó agua destilada y aceite de almendra como control positivo.

7.5.3. Insaturaciones

Para este ensayo se usaron 200 μL de muestra filtrada los cuales se colocaron dentro de un tubo de ensayo, a la cual se le agregó solución de KMnO_4 al 2% esto se realizó gota por gota. La prueba es positiva si se generaba una decoloración o formación de un precipitado café, a causa de la formación de bióxido de manganeso. Como control negativo se utilizó agua destilada y aceite de oliva como control positivo (Harborne, 1973).

7.6.5 Saponinas

7.6.5.1 Ensayo de Salkowski

Para este ensayo se usaron 200 μL de muestra filtrada que se colocaron en un tubo de ensayo, al cual se le añadieron 200 μL de cloroformo concentrado y 200 μL de H_2SO_4 concentrado. La prueba es positiva para presencia de saponinas al formarse en la muestra un color amarillo o café rojizo. Como control negativo se empleó agua destilada y como control positivo yuca (Torres et al., 2013).

7.6.6 Cumarinas

7.6.6.1 Prueba de hidróxido de sodio

Para este ensayo se usaron 200 μL de muestra filtrada que se colocó dentro de un tubo de ensayo, al cual se le adicionaron 200 μL de solución de NaOH al 10%. El ensayo es positivo si se generaba un color amarillo que se desvanecería al acidular con 200 μL de HCl concentrado. Como control negativo se utilizó agua destilada y como control positivo canela (Harborne, 1973).

7.6.7 Oxhidrilos fenólicos

7.6.7.1 Prueba del FeCl₃

Para este ensayo se usaron 200 µL de muestra filtrada la cual se vertió dentro de un tubo de ensayo, en donde se le añadieron unas gotas de FeCl₃ al 5 %. La generación de un precipitado rojo, azul violeta o verde se consideró positivo. Como control negativo se utilizó agua destilada y como control positivo se utilizaron arándanos (Torres et al., 2013).

7.6.8 Glicósidos

7.6.8.1 Glucósido de antraquinona (Prueba de Borntrager)

Para este análisis se utilizó 1 mL de la muestra filtrada en un tubo de ensayo, se le añadió 1 mL H₂SO₄ al 5%. La mezcla se llevó a ebullición en un baño de agua y luego se filtró. A continuación, el filtrado se agitó con un volumen igual de cloroformo y se mantuvo en reposo durante 5 min. Luego se agitó la capa inferior de cloroformo con la mitad de su volumen con amoniac diluido. La formación de color rosa a rojo en la capa amoniaca se consideró la prueba positiva. Como control negativo se utilizó agua destilada y como control positivo se utilizó *Aloe vera* (Joshi et al., 2013).

7.6.9 Antocianinas

Para este análisis se utilizó 1 mL de la muestra filtrada que se colocó en un tubo de ensayo, al cual se le adicionaron 2 mL de HCl 2M y 1 mL de amoniac 4M. La aparición de un color de rosa-rojo a azul-violeta indicó que la prueba es positiva. Se utilizaron arándanos como control positivo y como control negativo agua destilada (El-Sayed & Moustafa, 2016).

7.6.10 Quinonas

Para esta determinación se utilizó 1 mL de la muestra filtrada en un tubo de ensayo a la cual se le añadió 3 gotas de HCl concentrado. La aparición de un precipitado color amarillo o coloración indicó que la prueba es positiva. Se utilizó como control positivo brócoli y como control negativo agua destilada (Mazimba, 2015).

7.6.11 Oxalato

Para esta determinación se utilizaron 2 mL de la muestra filtrada en un tubo de ensayo, a la cual se le agregaron 3 gotas de ácido acético glacial. La formación de una coloración negra verdosa indicó la presencia de oxalatos, se utilizó como control positivo café y como control negativo agua destilada (Mazimba, 2015).

7.6.12 Flavonoides

7.6.12.1 Prueba del H₂SO₄

En un tubo de ensayo se mezclaron 200 µL del extracto y 200 µL de ácido sulfúrico concentrado. La prueba fue positiva cuando se observó la formación de coloraciones amarillas para flavonas y flavonoles; naranja-guinda para flavonas; rojo-azulosa para chalconas y rojo-púrpura para quinonas. Se utilizó agua destilada como control negativo y como control positivo se usó guayaba (Torres et al., 2013).

7.6.13 Determinación de taninos

Se realizaron análisis cualitativos sobre la presencia o ausencia de distintos tipos de taninos. Se tomaron 2 mL de extracto en un tubo de ensayo de 20 mL, esta misma se mezcló con 2 mL de $K_2Cr_2O_7$ (Dicromato de potasio) al 5%. En otro tubo de ensayo, se colocaron 2 mL de extracto a un tubo de ensayo de 20 mL al cual se le añadieron 2 mL de $(CH_3-COO)_2 Pb$ (acetato de plomo).

7.6.13.1 Prueba de diferenciación de taninos gálicos y condensados

Se colocaron 2 mL de extracto a un tubo de ensayo de 20 mL al cual se le añadió 1 mL de $FeCl_3$ (Tricloruro férrico) al 1%. En otro tubo de ensayo, se colocó 2 mL de extracto a un tubo de ensayo de 20 mL al cual se le añadió 1 mL de solución de KI al 5%. Por último, se colocaron 2 mL de extracto a un tubo de ensayo de 20 mL al cual se le añadió 1 mL de vainillina clorhídrica. Se utilizó como control positivo uva.

7.7 Determinación compuestos fenólicos totales

El contenido de compuestos fenólicos totales se determinó mediante la metodología descrita por Folin-Ciocalteu explicada por Singleton et al. (1995), en donde se tomó 1 mL de cada extracto el cual se diluyó 1:10 con agua destilada, esta muestra se colocó en un tubo de ensayo donde se adicionaron 5 mL del reactivo diluido 1:10 de Folin-Ciocalteu, el cual se dejó reposar durante 7 min y enseguida se añadieron 4 mL de la solución de carbonato de sodio 7.5%. Cada tubo obtenido se cubrió con papel aluminio para evitar el contacto con la luz, de igual manera se dejaron reposar por 2 horas a temperatura ambiente.

Posteriormente, la absorbancia se midió en un espectrofotómetro marca Thermo Scientific Genesis 20 a 760 nm contra un blanco de metanol. Los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico (EAG) por 100 g de peso fresco

(mg EAG/100 g PF) (Singleton et al., 1995). Anterior a este procedimiento se realizó una curva de calibración con ácido gálico (Anexo 1).

7.8 Determinación de flavonoides

Los reactivos que se utilizaron para la determinación de flavonoides constaron de; nitrito de sodio (NaNO_2) al 5% con agua destilada, cloruro de aluminio (AlCl_3) al 10% con agua destilada e hidróxido de sodio (NaOH) 1 M. Se realizó una curva estándar con puntos de 150 a 1000 μM de catequina con metanol (80%). Se mezclaron 250 μL de muestra más 1.25 mL de agua destilada, enseguida se agregaron 75 μL de NaNO_2 al 5%, esta mezcla estuvo en reposo durante 5 minutos, después se añadieron 150 μL de AlCl_3 al 10% y se dejó reposando por 6 minutos, como último paso, se agregaron 500 μL de NaOH 1 M más 275 μL de agua destilada. Al finalizar el procedimiento mencionado se procedió a analizar la muestra a una longitud de onda de 510 nm de absorbancia en un espectrofotómetro marca Thermo Scientific Genesys 20 (Jia & Jianming, 1999). Anterior a este procedimiento se realizó una curva de calibración con catequina (Anexo 2).

7.9 Determinación de las propiedades antioxidantes

7.9.1 Técnica DPPH

Esta metodología propuesta por (Brand-Williams et al., 1995) en donde la actividad antioxidante de los extractos se evaluó con la eliminación de radicales libres DPPH. Se añadieron 50 μL de cada extracto a una solución de metanol con DPPH de 2950 μL (60 μM), esta mezcla de reacción se agitó a fondo y se dejó en la oscuridad a temperatura ambiente durante 30 min. La absorbancia de la mezcla se midió en un espectrofotómetro marca Thermo Scientific Genesys 20 a 517 nm. Se utilizó el ácido gálico como referencia. La capacidad de eliminar el radical se calculó mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 12.

$$\text{Inhibición (\%)} = [(A \text{ control} - A \text{ muestra}) / A \text{ control}] \times 100$$

A control: absorbancia de la reacción de control (la cual contiene todos los reactivos excepto el compuesto de prueba)

A muestra: absorbancia del compuesto de prueba (Brand-Williams et al., 1995).

7.10 Isotermas de adsorción y desorción

Esta parte se fundamentó en el método de Wink (1946) modificado (Navarro-Zamora, 2010). La cual consistió en crear una serie de humedades relativas con soluciones de sales saturadas en recipientes cerrados. Cada sal genera una atmósfera con una humedad relativa que cubre gran parte de la escala de A_w . Se realizaron los sistemas que se formularon en la tabla 3.

Tabla 3. Condiciones de temperatura de los sistemas de micro atmósferas.

Sistema	Temperatura constante	Número de sistemas (triplicado)
Adsorción	35°C	21
	45°C	21
Desorción	35°C	21
	45°C	21

Primeramente, se realizó la preparación de las soluciones salinas saturadas, se tomaron 100 mL de agua destilada, la cual se vertió dentro de un vaso de precipitados de 500 mL, para posteriormente diluir la cantidad de sal, dicho vaso se colocó sobre una parrilla con agitación constante según las proporciones

mencionadas en la tabla 4, correspondiente a cada sal, (Navarro-Zamora, 2010; Wink, 1946).

Tabla 4. Concentraciones para las soluciones salinas saturadas de las isotermas.

Nomenclatura	Nombre de la sal	Concentración de saturación (g /100 mL)	A_w
Mg (NO ₃) ₂	Nitrato de magnesio	125	0.595
NaNO ₃	Nitrito de sodio	85	0.680
NaCl	Cloruro de sodio	40	0.753
NH ₄ SO ₄	Sulfato de amonio	73	0.817
KNO ₃	Nitrato de potasio	30	0.934
K ₂ SO ₄	Sulfato de potasio	12	0.976
H ₂ O	Agua destilada	100	0.988

Enseguida se elaboraron charolas de aproximadamente 2 x 2 cm. En cada charola se pesó 1 g de jacube deshidratado para el sistema de adsorción y jacube fresco para el sistema de desorción, el pesado de la muestra se realizó en una balanza analítica marca OHUAS.

A cada uno de los recipientes de plástico se les agregó 30 mL de cada solución salina esta cantidad fue suficiente para cubrir todo el fondo del frasco. Previamente estos frascos se les colocó silicón por dentro como soporte para la base de tela malla donde se colocaron las charolas con la muestra pesada con la finalidad de que esta

base se mantuviera firme y sin la posibilidad de que la muestra estuviera en contacto con la solución (Figura 25).



Figura 25. Frascos adaptados con el soporte y la muestra. *Fuente: Propia del autor*

Una vez elaborado el sistema según las condiciones seleccionadas, se colocó cada charola dentro de las micro atmósferas creadas dentro de los recipientes de plástico y estos fueron cerrados herméticamente los cuales fueron incubados según la temperatura seleccionada (Figura 26).



Figura 26. Frascos cerrados herméticamente con cada micro atmosfera. *Fuente: Propia del autor.*

Cada 24 horas se realizó el registró del peso de cada una de las muestras hasta llegar al equilibrio (Anexo 3).

Se obtuvo un promedio de los pesos de las muestras, estos datos se utilizaron para realizar el ajuste de los modelos matemáticos de BET y de GAB (Anexo 4).

7.11 Elaboración de una galleta con jacube deshidratado

Los ingredientes que se utilizaron para la elaboración se seleccionaron con base a las propiedades funcionales como mejorar la presión arterial y/o hipoglucémicas entre otras, no alteren la misma. Los ingredientes que se utilizaron fueron; jacube deshidratado, harina de avena, aceite de oliva, huevo, royal para hornear. Se realizaron dos formulaciones de galleta que se mencionan en la tabla 5.

Tabla 5. Formulaciones utilizadas para la elaboración de la galleta.

Galleta con jacube		Galleta sin jacube	
Ingrediente	Cantidad	Ingrediente	Cantidad
Jacube deshidratado	20 g *	-	-
Harina de avena	30 g	Harina de avena	30 g
Aceite de oliva	20 mL	Aceite de oliva	20 mL
Bicarbonato de sodio	1 g	Bicarbonato de sodio	1 g
Piloncillo granulado	7.5 g	Piloncillo granulado	7.5 g
Huevo	4 g	Huevo	4 g

*Cantidad de ingesta promedio de jacube

Se pesaron cada uno de los ingredientes en una balanza analítica. Después se precalentó el horno a una temperatura de 150°C. En un recipiente se incorporaron primero los ingredientes secos; la harina de jacube, la harina de avena y la royal, una vez mezclados los ingredientes se les añadió el aceite de oliva extra virgen y el huevo. Con una batidora se realizó la mezcla de los ingredientes hasta su incorporación.

Una vez obtenida una masa homogénea se procedió a moldear la masa y con ayuda de un rodillo se extendió sobre una superficie plana y se realizó la forma de las galletas con un cortador, las formas obtenidas de galletas se colocaron sobre un papel encerado en una charola, la cual se introdujo al horno por 20 minutos. Las galletas obtenidas se reservaron en una bolsa Whirlpack en un lugar fresco y seco.

7.12 Elaboración de un yogur

Se utilizó 1 L de leche entera en un recipiente de aluminio, el cual fue colocado sobre una parrilla en donde fue llevado a una temperatura de 40°C, una vez que se alcanzó dicha temperatura. En otro recipiente se colocaron 145 mL de yogur natural griego, en donde lentamente se vertió la leche y se mezcló poco a poco con el yogur, hasta que se incorporó toda la leche por completo, esta mezcla fue incubada en una estufa a 35°C por 24 horas. Las formulaciones mencionadas se muestran en la tabla 6.

Transcurrido este lapso, se separó el suero del coagulo formado. El yogur obtenido se almacenó a una temperatura de refrigeración de 5°C. Se prepararon porciones de yogur de 160 g y a cada porción se le adicionó 20 g de jacube deshidratado pulverizado el cual fue mezclado manualmente hasta su incorporación homogénea. Estas porciones de yogur con jacube fueron reservadas en refrigeración a 5°C para ser utilizadas en la evaluación del efecto hipoglucémico en individuos.

Tabla 6. Formulaciones utilizadas para la elaboración del yogur adicionado con jacube.

Yogur con jacube		Yogur sin jacube	
Ingrediente	Cantidad	Ingrediente	Cantidad
Jacube deshidratado	20 g *	-	-
Yogur artesanal	160 g	Yogur artesanal	160 g

7.13 Evaluación de las características organolépticas

Para la evaluación se seleccionó una muestra ($n=60$) de sujetos 30 hombres y 30 mujeres con un rango de edad de 18 a 22 años pertenecientes a la Facultad de Estudios Profesionales Zona Huasteca. Las muestras del alimento se prepararon en

porciones pequeñas las cuales fueron evaluadas por panelistas no entrenados. En donde cada panelista calificó de manera sensorial las siguientes características:

- Sabor
- Olor
- Apariencia
- Textura
- Color
- Acidez

Además, en cada encuesta se solicitó a los evaluadores señalar si la muestra fue de su agrado y recomendaciones sobre la misma (Anexo 5).

7.14 Aplicación de encuestas sobre consumo de jacube

El objetivo de la aplicación de las encuestas fue para identificar una cantidad promedio de consumo de jacube y el nivel de conocimiento que se tiene sobre el mismo. Estas encuestas se realizaron en una muestra de la población estudiantil universitaria y de una muestra de la población que acude al mercado local de Ciudad Valles, S.L.P donde se comercializa el jacube, en donde se les cuestionó principalmente sobre si conocían a esta planta, sus propiedades funcionales, frecuencias y formas de consumo, asimismo de la cantidad promedio de ingesta. Se seleccionó una muestra ($n=50$) estudiantes de la Facultad de Estudios Profesionales Zona Huasteca 25 hombres y 25 mujeres, con un rango de edad de 18 a 22 años y otra muestra ($n=50$) 13 hombres y 37 mujeres con un rango de edad de 30 a 70 años que realizaban compras en el lugar donde se comercializa el jacube (Anexo 6).

7.15 Evaluación de efecto hipoglucémico en individuos de prueba.

7.15.1 Selección de sujetos de prueba

Para la valoración de esta evaluación se seleccionaron individuos con las siguientes condiciones:

- Carecer de familiares directos (padres, abuelos o tíos) con diagnóstico de hiperglucemia o diabetes mellitus.
- Sin tratamiento farmacológico 2 meses atrás y durante el ensayo.
- Contar con un IMC dentro de un rango de 18.5 – 24.9.
- Sin adicciones (tabaco, alcohol o drogas).
- Tener una edad de entre 21 – 26 años.

Una vez que se obtuvieron los resultados de los filtros realizados se trabajó con una muestra de $n=17$. A cada individuo seleccionado se le dio a conocer una carta de consentimiento y privacidad de identidad (Anexo 7), la cual se rige con las condiciones de la “Guía Nacional para la Integración y el Funcionamiento de los Comités de Ética en Investigación” perteneciente a la Comisión Nacional de Bioética, en donde previamente se solicitó la aprobación de la realización de la investigación (Anexo 8).

7.15.2 Toma de muestras sanguíneas e ingesta del alimento

Se realizaron toma y análisis de muestra sanguíneas para química sanguínea en donde se determinó la concentración de glucosa plasmática en diferentes condiciones de cada uno de los 17 individuos seleccionados con las especificaciones antes mencionadas. Los análisis de las muestras sanguíneas se realizaron en el Laboratorio de Análisis Clínicos de la Facultad de Estudios Profesionales Zona Huasteca. La investigación se dividió en dos fases; en la fase 1, a cada individuo se le tomaron 3 muestras sanguíneas, la primera muestra se tomó con un estado de

ayuno de 8 – 10 horas glucosa plasmática en ayunas (PFG). Previamente, se realizó la preparación de la solución de dextrosa tomando la cantidad de 50 g de dextrosa Marca CTR Scientific, los cuales se disolvieron en 250 mL de agua purificada por cada individuo.

Enseguida, el individuo ingirió la solución de dextrosa, transcurridos 30 min después de la toma de la solución de dextrosa, se procedió a tomar una segunda muestra sanguínea. Después el individuo ingirió una porción de yogur de 160 g sin jacube deshidratado. Transcurridos 60 minutos después de la ingesta del yogur sin jacube deshidratado, se procedió a tomar la tercera muestra sanguínea del individuo. A las tres muestras sanguíneas obtenidas en esta fase 1, se les determinó la concentración de glucosa en sangre en mg/dL, las cuales fueron analizadas en el equipo Mindray BS-36E en el Laboratorio de Análisis Clínicos de la Facultad de Estudios Profesionales Zona Huasteca.

Una semana posterior, se realizó la fase 2, con la diferencia que el yogur ingerido contenía jacube deshidratado. El objetivo de la fase 2 (con jacube deshidratado) es para determinar la presencia del efecto hipoglucémico que pudiera mostrar el jacube en un individuo en estado de ayuno.

La finalidad de la fase 1 (sin jacube deshidratado) es identificar el comportamiento metabólico de la glucosa de cada sujeto, es decir capacidad del cuerpo para regular los niveles de glucosa en la sangre. Estos valores de concentración de glucosa sanguínea se consideraron como referencia de cada uno de los individuos.

7.15.3 Evaluación del efecto hipoglucémico

Los datos de los valores de glucosa plasmática en ayunas (FPG) de cada uno de los sujetos en las pruebas realizadas se clasificaron en dos categorías acorde a los valores obtenidos; individuos con concentración de glucosa basal normal (< 100 mg/dL) e individuos con concentración de glucosa basal alterada (100 – 125 mg/dL) (ADA American Diabetes Association, 2024) para cada categoría se obtuvo el

diferencial de glucosa de las concentraciones de glucosa sanguínea, aplicando la siguiente formula:

Ecuación 13.

$$\text{Diferencial de concentración de glucosa en sangre} = \text{Glucosa elevada con dextrosa} - \text{Glucosa después de ingerir el alimento}$$

Estos valores de diferenciales obtenidos son los que se utilizaron para determinar el efecto hipoglucémico del jacube en cada individuo.

7.16 Análisis estadístico

El análisis estadístico de los resultados obtenidos en esta investigación se realizó en el programa estadístico GraphPad Prism 8. Para los valores del análisis proximal e isotermas de sorción se realizaron mediante una *t* de student para muestras pareadas. Para los valores de características antioxidantes se realizó mediante una *t* de student para muestras independientes. Sobre los valores de las constantes de los modelos matemáticos de las isotermas de sorción se realizó una regresión lineal con una $R^2 > 0.90$ y para los valores diferenciales de las concentraciones de glucosa sanguínea de cada individuo se realizó una prueba de Wilcoxon y para conocer la correlación de las variables se valoró con una *r* de Spearman.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Recolección de materia prima

Se adquirieron los tallos de jacube en el mercado local de Ciudad Valles, San Luis Potosí, los cuales tenían 8 días de grado de maduración. Los tallos de jacube fueron llevados al Laboratorio de Desarrollo de Productos Alimentarios perteneciente a la Facultad de Estudios Profesionales Zona Huasteca. Los tallos de jacube fueron lavados con agua purificada, y secados por escurrimiento. Después fueron cortados en trozos, para su correspondiente tratamiento (Figura 27).

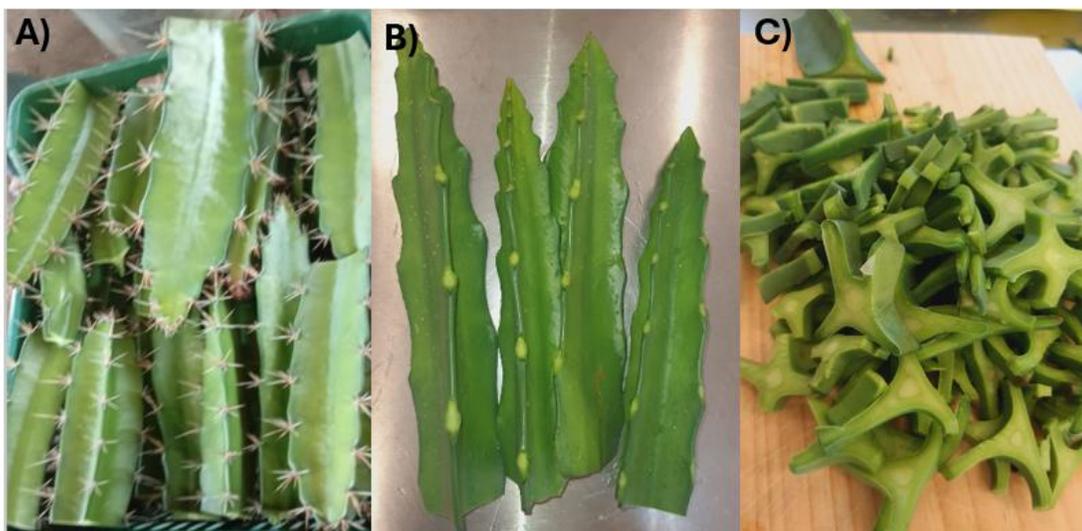


Figura 27. Tallos de jacube (*Acanthocereus tetragonus* (L) Hummelinck). A) Recolecta de tallos en cultivo del Ejido Ojo de Agua. B) Lavado y secado de tallos. c) Corte horizontal de tallos. Fuente propia del autor.

8.1.1 Identificación taxonómica del jacube

Se solicitó una identificación taxonómica del ejemplar vegetal completo (raíz hasta tallos) mediante una solicitud de análisis (anexo 9) dirigido al Herbario Isidro Palacios perteneciente al Laboratorio de Zonas Desérticas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí a cargo del M. en C. Hugo Alberto Castillo Gómez que mediante el

número de oficio 70397 emitió el resultado de la especie vegetal identificada como: *Acanthocereus tetragonus* (L) Hummelinck.

La identificación taxonómica del jacube permite continuar con la investigación científica de la planta cactácea, creando una base de estudios enfocados a la botánica, ecología y evolución del jacube y de las demás plantas cactáceas permitiendo a los investigadores conocer las relaciones filogenéticas entre diferentes especies, por ejemplo, el jacube y el nopal las cuales pertenecen de la familia *Cactaceae*.

8.1.2 Preparación de muestras para su análisis

El material vegetal recolectado fue lavado, secado y troceado, y posteriormente se sometió a un proceso de escaldado, con el objetivo principal de inactivar enzimas como las oxidorreductasas, transferasas, hidrolasas, liasas, isomerasas y ligasas, las cuales son responsables del deterioro provocando la aparición de sabores, olores y colores desagradables, además, causan una textura indeseable y contribuyen a la descomposición de nutrientes. El proceso de escaldado reduce la fermentación y estabiliza la textura de los tallos inmaduros, preservando la integridad del material vegetal (Badui Dergal S, 2013) (Xiao et al., 2017).

Para la evaluación de la eficacia del proceso de escaldado se utilizó la prueba de guayacol (Reyes Munguía et al., 2009) que se basa en la reacción enzimática de la enzima peroxidasa con guayacol en presencia de peróxido de hidrógeno, resultando en la formación de un producto de color marrón que indica la presencia de la peroxidasa, la ausencia de coloración marrón indica inactivación de la peroxidasa.

En las pruebas realizadas solo se consideró el material vegetal que mostró una ausencia de color marrón (Figura 28), esto debido a que la actividad peroxidasa influye en la calidad del producto final, en este caso al jacube deshidratado en el que puede causar un deterioro de su aspecto y textura.



Figura 28. Efectividad del proceso de escaldado en jacube (Prueba de guayacol).

8.2 Caracterización análisis químico proximal de jacube fresco y deshidratado

Se realizó la caracterización análisis químico proximal de jacube deshidratado y jacube fresco. En donde se encontró que los tallos de jacube fresco se componen alrededor de un 90% de humedad, obteniendo un 92.47 ± 0.38 % de humedad en base humedad. Dicho porcentaje se puede observar cómo disminuye a un 9.64 ± 0.68 % cuando este es sometido a un proceso escaldado y deshidratación. Severini et al (2005) mencionan que la aplicación del proceso de escaldado favorece las tasas de secado y deshidratación al cambiar las propiedades físicas de los productos, debido a que la alta temperatura provoca una mayor destrucción de la pared celular, lo que a su vez aumenta la tasa de eliminación de humedad.

En la tabla 7, se puede observar que el contenido de cenizas en jacube fresco y en la tabla 8 el jacube deshidratado, los cuales permanecen sin diferencia significativa, esto debido a que estos representan los componentes minerales del material vegetal los cuales son estables a procesos térmicos previos. En un estudio realizado por Lagunes et al (2019), reporta 0.68 % de cenizas por cada 100 g en materia fresca.

Tabla 7. Análisis químico proximal de jacube en base a 100 g de materia fresca.

Análisis	Jacube fresco $x \pm ds$
% Humedad	92.47 \pm 0.38
% Cenizas	0.64 \pm 0.08
% Grasas	0.51 \pm 1.45
% Proteínas	1.98 \pm 0.76
% Azúcares totales	1.35 \pm 0.42
% Fibra cruda	3.05 \pm 2.03

Los valores representan la media ($n=3$) \pm desviación estándar.

En la tabla 8, que muestra el 9.07 ± 1.09 % de grasa y 10.32 ± 1.17 % de proteína por cada 100 g en materia seca estos valores se encuentran por encima de los reportados por González-Rodríguez et al (2020) en nopal (*Opuntia spp*) cultivado en invernadero (1.76 % de grasa y 9.90 % de proteína en materia seca) alimento utilizado de forma similar al jacube.

En una investigación realizada por Juárez Cruz et al (2012) reportaron un mayor contenido de proteínas de 24.49 % por cada 100 g en materia seca en la especie *A. tetragonus* comparada con la especie *A. subinermis*. En la tabla 8, se puede observar que el jacube tiene un alto contenido de fibra cruda de 65.51 ± 2.52 % en base seca por cada 100 g esta es una cantidad equiparable con la reportada por Peña-Montes et al (2019) en donde analizan jacube y obtienen un 51.51 % de fibra cruda por cada 100 g en base seca. Comparado con el contenido de fibra de otras plantas cactáceas.

Tabla 8. Análisis químico proximal de jacube en base a 100 g de materia seca.

Análisis	Jacube deshidratado <i>x ± ds</i>
% Humedad	9.64 ± 0.68 ^a
% Cenizas	0.58 ± 0.01
% Grasas	9.07 ± 1.09
% Proteínas	10.32 ± 1.17
% Azúcares totales	9.03 ± 0.37
% Fibra cruda	65.51 ± 1.52

Los valores representan la media (*n*=3) ± desviación estándar.

González-Rodríguez et al (2020) reportan en nopal silvestre (*Opuntia spp*) un contenido de fibra cruda de 49.96 % en base seca por cada 100 g, esta cantidad es menor a la reportada en nuestra investigación, sin embargo, en base húmeda reportan un 5.00 % en base húmeda por cada 100 g la cual supera a la del jacube de 3.05 ± 2.03 % en base húmeda por cada 100 g.

Rives-Castillo et al (2021) reportan un contenido de 12.07 ± 0.49 % de fibra cruda en base seca por cada 100 g en harina de nopal cultivado en el mes de mayo. García-Silvera, (2018) reporta que la presencia de aminoácidos, la fibra y la vitamina B3 en *Opuntia spp* ayudan a prevenir a el exceso de glucosa en sangre, además de la conversión de esta en grasa, por lo que se reduce el colesterol total, por medio del metabolismo de la grasa y de los ácidos grasos, así como de la eliminación de los ácidos biliares, que se convierten en colesterol. Las investigaciones afirman que ambas cactáceas tienen un alto contenido de fibra cruda en base fresca, sin embargo, el jacube deshidratado mantiene una mayor cantidad de fibra cruda en comparación con el contenido del nopal, incluso con su harina.

8.3 Caracterización fitoquímica del jacube en fresco y deshidratado.

8.3.1 Tamiz cualitativo fitoquímico

Para valorar los componentes fitoquímicos se realizó un tamiz fitoquímico cualitativo el cual se fundamenta en determinar la presencia o ausencia de metabolitos secundarios en las muestras de jacube fresco y deshidratado. Para cada prueba cualitativa generó un cambio visible: precipitado, cambio de color, formación de espuma, turbidez, etc.

Para determinar si un resultado fue abundante, moderado o escaso, se observó si el cambio de color o formación de precipitado fue muy intenso, reacción rápida y marcada se reportó como abundante (+++), si la reacción fue visible pero menos intensa se reportó como moderado (++), si la reacción fue débil o leve se reportó como escaso (+) y si no se observaron cambios visibles en la reacción se reportó como ausente (-) (Sawant et al., 2023)

En la tabla 9, se muestran los analitos que se determinaron en cada una de las muestras, se puede observar que la prueba para flavonoides es positiva abundante (+++) en ambas muestras tanto en jacube fresco y deshidratado. La presencia de estos compuestos es similar con lo reportado por Cornejo-Campos et al (2022) sobre la presencia de flavonoides glicosilados después de la exposición de un proceso térmico, en donde mencionan que el proceso de cocción puede dar lugar a dos fenómenos principales: (1) la degradación de los metabolitos secundarios y (2) un aumento de la extracción de los compuestos.

Tabla 9. Análisis fitoquímico cualitativo en jacube fresco y deshidratado.

Análisis	Control positivo	Jacube fresco	Jacube deshidratado
Alcaloides (<i>Prueba de Wagner</i>)	Cafeína	-	-
Esteroles (<i>Reacción de Liebermann-Burchard</i>)	Aceite de almendra	++	++
Insaturaciones	Aceite de oliva	++	++
Flavonoides	Uva	+++	+++
Saponinas (<i>Prueba de Salkowski</i>)	Yuca	++	+
Cumarinas (<i>Prueba del NaOH</i>)	Canela	+++	++
Oxhidrilos fenólicos (<i>Prueba del FeCl₃</i>)	Arándanos	+	+
Antocianinas	Arándanos	-	-
Quinonas	Brócoli	+	+
Oxalato	Café	-	-
Taninos	Uva	+	+
Glicósidos	<i>Aloe vera</i>	-	-

(+++) abundante, (++) moderado, (+) escaso, (-) ausente.

Estos metabolitos poseen una serie de funciones biológicas, como actividades antioxidantes y antiinflamatorias, que les confieren numerosas propiedades beneficiosas para la salud (Yaseen et al., 2022) y en los últimos años ha aumentado el interés por plantas que sean ricas en flavonoides, debido a que numerosos estudios confirman sus efectos beneficiosos sobre enfermedades metabólicas como la DMT2 y la obesidad (Martin et al., 2016) (Al-Ishaq et al., 2019).

Otro metabolito que también se detectó fueron las cumarinas con presencia abundante (+++) solamente en el jacube fresco, y presencia moderada (++) en jacube deshidratado. Las cumarinas es el miembro más "básico" del grupo de compuestos fenólicos, estos compuestos tienen características anticoagulantes, antiinflamatorias, antivirales, antimicrobianas, anticancerígenas, antioxidantes (Sharifi-Rad et al., 2021).

Pascoe-Ortiz et al (2019) realizaron un tamiz fitoquímico a jugos de nopal (*Opuntia megacantha*) silvestre y cultivado ambos maduros, y en ambos jugos obtenidos reportaron moderada presencia de cumarinas y fenoles. Tomás Ch. et al (2012) realizaron un screening fitoquímico a muestras de *Opuntia ficus-indica* y sus distintos frutos (tuna) morado, roja y blanca, en donde reportaron la presencia de saponinas, taninos, flavonoides, cumarinas y alcaloides en distintas expresiones en las muestras vegetales analizadas.

Los estudios citados indican que las plantas de la familia cactácea, como las especies de *Opuntia spp*, *Cereus jamacaru*, *Hylocereus polyrhizu* y *Acanthocereus tetragonus* contienen diferentes grupos fitoquímicos como ácidos fenólicos, esteroides, ésteres, cumarinas, terpenoides y alcaloides con varios beneficios para la salud, debido a que tienen en común las propiedades antiinflamatorias y antioxidantes.

8.3.1 Cuantificación de concentración de compuestos fenólicos totales y flavonoides

En la tabla 10 se muestran los resultados obtenidos de la cuantificación total de compuestos fenólicos y flavonoides de las muestras de jacube recolectadas en primavera, verano y otoño.

Según los resultados obtenidos en la tabla 10 se observa que en las muestras de jacube fresco predominan las mayores concentraciones de polifenoles con 15.58 ± 8.85 mg EAG/g, y flavonoides con 1.4935 ± 1.47 mg ECAT/g en las estaciones de primavera – verano y otoño respectivamente. Estadísticamente ($p \leq 0.05$) no existe diferencia significativa con la concentración de polifenoles de la muestra obtenida en la estación de otoño. Las concentraciones obtenidas derivadas del jacube deshidratado siguen el mismo comportamiento sin diferencia significativa en las estaciones mencionadas. Estos resultados sugieren que en la mayor parte del año el jacube mantiene las concentraciones de sus metabolitos secundarios sin variación estadísticamente significativa.

Tabla 10. Comparación de contenido total de polifenoles y flavonoides en muestras de jacube fresco y deshidratado en distintas estaciones del año.

Tipo de jacube	Estación del año	Polifenoles mg	Flavonoides mg
		EAG/g $x \pm ds$	ECAT/g $x \pm ds$
Fresco	Primavera - Verano	15.58 \pm 8.85 ^a	1.0098 \pm 1.20 ^a
	Otoño	12.59 \pm 8.00 ^a	1.4935 \pm 1.47 ^a
Deshidratado	Primavera - Verano	8.88 \pm 8.00 ^b	0.4027 \pm 1.60 ^b
	Otoño	8.27 \pm 9.86 ^b	0.3821 \pm 1.20 ^b

Los valores representan la media ($n=3$) \pm desviación estándar (ds). Letras iguales indican ausencia de diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Cortez-García et al (2015) reportaron un contenido de polifenoles de 13.08 ± 0.65 mg EAG/g en base seca en el fruto de *Opuntia joconostle* que es una cantidad similar a la reportada en esta investigación. Herrera Denise et al (2022) determinaron la cantidad de 1.16 ± 1.04 mg ECAT/g en cáscara de tuna roja de *Opuntia ficus-indica*.

Cabe mencionar que las menores concentraciones de polifenoles y flavonoides predominan en el jacube deshidratado, esto indica que el proceso de deshidratado, es decir la exposición de las muestras a un proceso térmico es el que afecta directamente la degradación de los compuestos fenólicos, flavonoides y demás metabolitos que sean lábiles al aumento de temperatura (Luisetti et al., 2023) presentes en el jacube.

Cornejo-Campos et al. (2022), reportaron un comportamiento similar, analizaron la concentración de polifenoles en muestras de jacube crudo y cocido, en donde observaron la disminución de contenido de polifenoles totales de 40.79 ± 1.00 mg EAG/g en jacube crudo descendió a 27.52 ± 1.36 mg EAG/g en jacube cocido esto a causa de la cocción que sufre normalmente el material vegetal cuando es preparado para consumo humano.

Por lo cual, es necesario realizar investigaciones donde se evalué específicamente la velocidad de degradación de los metabolitos secundarios del jacube y los límites de temperatura y tiempo de exposición en los que deben procesarse los alimentos para

garantizar una degradación menor de los metabolitos funcionales y un equilibrio entre sus características funcionales y sensoriales.

8.4 Determinación de actividad antioxidante

En la tabla 11 se muestran los resultados obtenidos sobre la capacidad antioxidante de las muestras de jacube recolectadas en primavera, verano y otoño mediante la inhibición de radical DPPH•.

Se puede observar en la tabla 11 que las muestras de jacube fresco tienen una alta capacidad antioxidante alrededor del 87 ± 1.59 % de inhibición de las muestras recolectadas en las estaciones de primavera, verano y otoño, estadísticamente estos porcentajes no presentan diferencia significativa, es decir, la capacidad antioxidante del jacube fresco no cambia en las estaciones mencionadas.

Tabla 11. Capacidad antioxidante en muestras de jacube fresco y deshidratado en distintas estaciones del año.

Tipo de jacube	Estación del año	Porcentaje de inhibición de DPPH• $x \pm ds$
Fresco	Primavera - Verano	87.23 ± 1.59^{ab}
	Otoño	87.90 ± 0.84^{ad}
Deshidratado	Primavera - Verano	32.25 ± 2.85^{ac}
	Otoño	21.58 ± 1.36^{ae}

Los valores representan la media ($n=3$) \pm desviación estándar (ds). Letras iguales indican ausencia de diferencia significativa. Letras diferentes indican diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Por el contrario, en las muestras de jacube deshidratado se puede observar una disminución de la capacidad antioxidante obteniendo un 32.25 ± 2.85 % y 21.58 ± 1.36 % para primavera- verano y otoño, respectivamente. Sin embargo, en el porcentaje de inhibición entre muestras de jacube fresco y deshidratado existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$), esto se le atribuye al proceso de térmico que es expuesto el jacube. Cornejo-Campos et al. (2022) obtuvieron un 86.44 % de

inhibición del radical DPPH en muestras de jacube fresco, este resultado es comparable con que se reporta en esta investigación.

8.5 Determinación de la estabilidad del jacube mediante isothermas de sorción

Las isothermas han sido relevantes en la investigación alimentaria, debido a que tienen relación con la estabilidad de almacenamiento de los alimentos, la cantidad de agua en un alimento, aunque es más significativa la A_w (Rahman & Labuza, 2000) debido a que el tipo y la velocidad relativa de las reacciones de los distintos alimentos se encuentran mejor relacionados con la A_w que con el contenido de humedad. Es por ello, que se evaluó la estabilidad del jacube deshidratado mediante isothermas de desorción y adsorción a temperaturas de 35°C y 45°C, se eligieron estas temperaturas porque son las que predominan en la región de Ciudad Valles, San Luis Potosí lugar donde se realizó la investigación.

8.5.1 Isothermas de adsorción

Se conoce como isoterma de adsorción o reabsorción de humedad cuando se expone un material completamente seco a atmósferas de humedad relativa creciente y se mide el contenido de agua de equilibrio después de la exposición (Fennema O et al., 2013). Para evaluar la estabilidad del jacube deshidratado se realizaron isothermas de adsorción a temperaturas de 35° y 45° con los datos experimentales obtenidos (Tabla 12). La humedad en equilibrio (W_e) de cada una de las temperaturas evaluadas se utilizó para la predicción de los modelos matemáticos de BET y GAB. Mediante el ajuste de los datos teóricos obtenidos sobre estos modelos se determinó lo que se conoce como valor de humedad de la monocapa (m_0). En teoría, al aumentar el contenido de humedad por encima de la m_0 , mayor humedad en equilibrio y cada vez hay más agua disponible para actuar como disolvente y facilitar las reacciones enzimáticas (Labuza & Altunakar, 2007) (LABUZA, 1985).

Tabla 12. Valores de humedad en equilibrio W_e (g agua/g B.S.) experimentales de las muestras de jacube deshidratado en función de la actividad de agua a las temperaturas de 35°C y 45°C.

Sal	aW	Temperatura 35°C			Temperatura 45°C		
		Peso inicial (g)*	Peso final (g)**	Humedad en equilibrio (W_e)	Peso inicial (g)*	Peso final (g)***	Humedad en equilibrio (W_e)
Nitrato de magnesio	0.595	1.023	1.065	0.1521	1.069	1.058	0.0953
Nitrito de sodio	0.68	1.018	1.099	0.1947	1.022	1.088	0.1782
Cloruro de sodio	0.753	1.017	1.153	0.2546	1.015	1.142	0.2452
Sulfato de amonio	0.817	1.042	1.235	0.3116	1.027	1.215	0.3093
Nitrato de potasio	0.934	1.021	1.568	0.6995	1.039	1.475	0.5711
Sulfato de potasio	0.976	1.033	1.632	0.7484	1.031	1.672	0.7947

* = los valores de los pesos se obtuvieron de un promedio de $n=6$.

** = los valores de los pesos se obtuvieron de un promedio de $n=6$ de 16 mediciones.

***= los valores de los pesos se obtuvieron de un promedio de $n=6$ de 40 mediciones.

En la tabla 13 se muestran los parámetros de ajustes de las isotermas de adsorción a 35°C y 45°C. En el modelo de BET para la temperatura de 35°C se obtuvo un valor de $m_0 = 0.0181$ con una $R^2 = 0.9166$ y en 45°C se obtuvo un valor de $m_0 = 0.0229$ con una $R^2 = 0.9836$, estos valores indican la cantidad necesaria para formar una monocapa de adsorbato en la superficie del adsorbente es decir del jacube deshidratado, lo cual puede sugerir que el adsorbente tiene una superficie específica baja o que las interacciones adsorbato-adsorbente no son muy fuertes a esas temperaturas.

Tabla 13. Parámetros de ajuste de las isotermas de adsorción a 35°C y 45°C de jacube deshidratado para los modelos matemáticos de BET y GAB.

Temperatura	Modelo	Parámetros	R^2	
35°C	BET	c	9.7834	0.9166
		mo	0.0181	
	GAB	C	-1.4384	0.9709
		mo	0.1789	
45°C	BET	C	8.2876	0.9836
		Mo	0.0229	
	GAB	C	-1.4245	0.9772
		mo	0.1635	

C, k y c = Constantes de los modelos matemáticos

mo = Valor de la monocapa

R^2 = Coeficiente de determinación

En una investigación realizada por Domínguez Puerto (2011) en isotermas de desorción de nopal (*Opuntia ficus-indica*) deshidratado de dos partes A y B aplicando el modelo BET a 25°C. De la parte A ($mo= 0.2109$) y B ($mo= 0.1231$). En otro estudio realizado por (Lahsasni et al., 2002), reportaron que en cáscara de tuna deshidratada aplicando el modelo de BET a 30°C, obtuvo un valor de $mo= 0.0710$, ambos alimentos con características físicas y funcionales similares al jacube.

Los valores de la monocapa obtenidos a 35°C y 45°C ajustados al modelo de BET son relativamente menores en comparación con los mencionados en la literatura, lo que podría sugerir que el jacube deshidratado tiene una superficie específica no muy extensa o que no adsorbe grandes cantidades de adsorbato a 35°C y 45°C, además estos valores muestran una tendencia a descender al aumento de la temperatura, ocasionando que el proceso de adsorción suceda de manera no eficiente, a diferencia con temperaturas más bajas, ya que las moléculas de adsorbato tienden a tener más energía cinética al ser un proceso exotérmico causando la separación de las moléculas de agua en los sitios activos del alimento (McMinn & Magee, 2003).

En la comparación de los valores de las monocapas en las dos temperaturas sugiere que el valor de la $mo= 0.0229$ predice que, a 45°C el jacube deshidratado puede formar una monocapa ligeramente más grande que a temperaturas más bajas, pero la cantidad adsorbida sigue siendo considerable.

El alto coeficiente de determinación $R^2= 0.9836$ indica que el modelo BET es muy adecuado para describir el comportamiento de adsorción en estas condiciones, sugiriendo que el sistema sigue las predicciones de manera precisa. El aumento en la cantidad de adsorbato en la monocapa con respecto a 35°C puede indicar que, a 45°C las interacciones entre el adsorbente y el adsorbato son lo suficientemente estables para retener más moléculas en la superficie, a pesar de la mayor energía cinética de las moléculas. Además, se observa un patrón similar al reportado en los alimentos, en donde ambas isothermas la humedad en equilibrio aumenta a mayor actividad de agua (Al-Muhtaseb et al., 2002) este fenómeno se pronuncia más en valores superiores a 0.6. También se puede observar que la humedad en equilibrio depende la temperatura, en donde este valor descendió con un aumento de temperatura en una aw específica, esto describe que para un valor determinado de humedad en equilibrio la actividad de agua fue mayor con el aumento de temperatura, es decir el jacube deshidratado tiene la tendencia a ser menos higroscópico a temperaturas altas como 45°C.

Según la clasificación de tipos de isothermas descrita por S. Brunauer (1940) citado por Shafiur (2003), las isothermas obtenidas (figura 29 y 30) mostraron una forma sigmoidea perteneciente a la clasificación del tipo II. Una mayoría de los alimentos complejos que contienen materiales poliméricos, como proteínas y polisacáridos, y componentes amorfos suelen presentar una isoterma de tipo sigmoidea (Fennema O et al, 2013).

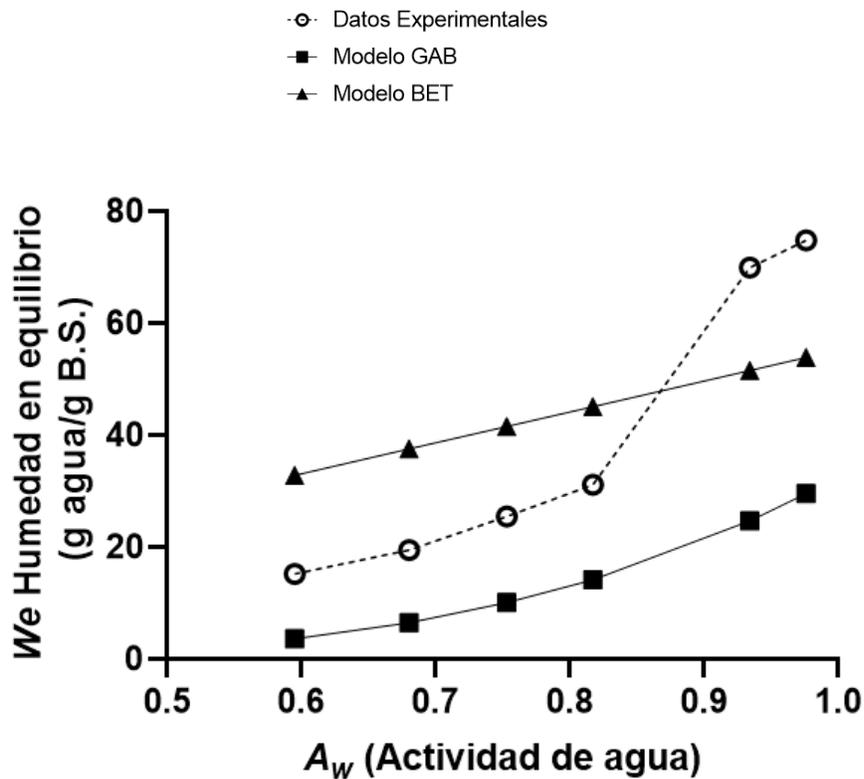


Figura 29. Isoterma de adsorción de jacube deshidratado a 35°C. *Elaboración propia del autor.*

Las isothermas sigmoides se pueden clasificar en tres zonas, la zona I representa hasta el primer punto de inflexión (comúnmente denominado “codo”) de la curva de adsorción. Este punto de inflexión se produce normalmente cuando la actividad del agua del alimento alcanza aproximadamente 0.2 – 0.25 se refiere a la adsorción de al agua en la capa monomolecular (mo) (Fennema O et al., 2013). La zona II tiene valores de a_w entre 0.2 hasta 0.75 y la zona III tiene valores de a_w mayores a 0.75 hasta 1 correspondiente a la condensación de agua en los poros del material seguido de la solubilidad de este (VAN Den BERG & BRUIN, 1985).

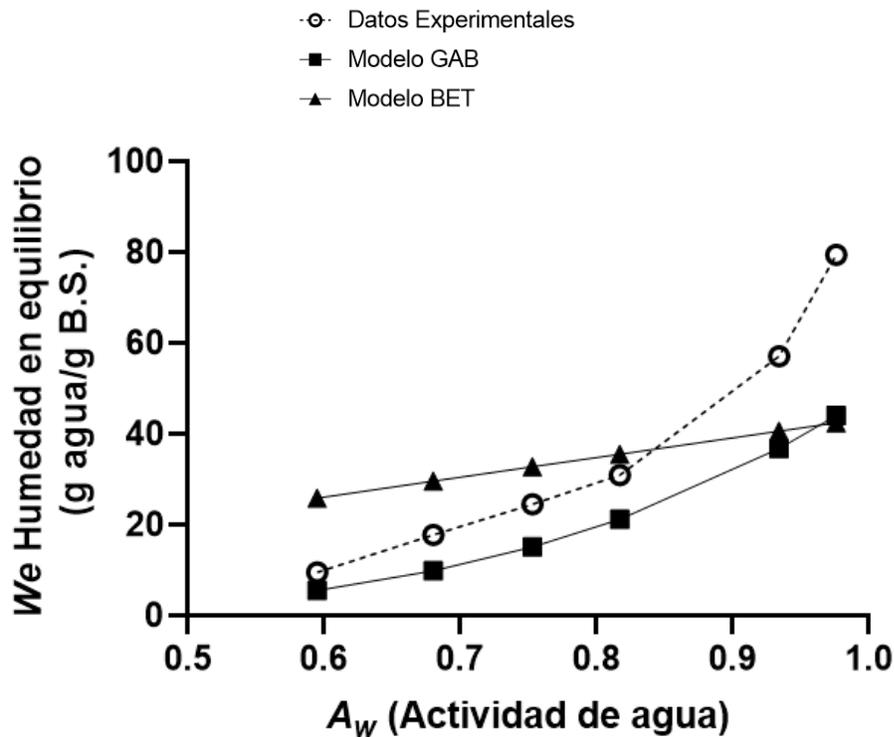


Figura 30. Isoterma de adsorción de jacube de deshidratado a 45°C. *Elaboración propia del autor.*

Con la aplicación del modelo de BET el cual tuvo un mayor ajuste comparado con el de GAB, se puede establecer un contenido de humedad crítico, el cual establezca un límite donde la conservación del jacube deshidratado pueda lograrse y se evite el crecimiento de microorganismos, estas condiciones se obtienen por debajo de valores de actividad de agua de 0.68.

8.5.2 Isotherma de desorción

El método para obtener una isoterma de desorción de humedad, consiste en exponer un material alimentario húmedo a varias atmósferas de humedad relativa decreciente y medir el contenido de agua de equilibrio y la actividad del agua en cada humedad relativa (Fennema O et al., 2013). Para evaluar este proceso en el jacube fresco, se realizaron isotermas de desorción a temperaturas de 35° y 45° con los datos experimentales obtenidos (Tabla 14).

Tabla 14. Valores de humedad en equilibrio W_e (g agua/g B.F.) experimentales de las muestras de jacube fresco en función de la actividad de agua a las temperaturas de 35°C y 45°C.

Sal	aW	Temperatura 35°C			Temperatura 45°C		
		Peso inicial (g)*	Peso final (g)**	Humedad en equilibrio (W_e)	Peso inicial (g)*	Peso final (g)***	Humedad en equilibrio (W_e)
Nitrato de magnesio	0.595	1.2763	0.0963	0.2170	1.3575	0.0748	0.4284
Nitrito de sodio	0.68	1.459	0.1087	0.2267	1.1765	0.0643	0.4330
Cloruro de sodio	0.753	1.6433	0.1113	0.2993	1.3795	0.0726	0.4540
Sulfato de amonio	0.817	1.382	0.0850	0.3619	1.3971	0.0705	0.4765
Nitrato de potasio	0.934	1.49767	0.0865	0.4008	1.3818	0.0513	0.6148
Sulfato de potasio	0.976	1.5285	0.2113	0.4342	1.4371	0.0505	0.6354

* = los valores de los pesos se obtuvieron de un promedio de $n=6$.

** = los valores de los pesos se obtuvieron de un promedio de $n=6$ de 8 mediciones.

***= los valores de los pesos se obtuvieron de un promedio de $n=6$ de 9 mediciones.

La humedad en equilibrio (W_e) de cada una de las temperaturas evaluadas se utilizó para la predicción de los modelos matemáticos de BET y GAB. En tabla 15 se muestran los parámetros de ajustes de las isothermas de desorción a 35°C y 45°C.

En el modelo de BET para la temperatura de 35°C se obtuvo un valor de $m_0 = 0.3719$ con una $R^2 = 0.9930$, para 45°C se obtuvo un valor de $m_0 = 0.1475$ con una $R^2 = 0.9957$. El valor de 0.3719 obtenido en la capa monomolecular durante la desorción a 35°C indica la cantidad de adsorbato, es decir el agua retenida que permanece en la monocapa en el momento de la desorción, lo que refleja cómo el jacube fresco retiene las moléculas de agua.

En este caso, el jacube fresco aún mantiene una cantidad considerable de agua en la monocapa durante el proceso de desorción a causa de la temperatura aplicada en este proceso es más lenta, lo que sugiere que las interacciones adsorbato-adsorbente son relativamente fuertes. Sin embargo, en la temperatura de 45°C se obtuvo un valor de la monocapa de 0.1475, el cual es menor que el obtenido en la temperatura de 35°C, este fenómeno sugiere que el jacube fresco tiene una menor afinidad por el adsorbato a 45°C, lo que puede deberse a que existe mayor energía térmica a esta temperatura provocando la fácil desorción. Este valor refleja que, aunque el jacube fresco conserva cierta capacidad para retener moléculas en la monocapa, por lo que las moléculas de adsorbato tienden a liberarse con mayor facilidad a 45°C en comparación con isothermas a temperaturas más bajas. Cabe mencionar que en el modelo de GAB a 45°C se obtiene un valor de $m_0 = 0.1216$, el cual es menor que el obtenido en el modelo de BET, sin embargo, este modelo cuenta con un valor de $R^2 = 0.9062$ el cual tiene una menor predicción, por lo que se considera como segunda opción de descripción de predicción del proceso de desorción.

Tabla 15. Parámetros de ajuste de las isothermas de desorción a 35°C y 45°C de jacube fresco para los modelos matemáticos de BET y GAB.

Temperatura	Modelo	Parámetros	R^2		
35°C	BET	c	11.2682	0.9930	
		mo	0.3719		
	GAB	C	-0.6394		
		K	0.7703		
45°C	BET	c	4.6003	0.9957	
		mo	0.1475		
	GAB	C	-5.4134	0.9062	
		K	0.7592		
			mo	0.1216	

C, k y c = Constantes de los modelos matemáticos

mo = Valor de la monocapa

R^2 = Coeficiente de determinación

En la figura 31, se observa el comportamiento de desorción del jacube fresco acompañado de los modelos de BET y GAB a 35°C, a valores bajos de a_w (0.5-0.7), el agua está más firmemente adsorbida en la estructura del jacube (agua de monocapa), mientras que a valores altos ($a_w > 0.8$) se observa un incremento más marcado en W_e , lo que indica la adsorción de agua en capas adicionales o la presencia de agua libre. El modelo BET tiene un ajuste notablemente alto ($R^2=0.9930$), lo que indica que representa con precisión los datos experimentales en los rangos bajos e intermedios de A_w (aproximadamente 0.5-0.7).

Sin embargo, a partir de $A_w > 0.8$, el modelo BET subestima significativamente la humedad en equilibrio, ya que no considera adecuadamente la formación de capas superiores o la adsorción de agua libre. BET es útil para describir la adsorción en la monocapa, pero no es adecuado para predecir el comportamiento en valores altos de actividad de agua. El modelo GAB tiene un ajuste mucho menor ($R^2=0.6697$), indicando que su predicción no se ajusta tan bien a los datos experimentales del jacube fresco en este caso.

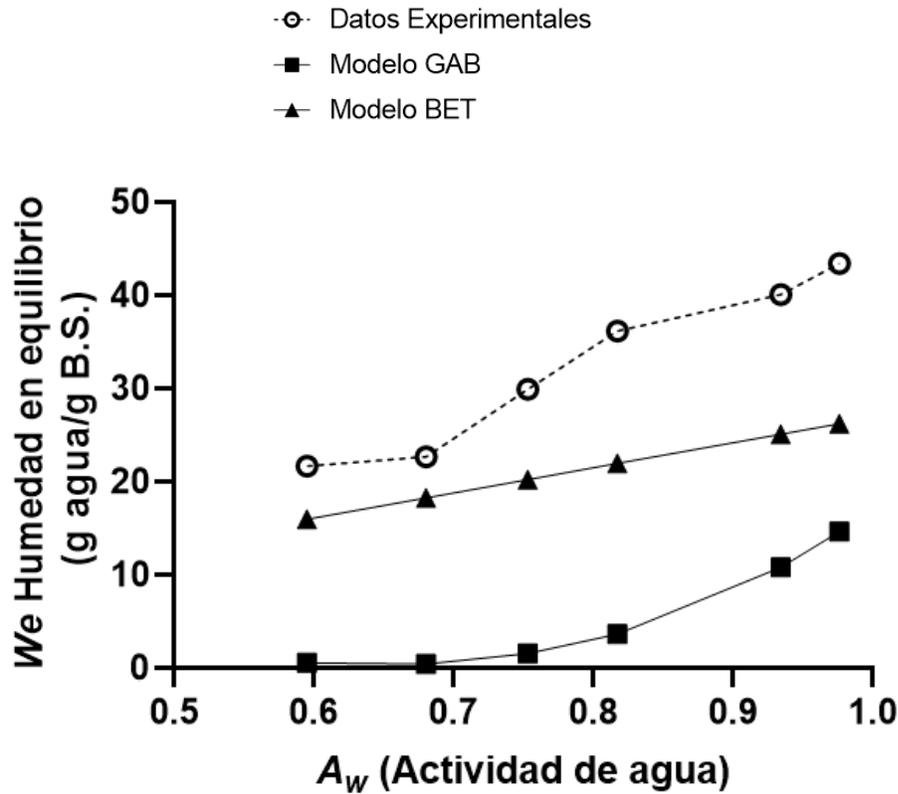


Figura 31. Isoterma de desorción de jacube fresco a 35°C. Fuente: *Elaboración propia del autor*

En la figura 32, se puede observar el comportamiento característico a las curvas de desorción, en donde a valores bajos de A_w (0.5-0.7), el agua está más firmemente adsorbida en la estructura del alimento. En valores altos ($A_w > 0.8$), la adsorción de agua aumenta más rápidamente, lo que sugiere la interacción con agua libre o en capas superiores. El modelo BET tiene un excelente ajuste ($R^2=0.9957$), lo que indica que describe muy bien los datos experimentales en rangos bajos e intermedios de A_w (aproximadamente 0.5-0.8).

Aunque, el modelo de BET subestima ligeramente la cantidad de agua en equilibrio en comparación con los datos experimentales, ya que este modelo no contempla adecuadamente la adsorción de agua en capas superiores o la presencia de agua libre. El modelo GAB tiene un buen ajuste ($R^2=0.9062$), aunque no tan preciso como comparado con el modelo de BET.

El modelo de GAB describe razonablemente los datos en rangos bajos y altos de A_w , pero presenta una ligera sobreestimación en valores intermedios ($A_w=0.7-0.8$)

A partir de $A_w \approx 0.9$, el modelo de GAB representa mejor el comportamiento del agua en equilibrio en comparación con el modelo de BET, ya que considera interacciones más complejas del agua adsorbida. La influencia de la temperatura de 45°C , la capacidad de adsorción del jacube fresco (medida como W_e) es mayor en general, lo cual podría deberse a cambios en la estructura del jacube fresco o en las interacciones agua-sólido con la temperatura.

El mejor ajuste es el modelo de BET, indica que es preferible para la mayoría del rango de actividad de agua, aunque GAB tiene utilidad complementaria en rangos altos.

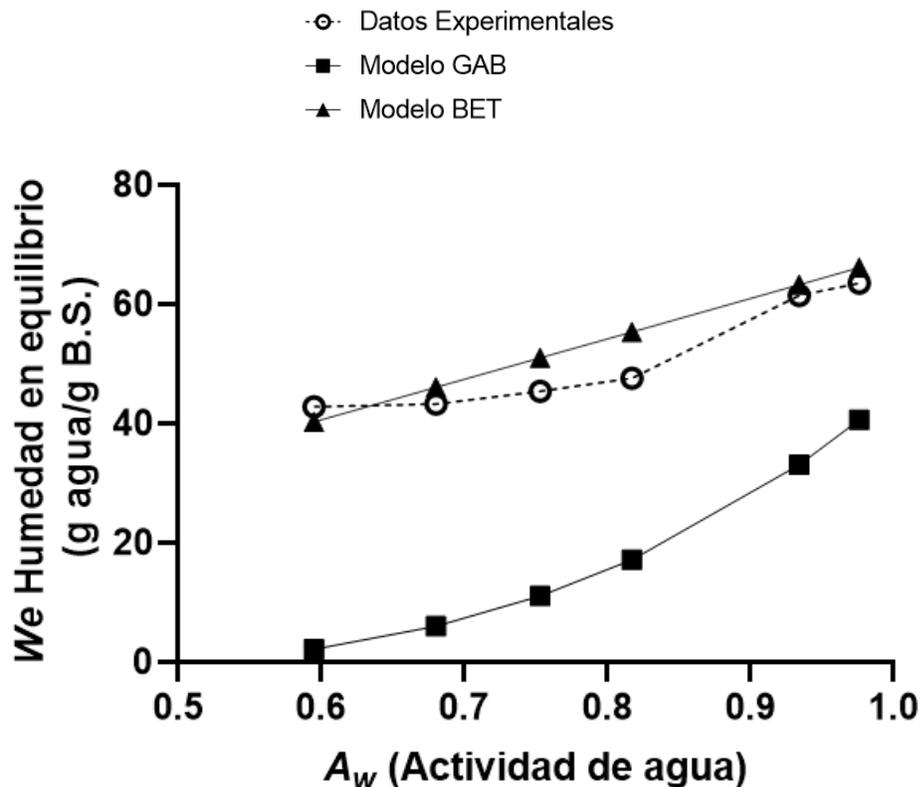


Figura 32. Isoterma de desorción de jacube fresco a 45°C . Fuente: *Elaboración propia del autor.*

8.5.1 Histéresis

Con los datos obtenidos de las isoterma de adsorción y desorción a las temperaturas de 35°C y 45°C se determinó el grado de histéresis, es decir se identificó si existe discrepancia entre la adsorción y la desorción, la cual se refiere a que algunos materiales absorben y liberan agua de diferente manera y velocidad distintas (Schiraldi et al., 2012).

En la figura 33 se puede observar la isoterma de sorción a la temperatura de 35°C, en la cual existe una separación no tan evidente entre las curvas de adsorción y desorción, esta separación indica un fenómeno de histéresis. Esto significa que el jacube retiene más agua durante el proceso de desorción que en la adsorción esto sucede por debajo de valores de 0.8 de a_w .

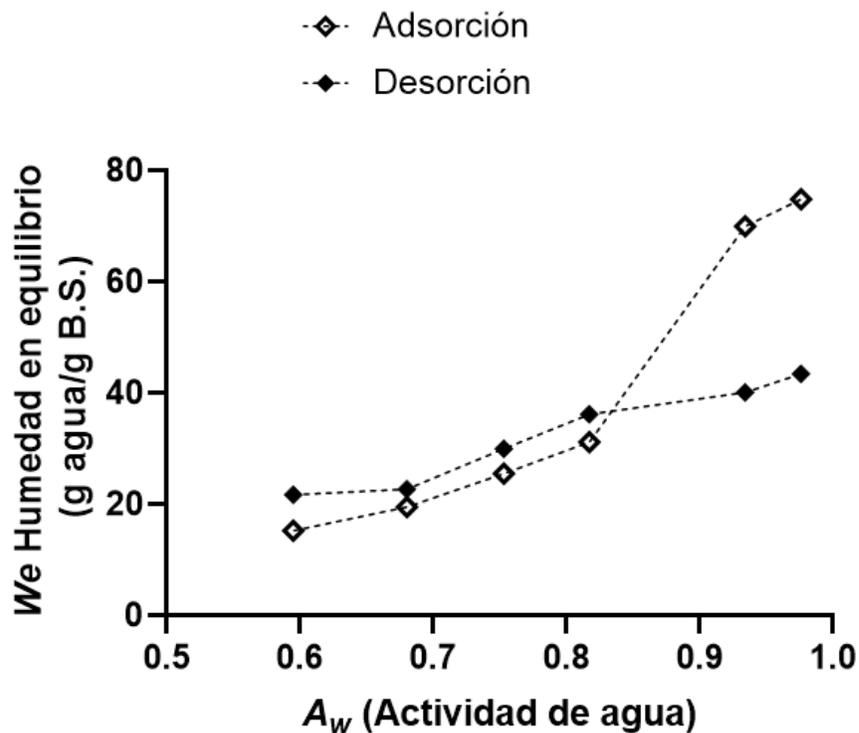


Figura 33. Isotherma de jacube deshidratado y fresco a 35°C.

Este mismo comportamiento ocurre en la isoterma de sorción a 45°C (figura 34) sin embargo, en esta última, la separación de las curvas es más pronunciada, lo que indica un grado de histéresis mayor provocada por la estructura porosa compleja de la que se compone el jacube fresco que facilita la retención de agua. Cuando el jacube fresco se somete a la desorción, el agua atrapada en los poros o espacios internos puede ser liberada más lentamente, resultando en una mayor cantidad de agua retenida a lo largo del proceso.

La mayor diferencia entre las curvas es particularmente evidente a valores de A_w por encima de 0.8 donde la humedad en equilibrio se incrementa significativamente durante la adsorción, de igual forma ocurre en la isoterma de sorción a 45°C (figura 34), sin embargo, este aumento en el proceso de adsorción comparado con la desorción no es tan pronunciado como en la temperatura de 35°C.

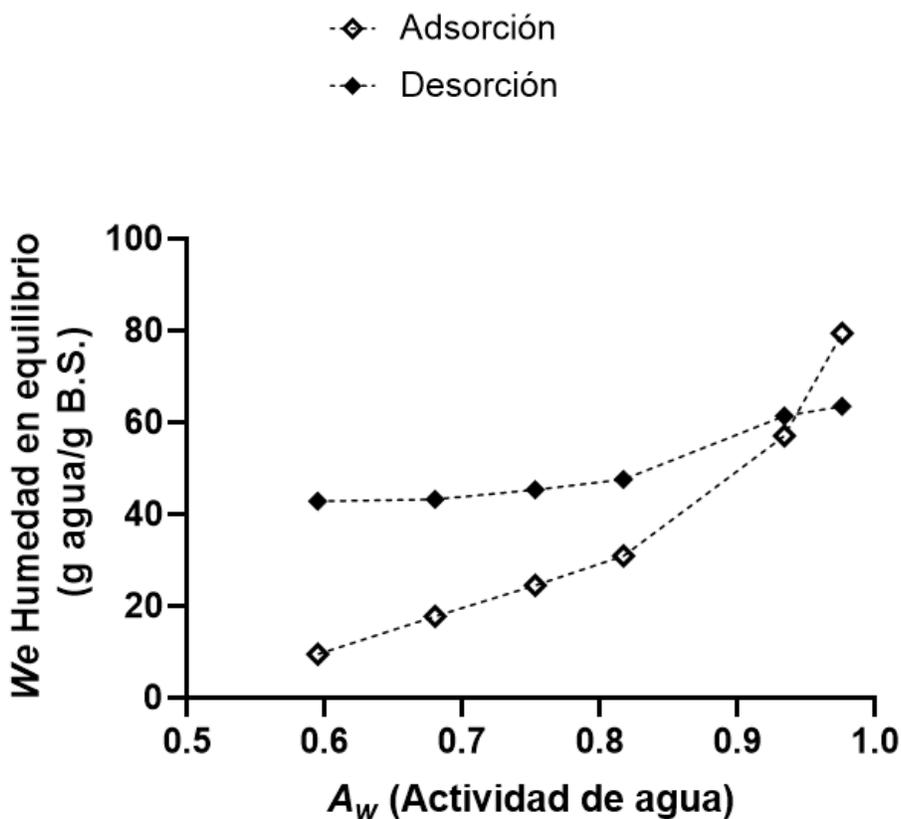


Figura 34. Isotherma de jacube deshidratado y fresco a 45°C.

Al observar los comportamientos del jacube en los procesos de desorción y adsorción, se puede determinar que el jacube es más estable en el proceso de adsorción debido a que en ambas temperaturas de 35°C y 45°C conserva valores menores de humedad en equilibrio < 0.8 de A_w , a pesar de ello, para que el jacube deshidratado conserve sus características sensoriales como textura, color y menor capacidad higroscópica se debe de mantener en valores < 0.68 de A_w dado que el agua unida a iones no puede participar en reacciones químicas, se considera el punto en el que predomina la estabilidad del jacube (Caballero-Cerón et al., 2015), por el contrario en valores superiores a este aumenta el número de sitios de unión de agua, a medida que incrementa, comienza la formación de grumos, además de ser susceptible al crecimiento de levaduras y bacterias a A_w altas (> 0.75), reacciones oxidativas como las reacciones de Maillard, que alcanzan su punto máximo a $0.6 - 0.7 A_w$, y reacciones auto oxidativas (Hay et al., 2022b; Okos et al., 2019) provocando una inestabilidad en su vida útil.

8.6 Conocimiento e incorporación del jacube deshidratado a un alimento y realización de análisis sensorial.

8.6.1 Determinación de cantidad promedio de ingesta de jacube

Los resultados obtenidos muestran que el 71% de la población encuestada conoce el jacube, es decir esta población ubica este género de cactácea dentro de los alimentos que son comestibles, además que son capaces de describir de manera cualitativa este tallo, por otro lado más del 50% de las personas (61 personas) mencionaron que alguna vez han consumido el jacube, además tiene un aceptación positiva en cuanto a su sabor, debido a que solo el 7% que lo han consumido mencionó que su sabor no es de su agrado.

Dentro de las formas más populares para consumir el jacube, la población encuestada menciona la forma de guiso con salsa de tomate (22%) seguido de la salsa roja (15%) y guisado acompañado de carne molida (14%). A pesar de que el

jacube está presente en la gastronomía local, el 68% de las personas encuestadas desconoce sus propiedades funcionales, es decir, las personas solo lo adquieren y lo consumen como cualquier otro alimento, contraste con el 32% que mencionó conocer algunas propiedades funcionales como; su alto contenido de fibra (22%), hipoglucémico (4%), diurético (4%) y antioxidante (2%). Sin embargo, solo el 11% de las personas encuestadas consumen siempre y casi siempre el jacube. Según los resultados obtenidos el 66% de las personas compran el jacube en el mercado local, de este porcentaje se obtuvo que en promedio una persona compra una bolsa de jacube, esta es equivalente a 487 g peso promedio de cada bolsa de jacube. A partir de este promedio de consumo de jacube se calculó la cantidad para el alimento.

8.6.2 Evaluación sensorial del alimento

Se realizó la evaluación sensorial de los dos alimentos propuestos adicionados con jacube deshidratado, y los resultados obtenidos de la prueba afectiva se graficaron en forma radial. En la evaluación sensorial de la galleta adicionada con jacube deshidratado (Figura 35) se obtuvo que las dos características sensoriales que mayor aceptación tuvieron en los evaluadores fue el aroma (88%) y la textura (82%) debido a que mencionaron que el olor percibido coincidía con el aroma característico agradable de una galleta horneada y no percibieron cambios de aroma derivados del jacube, y sobre la textura describieron que la galleta contaba con una textura crujiente característica de las galletas. Por otro lado, los porcentajes de características de sabor (56%), la acidez (30%) y la apariencia (28%), no fueron los esperados, debido a que los evaluadores describieron que al consumir la galleta el sabor era amargo – astringente, además una vez consumido aun predominaba el sabor y en conjunto con la acidez no generaba un sabor agradable al gusto, y por último la apariencia al ser de un color verde oscuro (Figura 36) generó una percepción de desagrado en los evaluadores, por cual se obtuvieron porcentajes bajos de aceptación en este alimento.

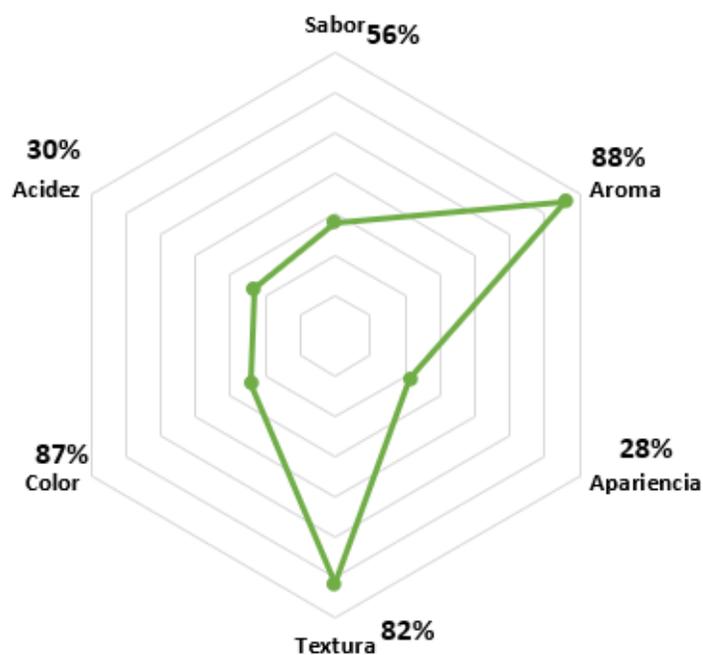


Figura 35. Gráfica radial de los porcentajes de aceptación de las características sensoriales evaluadas en la galleta adicionada con jacube deshidratado.



Figura 36. Galleta adicionada con jacube deshidratado. Foto propia del autor

Por otro lado, en la evaluación sensorial del yogur adicionado con jacube deshidratado, en todas las características organolépticas se obtuvieron porcentajes de aceptación arriba del 50%, aroma (84%), textura (81%), sabor (78%), color (70%), apariencia (68%) y acidez (63%) (figura 37), en donde mencionaron que la textura y el aroma del yogur era similar a la característica del alimento, y que la adición del

jacube no alteraba significativamente estas características. Sobre el sabor, describieron que el yogur con jacube deshidratado, destaca la acidez del propio yogur ocasionado por la generación de ácido derivado de la fermentación bacteriana, a su vez se complementa con la acidez del jacube que de manera natural tiene un pH de 4.5.

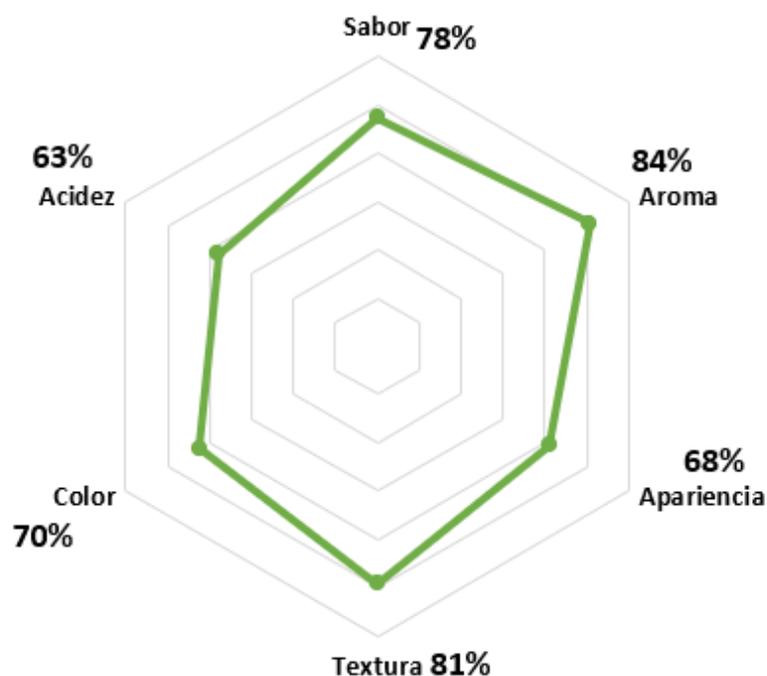


Figura 37. Gráfica radial de los porcentajes de aceptación de las características sensoriales evaluadas en la galleta adicionada con jacube deshidratado.

Sobre la apariencia y el color, mencionaron que el color verde oscuro propiciaba una apariencia no propia de un yogur convencional (figura 38), pero relacionaban el atributo del color con el contenido de jacube deshidratado. La característica sensorial que obtuvo menor aceptación fue la acidez, debido a que los evaluadores coincidieron que la acidez predominaba posterior al ingerir el yogur y esta sensación les resultaba desagradable en el paladar.

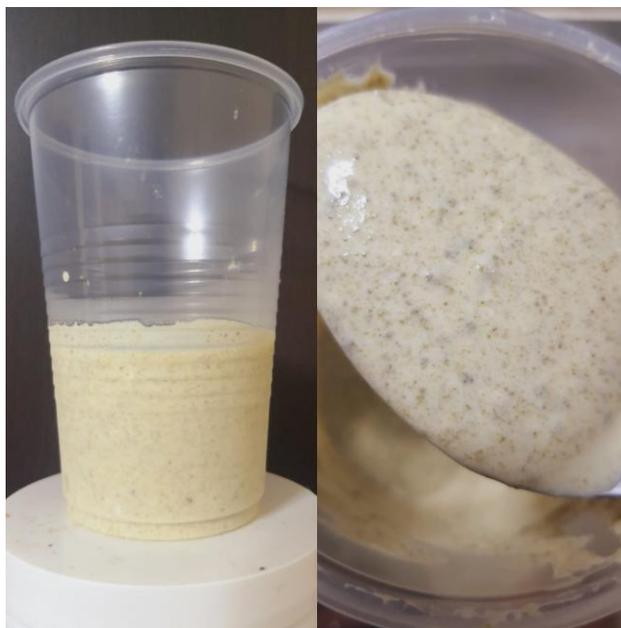


Figura 38. Yogur adicionado con jacube deshidratado

Debido a los resultados obtenidos en la evaluación sensorial sobre los dos alimentos propuestos en esta investigación, se descartó la galleta debido a que para su elaboración se consideraron factores como la exposición a altas temperaturas como lo es el horneado, el cual puede afectar la integridad de los metabolitos secundarios que estén presentes en el jacube deshidratado. Por lo cual, se determinó que el alimento que obtuvo mejor aceptación en la evaluación fue el yogur. Este alimento fue utilizado como transporte del jacube deshidratado para la evaluación de su efecto hipoglucémico.

8.7 Evaluación del efecto hipoglucémico en sujetos de prueba.

En esta evaluación se obtuvieron las concentraciones de glucosa plasmática en ayunas (FPG) en mg/dL de muestras sanguíneas de cada uno de los sujetos de prueba ($n=17$), las cuales fueron clasificadas en dos categorías: individuos con concentración de glucosa normal donde se incluyeron las concentraciones <100 mg/dL y la otra categoría de individuos con concentración de glucosa basal alterada donde se incluyeron las concentraciones entre un rango de $100 - 125$ mg/dL (ADA, 2022).

8.7.1 Comportamiento de la categoría de individuos con concentración de glucosa normal (<100 mg/dL)

En la tabla 16, se muestra los valores de concentración de glucosa de cada sujeto obtenidos durante la primera fase, la cual constó de tres tomas de muestra sanguínea; 1) FPG, 2) posterior a la ingestión de solución de dextrosa al 5% y posterior a la 3) ingestión del yogur sin jacube deshidratado.

Tabla 16. Valores de concentración de glucosa de cada sujeto obtenidos en las tres tomas correspondiente a la fase 1.

Clave del Individuo	Concentración de glucosa plasmática en ayunas (FPG) (mg/dL)	Concentración de glucosa posterior a la ingesta de solución dextrosa al 5%	Concentración de glucosa posterior a la ingesta de yogur sin jacube deshidratado
IND-01	78	136	95
IND-02	84	145	97
IND-03	88	142	76
IND-04	80	128	85
IND-05	86	134	95
IND-06	94	113	92
IND-07	95	156	97
IND-08	81	144	87
IND-09	92	135	89
IND-10	78	117	80

Clave IND: Individuo

En la tabla 17 se muestran los valores de concentraciones de glucosa de cada sujeto obtenidos en la segunda fase, que consistió en tres tomas de muestra sanguínea; 1) FPG, 2) ingestión de solución de dextrosa al 5% y posterior a la 3) ingestión del yogur con jacube deshidratado.

Tabla 17. Valores de concentración de glucosa de cada sujeto obtenidos en las tres tomas correspondiente a la fase 2.

Clave del Individuo	Concentración de glucosa plasmática en ayunas (FPG) (mg/dL)	Concentración de glucosa posterior a la ingesta de solución dextrosa al 5%	Concentración de glucosa posterior a la ingesta de yogur con jacube deshidratado
IND-01	88	146	98
IND-02	90	152	91
IND-03	96	147	71
IND-04	89	158	85
IND-05	79	146	86
IND-06	89	140	92
IND-07	99	151	81
IND-08	86	123	80
IND-09	97	153	98
IND-10	82	122	78

Clave IND: Individuo

En la tabla 18 se muestran los valores obtenidos aplicando la ecuación 13 que se describe en la metodología, que determina los diferenciales de concentración de glucosa a partir de FPG, en la primera columna se observan los diferenciales obtenidos en la primera fase (ingestión del yogur sin jacube deshidratado) y en la otra columna la segunda fase (ingestión del yogur con jacube deshidratado). Evaluar el diferencial de glucosa de las dos fases permitió visualizar la disminución de los valores de glucosa respecto de cada valor de FPG en cada individuo, obteniendo así un valor que puede ser comparado en todos los sujetos estudiados específicamente en esta categoría de individuos con concentración de glucosa normal (<100 mg/dL).

Tabla 18. Diferenciales de concentraciones de glucosa en muestras sanguíneas de cada sujeto en las dos fases

Diferencial de concentración de glucosa al ingerir el yogur sin jacube deshidratado (Fase 1)	Diferencial de concentración de glucosa al ingerir el yogur con jacube (Fase 2)
41	48
48	61
66	76
43	73
39	60
21	48
59	70
57	43
46	55
37	44

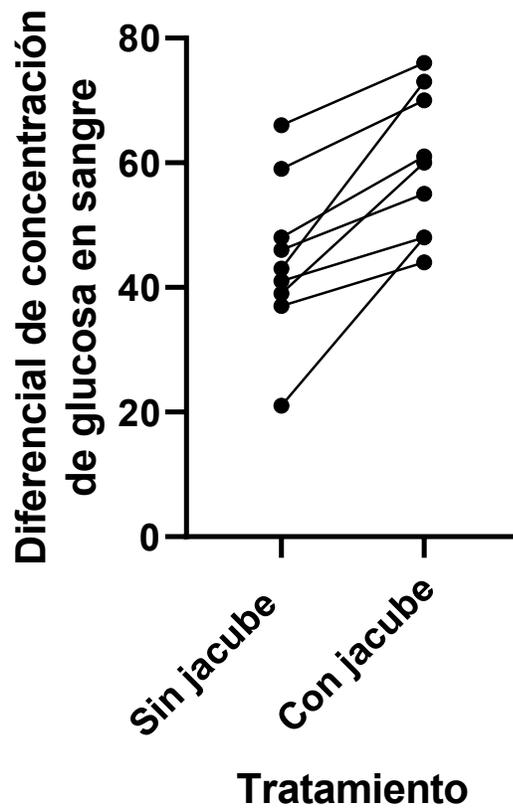
Para evaluar el efecto hipoglucémico del jacube deshidratado basado en los valores de los diferenciales de concentraciones de glucosa de los sujetos, se aplicó una prueba de Wilcoxon, en donde se encontró un valor de $p < 0.05$ (0.0352) lo que indica que la correlación observada es estadísticamente significativa. Por lo tanto, existe un 95% de confianza que hay una relación real entre el consumo del yogur con jacube y la reducción de los niveles de glucosa en las muestras sanguíneas, es decir el jacube ejerce un efecto hipoglucémico, aunque existe una correlación moderada y positiva entre las variables ($r = 0.4985$) esta relación no es perfectamente lineal, esto indica que, aunque el jacube tiene un efecto hipoglucémico notable no es completamente determinante en todos los casos. Es decir, algunos individuos pueden mostrar una respuesta más marcada al jacube, mientras que otros podrían experimentar una reducción más leve en los niveles de glucosa.

En un estudio realizado por Berraaouan et al (2014) en donde evaluaron las propiedades anti-hiperglucémicas del aceite de semilla de nopal (CPSO) en ratas, la administración oral de CPSO de 0.8 ml kg^{-1} a ratas sanas inhibió significativamente

($p < 0.001$) la hiperglucemia tras la carga de glucosa, $1.35 \pm 0.14 \text{ g L}^{-1}$ a los 90 min en las ratas tratadas. En sus resultados muestran que la administración oral de CPSO puede mejorar la tolerancia a la glucosa disminuyendo la hiperglucemia postprandial en ratas sanas con carga de glucosa y ratas diabéticas con carga de glucosa inducidas por STZ, pero no tiene efecto sobre el nivel basal de glucosa de ratas sanas en ayunas. Además, mencionan que la CPSO disminuyó parcialmente la absorción intestinal de D-glucosa. En otra investigación realizada por Bouhrim et al (2021) en donde probaron el efecto antidiabético de *Opuntia dillenii* seed oil (ODSO) en ratas, ellos reportan que la administración oral de ODSO a 0.8 mL/kg 30 min antes de la sobrecarga de almidón en ratas diabéticas redujo significativamente la hiperglucemia postprandial a 30 min ($p < 0,01$; $162 \pm 12 \text{ mg/dL}$) y 60 min ($p < 0,001$; $169 \pm 10 \text{ mg/dL}$).

En humanos esto puede ser atribuido a factores como al metabolismo individual, además que en esta categoría se evaluaron a individuos que carecen de antecedentes familiares con DMT2 o alteraciones en concentraciones de glucosa basal, lo cual puede influir en la moderada respuesta hipoglucémica observada en este grupo de individuos.

En la figura 39 se observa la gráfica del comportamiento de los valores diferenciales de concentraciones de glucosa en la categoría de individuos con glucosa normal ($<100 \text{ mg/dL}$), en donde coincide que en 9 de los 10 valores diferenciales de concentración de glucosa de cada individuo durante la segunda fase de la ingesta de yogur con jacube deshidratado existe un mayor diferencial o disminución de los niveles de glucosa sanguínea comparados con los valores del grupo tratado con yogur sin jacube deshidratado correspondiente a la fase 1, lo que indica que durante la fase 2 donde se ingirió el yogur con jacube deshidratado la concentración de glucosa presenta valores diferenciales más altos en comparación con la fase 1 donde se ingirió el yogur sin jacube deshidratado, estos valores altos pueden ser consecuencia del efecto hipoglucémico del jacube deshidratado.



8.7.2 Comportamiento de la categoría de sujetos con concentración de glucosa basal alterada (100 - 125 mg/dL)

En la tabla 19, se muestran los valores de concentración de glucosa obtenidos de cada individuo. Durante la primera fase que constó de tres tomas de muestra sanguínea; 1) FPG, 2) posterior a la ingestión de solución de dextrosa al 5% y posterior a la 3) ingestión del yogur sin jacube deshidratado, estos valores muestran el comportamiento de las concentraciones de glucosa basal, las cuales se consideraron como controles de cada individuo.

Tabla 19. Valores de concentración de glucosa de cada sujeto obtenidos en las tres tomas correspondiente a la fase 1.

Clave del Individuo	Concentración de glucosa plasmática en ayunas (FPG) (mg/dL)	Concentración de glucosa posterior a la ingesta de solución dextrosa al 5%	Concentración de glucosa posterior a la ingesta de yogur sin jacube deshidratado
IND-11	118	191	97
IND-12	109	182	131
IND-13	114	142	105
IND-14	110	182	93
IND-15	103	160	92
IND-16	107	149	98
IND-17	119	156	110

Clave IND: Individuo

En la tabla 20, se muestran los valores de concentraciones de glucosa obtenidos en la segunda fase, que consistió en tres tomas de muestra sanguínea; 1) FPG, 2) posterior a la ingestión de solución de dextrosa al 5% y posterior a la 3) ingestión del yogur con jacube deshidratado.

Tabla 20. Valores de concentración de glucosa de cada sujeto obtenidos en las tres tomas correspondiente a la fase 2.

Clave del Individuo	Concentración de glucosa plasmática en ayunas (FPG) (mg/dL)	Concentración de glucosa posterior a la ingesta de solución dextrosa al 5%	Concentración de glucosa posterior a la ingesta de yogur con jacube deshidratado
IND-11	119	197	89
IND-12	115	190	94
IND-13	104	135	82
IND-14	111	193	91
IND-15	118	184	104
IND-16	109	179	94
IND-17	100	159	87

Clave IND: Individuo

Con los datos mencionados en la tabla 19 y 20, se muestran los valores obtenidos de los diferenciales a partir de las concentraciones de glucosa a partir de FPG aplicando la ecuación 13 que se describe en la metodología, en la primera columna se observan los valores obtenidos en la primera fase (ingestión del yogur sin jacube deshidratado) y en la otra columna la segunda fase (ingestión del yogur con jacube deshidratado) (tabla 21).

Evaluar el diferencial de glucosa de las dos fases permitió visualizar la disminución de los valores de glucosa respecto de cada valor de FPG en cada individuo, obteniendo así un valor que puede ser comparado en todos los sujetos estudiados específicamente en esta categoría de individuos con concentración de glucosa basal alterada (100 - 125 mg/dL).

Tabla 21. Diferenciales de concentraciones de glucosa en muestras sanguíneas de cada sujeto en las dos fases.

Diferencial de concentración de glucosa al ingerir el yogur sin jacube deshidratado (Fase 1)	Diferencial de concentración de glucosa al ingerir el yogur con jacube (Fase 2)
94	108
51	96
37	53
89	102
68	80
51	85
46	72

Una vez obtenidos los diferenciales de glucosa se procedió a evaluar el efecto hipoglucémico del jacube deshidratado para esta categoría.

Se realizó una prueba de Wilcoxon la cual arrojó un valor de $p < 0.05$ (0.0156) este valor nos indica que esta correlación es estadísticamente significativa. Hay una probabilidad menor al 1.56% de que la correlación observada sea producto del azar, es decir el jacube ejerce un efecto hipoglucémico más marcado en esta categoría debido a que estos individuos presentan concentraciones de glucosa alterada. Este

efecto se ve reflejado en una correlación que es monótona, es decir constante, fuerte y positiva ($r = 0.8829$) entre los individuos que muestran una disminución consistente y significativa en sus niveles de glucosa en comparación con los individuos que consumen el yogur sin jacube. Aunque no es una relación perfecta, esta relación es fuerte y consistente, suficiente para indicar que el jacube podría ser muy efectivo para ayudar a controlar los niveles de glucosa en sangre en personas con inicios de resistencia a la insulina.

Berraaouan et al., 2014) evaluaron las propiedades hipoglucémicas del aceite de semilla de nopal (CPSO) en ratas diabéticas STZ con administración oral de CPSO mejoró la tolerancia a la glucosa en el grupo tratado con STZ-diabético ($3.56 \pm 0.20 \text{ g L}^{-1}$) a los 90 min, en comparación con el grupo de control diabético ($4.24 \pm 0.14 \text{ g L}^{-1}$). En otro estudio, se reportan resultados similares en donde la administración oral de aceite de semilla de nopal de 1 mL/kg 30 min antes de la sobrecarga de *D*-glucosa en ratas diabéticas redujo significativamente la hiperglucemia postprandial a los 90 min ($p < 0.01$; $307 \pm 8 \text{ mg/dL}$), 150 min ($p < 0.05$; $314 \pm 1 \text{ mg/dL}$), y 210 min ($p < 0.001$; $311 \pm 9 \text{ mg/dL}$) en comparación con el grupo de ratas pretratadas con agua destilada en el que se observó una hiperglucemia notable inducida por sobrecarga de *D*-glucosa: a los 90 min ($388 \pm 13 \text{ mg/dL}$), 150 min ($385 \pm 8 \text{ mg/dL}$) y 210 min ($398 \pm 7 \text{ mg/dL}$) (Bouhrim et al., 2021).

En la figura 40, se puede observar la gráfica que muestra el comportamiento de los valores obtenidos de cada diferencial de concentración de glucosa en mg/dL correspondientes a la fase 1 y 2 en la categoría de individuos entre 100 - 125 mg/dL de glucosa sanguínea alterada. Los valores de los diferenciales de glucosa de los siete individuos en cuestión tienden a ser mayores en la segunda fase correspondiente a la ingesta de yogur con jacube deshidratado, incluso comparado con los valores obtenidos en la categoría concentraciones de glucosa en la categoría de individuos con $<100 \text{ mg/dL}$ de glucosa sanguínea. Esto puede ser indicativo de que el efecto hipoglucémico es más evidente y efectivo en individuos que presentan alteraciones anormales en su concentración de glucosa sanguínea.

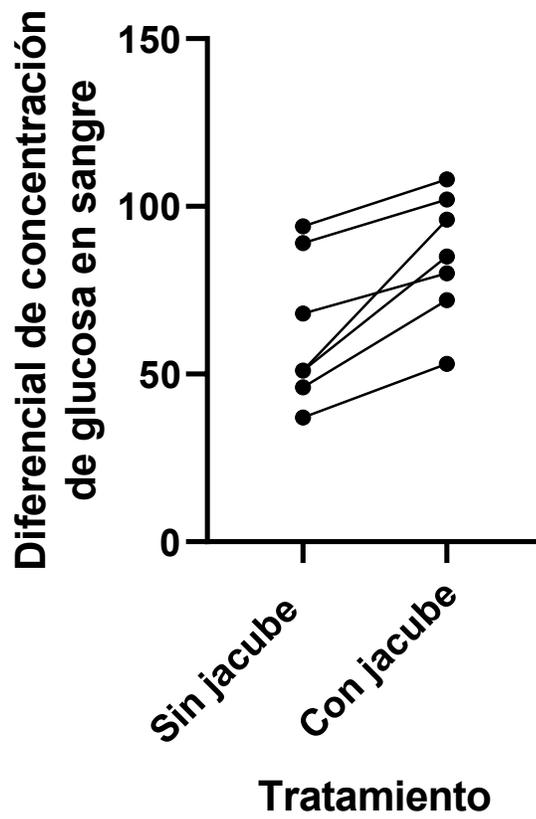


Figura 40. Gráfica de comparación de los valores diferenciales de concentraciones de glucosa en la categoría de individuos entre 100 - 125 mg/dL de glucosa sanguínea alterada.

9. Conclusiones

El presente estudio sobre la caracterización y aprovechamiento de los compuestos activos del jacube y su efecto hipoglucémico permitió identificar su perfil nutrimental, fitoquímico y funcional. Se destacó su alto contenido de fibra, junto con un bajo contenido de lípidos y azúcares, lo que lo posiciona como un alimento de interés nutricional. En cuanto a su composición fitoquímica, se identificó la presencia de compuestos fitoquímicos de la familia de los flavonoides, polifenoles, cumarinas y otros compuestos termolábiles, los cuales influyeron en su actividad antioxidante. Se observó que el jacube fresco presentó mayor actividad antioxidante en comparación con el jacube deshidratado, lo que sugiere una relación directa con la cantidad de polifenoles y que dicho efecto prevalece en primavera y verano. Respecto a las isothermas de sorción, en el proceso de adsorción a 45°C, el modelo BET mostró un ajuste significativo ($R^2 = 0.9836$), mientras que en el proceso de desorción el ajuste fue aún mayor ($R^2 = 0.9957$). Además, el análisis de histéresis reveló que el jacube deshidratado puede mantenerse almacenado en un rango de temperatura entre 35° y 45° por debajo de 0.6 de actividad de agua. Finalmente, en la evaluación del efecto hipoglucémico, se encontró una correlación moderada y positiva en sujetos con concentraciones de glucosa normal que consumieron jacube deshidratado con yogur, mientras que, en sujetos con concentraciones de glucosa alterada, la correlación fue más evidente, lo que sugiere un efecto potencialmente beneficioso en la regulación de la glucosa más efectivo sobre sujetos con esta condición. Estos hallazgos respaldan el uso del jacube como un alimento funcional con propiedades antioxidantes e hipoglucémicas, resaltando la importancia de su caracterización y optimización en aplicaciones futuras dentro de la alimentación y la salud.

10. Referencias bibliográficas

- ADA American Diabetes Association. (2024). *ABOUT DIABETES The Path to Understanding Diabetes Starts Here*.
- Al-Ishaq, R. K., Abotaleb, M., Kubatka, P., Kajo, K., & Büsselberg, D. (2019). Flavonoids and Their Anti-Diabetic Effects: Cellular Mechanisms and Effects to Improve Blood Sugar Levels. *Biomolecules*, 9(9). <https://doi.org/10.3390/BIOM9090430>
- Al-Muhtaseb, A. H., McMinn, W. A. M., & Magee, T. R. A. (2002). Moisture Sorption Isotherm Characteristics of Food Products: A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 80(2), 118–128. <https://doi.org/10.1205/09603080252938753>
- Alvarado J. de D. (2013). *PROPIEDADES TERMODINÁMICAS RELACIONADAS CON EL AGUA CONSTITUTIVA DE ALIMENTOS* (Primera edición). GRAFITEXT.
- Angulo-Bejarano, P. I., Gómez-García, M. del R., Valverde, M. E., & Paredes-López, O. (2019). Nopal (*Opuntia* spp.) and its Effects on Metabolic Syndrome: New Insights for the Use of a Millenary Plant. *Current Pharmaceutical Design*, 25(32), 3457–3477. <https://doi.org/10.2174/1381612825666191010171819>
- AOAC. (2005). Association of Official Analytical Chemistry. *Gaithersburg, MD (Estados Unidos)*, 18.
- Aragona, M., Lauriano, E. R., Pergolizzi, S., & Faggio, C. (2018). *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller as a source of bioactivity compounds for health and nutrition. *Natural Product Research*, 32(17), 2037–2049. <https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1365073>
- Baba, S. P., & Bhatnagar, A. (2018). Role of thiols in oxidative stress. *Current Opinion in Toxicology*, 7, 133–139. <https://doi.org/10.1016/J.COTOX.2018.03.005>
- Badui Dergal, S. (2006). *Química de los alimentos*. www.pearsoneducacion.net
- Badui Dergal S. (2013). *Química de los alimentos* (5ta edición). Pearson Educación. www.freelibros.org
- Barnett, A. H. (2012). The role of GLP-1 mimetics and basal insulin analogues in type 2 diabetes mellitus: Guidance from studies of liraglutide. *Diabetes, Obesity and Metabolism*, 14(4), 304–314. <https://doi.org/10.1111/J.1463-1326.2011.01523.X>;WEBSITE:WEBSITE:DOM-PUBS;WGROU:STRING:PUBLICATION

- Basto-Abreu, A., López-Olmedo, N., Rojas-Martínez, R., Aguilar-Salinas, C. A., Moreno-Banda, G. L., Carnalla, M., Rivera, J. A., Romero-Martínez, M., Barquera, S., & Barrientos-Gutiérrez, T. (2023). Prevalence of prediabetes and diabetes in Mexico: Ensanut 2022. *Salud Pública de México*, 65. <https://doi.org/10.21149/14832>
- Belitz H.D., Grosch W., & Schieberle P. (2012). *Química de los alimentos*. Editorial Acribia.
- Berraaouan, A., Abderrahim, Z., Hassane, M., Abdelkhaleq, L., Mohammed, A., & Mohamed, B. (2015). Evaluation of protective effect of cactus pear seed oil (*Opuntia ficus-indica* L. MILL.) against alloxan-induced diabetes in mice. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 8(7), 532–537. <https://doi.org/10.1016/j.apjtm.2015.06.013>
- Berraaouan, A., Ziyat, A., Mekhfi, H., Legssyer, A., Sindic, M., Aziz, M., & Bnouham, M. (2014). Evaluation of antidiabetic properties of cactus pear seed oil in rats. *Pharmaceutical Biology*, 52(10), 1286–1290. <https://doi.org/10.3109/13880209.2014.890230>
- Bouhrim, M., Ouassou, H., Boutahiri, S., Daoudi, N. E., Mechchate, H., Gressier, B., Eto, B., Imtara, H., Alotaibi, A. A., Al-Zharani, M., Ziyat, A., Mekhfi, H., Legssyer, A., Aziz, M., & Bnouham, M. (2021). *Opuntia dillenii* (Ker Gawl.) Haw., Seeds Oil Antidiabetic Potential Using In Vivo, In Vitro, In Situ, and Ex Vivo Approaches to Reveal Its Underlying Mechanism of Action. *Molecules* 2021, Vol. 26, Page 1677, 26(6), 1677. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES26061677>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Technology*, 28, 25–30.
- Bravo H.H., & Sanchez Mejorada H. (1978). *Las Cactáceas de México*.
- Bustamante, Vasquez Alvarez Sarahi, Gonzalez Mejia Martha Elba, Porchia Leonardo M., Herrera Fomperosa Oscar, Torres Rasgado Enrique, Ruiza Vivianco Guadalupe, & Perez Fuentes Ricardo. (2021). Asociación entre síndrome metabólico, nivel socioeconómico y calidad de vida en mexicanos. *Revista Medica Instituto Mexicano Del Seguro Social*, 490–499. <http://revistamedica.imss.gob.mx/>
- Caballero-Cerón, C., Guerrero-Beltrán, J. A., Mújica-Paz, H., Torres, J. A., & Welti-Chanes, J. (2015). Moisture sorption isotherms of foods: experimental methodology, mathematical analysis, and practical applications. *Food Engineering Series*, 187–214. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2578-0_15
- CONEVAL. (2020). *Evaluación de las líneas de pobreza por ingresos. Líneas de Pobreza por Ingresos*.

- Cornejo-Campos, J., Adriana Gómez-Aguirre, Y., Rodolfo Velázquez-Martínez, J., Javier Ramos-Herrera, O., Estefanía Chávez-Murillo, C., Cruz-Sosa, F., Areche, C., & Cabañas-García, E. (2022). *Citation: molecules Impact of the Cooking Process on Metabolite Profiling of Acanthocereus tetragonus, a Plant Traditionally Consumed in Mexico*. <https://doi.org/10.3390/molecules27123707>
- Cortez-García, R. M., Ortiz-Moreno, A., Zepeda-Vallejo, L. G., & Necochea-Mondragón, H. (2015). Effects of Cooking Methods on Phenolic Compounds in Xoconostle (*Opuntia joconostle*). *Plant Foods for Human Nutrition*, 70(1), 85–90. <https://doi.org/10.1007/S11130-014-0465-2/METRICS>
- Dragsbaek, K., Neergaard, J. S., Laursen, J. M., Hansen, H. B., Christiansen, C., Beck-Nielsen, H., Karsdal, M. A., Brix, S., & Henriksen, K. (2016). *Metabolic syndrome and subsequent risk of type 2 diabetes and cardiovascular disease in elderly women Challenging the current definition*. <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000004806>
- El-Sayed, S. M., & Moustafa, R. A. (2016). Effect of Combined Administration of Ginger and Cinnamon on High Fat Diet induced Hyperlipidemia in Rats. *Journal of Pharmaceutical, Chemical and Biological Sciences*, 4(3), 561–572.
- ENIGH, & INEGI. (2022). *Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares*.
- ENSANUT, Secretaria de Salud, & Instituto de Salud Publica. (2022). *Encuesta Nacional de Salud y Nutricion*.
- FAO. (2012). *Escala Latinoamericana y Caribeña de Seguridad Alimentaria (ELCSA)*.
- Fennema O, Parkin Kirk L., & Damodaran Srinivasan. (2013). *FENNEMA'S FOOD CHEMISTRY* (5ta edición). Taylor & Francis Group.
- Gabriel C, A. (2010). *Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro División de Ciencia Animal Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos*.
- García-Silvera, E. E. (2018). Nutracéuticos una opción para la salud en el siglo XXI Nutraceuticals a health option in the 21st century. *Aceptado*, 2(1), 1–10. <http://orcid.org/0000-0001-8116>
- Goldenberg, R. M., & Steen, O. (2019). Semaglutide: Review and Place in Therapy for Adults With Type 2 Diabetes. *Canadian Journal of Diabetes*, 43(2), 136–145. <https://doi.org/10.1016/J.JCJD.2018.05.008>
- González-Rodríguez, F., Chávez-Polanco, D. A., González-De La Torre, S., González-Govea, M., Suárez-Medina, E. A., Soltero-Sánchez, J. R., Castañeda-Aguirre, E., Trejo-Perea, N. A., & Luna-Díaz, J. J. (2020). *Determinación del valor bromatológico y contenido de mucílago en el nopal (Opuntia spp.) de cerro y de invernadero, del estado de Michoacán (Vol. 5)*.

- Güngör, N. K. (2014). Ad dress for Cor res pon den ce. *J Clin Res Pediatr Endocrinol*, 6(3), 129–143. <https://doi.org/10.4274/jcrpe.1471>
- Gutiérrez-Solis, A. L., Datta Banik, S., & Méndez-González, R. M. (2018). Prevalence of Metabolic Syndrome in Mexico: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Metabolic Syndrome and Related Disorders*, 16(8), 395–405. <https://doi.org/10.1089/MET.2017.0157>
- Han, J. C., Lawlor, D. A., & Kimm, S. Y. S. (2010). *Childhood Obesity-2010: Progress and Challenges*. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(10\)60171-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(10)60171-7)
- Harborne, J. B. (1973). *Phytochemical Methods. A guide to modern techniques of plant analysis. Editorial Chapman and Hill.*
- Hay, F. R., Rezaei, S., & Buitink, J. (2022a). Seed Moisture Isotherms, Sorption Models, and Longevity. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2022.891913>
- Hay, F. R., Rezaei, S., & Buitink, J. (2022b). Seed Moisture Isotherms, Sorption Models, and Longevity. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2022.891913>
- Hernández-Cordero, S., Cuevas-Nasu, L., Morales-Ruán, M. C., Méndez-Gómez Humarán, I., Ávila-Arcos, M. A., & Rivera-Dommarco, J. A. (2017). Overweight and obesity in Mexican children and adolescents during the last 25 years. *Nutrition & Diabetes*, 7, 247. <https://doi.org/10.1038/nutd.2016.52>
- Herrera Denise, M., Melero Meraz, V., Zegbe Domínguez Artemio, J., & Bravo, C. K. R. (2022). *FUNCIONALIDAD DE LAS CÁSCARAS DE LA TUNA “ROJA LISA”: PARTE I (in vitro)*.
- Institute for Health Metrics and Evaluation, & Global Burden of Disease Collaborative Network. (2020). *Global Burden of Disease Study Results*.
- Jia, Z. , & Jianming, W. (1999). Determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. . *Food Chemistry*, 64, 555–559.
- Jin Park, K., Vohnikova, Z., & Pedro Reis Brod, F. (2002). Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (*Mentha crispa* L.). *Journal of Food Engineering*, 51(3), 193–199. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00055-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00055-3)
- Joshi, A., Bhoje, M., & Sattarkar, A. (2013). Phytochemical investigation of the roots of *Grewia microcos*Linn. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 5, 80–87.
- Juarez Cruz, A., Livera Muñoz, M., Sosa Montes, E., Goytia Jiménez, Ma. A., González Hernández, V. A., & Bárcena Gama, R. (2012). COMPOSICIÓN

- QUÍMICA DE TALLOS INMADUROS DE *Acanthocereus* spp. E *Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35, 171–175.
- Kim, E. K., Oh, J., Kim, L.-K., & Cho, Y. M. (2016). Improving Effect of the Acute Administration of Dietary Fiber-Enriched Cereals on Blood Glucose Levels and Gut Hormone Secretion. *J Korean Med Sci*, 31, 222–230. <https://doi.org/10.3346/jkms.2016.31.2.222>
- Kirk R. S., Sawyer R, & Egan, H. (1996). *Composición y análisis de alimentos de Pearson* (Segunda). Compañía editorial continental, SA de CV,.
- Labuza, T. P. (1985). *Moisture Sorption: Practical Aspects of Isotherm Measurement* (BELL, L. N. (ed.)). American Association of Cereal Chemists.
- Labuza, T. P., & Altunakar, B. (2007). Water prediction and moisture sorption isotherms. In Water Activity in Foods. In *Water prediction and moisture sorption isotherms. In Water Activity in Foods* (pp. 109–154). IFT Press, Blackwell Pu.
- Lagunes Vela, K. G., Carolina Peña Montes Carolina, Oliart Ros Rosa María, Müller Michel, & Veracruz, H. (2019). *Caracterización del mucílago de cruceta y efecto de su consumo en un modelo murino con síndrome metabólico*.
- Lahsasni, S. , Kouhila, M. , Mahrouz, M., & Kechaou, N. (2002). Experimental study and modelling of adsorption and desorption isotherms of prickly pear peel (*Opuntia ficus indica*). . *Journal of Food Engineering*, 55, 201–207.
- Luisetti, J., Balzarini, M. F., Reinheimer, M. A., Stoppani, F., & Ciappini, M. C. (2023). Influencia del proceso de secado convectivo en el contenido de antocianinas, compuestos fenólicos totales, capacidad antimicrobiana y antioxidante en frutillas (*Fragaria annanasa* var. San Andrea). *Revista Tecnología y Ciencia*, 48, 56–72. <https://doi.org/10.33414/RTYC.48.56-72.2023>
- Lutovska, M., Mitrevski, V., Pavkov, I., Babic, M., Mijakovski, V., Geramitcioski, T., & Stamenkovic, Z. (2017). Different methods of equilibrium moisture content determination. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 21(2), 91–96. <https://doi.org/10.5937/jpea17020911>
- Martin, M. Á., Goya, L., & Ramos, S. (2016). Antidiabetic actions of cocoa flavanols. *Molecular Nutrition & Food Research*, 60(8), 1756–1769. <https://doi.org/10.1002/MNFR.201500961>
- Mazimba, O. (2015). *Cinnamomum verum*: Ethylacetate and methanol extracts antioxidant and antimicrobial activity. *Journal of Medicinal Plants Studies*. , 3, 28–32.
- McMinn, W. A., & Magee, T. R. (2003). Thermodynamic properties of moisture sorption of potato. *Journal of Food Engineering*, 60, 157–165.

- McMinn, W., Al-muhtaseb, A., & Magee, T. (2004). *MOISTURE SORPTION CHARACTERISTICS OF STARCH GELS. PART 1: MATHEMATICAL DESCRIPTION OF EXPERIMENTAL DATA*. <https://www.researchgate.net/publication/223391273>
- Mellado-Orellana, R., Salinas-Lezama, E., Sánchez-Herrera, D., Guajardo-Lozano, J., Díaz-Greene, E. J., Rodríguez-Weber, F. L., Mellado-Orellana, R., Salinas-Lezama, E., Sánchez-Herrera, D., Guajardo-Lozano, J., Díaz-Greene, E. J., & Rodríguez-Weber, F. L. (2019). Tratamiento farmacológico de la diabetes mellitus tipo 2 dirigido a pacientes con sobrepeso y obesidad. *Medicina Interna de México*, 35(4), 525–536. <https://doi.org/10.24245/MIM.V35I4.2486>
- Mendoza-Caamal, E. C., Barajas-Olmos, F., García-Ortiz, H., Cicerón-Arellano, I., Martínez-Hernández, A., Córdova, E. J., Esparza-Aguilar, M., Contreras-Cubas, C., Centeno-Cruz, F., Cid-Soto, M., Morales-Marín, M. E., Reséndiz-Rodríguez, A., Luis Jiménez-Ruiz, J., Salas-Martínez, M. G., Saldaña-Alvarez, Y., Mirzaeicheshmeh, E., Rojas-Martínez, R., & Orozco, L. (2020). Metabolic syndrome in indigenous communities in Mexico: a descriptive and cross-sectional study. *BMC Public Health*. <https://doi.org/10.1186/s12889-020-8378-5>
- Mezquita Raya, P., & Reyes García, R. (2014). ¿Es eficiente el tratamiento con liraglutida? *Endocrinología y Nutrición*, 61(4), 202–208. <https://doi.org/10.1016/J.ENDONU.2013.09.001>
- Mishriky, B. M., Cummings, D. M., Powell, J. R., Sewell, K. A., & Tanenberg, R. J. (2019). Comparing once-weekly semaglutide to incretin-based therapies in patients with type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis. *Diabetes & Metabolism*, 45(2), 102–109. <https://doi.org/10.1016/J.DIABET.2018.09.002>
- Mokdad, A. H., Ford, E. S., Bowman, B. A., Dietz, W. H., Vinicor, F., Bales, V. S., & Marks, J. S. (2003). Prevalence of obesity, diabetes, and obesity-related health risk factors, 2001. *JAMA*, 289(1), 76–79. <https://doi.org/10.1001/JAMA.289.1.76>
- Núñez-Musa, R., Núñez-Sellés, A. J., Rossi, W. M., Marmolejos, R. G., Martínez-Sánchez, G., & Selman-Almonte, A. (2020). septiembre-diciembre): Casos clínicos • 71-93. In | *Ciencia y Salud* (Vol. 4, Issue 3).
- Okos, M. R. , Campanella, O., Narsimhan, G. , Singh, R. K. , & Weetnauer, A. (2019). “Food dehydration,.” In *Handbook of Food Engineering*, (pp. 799–949).
- Oniszczyk, A., Wójtowicz, A., Oniszczyk, T., Matwijczuk, A., Dib, A., & Markut-Miotła, E. (2020). Opuntia Fruits as Food Enriching Ingredient, the First Step towards New Functional Food Products. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 25(4). <https://doi.org/10.3390/MOLECULES25040916>
- OPS. (2024). *Overweight and Obesity*.

- OPS, & OMS. (2024, March 7). *Más que una Cuestión de Peso*.
- Organización Panamericana de la Salud. (2023). *Diabetes*.
- Padrón, Portilla Cárdenas María Dora, Deschamps Lago Rosa Amelia, Hernández Roberto Emilio, Lagunes Torres Teresa de Jesus, Salazar Calderón Mara Elisa, & Bolívar Duarte Laura Margarita. (2020, June). *Detección del Síndrome Metabólico en la Población de Jamapa, Veracruz, México*. <https://www.imbiomed.com.mx/articulo.php?id=115607>
- Park, H. S., Park, J. Y., & Yu, R. (2005). Relationship of obesity and visceral adiposity with serum concentrations of CRP, TNF-alpha and IL-6. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 69(1), 29–35. <https://doi.org/10.1016/J.DIABRES.2004.11.007>
- Pascoe-Ortiz, S., Rodríguez-Macías, R., Robledo-Ortiz, J. R., Salcedo-Pérez, E., Zamora-Natera, J. F., Rabelero-Velasco, M., Vargas-Radillo, J. J., Pascoe-Ortiz, S., Rodríguez-Macías, R., Robledo-Ortiz, J. R., Salcedo-Pérez, E., Zamora-Natera, J. F., Rabelero-Velasco, M., & Vargas-Radillo, J. J. (2019). Identificación de propiedades presentes en jugo de Opuntia megacantha Salm-Dyck importantes para la producción de biopolímeros. *TIP. Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 22. <https://doi.org/10.22201/FESZ.23958723E.2019.0.197>
- Poblete-Aro, C., Russell-Guzmán, J., Parra, P., Soto-Muñoz, M., Villegas-González, B., Cofré-Bola-Dos, C., Herrera-Valenzuela, T., Poblete-Aro, C., Russell-Guzmán, J., Parra, P., Soto-Muñoz, M., Villegas-González, B., Cofré-Bola-Dos, C., & Herrera-Valenzuela, T. (2018). Exercise and oxidative stress in type 2 diabetes mellitus. *Revista Médica de Chile*, 146(3), 362–372. <https://doi.org/10.4067/S0034-98872018000300362>
- Raaman N. (2006). *Phytochemical Techniques*. New Delhi. *Publising Agency*, 19–24.
- Rahman, M. S., & Labuza, T. P. (2000). Water activity and food preservation. In *Water activity and food preservation. Handbook of Food Preservation* (pp. 339–389). Marcel Dekker.
- Rahman M.S. (2002). *Manual de conservación de los alimentos* (Editorial Acribia). Editorial Acribia.
- Rajamand Ekberg, N., Bodholdt, U., Catarig, A. M., Catrina, S. B., Grau, K., Holmberg, C. N., Klanger, B., & Knudsen, S. T. (2021). Real-world use of once-weekly semaglutide in patients with type 2 diabetes: Results from the SURE Denmark/Sweden multicentre, prospective, observational study. *Primary Care Diabetes*, 15(5), 871–878. <https://doi.org/10.1016/J.PCD.2021.06.008>
- Ramos A, F. (2008). *Viejos sabores de Tamaulipas* (Ilustrada, Vol. 40). CONACULTA.

- Reyes Munguía, A. , Azuara Nieto, E., Beristain, C. I., Cruz Sosa, F., & Vernon Carter, E. J. (2009). Propiedades antioxidantes del maguey morados (Rhoeo discolor). *Journal of Food*, 209–216.
- Rives-Castillo, S. C. H., Correa-Pacheco, Z. N., Bautista-Baños, S., Ventura-Aguilar, R. I., Schettino-Bermudez, B. S., Ortega-Gudiño, P., & Barajas-Cervantes, A. (2021). ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL Y TÉRMICO EN HARINAS DE PRODUCTOS RESIDUALES DE NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) PARA OBTENCIÓN DE COMPUESTOS POLIMÉRICOS BIOBASADOS. *Agrociencia*, 55(5), 403–416. <https://doi.org/10.47163/AGROCIENCIA.V55I5.2516>
- Rodrigo, R., Brito, R., Montero, J. G., & Benedetti, V. (2017). *Antioxidants in human disease: Potential therapeutic opportunities PhD thesis: Lifestyle, chronic inflammation and vascular calcification in kidney transplant recipients: Perspectives on long-term outcomes View project Consensus molecular subtypes of colorectal cancer View project*. <https://www.researchgate.net/publication/317299965>
- Rojas-Martínez, R., Aguilar-Salinas, C. A., Romero-Martínez, M., Castro-Porras, L., Gómez-Velasco, D., & Mehta, R. (2021). Trends in the prevalence of metabolic syndrome and its components in Mexican adults, 2006-2018. *Salud Publica de Mexico*, 63(6), 713–724. <https://doi.org/10.21149/12835>
- Rossi, W. M., Garrido, G., & Sellés, A. J. N. (2016). *Biomarcadores del estrés oxidativo en la terapia antioxidante [Biomarkers of oxidative stress in antioxidant therapy]*. 4(2), 1130601. <http://jppres.com/jppres>
- Ruilope, L. M., Nunes Filho, A. C. B., Nadruz, W., Rodríguez Rosales, F. F., & Verdejo-Paris, J. (2018). Obesity and hypertension in Latin America: Current perspectives. *Hipertension y Riesgo Vascular*, 35(2), 70–76. <https://doi.org/10.1016/J.HIPERT.2017.12.004>
- Russell-Jones, D., Vaag, A., Schmitz, O., Sethi, B. K., Lalic, N., Antic, S., Zdravkovic, M., Ravn, G. M., & Simó, R. (2009). Liraglutide vs insulin glargine and placebo in combination with metformin and sulfonylurea therapy in type 2 diabetes mellitus (LEAD-5 met+SU): A randomised controlled trial. *Diabetologia*, 52(10), 2046–2055. <https://doi.org/10.1007/S00125-009-1472-Y/TABLES/2>
- SADER. (2021). *PRODUCCIÓN DE TUNA EN EL ESTADO DE MÉXICO*.
- SADER. (2022, May 27). *Un alimento milenario y nutritivo: el nopal*.
- Sawant, R. C., Somkuwar, S. R., Luo, S. Y., Kamble, R. B., Panhekar, D. Y., Bhorge, Y. R., Chaudhary, R. R., & Kader, S. A. (2023). Novel extraction and characterization methods for phytochemicals. *Recent Frontiers of*

- Phytochemicals: Applications in Food, Pharmacy, Cosmetics, and Biotechnology*, 63–84. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-19143-5.00035-9>
- Schiraldi, A., Fessas, D., & Signorelli, M. (2012). Water activity in biological systems - A review. In *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences* (Vol. 62, Issue 1, pp. 5–13). <https://doi.org/10.2478/v10222-011-0033-5>
- SEMARNAT. (2018, September 21). *México, el país de las cactáceas*.
- Severini, C., Baiano, A., De Pilli, T., Carbone, B. F., & Derossi, A. (2005). Combined treatments of blanching and dehydration: study on potato cubes. *Journal of Food Engineering*, 68(3), 289–296. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2004.05.045>
- Shamah-Levy, T., Cuevas-Nasu, L., Romero-Martínez, M., Gómez-Humaran, I. M., Ávila-Arcos, M. A., & Rivera, J. A. (2021). Nutrition Status of Children, Teenagers, and Adults From National Health and Nutrition Surveys in Mexico From 2006 to 2020. *Frontiers in Nutrition*, 8, 777246. <https://doi.org/10.3389/FNUT.2021.777246/BIBTEX>
- Sharifi-Rad, J., Cruz-Martins, N., López-Jornet, P., Lopez, E. P. F., Harun, N., Yeskaliyeva, B., Beyatli, A., Sytar, O., Shaheen, S., Sharopov, F., Taheri, Y., Docea, A. O., Calina, D., & Cho, W. C. (2021). Natural Coumarins: Exploring the Pharmacological Complexity and Underlying Molecular Mechanisms. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2021, 6492346. <https://doi.org/10.1155/2021/6492346>
- SIAP. (2022). *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*.
- Simonsson, C., Lövfors, W., Bergqvist, N., Nyman, E., Gennemark, P., Stenkula, K. G., & Cedersund, G. (2023). Available online. *Biochemical Engineering Journal*, 191, 1369–1703. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2022.108798>
- Singleton, V., Orthofer R., & Lamuela-Raventós R. (1995). Analysis of Total Phenols and Other Oxidation substrates and Antioxidants by Means of Folin-Ciocalteu Reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152–179.
- Sinicropi, M. S., Baldino, N., Ceramella, J., Iacopetta, D., Scali, E., Basile, G., Saturnino, C., & Catalano, A. (2022). *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. an ancient plant source of nutraceuticals. *Current Topics in Medicinal Chemistry*, 22. <https://doi.org/10.2174/1568026622666220803151814>
- SNIIM. (2023). *Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados*.
- Tomás Ch., G., Huamán M., J., Aguirre M., R., Bravo A., M., León Q., J., Guerrero A., M., Orihuela R., C., Avilés O., R., & Yanqui D., E. (2012). *ESTUDIO QUÍMICO Y FITOQUÍMICO DE LA Opuntia ficus-indica “tuna”, Y ELABORACIÓN DE UN ALIMENTO FUNCIONAL*.

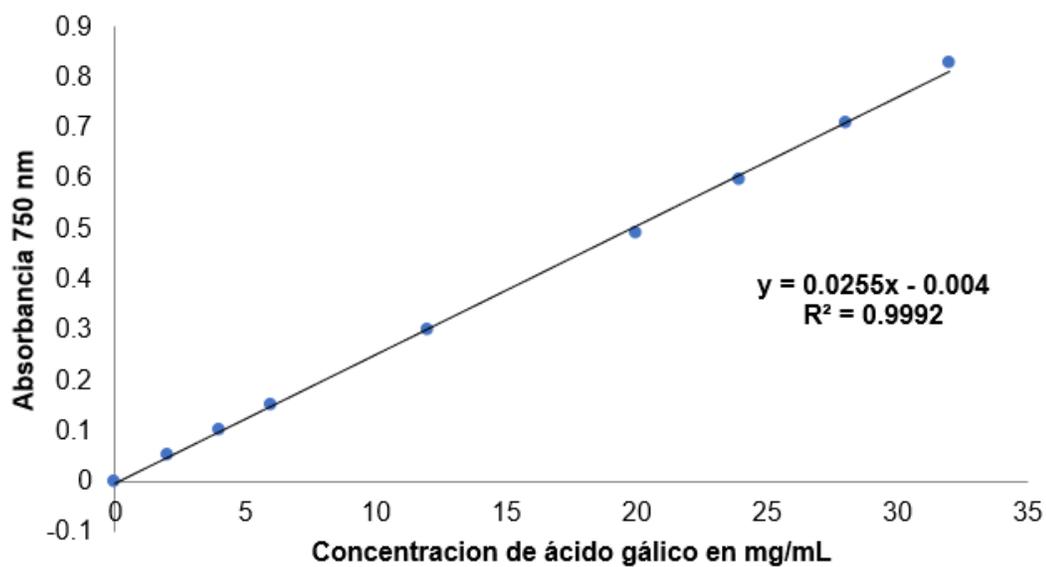
- Torres, C. J. A., Sinagawa, G. S. R. , Martínez, A. G. C. G. , López, F. A. B., Sánchez, G. E. I. , Aguirre, A. V. E., Torres, A. R. I. , Olivares, S. E., Osorio, H. E. , & Gutiérrez, D. A. (2013). Moringa oleifera: phytochemical detection, antioxidants, enzymes and antifungal properties. *FYTON.*, 192–202.
- Torres-Ponce, L. R., Morales-Corral, D., de Lourdes Ballinas-Casarrubias, M., & Virginia Nevárez-Moorillón, G. (2015). Núm.5 30 de junio-13 de agosto. In *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* (Vol. 6).
- Van Den Berg, C., & Bruin, S. (1985). Water activity and its estimation in food systems. *Academic Press, New York*, 147–177.
- Varghese, J., James, J. V., Anand, R., Narayanasamy, M., Rebekah, G., Ramakrishna, B., Nellickal, A. J., & Jacob, M. (2020). Development of insulin resistance preceded major changes in iron homeostasis in mice fed a high-fat diet. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 84. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2020.108441>
- Vilgis, T. A. (2015). Soft matter food physics—the physics of food and cooking. *Reports on Progress in Physics*, 78(12), 124602. <https://doi.org/10.1088/0034-4885/78/12/124602>
- Wang, S., Sun, Q., Zhai, L., Bai, Y., Wei, W., & Jia, L. (2019). The Prevalence of Depression and Anxiety Symptoms among Overweight/Obese and Non-Overweight/ Non-Obese Children/Adolescents in China: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 16, 340. <https://doi.org/10.3390/ijerph16030340>
- Win, K. M., Latt, T. S., Bwa, A. H., Aye, K. M., Tun, K. S., & Gandhi, H. (2025). Effects of a novel weight-loss combination product containing orlistat and resveratrol on obesity: A multicenter randomized controlled study (EC-FIT). *Endocrine and Metabolic Science*, 17, 100218. <https://doi.org/10.1016/J.ENDMTS.2025.100218>
- World Health Organization. (2023, April 5). *Diabetes*.
- World Obesity Federation, & Global Obesity Observatory. (2024). *Obesity Atlas 2024*. <https://data.worldobesity.org/publications/?cat=22>
- Xiao, H. W., Pan, Z., Deng, L. Z., El-Mashad, H. M., Yang, X. H., Mujumdar, A. S., Gao, Z. J., & Zhang, Q. (2017). Recent developments and trends in thermal blanching – A comprehensive review. *Information Processing in Agriculture*, 4(2), 101–127. <https://doi.org/10.1016/J.INPA.2017.02.001>
- Yaseen, A., Hussain, T., Hameed, A., Shahzad, M., Mazhar, M. U., & Chughtai, M. I. (2022). Flavonoid enriched supplementation abrogates prenatal stress and

enhances goat kids performance reared in a sub-tropical environment. *Research in Veterinary Science*, 146, 70–79. <https://doi.org/10.1016/J.RVSC.2022.03.005>

Zhu, D., Yan, Q., Liu, J., Wu, X., & Jiang, Z. (2019). Can functional oligosaccharides reduce the risk of diabetes mellitus? *The FASEB Journal*, 33(11), 11655. <https://doi.org/10.1096/FJ.201802802RRR>

11. Anexos

11.1 Anexo 1. Curva estándar de calibración de ácido gálico

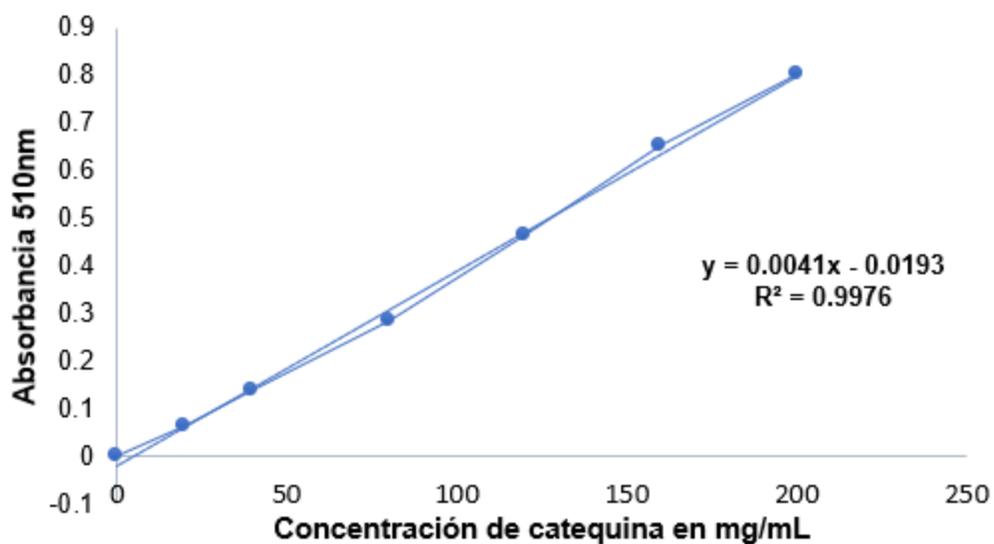


Gráfica de curva estándar de calibración de ácido gálico

Tabla de concentraciones estándar de ácido gálico utilizadas para la curva de calibración.

Est	Concentración de ácido gálico en mg/mL	Absorbancia 760 nm
1	0	0
2	2	0.05
3	4	0.1
4	6	0.15
5	12	0.3
6	20	0.49
7	24	0.6
8	28	0.71
9	32	0.828

11.2 Anexo 2. Curva estándar de calibración de catequina



Gráfica de curva estándar de calibración de catequina

Tabla de concentraciones estándar de catequina utilizadas para la curva de calibración.

Est	Concentración de catequina en mg/mL	Absorbancia 510 nm
1	0	0
2	20	0.062
3	40	0.1393
4	80	0.2846
5	120	0.4633
6	160	0.6536
7	200	0.8023

11.3 Anexo 3. Registro de pesos de muestras de jacube fresco y deshidratado

a) Registro de pesos de muestra de jacube deshidratado a 35°C.

Sal	Frasco	Fecha		Mtra in + charola	09/11/2023										04/01/2024					
		No.	Charola		Mtra inicial	Peso 0	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 4	Peso 5	Peso 6	Peso 7	Peso 8	Peso 9	Peso 10	Peso 12	Peso 13	Peso 14	Peso 15
NITRATO DE MAGNESIO Aw=0.595	A	1	0.829	1.005	1.834	1.956	1.96	1.952	1.952	1.949	1.949	1.949	1.945	1.932	1.931	1.902	1.902	1.892	1.886	1.88
		2	0.919	1.039	1.958	2.087	2.09	2.082	2.082	2.078	2.078	2.078	2.076	2.061	2.063	2.029	2.023	2.015	2.008	2.002
		1	0.766	1.04	1.806	1.925	1.932	1.929	1.926	1.928	1.927	1.924	1.917	1.901	1.901	1.87	1.865	1.858	1.853	1.849
	B	2	0.894	1.044	1.938	2.056	2.062	2.059	2.056	2.055	2.056	2.056	2.048	2.032	2.03	1.998	1.995	1.988	1.981	1.976
		1	0.889	1.011	1.9	2.018	2.029	2.024	2.02	2.019	2.021	2.018	2.009	1.995	1.992	1.964	1.962	1.953	1.946	1.94
		2	0.785	1	1.785	1.906	1.911	1.906	1.903	1.903	1.905	1.9	1.89	1.877	1.876	1.846	1.847	1.837	1.831	1.825
NITRATO DE POTASIO Aw=0.934	A	1	0.785	1.022	1.807	2.068	2.157	2.267	2.286	2.306	2.314	2.318	2.344	2.408	2.41	2.459	2.455	2.454	2.459	2.466
		2	0.9	1.03	1.93	2.177	2.267	2.382	2.401	2.422	2.433	2.439	2.465	2.517	2.518	2.607	2.622	2.653	2.684	2.694
		1	0.825	1.035	1.86	2.12	2.196	2.322	2.329	2.33	2.34	2.337	2.342	2.221	2.218	2.158	2.156	2.133	2.135	2.12
	B	2	0.819	1	1.819	2.077	2.156	2.275	2.286	2.289	2.301	2.3	2.324	2.345	2.357	2.366	2.366	2.334	2.34	2.321
		1	0.862	1.023	1.885	2.143	2.231	2.344	2.361	2.375	2.39	2.399	2.399	2.399	2.399	2.399	2.399	2.399	2.399	2.399
		2	0.755	1.03	1.785	2.025	2.113	2.234	2.253	2.273	2.291	2.302	2.312	2.336	2.339	2.386	2.386	2.386	2.386	2.386
C	1	0.892	1.01	1.902	1.983	1.987	1.981	1.981	1.978	1.977	1.977	1.974	1.966	1.965	1.955	1.954	1.954	1.952	1.95	
	2	0.804	1.005	1.809	1.891	1.897	1.892	1.891	1.888	1.887	1.886	1.883	1.876	1.875	1.867	1.864	1.864	1.86	1.86	
	1	0.966	1.022	1.988	2.073	2.075	2.069	2.069	2.068	2.067	2.067	2.064	2.056	2.055	2.04	2.037	2.035	2.029	2.027	
NITRITO DE SODIO Aw=0.680 *Aw=0.595	A	2	0.846	1.02	1.866	1.948	1.95	1.945	1.945	1.944	1.944	1.941	1.938	1.934	1.931	1.915	1.914	1.911	1.906	1.905
		1	0.871	1.01	1.881	1.957	1.957	1.953	1.953	1.953	1.951	1.949	1.947	1.938	1.938	1.931	1.931	1.93	1.926	1.928
		2	0.896	1.043	1.939	2.021	2.023	2.019	2.019	2.019	2.016	2.015	2.01	2.002	2.003	1.997	1.996	1.994	1.992	1.99
	B	1	0.804	1.011	1.815	1.956	1.968	1.967	1.964	1.965	1.962	1.961	1.957	1.938	1.979	2.256	2.263	2.276	2.289	2.297
		2	0.992	1.035	2.027	2.176	2.184	2.183	2.18	2.178	2.176	2.176	2.172	2.144	2.137	2.082	2.079	2.075	2.07	2.067
		1	0.938	1.015	1.953	2.094	2.111	2.111	2.107	2.106	2.1	2.099	2.096	2.073	2.064	2.014	2.003	2.001	1.994	1.992
C	2	0.888	1.022	1.91	2.051	2.067	2.064	2.06	2.058	2.053	2.051	2.049	2.028	2.018	1.963	1.952	1.948	1.942	1.942	
	1	0.711	1.017	1.728	1.89	1.905	1.907	1.905	1.902	1.9	1.898	1.898	1.866	1.859	1.809	1.802	1.799	1.792	1.79	
	2	0.925	1.007	1.932	2.072	2.081	2.081	2.085	2.081	2.076	2.075	2.071	2.043	2.036	1.983	1.98	1.977	1.97	1.969	
SULFATO DE AMONIO Aw=0.817	A	1	0.85	1.016	1.866	2.038	2.059	2.064	2.065	2.067	2.064	2.062	2.064	2.006	1.999	1.97	1.966	1.96	1.957	1.955
		2	0.851	1.051	1.902	2.071	2.098	2.104	2.107	2.109	2.107	2.105	2.106	2.052	2.044	2.011	2.007	1.999	1.998	1.995
		1	0.855	1.025	1.88	2.049	2.073	2.079	2.074	2.076	2.075	2.074	2.072	2.055	2.051	2.007	2.003	2.005	2.004	2.003
	B	2	0.846	1.052	1.898	2.061	2.09	2.097	2.093	2.095	2.096	2.095	2.092	2.021	2.014	1.959	1.955	1.952	1.947	1.946
		1	0.86	1.058	1.918	2.084	2.111	2.118	2.116	2.121	2.116	2.113	2.111	2.054	2.055	2.007	2.004	1.998	1.991	1.988
		2	0.979	1.051	2.03	2.194	2.225	2.229	2.227	2.229	2.225	2.223	2.219	2.154	2.157	2.119	2.116	2.113	2.105	2.101
C	1	0.885	1.028	1.913	2.185	2.305	2.467	2.476	2.512	2.542	2.564	2.648	2.591	2.566	2.383	2.412	2.41	2.376	2.388	
	2	0.842	1.15	1.992	2.125	2.233	2.411	2.421	2.445	2.48	2.507	2.587	2.624	2.597	2.411	2.426	2.42	2.412	2.43	
	1	0.897	1.015	1.912	2.195	2.312	2.511	2.543	2.568	2.606	2.625	2.703	2.64	2.621	2.629	2.621	2.592	2.574	2.542	
SULFATO DE POTASIO Aw=0.976	B	2	0.846	1.016	1.862	2.147	2.264	2.457	2.497	2.526	2.555					2.298	2.273	2.238	2.225	2.214
		1	0.803	1.01	1.813	2.088	2.205	2.407	2.447	2.488	2.522	2.555	2.669	2.513	2.491	2.349	2.385	2.345	2.356	2.339
		2	0.887	1.015	1.902	2.199	2.321	2.522	2.566	2.602	2.632	2.662	2.79	2.689	2.666					

b) Registro de pesos de muestra de jacube fresco a 35°C.

Sal	Frasco	Fecha		Mtra in + charola		20/02/2024	21/02/2024	23/02/2024	26/02/2024	27/02/2024	28/02/2024	29/02/2024	04/03/2024
		No.	Charola	Mtra inicial	Peso 0	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 4	Peso 5	Peso 6	Peso 7	Peso 8
NITRATO DE MAGNESIO Aw=0.595	A	1	0.493	1.352	1.845	0.581	0.579	0.576	0.577	0.576	0.577	0.578	0.577
		2	0.796	1.548	2.344	0.954	0.91	0.899	0.897	0.895	0.897	0.897	0.896
		1	0.872	1.485	2.357	0.977	0.973	0.971	0.97	0.97	0.969	0.971	0.97
	B	2	0.802	1.408	2.21	0.891	0.89	0.888	0.885	0.886	0.886	0.888	0.887
		1	0.748	1.657	2.405	0.876	0.873	0.895	0.877	0.873	0.873	0.873	0.872
		2	0.727	1.348	2.075	0.829	0.817	0.826	0.814	0.813	0.814	0.813	0.814
NITRATO DE POTASIO Aw=0.934	A	1	0.849	1.568	2.417	1.847	1.743	1.54	1.183	1.083	0.997	0.945	0.932
		2	0.481	1.625	2.106	1.387	1.247	0.996	0.652	0.603	0.591	0.595	0.585
		1	0.948	1.685	2.633	1.961	1.83	1.576	1.213	1.119	1.054	1.034	1.036
	B	2	0.923	1.282	2.205	1.677	1.571	1.377	1.104	1.043	1.009	0.997	0.995
		1	0.862	1.382	2.244	1.646	1.535	1.325	1.006	0.966	0.956	0.947	0.938
		2	0.749	1.444	2.193	1.704	1.608	1.449	1.188	1.107	1.036	0.953	0.845
NITRITO DE SODIO Aw=0.680 *Aw=0.595	A	1	0.358	1.619	1.977	0.482	0.484	0.48	0.479				
		2	0.739	1.24	1.979	0.84	0.841	0.839	0.841				
		1	0.733	1.329	2.062	0.831	0.834	0.833	0.833	0.834	0.829	0.831	0.83
	B	2	0.773	1.37	2.143	0.868	0.868	0.867	0.868	0.869	0.866	0.866	0.865
		1	0.231	1.527	1.758	0.363	0.362	0.362	0.363	0.379	0.367	0.368	0.371
		2	0.322	1.61	1.932	0.426	0.426	0.426	0.442	0.428	0.446	0.429	0.428
CLORURO DE SODIO Aw=0.753 *Aw=0.611	A	1	0.745	1.788	2.533	0.978	0.881	0.872	0.873	0.872	0.874	0.87	0.879
		2	0.743	1.551	2.294	0.861	0.854	0.851	0.849	0.853	0.854	0.849	0.85
		1	0.729	1.842	2.571	1.121	0.889	0.861	0.858	0.872	0.861	0.854	0.854
	B	2	0.358	1.536	1.894	0.498	0.474	0.469	0.467	0.481	0.466	0.463	0.464
		1	0.273	1.579	1.852	0.613	0.477	0.388	0.373	0.369	0.375	0.37	0.369
		2	0.262	1.594	1.856	0.409	0.371	0.365	0.365	0.364	0.366	0.362	0.362
SULFATO DE AMONIO Aw=0.817	A	1	0.812	1.447	2.259	1.113	0.94	0.896	0.895	0.895	0.895	0.895	0.895
		2	0.563	1.528	2.091	0.849	0.687	0.662	0.661	0.661	0.662	0.662	0.662
		1	0.466	1.224	1.69	0.587	0.548	0.543	0.542	0.543	0.543	0.546	0.545
	B	2	0.83	1.429	2.259	1.043	0.921	0.917	0.915	0.917	0.914	0.919	0.917
		1	0.804	1.46	2.264	0.958	0.896	0.894	0.892	0.891	0.891	0.892	0.893
		2	0.909	1.204	2.113	1.182	1.005	0.984	0.982	0.98	0.98	0.98	0.982
SULFATO DE POTASIO Aw=0.976	A	1	0.303	1.48	1.783	1.463	1.393	1.267	1.087	1.028	0.962	0.908	0.687
		2	0.31	1.433	1.743	1.394	1.318	1.183	0.923	0.838	0.754	0.695	0.487
		1	0.359	1.626	1.985	1.659	1.577	1.446	1.187	1.096	1.007	0.908	0.616
	B	2	0.36	1.546	1.906	1.538	1.46	1.333	1.122	1.06	1.007	0.937	0.703
		1	0.391	1.556	1.947	1.585	1.516	1.376	1.116	1.039	0.965	0.883	0.628
		2	0.304	1.53	1.834	1.484	1.409	1.274	1.02	0.96	0.906	0.85	0.636

c) Registro de pesos de muestra de jacube deshidratado a 45°C.

		Fecha		Mtra in +	06/09/2023	07/09/2023	08/09/2023	11/09/2023	12/09/2023	13/09/2023	14/09/2023	15/09/2023	18/09/2023	19/09/2023	20/09/2023	21/09/2023	22/09/2023	25/09/2023	26/09/2023	27/09/2023		
Sal	Frasco	No.	Charola	Mtra inicial	Peso 0	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 4	Peso 5	Peso 6	Peso 7	Peso 8	Peso 9	Peso 10	Peso 11	Peso 12	Peso 13	Peso 14	Peso 15	Peso 16	
NITRATO DE MAGNESIO Aw=0.595	A	1	0.719	1.03	1.749	1.89	1.885	1.883	1.871	1.867	1.866	1.862	1.853	1.849	1.843	1.842	1.839	1.837	1.83	1.827	1.823	
		2	0.663	1.025	1.688	1.823	1.819	1.816	1.806	1.801	1.801	1.795	1.795	1.787	1.781	1.775	1.773	1.771	1.769	1.761	1.759	1.754
		1	0.788	1.026	1.814	1.961	1.946	1.942	1.927	1.922	1.924	1.917	1.914	1.906	1.903	1.897	1.898	1.893	1.886	1.885	1.878	
	B	2	0.797	1.04	1.837	1.987	1.972	1.965	1.949	1.944	1.95	1.939	1.937	1.926	1.924	1.919	1.92	1.915	1.906	1.907	1.9	
		1	0.777	1.038	1.815	1.971	1.951	1.95	1.947	1.942	1.94	1.935	1.932	1.925	1.921	1.915	1.913	1.913	1.909	1.907	1.902	
		2	0.732	1.033	1.765	1.919	1.902	1.857	1.895	1.891	1.886	1.883	1.879	1.872	1.869	1.864	1.861	1.861	1.856	1.856	1.852	
NITRATO DE POTASIO Aw=0.934	A	1	0.682	1.045	1.727	2.058	2.119	2.159	2.189	2.196	2.191	2.186	2.179	2.174	2.165	2.169	2.168	2.177	2.183	2.171	2.164	
		2	0.768	1.034	1.802	2.132	2.183	2.217	2.264	2.264	2.261	2.251	2.251	2.254	2.235	2.234	2.242	2.248	2.254	2.248	2.237	
		1	0.802	1.064	1.866	2.2	2.273	2.322	2.376	2.377	2.379	2.367	2.371	2.362	2.354	2.34	2.346	2.352	2.334	2.337	2.345	
	B	2	0.754	1.068	1.822	2.167	2.236	2.284	2.343	2.34	2.333	2.325	2.32	2.323	2.325	2.305	2.306	2.301	2.315	2.309	2.314	
		1	0.827	1.008	1.835	2.154	2.223	2.258	2.314	2.317	2.31	2.308	2.308	2.318	2.307	2.293	2.296	2.279	2.301	2.299	2.298	
		2	0.595	1.018	1.613	1.939	2.015	2.047	2.106	2.1	2.108	2.108	2.097	2.098	2.089	2.077	2.079	2.097	2.072	2.083	2.081	
NITRITO DE SODIO Aw=0.680 *Aw=0.595	A	1	0.894	1.018	1.912	2.015	2.006	2.001	2.002	2.001	1.994	1.992	1.991	1.987	1.985	1.982	1.983	1.978	2	1.973	1.985	
		2	0.751	1.019	1.77	1.869	1.863	1.862	1.859	1.858	1.853	1.85	1.848	1.842	1.841	1.837	1.838	1.835	1.841	1.829	1.838	
		1	0.475	1.019	1.494	1.597	1.587	1.584	1.582	1.581	1.575	1.575	1.573	1.57	1.567	1.565	1.564	1.559	1.979	1.552	1.556	
	B	2	0.682	1.027	1.709	1.814	1.803	1.8	1.796	1.795	1.792	1.791	1.789	1.783	1.782	1.779	1.779	1.776	1.693	1.769	1.771	
		1	0.824	1.029	1.853	1.949	1.94	1.938	1.933	1.932	1.926	1.928	1.927	1.92	1.919	1.915	1.916	1.912	1.701	1.903	1.961	
		2	0.785	1.021	1.806	1.904	1.894	1.888	1.885	1.883	1.879	1.88	1.88	1.874	1.873	1.867	1.87	1.866	1.957	1.856	2.091	
CLORURO DE SODIO Aw=0.753 *Aw=0.611	A	1	0.787	1.018	1.805	1.963	1.959	1.955	1.957	1.955	1.953	1.954	1.948	1.949	1.945	1.937	1.942	1.938	1.936	1.934	1.932	
		2	0.523	1.057	1.58	1.746	1.738	1.734	1.74	1.733	1.731	1.734	1.728	1.726	1.725	1.717	1.726	1.714	1.713	1.707	1.709	
		1	0.774	1.043	1.817	1.983	1.976	1.968	1.973	1.967	1.968	1.968	1.962	1.962	1.957	1.951	1.954	1.95	1.949	1.947	1.947	
	B	2	0.743	1.035	1.778	1.939	1.931	1.924	1.929	1.925	1.922	1.926	1.919	1.919	1.913	1.907	1.91	1.908	1.907	1.905	1.903	
		1	0.691	1.019	1.71	1.871	1.866	1.859	1.859	1.855	1.852	1.856	1.853	1.852	1.849	1.844	1.843	1.84	1.84	1.836	1.836	
		2	0.709	1.021	1.73	1.889	1.884	1.88	1.879	1.873	1.875	1.877	1.874	1.875	1.87	1.865	1.866	1.861	1.862	1.859	1.859	
SULFATO DE AMONIO Aw=0.817	A	1	0.782	1.041	1.823	2.029	2.03	2.029	2.03	2.015	2.013	2.021	2.007	2.014	2.006	2.001	2.005	2.001	2.002	2.001	1.992	
		2	0.66	1.009	1.669	1.865	1.869	1.868	1.87	1.856	1.85	1.856	1.847	1.851	1.857	1.842	1.843	1.841	1.842	1.84	1.834	
		1	0.743	1.051	1.794	2.011	2.008	2.013	2.005	1.998	1.99	1.99	1.979	1.98	1.979	1.978	1.981	1.972	1.981	1.98	1.967	
	B	2	0.49	1.019	1.509	1.724	1.72	1.728	1.714	1.709	1.702	1.703	1.696	1.693	1.69	1.692	1.698	1.685	1.696	1.692	1.68	
		1	0.506	1.023	1.529	1.729	1.727	1.729	1.723	1.714	1.712	1.717	1.714	1.707	1.707	1.713	1.7	1.705	1.704	1.702	1.7	
		2	0.768	1.021	1.789	1.985	1.985	1.987	1.979	1.973	1.968	1.973	1.974	1.962	1.964	1.967	1.964	1.964	1.959	1.956	1.953	
SULFATO DE POTASIO Aw=0.976	A	1	0.726	1.019	1.745	2.149	2.265	2.341	2.481	2.503	2.538	2.565	2.586	2.643	2.652	2.655	2.661	2.663	2.688	2.691	2.685	
		2	0.797	1.014	1.811	2.191	2.309	2.397	2.54	2.56	2.585	2.615	2.643	2.708	2.705	2.714	2.727	2.728	2.751	2.759	2.755	
		1	0.888	1.038	1.926	2.344	2.442	2.528	2.68	2.704	2.731	2.754	2.777	2.838	2.832	2.83	2.835	2.835	2.847	2.866	2.854	
	B	2	0.639	1.04	1.679	2.084	2.183	2.253	2.397	2.432	2.465	2.492	2.509	2.564	2.566	2.568	2.583	2.588	2.595	2.596	2.597	
		1	0.584	1.022	1.606	2.007	2.118	2.198	2.328	2.358	2.369	2.385	2.415	2.449	2.45	2.446	2.46	2.472	2.523	2.529	2.537	
		2	0.49	1.057	1.547	1.953	2.09	2.166	2.333	2.351	2.366	2.371	2.401	2.439	2.445	2.439	2.442	2.454	2.508	2.511	2.521	

28/09/2023	29/09/2023	02/10/2023	03/10/2023	04/10/2023	05/10/2023	06/10/2023	09/10/2023	10/10/2023	11/10/2023	12/10/2023	13/10/2023	16/10/2023	17/10/2023	18/10/2023	19/10/2023	20/10/2023
Peso 17	Peso 18	Peso 19	Peso 20	Peso 21	Peso 22	Peso 23	Peso 24	Peso 25	Peso 26	Peso 27	Peso 28	Peso 29	Peso 30	Peso 31	Peso 32	Peso 33
1.823	1.824	1.814	1.814	1.808	1.807	1.806	1.802	1.8	1.798	1.796	1.797	1.789	1.789	1.789	1.788	1.785
1.753	1.755	1.745	1.745	1.738	1.738	1.739	1.734	1.731	1.728	1.727	1.727	1.721	1.72	1.719	1.717	1.714
1.885	1.879	1.871	1.87	1.865	1.865	1.862	1.854	1.854	1.854	1.853	1.854	1.846	1.846	1.844	1.843	1.84
1.903	1.9	1.892	1.891	1.887	1.885	1.883	1.877	1.874	1.876	1.874	1.875	1.867	1.867	1.864	1.863	1.861
1.898	1.899	1.894	1.891	1.889	1.886	1.887	1.881	1.878	1.878	1.876	1.878	1.87	1.869	1.867	1.868	1.865
1.849	1.849	1.841	1.839	1.837	1.837	1.837	1.831	1.829	1.828	1.825	1.828	1.819	1.817	1.816	1.817	1.814
2.156	2.158	2.147	2.146	2.147	2.149	2.147	2.139	2.131	2.133	2.123	2.128	2.117	2.123	2.121	2.122	2.115
2.231	2.23	2.22	2.216	2.221	2.227	2.214	2.209	2.218	2.21	2.201	2.203	2.203	2.205	2.22	2.213	2.216
2.343	2.351	2.339	2.341	2.332	2.34	2.331	2.33	2.327	2.322	2.324	2.336	2.332	2.323	2.321	2.319	2.323
2.329	2.333	2.313	2.32	2.319	2.323	2.334	2.325	2.318	2.314	2.317	2.32	2.314	2.323	2.32	2.321	2.322
2.296	2.305	2.308	2.299	2.295	2.294	2.3	2.283	2.28	2.291	2.284	2.294	2.277	2.278	2.284	2.29	2.282
2.077	2.076	2.069	2.085	2.07	2.064	2.063	2.057	2.051	2.052	2.067	2.072	2.051	2.053	2.062	2.064	2.056
1.978	1.976	1.978	1.972	1.974	1.973	1.972	1.971	1.97	1.973	1.975	1.974	1.969	1.969	1.973	1.97	1.967
1.835	0.832	1.832	1.829	1.831	1.828	1.827	1.826	1.826	1.828	1.83	1.831	1.8825	1.824	1.827	1.824	1.823
1.55	1.557	1.559	1.553	1.557	1.557	1.557	1.554	1.553	1.552	1.555	1.551	1.552	1.552	1.553	1.553	1.55
1.766	1.773	1.775	1.768	1.772	1.773	1.771	1.769	1.768	1.767	1.769	1.97	1.767	1.766	1.766	1.766	1.766
1.974	1.991	2.037	1.983	1.981	1.979	1.979	1.979	1.979	1.974	1.978	1.972	1.977	1.974	1.974	1.973	1.975
2.173	2.214	2.249	2.222	2.219	2.218	2.218	2.213	2.112	2.11	2.113	2.107	2.109	2.094	2.09	2.089	2.088
1.928	1.931	1.93	1.928	1.926	1.925	1.927	1.931	1.924	1.92	1.926	1.922	1.92	1.912	1.912	1.913	1.915
1.706	1.712	1.709	1.708	1.704	1.702	1.704	1.709	1.703	1.701	1.704	1.7	1.699	1.69	1.691	1.689	1.691
1.949	1.944	1.941	1.943	1.944	1.942	1.943	1.942	1.938	1.937	1.938	1.935	1.935	1.933	1.929	1.925	1.931
1.904	1.902	1.9	1.9	1.899	1.9	1.901	1.899	1.895	1.893	1.895	1.895	1.89	1.891	1.886	1.883	1.888
1.83	1.832	1.833	1.828	1.828	1.829	1.829	1.831	1.825	1.824	1.824	1.825	1.821	1.819	1.82	1.819	1.819
1.853	1.854	1.853	1.851	1.851	1.852	1.85	1.852	1.846	1.846	1.848	1.847	1.843	1.842	1.843	1.84	1.841
1.997	1.994	1.99	1.994	1.989	1.992	1.99	1.988	1.986	1.987	1.986	1.992	1.999	1.998	1.989	1.985	1.99
1.836	1.831	1.837	1.835	1.829	1.831	1.831	1.829	1.826	1.825	1.825	1.827	1.828	1.827	1.824	1.821	1.822
1.975	1.962	1.965	1.969	1.968	1.966	1.964	1.953	1.962	1.962	1.972	1.963	1.957	1.957	1.953	1.951	1.949
1.687	1.675	1.68	1.682	1.681	1.68	1.677	1.696	1.674	1.678	1.68	1.678	1.671	1.671	1.669	1.668	1.667
1.7	1.699	1.7	1.704	1.702	1.703	1.703	1.695	1.964	1.691	1.701	1.701	1.696	1.696	1.692	1.695	1.692
1.955	1.954	1.955	1.963	1.962	1.959	1.957	1.951	1.95	1.947	1.954	1.955	1.959	1.956	1.951	1.958	1.951
2.688	2.652	2.716	2.71	2.713	2.7	2.694	2.682	2.687	2.681	2.669	2.668	2.704	2.698	2.687	2.657	2.661
2.758	2.73	2.739	2.744	2.757	2.78	2.771	2.772	2.782	2.776	2.767	2.775	2.795	2.787	2.77	2.778	2.767
2.875	2.869	2.898	2.908	2.924	2.912	2.919	2.906	2.921	2.906	2.909	2.904	2.878	2.882	2.887	2.889	2.895
2.593	2.601	2.633	2.633	2.606	2.601	2.592	2.617	2.611	2.639	2.642	2.634	2.613	2.615	2.618	2.61	2.601
2.544	2.527	2.529	2.533	2.518	2.525	2.529	2.571	2.581	2.585	2.559	2.561	2.602	2.598	2.593	2.581	2.566
2.525	2.534	2.533	2.527	2.529	2.518	2.517	2.507	2.525	2.535	2.554	2.554	2.511	2.523	2.531	2.525	2.518

23/10/2023	24/10/2023	25/10/2023	26/10/2023	27/10/2023	30/10/2023	31/10/2023
Peso 34	Peso 35	Peso 36	Peso 37	Peso 38	Peso 39	Peso 40
1.783	1.781	1.782	1.779	1.777	1.776	1.772
1.713	1.71	1.711	1.707	1.706	1.704	1.704
1.837	1.836	1.837	1.832	1.832	1.83	1.828
1.858	1.857	1.858	1.832	1.852	1.85	1.849
1.865	1.86	1.861	1.859	1.856	1.854	1.853
1.812	1.809	1.811	1.808	1.804	1.804	1.999
2.108	2.103	2.103	2.109	2.118	2.121	2.116
2.203	2.202	2.203	2.204	2.211	2.217	2.216
2.309	2.303	2.308	2.318	2.315	2.319	2.311
2.305	2.302	2.308	2.319	2.311	2.318	2.308
2.273	2.272	2.272	2.275	2.273	2.283	2.278
2.067	2.057	2.051	2.05	2.054	2.051	2.044
1.969	1.968	1.976	1.975	1.977	1.974	1.975
1.823	1.823	1.824	1.822	1.824	1.821	1.822
1.552	1.55	1.55	1.545	1.549	1.543	1.548
1.767	1.765	1.765	1.761	1.763	1.758	1.764
1.975	1.973	1.972	1.969	1.969	1.969	1.968
2.086	2.082	2.079	2.067	2.066	2.067	2.064
1.914	1.915	1.912	1.914	1.907	1.913	1.905
1.69	1.689	1.683	1.686	1.68	1.682	1.677
1.933	1.933	1.928	1.929	1.928	1.93	1.924
1.887	1.886	1.886	1.885	1.883	1.885	1.879
1.817	1.818	1.819	1.818	1.814	1.812	1.814
1.839	1.841	1.836	1.837	1.835	1.835	1.835
1.991	1.985	1.993	1.987	1.991	1.996	1.989
1.825	1.821	1.829	1.827	1.824	1.834	1.824
1.954	1.952	1.955	1.953	1.955	1.957	1.954
1.669	1.665	1.671	1.669	1.668	1.667	1.671
1.694	1.695	1.703	1.692	1.691	1.698	1.692
1.953	1.958	1.963	1.955	1.954	1.956	1.951
2.735	2.747	2.741	2.747	2.752	2.753	2.737
2.76	2.75	2.755	2.745	2.748	2.746	2.748
2.929	2.93	2.918	2.926	2.913	2.902	2.892
2.64	2.639	2.634	2.626	2.613	2.606	2.582
2.582	2.577	2.565	2.557	2.557	2.6	2.568
2.558	2.557	2.552	2.555	2.55	2.554	2.553

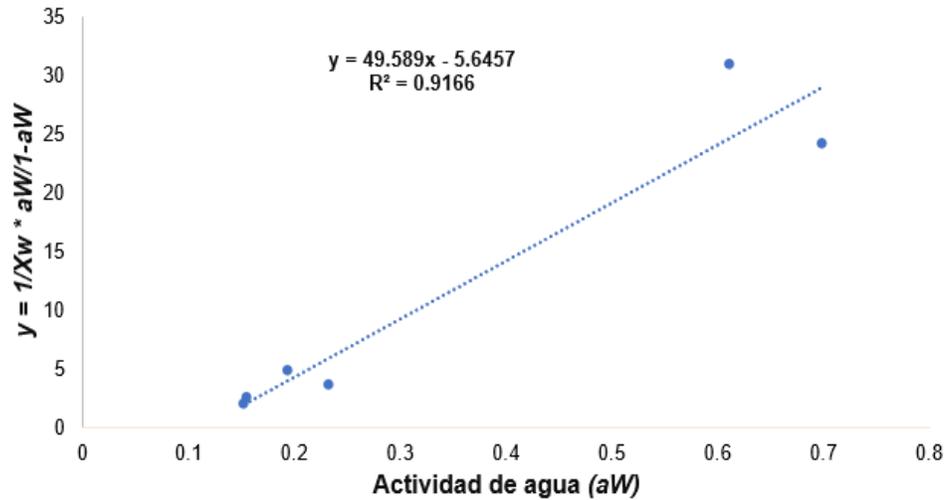
d) Registro de pesos de muestra de jacube fresco a 45°C.

Frasc No.	Fecha		Mtra in +	31/01/2024	02/02/2024	06/02/2024	07/02/2024	08/02/2024	09/02/2024	12/02/2024	15/02/2024	16/02/2024	
	Charola	Mtra inicial	Peso 0	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 4	Peso 5	Peso 6	Peso 7	Peso 8	Peso 9	
A	1	0.742	1.495	2.237	1.458	0.832	0.829	0.832	0.831	0.828	0.83	0.83	0.83
	2	0.566	1.047	1.613	0.928	0.633	0.629	0.634	0.633	0.63	0.63	0.631	0.631
	1	0.732	1.076	1.808	1.158	0.792	0.796	0.789	0.793	0.789	0.791	0.79	0.79
B	2	0.772	1.042	1.814	1.13	0.836	0.834	0.831	0.835	0.832	0.833	0.832	0.832
	1	0.864	1.14	2.004	1.311	0.928	0.926	0.925	0.927	0.924	0.925	0.927	0.927
C	2	0.725	1.259	1.984	1.296	0.778	0.778	0.775	0.781	0.776	0.778	0.777	0.777
	1	0.473	1.413	1.886	1.572	1.155	0.546	0.55	0.549	0.549	0.546	0.552	0.552
A	2	0.423	1.149	1.572	1.302	0.938	0.484	0.49	0.487	0.489	0.484	0.488	0.488
	1	0.467	1.318	1.785	1.461	1.03	0.538	0.537	0.537	0.54	0.535	0.537	0.537
B	2	0.685	1.465	2.15	1.859	1.462	0.766	0.755	0.755	0.756	0.752	0.753	0.753
	1	0.706	1.515	2.221	1.949	1.586	1.038	0.905	0.81	0.794	0.786	0.8	0.8
C	2	0.784	1.431	2.215	1.965	1.608	1.017	0.925	0.878	0.878	0.871	0.875	0.875
	1	0.493	1.286	1.779	0.797	0.567	0.56	0.561	0.565	0.562	0.561	0.562	0.562
A	2	0.792	1.922	2.714	1.214	0.853	0.848	0.849	0.852	0.85	0.851	0.853	0.853
	1	0.948	1.529	2.477	1.492	1.034	1.028	1.032	1.036	1.029	1.032	1.03	1.03
B	2	0.798	1.246	2.044	1.203	0.875	0.87	0.873	0.882	0.871	0.872	0.873	0.873
	1	0.737	1.195	1.932	1.033	0.803	0.801	0.801	0.81	0.805	0.808	0.809	0.809
C	2	0.748	1.205	1.953	1.114	0.808	0.805	0.814	0.815	0.807	0.81	0.812	0.812
	1	0.847	1.359	2.206	1.651	0.937	0.907	0.906	0.907	0.909	0.906	0.906	0.906
A	2	0.737	1.554	2.291	1.625	0.81	0.804	0.803	0.802	0.804	0.802	0.802	0.802
	1	0.867	1.366	2.233	1.669	0.933	0.928	0.928	0.932	0.932	0.931	0.931	0.931
B	2	0.829	1.256	2.085	1.378	0.893	0.892	0.889	0.89	0.892	0.889	0.889	0.889
	1	0.733	1.368	2.101	1.316	0.86	0.864	0.866	0.867	0.87	0.869	0.871	0.871
C	2	0.908	1.242	2.15	1.582	0.974	0.972	0.972	0.973	0.974	0.971	0.971	0.971
	1	0.812	1.327	2.139	1.643	0.954	0.88	0.878	0.881	0.88	0.877	0.877	0.877
A	2	0.703	1.36	2.063	1.469	0.821	0.811	0.81	0.814	0.813	0.81	0.808	0.808
	1	0.729	1.318	2.047	1.617	0.99	0.793	0.792	0.795	0.796	0.792	0.791	0.791
B	2	0.921	1.263	2.184	1.671	1.072	0.981	0.979	0.982	0.982	0.982	0.98	0.98
	1	0.802	1.498	2.3	1.714	0.92	0.884	0.884	0.884	0.887	0.883	0.883	0.883
C	2	0.831	1.511	2.342	1.907	1.284	0.914	0.895	0.9	0.901	0.896	0.895	0.895
	1	0.836	1.302	2.138	1.999	1.76	1.35	1.26	1.159	1.078	0.876	0.844	0.844
A	2	0.916	1.516	2.432	2.215	1.949	1.518	1.421	1.315	1.223	0.968	0.891	0.891
	1	0.745	1.443	2.188	1.921	1.668	1.217	1.13	1.041	0.956	0.911	0.908	0.908
B	2	0.789	1.633	2.422	2.247	2.066	1.65	1.562	1.452	1.339	1.032	1.007	1.007
	1	0.925	1.541	2.466	2.315	2.115	1.796	1.735	1.651	1.573	1.343	1.152	1.152
C	2	0.95	1.188	2.138	2.004	1.863	1.602	1.528	1.454	1.385	1.191	1.085	1.085

11.4 Anexo 4 Ajuste de los modelos matemáticos

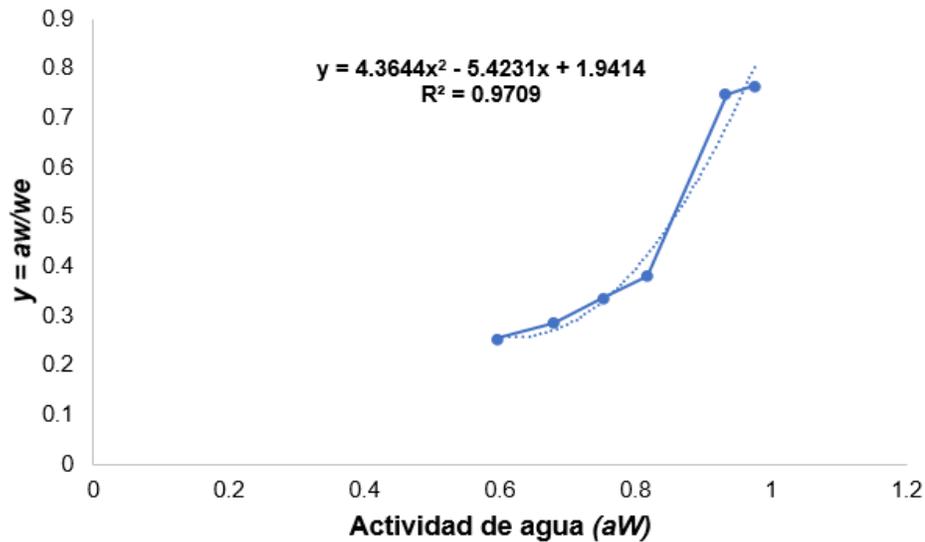
11.4.1 Ajuste de los datos experimentales obtenidos a 35°C en muestras de jacube deshidratado.

A. Modelo de BET



Gráfica de ajuste al modelo de BET

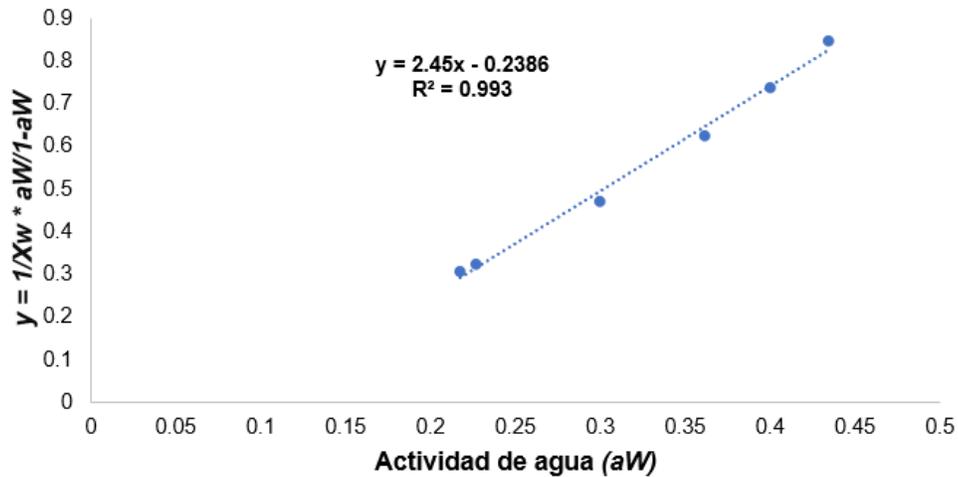
B. Modelo de GAB



Gráfica de ajuste al modelo de GAB

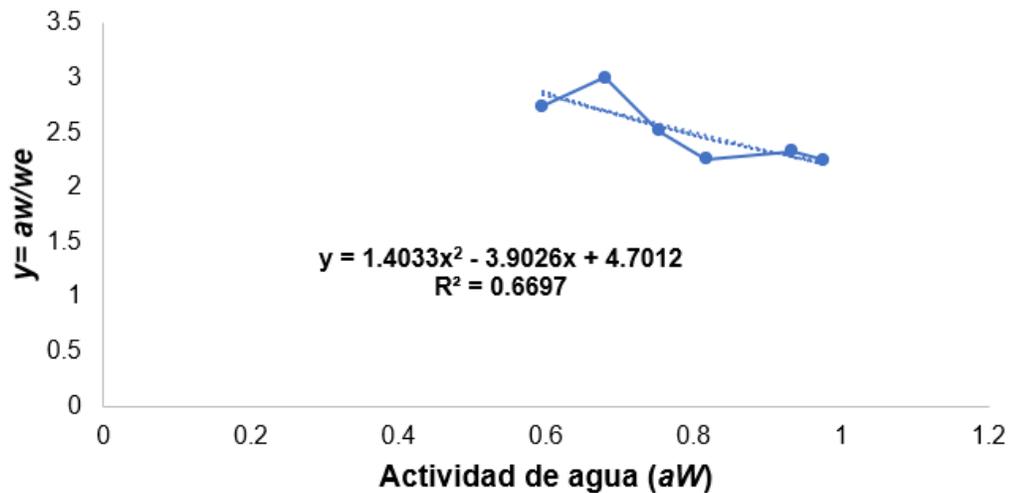
11.4.2 Ajuste de los datos experimentales obtenidos a 35°C en muestras de jacube fresco.

A. Modelo de BET



Gráfica de ajuste al modelo de BET

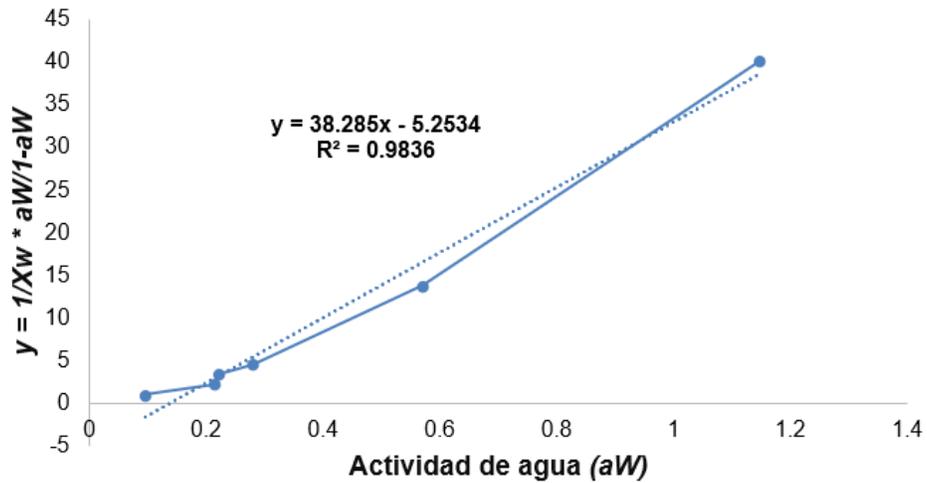
B. Modelo de GAB



Gráfica de ajuste al modelo de GAB

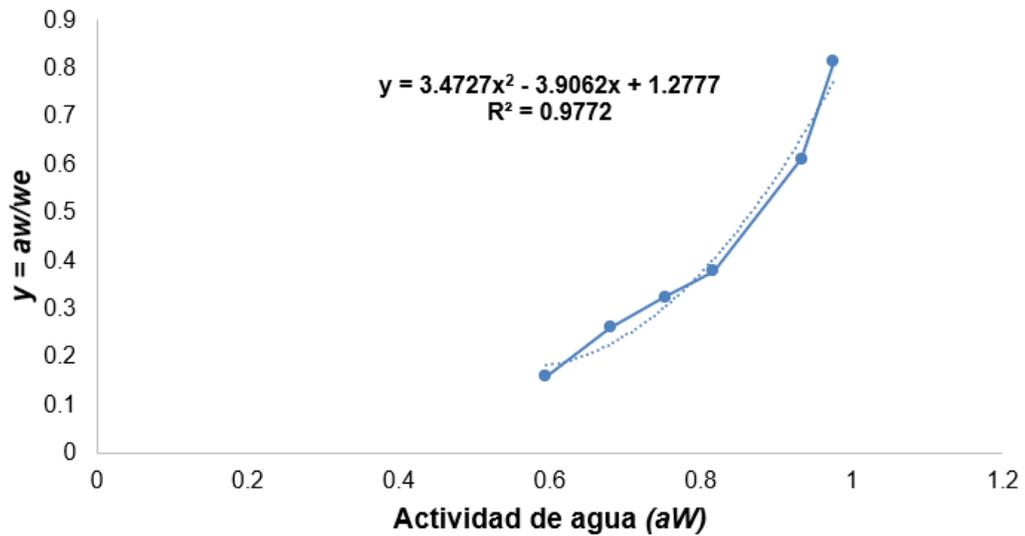
11.4.3 Ajuste de los datos experimentales obtenidos a 45°C en muestras de jacube deshidratado.

A. Modelo de BET



Gráfica de ajuste al modelo de BET

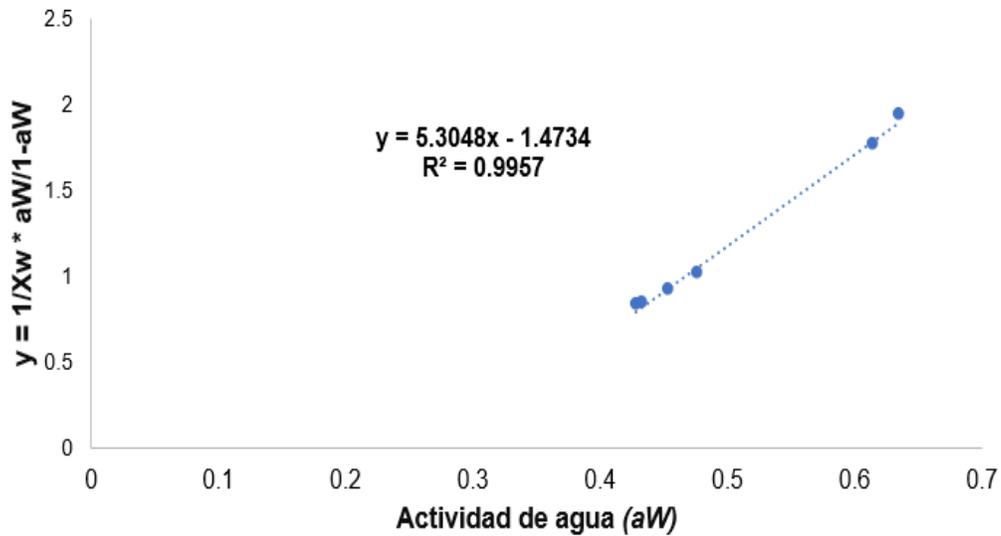
B. Modelo de GAB



Gráfica de ajuste al modelo de GAB

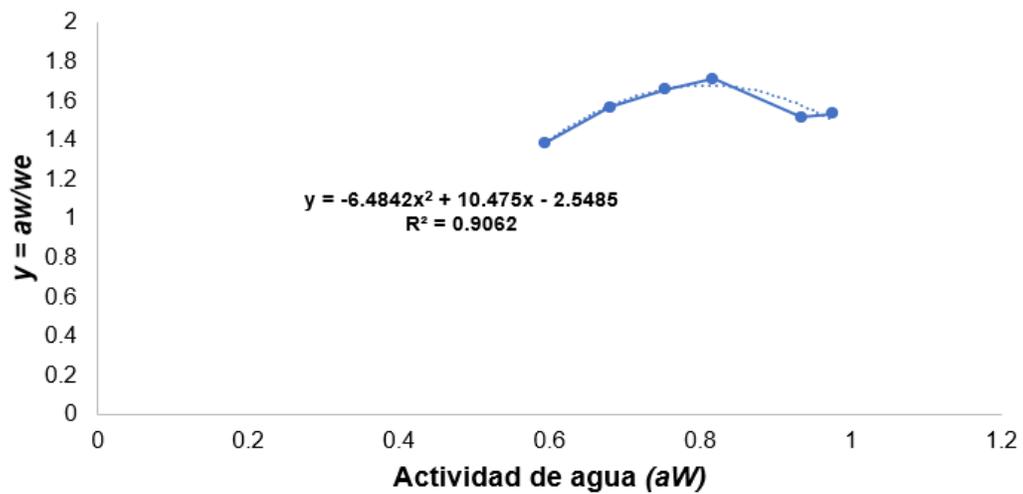
11.4.4 Ajuste de los datos experimentales obtenidos a 45°C en muestras de jacube fresco.

A. Modelo de BET



Gráfica de ajuste al modelo de BET

B. Modelo de GAB



Gráfica de ajuste al modelo de GAB

11.5 Anexo 5 Encuesta de propiedades organolépticas



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ZONA HUASTECA



ENCUESTA ACEPTACIÓN DE YOGUR

Nombre: _____ Fecha: _____

Edad: _____ Sexo: _____

Conteste según se pida:

1. ¿La muestra fue de su agrado?

Si _____ No _____

2. Evalúe la calidad de la muestra y marque con una (x) |
según corresponda:

	Sabor	Olor	Apariencia	Textura	Color	Acidez
Excelente	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Muy bueno	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Bueno	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Regular	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Malo	_____	_____	_____	_____	_____	_____

3. Observaciones

11.6 Anexo 6 Encuesta de conocimiento y consumo de jacube.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ZONA HUASTECA



ENCUESTA SOBRE JACUBES

Nombre: _____ Fecha: _____

Edad: _____ Sexo: _____ Ocupación: _____

1. ¿Conoce los jacubes?

Si _____ No _____

2. ¿Los ha consumido?

Si _____ No _____

3. Si los consume, ¿de qué forma lo hace?

4. ¿El sabor es de su agrado?

Si _____ No _____

5. ¿Conoce sus propiedades sobre la salud?

Si _____ No _____

6. ¿Qué propiedades conoce?

7. Si los ha consumido, ¿con qué frecuencia lo hace?

Siempre _____ Casi siempre _____ Regularmente _____ Casi nunca _____

Nunca _____

8. ¿De qué forma los obtiene?

Cultiva _____ Compra _____ Ninguno _____

9. ¿Qué cantidad de jacube consume en promedio?

½ taza _____ 1 taza _____ 1 taza ½ _____ 2 tazas _____

otra (especifique) _____

11.7 Anexo 7 Carta de consentimiento y privacidad de identidad



FACULTAD DE
ESTUDIOS PROFESIONALES
ZONA HUASTECA
UASLP

MAESTRÍA EN
CIENCIAS
BIOQUÍMICAS



Carta de consentimiento Carta consentimiento de participación UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ-UAMZH

Folio		
Fecha de nacimiento dd/mm/aa		
Fecha de llenado dd/mm/aa		
Género	Masculino__	Femenino__

CONSENTIMIENTO DE PARTICIPACIÓN:

Esta carta de consentimiento informado tiene la finalidad de obtener su aceptación para participar en este proyecto de investigación que tiene como título “**Caracterización y aprovechamiento de compuestos activos del jacube (*Acanthocereus tetragonus* (L) Hummelinck) y su efecto hipoglucémico**” así como también informarle de los procedimientos y objetivos de esta investigación.

Los objetivos específicos de esta investigación son los siguientes:

1. Determinar las características fisicoquímicas y fitoquímicas del jacube fresco y deshidratado
2. Evaluar las propiedades antioxidantes del jacube fresco y deshidratado.
3. Evaluar la estabilidad del producto deshidratado mediante isotermas de sorción
4. Incorporar el producto deshidratado a un alimento y realizar análisis sensoriales.
5. **Evaluar el efecto hipoglucémico del alimento en individuos.**

Para cumplir el objetivo número 5, es necesario contar con el consentimiento de usted, debido a que se someterá a 6 tomas de sangre periférica mediante punción venosa en el brazo, en dos fases de 3 tomas, descritas a continuación:

Primera fase:

1. En la primera toma de muestra sanguínea venosa, se cuantificará el contenido de glucosa basal, en estado de ayuno de 8 horas.
2. El individuo ingerirá una toma de dextrosa al 5%, en donde se esperará un lapso de 30 minutos y se procederá a tomar la segunda muestra.
3. La tercera muestra se obtendrá transcurrida 1 hora después de ingerir el alimento en cuestión equiparable a la ingesta diaria de jacube, con la finalidad de cuantificar el contenido de glucosa.

Segunda fase:

4. Transcurrida una semana, se realizarán los pasos 1, 2 y 3 mencionados en la fase dos, con excepción de que en paso dos el alimento carecerá de jacube.
5. Obteniendo las 6 muestras sanguíneas.

Al firmar este consentimiento de participación nos otorga el permiso para utilizar los datos obtenidos en su encuesta, necesarios para la interpretación de los resultados del



FACULTAD DE
ESTUDIOS PROFESIONALES
ZONA HUASTECA
UASLP

Romualdo del Campo 501
Fracc. Rafael Curiel
C.P. 79060
Cd. Valles, S.L.P.
Tel. (481) 381 2348,
381 2349, 382 3644 y
382 8210

estudio y nos autoriza para tomar 4 muestras de material biológico (5 ml sangre venosa periférica) para la realización de los análisis correspondientes. Toda información que se obtenga se mantendrá anónima, no se publicará ningún tipo de información personal que relacione sus datos con las muestras biológicas. Su participación no implica ningún riesgo.

Este estudio se compone de dos partes:

1. Encuesta. Tiene como finalidad obtener datos importantes que nos permitirán clasificar los resultados obtenidos en el estudio.
2. Muestra de material biológico. Al firmar el consentimiento de participación está aceptando donar 4 muestras de su sangre (5ml por toma), la cual se obtendrá mediante una punción venosa convencional.

Si **ACEPTA** participar en el proyecto deberá firmar en los recuadros de la parte inferior.

Yo (nombre y/o firma) _____ entiendo la información y las características de este proyecto, por lo tanto, ACEPTO participar voluntariamente en este estudio de investigación. ACEPTO DONAR Datos Encuesta <input type="checkbox"/> Muestras sanguíneas <input type="checkbox"/>

Usted puede retirarse del proyecto en cualquier momento, indicándolo al personal a cargo, también puede solicitar que sus datos sean eliminados, para lo cual deberá contactarse con la directora del proyecto.

Contacto de la directora del proyecto: Dra. Abigail Reyes Munguía.

Email: abigail.reyes@uaslp.mx

11.8 Anexo 8 Carta de solicitud al Comité de Bioética



UASLP
Universidad Autónoma
de San Luis Potosí

Ciudad Valles, S.L.P. a 27 de mayo de 2025

Oficio: FEPZH-2025-CEI-01

Dra. Abigail Reyes Munguía

PTC de la Licenciatura en Bioquímica.

Facultad de Estudios Profesionales Zona Huasteca-UASLP

PRESENTE

Estimada Doctora

Por este conducto me permito informar que el proyecto titulado **“Caracterización y aprovechamiento de compuestos activos de jacube (Acanthocereus tetragonus) y su efecto hipoglucémico.”**, el cual está a su cargo y se desarrolla en la Facultad de Estudios Profesionales Zona Huasteca perteneciente a la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, ha sido evaluado por este Comité de Ética en Investigación y se concluyó que cumple con los requisitos y la normatividad Nacional e Internacional vigente en materia de manejo de muestras clínicas y la información generada a partir de estas.

Sin otro asunto que tratar quedo a sus finas atenciones.

ATENTAMENTE

“Siempre Autónoma. Por Mi Patria Educaré”



FACULTAD DE
ESTUDIOS PROFESIONALES
ZONA HUASTECA
UASLP

**Comité de Ética en
Investigación**

Romualdo del Campo No. 501
Frac. Rafael Curiel C.P. 79060
Tels. (481) 381-23-48 Ext. 121
Cd. Valles, S.L.P., México

Dr. Brenda Alvarado Sánchez
Presidenta del Comité de Ética en Investigación
Facultad de Estudios Profesionales Zona Huasteca
Universidad Autónoma San Luis Potosí

c.c.p. Archivo

11.9 Anexo 9 Solicitud de identificación taxonómica del jacube



Ficha de recolecta botánica



Nombre científico:	<i>Acanthocereus tetragonus</i>	Familia:	<i>Cactaceae</i>		
Nombre común:	Jacube, cruceta o nopal de cruz	Estado:	San Luis Potosí		
Municipio:	Ciudad Valles	Localidad:	Ejido Ojo de agua		
Coordenadas:	Longitud (dec): -99.114444, Latitud (dec): 21.961667	Altitud:	Altura de 140 metros sobre el nivel del mar.		
Tipo de vegetación:	Cactus rampante, columnar arbustivo	Suelo:			
Forma de vida:	<input type="checkbox"/> Hierba	<input checked="" type="checkbox"/> Arbusto	<input type="checkbox"/> Arbolito	<input type="checkbox"/> Árbol	<input type="checkbox"/> Bejuco
Observaciones:	Planta de uso comestible, ornamental y medicinal.				
Usos:					
Recolector:	Christian Sanchez Ramirez	Núm. de recolecta:	Fecha	12/05 /2023	

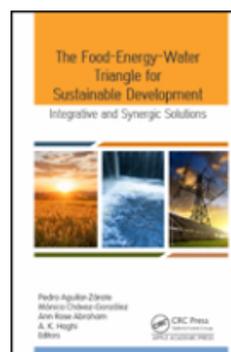
11.10 Anexo 10 Publicación de un capítulo de libro titulado “The Food-Energy-Water Triangle for Sustainable Development Integrative and Synergic Solution

Food Chemistry & Science

The Food-Energy-Water Triangle for Sustainable Development Integrative and Synergic Solutions

Editors: Pedro Aguilar-Zárate, PhD
Mónica L. Chávez-González, PhD
Ann Rose Abraham, PhD
A. K. Haghi, PhD

[Ordering Info/Buy Book](#)



Published. Available now.
Pub Date: March 2025
Hardback Price: see ordering info
Hard ISBN: 9781774917855
E-Book ISBN: 9781003561453
Pages: Est. 352pp w/index
Binding Type: Hardback / ebook
Notes: 9 color and 26 b/w illustrations

CONTENTS:

Preface

1. The Sustainable Use of Cactaceae as Functional Foods: The Hypoglycemic Effect

Abigail Reyes, Christian Sánchez, Brenda Alvarado, Ariel Vazquez, and Pedro Aguilar-Zarate

11.11 Anexo 11 Carta de aceptación de propuesta de tema de tesis



MAESTRÍA EN
CIENCIAS
BIOQUÍMICAS



ANIVERSARIO DE LA
FACULTAD DE ESTUDIOS
PROFESIONALES
ZONA HUASTECA
UASLP 2024

Ciudad Valles, S.L.P., 12 de julio de 2024

Christian Sánchez Ramírez
Alumna de la Maestría en Ciencias Bioquímicas
Presente

En relación con la solicitud de registro de tema de tesis y la conformación del Comité Tutelar le comunico que el Comité Académico del PMCB el día 12 de julio del año en curso, aprobó la actualización de:

1. Su propuesta del tema de tesis:
"Caracterización y aprovechamiento de compuestos activos de jacube (*Acanthocereus tetragonus* (L) Hummelinck) y su efecto hipoglucémico"

2. Su propuesta del Comité Tutelar conformado por:

Directora de Tesis: Dra. Abigail Reyes Munguía
Codirectora de Tesis: Dra. Brenda Alvarado Sánchez
Asesor: Dr. Pedro Aguilar Zarate

Sin otro particular por el momento, le envió un cordial saludo.

Atentamente,



Dr. Alejandro Méndez Montes
Coordinador de la Maestría en Ciencias Bioquímicas

c.c.p. Dra. Abigail Reyes Munguía – Directora de tesis
c.c.p. Dra. Brenda Alvarado Sánchez– Codirectora de tesis
c.c.p. Dr. Pedro Aguilar Zarate – Asesor de tesis.
c.c.p. Archivo



ESTUDIOS PROFESIONALES
ZONA HUASTECA
UASLP

Romualdo del Campo 501
Fracc. Rafael Curiel
C.P. 79060
Cd. Valles, S.L.P.
Tel. (481) 381 2348,
381 2349, 382 3644 y
382 8210

Romualdo del Campo No. 501, Fracc. Rafael Curiel, 79060 Ciudad Valles, S.L.P. México.
TELS. (482) 381-23-48 Ext. 105