

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA



CARACTERIZACIÓN NUTRACÉUTICA DE HARINA DE NOPAL DE DIFERENTES CULTIVARES DE OPUNTIA

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

**PRESENTA:
ING. MAYRA GÓMEZ ALEJO**

GENERAL ESCOBEDO, N.L.

NOVIEMBRE, 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA



CARACTERIZACIÓN NUTRACÉUTICA DE HARINA DE NOPAL DE DIFERENTES CULTIVARES DE OPUNTIA

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

PRESENTA:

ING. MAYRA GÓMEZ ALEJO

GENERAL ESCOBEDO, N.L.

NOVIEMBRE, 2023

ESTA TESIS FUE REVISADA Y APROBADA POR EL COMITÉ PARTICULAR COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

COMITÉ PARTICULAR

Ph. D. Rigoberto E. Vázquez Alvarado
Director de Tesis

Ph. D. Emilio Olivares Sáenz
Co-Director

Dr. Edgar Vladimir Gutiérrez Castorena
Asesor 1

Dra. Ma del Carmen Ojeda Zacarías
Tutora

Dra. Juanita Guadalupe Gutiérrez Soto
Subdirectora de Posgrado e Investigación

DEDICATORIA

A aquellos que me han demostrado que soy una mujer responsable, decidida y exitosa. Les agradezco por iluminar mi camino, brindarme paz, fortaleza y confianza para enfrentar cada desafío que se presenta en la vida.

Expreso mi profundo agradecimiento a mi amado esposo, el M.I Yves Turley Macias, por su constante apoyo en todas las etapas de mi vida, por su dedicación y su amor.

A mi querido hijo, Yves Leonardo, cuyo amor incondicional me inspira y llena de felicidad, motivándome a perseguir mis sueños.

Rindo homenaje a la memoria de mi Padre, Julio Gómez Zamarripa (+), quien permanece en mi corazón. Agradezco por haberme dado la vida. También agradezco a mi Madre, Catalina Alejo, por hacer todo lo posible para apoyarme en la realización de mis sueños.

A mi amado hermano, a quien tanto quiero y a quien le debo gran parte de mis logros. Agradezco su amor y apoyo constante desde mi infancia, por su contribución a mi formación, educación y orientación.

A mi hermana Guadalupe, por cuidar de mi querido bebé Leo mientras trabajaba en esta investigación, contribuyendo así a construir un futuro mejor para todos nosotros.

Mi agradecimiento sincero a mi hermana Laura y a mi cuñado Omar por su apoyo constante en cada etapa de mi carrera profesional, así como por sus sabias palabras.

A mis sobrinos, quienes siempre están en mis pensamientos, les agradezco por el apoyo brindado en cada uno de mis logros y metas de vida

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Universidad Autónoma de Nuevo León y, de manera especial, a la Facultad de Agronomía, por brindarme la invaluable oportunidad de llevar a cabo mi Maestría en Ciencias en Producción Agrícola.

Le doy las gracias por enseñarme que tengo la capacidad de crear ciencia y contribuir con mis investigaciones a encontrar soluciones para los problemas de la humanidad.

Asimismo, deseo reconocer a cada uno de mis distinguidos profesores: el Dr. Francisco Zavala, el Dr. Fernando Carballo y el Dr. Elías Treviño, quienes guiaron mi camino durante mi etapa como estudiante de posgrado en la FAUANL.

A mi excepcional director de Tesis, el Ph. D. Rigoberto E. Vázquez Alvarado, le extiendo mi más profundo agradecimiento por su confianza en mí, su inquebrantable apoyo y la generosidad de compartir sus enseñanzas, experiencia y paciencia.

Al Ph. D Emilio Olivares Sáenz, mi respetado Codirector, cuya orientación y conocimientos estadísticos fueron fundamentales para mi investigación. Le agradezco enormemente su invalorable contribución a mi tesis.

Asimismo, deseo manifestar mi gratitud hacia el Dr. Edgar Vladimir Gutiérrez Castorena y la Dra. Ma. Carmen Ojeda Zacarias, quienes integraron mi comité de investigación. Sus valiosas sugerencias y aportes enriquecieron considerablemente la calidad de este trabajo.

Mi reconocimiento se extiende al Laboratorio de Evaluación Sensorial y Desarrollo de Nuevos Productos del CIDIA de la FAUANL, así como a la Dra. Beatriz Adriana Rodríguez Romero y su equipo directivo, por brindarme la oportunidad de idear y ejecutar

proyectos que complementaron mi formación durante esta investigación.

A la empresa VERTIA, y en particular al Ingeniero Oscar Treviño, cuyo apoyo fue fundamental al proporcionarme los recursos necesarios para llevar a cabo la recolección de diversos cultivares de nopal orgánico.

Mi sincero agradecimiento se dirige también al Dr. Guillermo Cristian Guadalupe Martínez y al Dr. Ernesto J. Sánchez Alejo, cuyo respaldo desde los inicios de mi trayectoria hasta el presente en mi desarrollo como estudiante de posgrado ha sido invaluable.

Por último, expresar mi profundo agradecimiento al Dr. Eliezer Garza González por su tiempo, dedicación y orientación en el transcurso de esta investigación. Su valiosa asesoría ha sido un pilar fundamental en mi camino académico.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN	¡Error! Marcador no definido.
ABSTRACT	2
1 INTRODUCCIÓN	3
1.2 Hipótesis y Objetivos.....	4
2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 Importancia de la producción del nopal en México	5
2.1.1 Antecedentes de producción de nopal forrajero.....	5
2.1.2 Antecedentes de nopal verdura	6
2.1.3 Antecedentes de nopal tunero	6
2.2 Factores climáticos que afectan la producción de nopal.....	7
2.2.1 Tipo de suelo, materia orgánica y fertilidad de suelo	7
2.3 Usos medicinales del nopal	8
2.4 Uso de nopal y grana cochinilla en la industria textil.....	9
2.5 Uso de la industria alimentaria	9
2.6 Usos y comercialización de harina de nopal	10
3 MATERIALES Y MÉTODOS	12
3.1 Análisis de suelo.....	12
3.1.1 pH en el suelo	13
3.1.2 Conductividad eléctrica	14
3.1.3 Determinación de textura	15
3.1.4 Materia orgánica del suelo	15
3.1.5 Determinación de minerales.....	16
3.1.6 Determinación de nitrógeno	16
3.2 Análisis de agua para riego.....	17
3.3 Analisis bromatologicos y de minerales	18
3.3.1 Colección de cladodios	19

3.3.2 Preparación y secado de cladodios	20
3.4 Análisis bromatológicos en la harina de nopal	20
3.4.1 Materia seca total	20
3.4.2 Humedad de la harina	21
3.4.3 Cenizas totales.....	21
3.4.4 Nitrógeno total de la harina de nopal	22
3.4.5 Proteína	23
3.4.6 Grasa bruta	23
3.4.7 Fibra cruda	24
3.4.8 Materia orgánica de la harina de nopal	24
3.4.9 Carbohidratos totales	24
3.5 Minerales en la harina de nopal	25
3.5.1 Extracción de minerales	25
3.5.2 Determinación de minerales.....	26
3.6 Oxalatos de calcio.....	26
3.7 Actividad antioxidante en la harina de nopal.....	29
3.7.1 Extractos metanólicos	29
3.7.2 Método DPPH	30
3.7.3 Fenoles totales.....	31
3.8. Diseño experimental	31
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
4.1 Resultados de análisis de suelo	32
4.1.1 pH	32
4.1.2 Conductividad eléctrica	32
4.1.3 Clasificación de textura del suelo.....	33
4.1.4. Materia orgánica	34
4.1.5 Minerales esenciales en el suelo.....	34
4.1.6 Nitrogeno total.....	35
4.2 Análisis de agua para riego.....	36
4.2.1 pH y conductividad eléctrica	36
4.2.2 Concentracion de calcio, calcio + magnesio, carbonatos, bicarbonatos y	

cloruros	37
4.3 Caracterización de la harina de nopal	38
4.3.1 Análisis bromatológicos	38
4.3.2 Minerales en la harina de nopal	45
4.3.3 Concentración de oxalatos de calcio.....	56
4.3.4 Capacidad antioxidante	60
5 CONCLUSIONES.....	66
6 RECOMENDACIONES	68
7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
Cuadro 1. Análisis de pH para cada suelo respecto a su cultivar.....	32
Cuadro 2. Conductividad eléctrica del suelo por cultivar.....	33
Cuadro 3. Porcentaje de materia orgánica del suelo.....	34
Cuadro 4. Concentración de Fósforo y Potasio en tres suelos (mg/kg).....	35
Cuadro 5. Porcentaje de nitrógeno del suelo.. ..	36
Cuadro 6. pH y conductividad eléctrica de análisis de agua para riego . ..	36
Cuadro 7. Concentración de calcio, calcio + magnesio, carbonatos, bicarbonatos y cloruros en las áreas de estudio.. ..	37
Cuadro 8. Comparación de medias en análisis bromatológicos de la harina de nopal de cultivares dentro de cada rango	40
Cuadro 9. Comparación de medias de análisis bromatológicos de la harina de nopal rangos de peso dentro de cada cultivar.	41
Cuadro 10. Comparación de medias en minerales de la harina de nopal por cultivar y rango de peso.	47
Cuadro 11. Comparación de medias de minerales de la harina de nopal rangos de peso dentro de cada cultivar.....	48
Cuadro 12. Comparación de medias generales de oxalatos de calcio de nopal entre cultivares.	58
Cuadro 13. Comparación de medias generales de oxalatos de calcio de nopal entre rangos de peso... ..	58
Cuadro 14. Porcentaje de inhibición en la harina de nopal por cultivar y rango de peso en función del estado de maduración.....	61
Cuadro 15. Comparación de medias de fenoles totales por cultivares y rangos de peso.. ..	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1. Campo de producción de cladodios en el predio de Vertia..	12
Figura 2. Muestras de nopal cultivar Villanueva ..	12
Figura 3. Colecta de muestra del suelo.....	13
Figura 4. Muestra en Tamiz 2 mm (Malla # 10).....	13
Figura 5. Análisis de pH de cada suelo establecido para los cultivares..	14
Figura 6. Conductividad eléctrica del extracto de saturación y su lectura	15
Figura 7. Suspensión acuosa de suelo fino para determinación de textura..	15
Figura 8. Determinación de nitrógeno en suelo por el método Micro-Kjeldahl..	17
Figura 9. Colecta de cladodios en el predio Vertia..	19
Figura 10. Cultivo de Oreja de Elefante.....	19
Figura 11. (A) peso, (B) medición de largo, (C) medición ancho y (D) grosor de cladodios.....	19
Figura 12. Cladodios en estufa de secado 1600 HAFO SERIES a 65°C..	20
Figura 13. Molino eléctrico Multifuncional marca Grinder modelo 700.....	20
Figura 14. Proceso de digestión con Ácido sulfúrico concentrado... ..	22
Figura 15. Filtración de extractos para cuantificación de minerales.....	25
Figura 16. Lecturas de extractos en el espectrofotómetro de absorción atómica, así como la llama de aire oxidante con el gas acetileno.....	26
Figura 17. Diagrama de flujo de determinación de oxalatos de calcio.....	28
Figura 18. Corte de láminas de cada nopal de la parte superior, media y basal.....	29
Figura 19. (A) Preparación de extractos con alcohol metílico y (B) Precipitado y sobrenadante del extracto.....	30
Figura 20. (A) Preparación de muestras con DPPH y (B) Lectura de muestras en el espectrofotómetro.....	30
Figura 21. (A) Preparación de curva con ácido gálico en diferentes concentraciones y (B) Aplicación de Folin Ciocalteu a las muestras....	31
Figura 22. Clasificación de suelo. Oreja de Elefante (Arcilla), Jalpa (Franco arcilloso) y Villanueva (Franco arcilloso).....	33

Figura 23. Concentración de proteína en comparación de medias de cultivares y rangos de peso.	43
Figura 24. Concentración de fibra cruda en comparación de medias de cultivares y rangos de peso... ..	44
Figura 25. Concentración de calcio en diferentes cultivares para cada rango de peso.	50
Figura 26. Concentración de fósforo en diferentes cultivares para cada rango de peso.	51
Figura 27. Minerales totales (g/kg) de cada cultivar dentro de cada rango de peso.....	54
Figura 28. Minerales totales (g/kg) de cada rango de peso y cultivar.. ..	56
Figura 29. (A) Imagen de oxalatos sin el software ImageJ y (B) Imagen de oxalatos con el software ImageJ.	56
Figura 30. Características de los cristales de oxalatos de acuerdo con su ubicación: (A) superior, (B) media y (C) basal del cultivar Jalpa.....	56
Figura 31. (A) Cristal de oxalato parte basal y (B) Cristales de oxalato parte superior del cladodio en objetivo 10 X.....	57
Figura 32. Oxalatos de calcio totales de acuerdo con cada sección; superior, media y basal.....	60
Figura 33. Porcentaje de inhibición de la comparación de medias de los cultivares y cada rango.....	62
Figura 34. Concentración de Fenoles totales presentes en los cultivares en cada rango de peso.....	64

RESUMEN

El consumo promedio de nopal por persona en México se sitúa en 6.3 kilogramos al año, gracias a sus valiosas propiedades nutraceuticas y sus beneficios medicinales. En la actualidad, el nopal se utiliza en una amplia gama de aplicaciones, y la industria alimentaria ha desarrollado harinas a base de nopal como sustitutos en diversos productos. En esta investigación, se llevó a cabo una evaluación nutraceutica de la harina de nopal utilizando tres cultivares: Jalpa, Villanueva y Oreja de Elefante. Durante el estudio se clasificaron los cladodios en cuatro rangos de peso fresco: No.1 (<150 g), No.2 (150-300 g), No.3 (300-600 g) y No.4 (más de 600 gramos). Los resultados se sometieron a un análisis estadístico de varianza (ANOVA) y se realizaron comparaciones de medias utilizando el método de Tukey.

La composición nutricional mostró variaciones dependiendo del cultivar de nopal y su estado de maduración, que está relacionada con el peso de los cladodios. En general, se observó que a medida que aumenta el peso y el grado de maduración, la concentración de fibra también aumenta. En cuanto a los minerales, los cultivares Jalpa y Villanueva presentaron perfiles más similares entre sí, mientras que Oreja de Elefante se comportó de manera diferente en la mayoría de las pruebas. El calcio se encontró una mayor concentración en los nopales más maduros y pesados. Respecto a los oxalatos de calcio, se observó una relación inversa con el grado de madurez en todos los cultivares, con una mayor densidad de cristales en la parte superior y cristales más grandes y menos densos en la parte basal. En cuanto a los antioxidantes, se encontró que su concentración es más alta en el nopal joven, considerado como nopal tierno, sin embargo, factores externos como el estrés hídrico pueden aumentar la cantidad de antioxidantes en el nopal.

Palabras clave: Oxalatos de calcio, minerales, antioxidantes, fibra dietaria, nutrimental.

ABSTRACT

The average consumption of tender prickly pear per person in México is 6.3 kilograms per year, thanks to its valuable nutraceutical properties and medicinal benefits. Currently, the prickly pear is used in a wide range of applications, and the food industry has developed prickly pear -based flours as substitutes in various products. In this research, a nutraceutical evaluation of prickly pear flour was conducted using three varieties: Jalpa, Villanueva and Oreja de Elefante. During the study, tender prickly pear was classified into four fresh weight ranges: No.1 (<150 g), No.2 (150-300 g), No.3 (300-600 g) and No.4 (more than 600 grams). Results were subjected to statistical analysis of variance (ANOVA) and comparisons of means were made using Tukey's method.

The nutritional composition showed variations depending on the variety of prickly pear and its state of maturation, which is related to the weight of the cladodes. In general, it was observed that as the weight and degree of maturation increased, the fiber concentration also increased. Regarding minerals, the Jalpa and Villanueva cultivars presented profiles that were more like each other, while Oreja de Elefante behaved differently in most of the tests. A higher concentration of calcium was found in the more mature and heavier nopalitos. Regarding calcium oxalates, an inverse relationship with the degree of maturity was observed in all varieties, with a greater density of crystals in the upper part and larger and less dense crystals in the basal part. Regarding antioxidants, it was found that their concentration is higher in young prickly pear, considered a tender prickly pear. In addition, external factors such as water stress can increase the amount of antioxidants in the prickly pear.

Keywords: calcium oxalates, calcium, antioxidants, dietary fiber, nutraceutical.

1. INTRODUCCIÓN

El *Opuntia spp.* en México es encontrado en una gran variedad de especies, donde su distribución depende de la fisiográfica, ecológica y manejo para alcanzar un alto grado de producción. Los requerimientos climáticos para la producción del nopal oscilan entre los 16°C a 28 °C; con precipitación media anual entre 150 a 1800 mm, y altitud entre los 800 a 1800 msnm, sin embargo, la producción de nopal se presenta principalmente en zonas áridas y semiáridas de México.

El género *Opuntia ficus-indica* es importante, debido al consumo humano en forma de nopalitos y tunas, para el consumo animal y para la obtención de grana cochinilla. En México se aprovechan entre 60 y 90 especies de nopal de las 220 especies que existen. Los estados con mayor producción de nopal en México son el Estado de México, Zacatecas, Puebla, Michoacán, Jalisco, Sinaloa, Chihuahua y Tamaulipas. El consumo de per cápita de nopal es de 6.3 kg por año de nopalito fresco en la alimentación diaria del ser humano. Los cladodios tienen un alto valor nutrimental, calcio, antioxidantes y fibra dietaría, siendo parte de la alimentación en los seres humanos, además el nopal es importante por su composición nutraceutica, ya que disminuye enfermedades de desgaste en los huesos como osteoporosis, debido al contenido de calcio, mientras que el nopal tierno o nopalito tiene altos niveles de oxalatos de calcio, los cuales limitan la absorción del calcio biodisponible, pero gracias a las bacterias pertenecientes al género *oxalobacter formigenes*, que se encuentran en el tracto gastrointestinal funciona como enzima y degrada una gran proporción de los oxalatos.

La transformación del nopalito de fresco a seco se utiliza para la elaboración de polvo o harinas principalmente utilizado en la industria alimentaria, que permite crear productos como panes, tortillas, galletas, jugos, confitería y bebidas alcohólicas por sus características nutrimentales como vitaminas, fibra dietaría, calcio y antioxidantes. El objetivo de esta investigación es caracterizar la harina de nopal con base a su contenido de calcio, oxalatos de calcio, minerales, capacidad antioxidante y concentración de fibra en cuatro estados de maduración del nopalito en tres cultivares.

1.1 Hipótesis y Objetivos

1.1.1 Hipótesis General

La harina de nopal exhibe un perfil nutraceútico, caracterizado por un contenido significativo de calcio, oxalatos de calcio, minerales y propiedades antioxidantes, donde esta composición es susceptible de experimentar variaciones influenciadas por la edad del nopal y sus genotipos. Por lo tanto, las modificaciones en estos factores inciden en el valor nutraceútico de la harina de nopal.

1.1.2 Hipótesis Específicas

A) El perfil nutricional de la harina de nopal depende de la edad y su estado de maduración.

B) La composición química y nutricional de la harina de nopal experimenta variaciones de acuerdo con el genotipo utilizado.

1.1.3 Objetivo General

Caracterizar la harina de nopal de acuerdo con el valor nutraceútico en diferentes etapas de desarrollo en función de su edad y peso.

1.1.4 Objetivos Específicos

A) Determinar los componentes bromatológicos en la harina de nopal de acuerdo con su rango de peso y estado de maduración.

B) Caracterizar diferentes cultivares de nopal, como Villanueva, Jalpa y Oreja de Elefante a partir de la harina de nopal.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia de la Producción del Nopal en México

El nopal (*Opuntia ficus Indica* L. Miller) es una planta nativa de México con una gran diversidad de especies. La variedad de nopal que se produce en México depende de factores geográficos, fisiográficos, ecológicos y ambientales (Fernández *et al.*, 2017). Las especies de nopal más utilizadas en México son del género *Opuntia*, principalmente para el aprovechamiento de nopalito verdura y el forraje. De las 220 especies de nopal que se conocen en México, entre 60 y 90 son las más utilizadas (Sandoval *et al.*, 2019).

Los estados con mayor producción de nopal en México son Estado de México, Zacatecas, Puebla, Michoacán, Jalisco, Sinaloa, Chihuahua y Tamaulipas. Aun cuando Nuevo León no se encuentra en este grupo de mayores productores existen regiones del estado que producen en un mercado de autoconsumo con una cantidad de 65,595.90 toneladas por año (SIAP, 2021).

2.1.1 Antecedentes de producción de nopal forrajero

El nopal forrajero se concentra en zonas áridas de México, su utilización se traduce en la obtención de alimento para humanos y animales, este último en la alimentación de ganado bovino, caprino, ovino y equino (Flores *et al.*, 2017). El nopal forrajero se caracteriza por tener un sabor dulce y ser resistente a algunas plagas, esto debido a los metabólicos secundarios que producen bajo condiciones climáticas adversas. Para lograr una mayor producción, es necesario contar con un suelo rico en nutrientes orgánicos y minerales. A lo largo de los años, *Opuntia* ha sido reconocida como la principal fuente de nopal forrajero en México (Bacarrillo *et al.*, 2021).

Los cultivares reconocidas como forrajeras incluyen *Opuntia rastrera*, *Opuntia cantabrigenses*, *Opuntia lindheimeri*, *Opuntia robusta* y *Opuntia ficus-indica* (Flores y Reveles, 2010).

2.1.2 Antecedentes de nopal verdura

En las últimas décadas, el mercado se ha incrementado, ocasionando el aumento en la producción y consumo de nopalitas, también conocidos como nopal tierno. Este crecimiento es atribuido a la facilidad de adaptarse a condiciones climáticas diversas, incluyendo zonas áridas y semiáridas, bajo consumo de agua y costos reducidos asociados al cultivo Cruz y Chavarría, (2022), siendo más eficiente porque es una planta C4 y CAM que permite mejor utilización de los recursos hídricos y CO2 en comparación con otros cultivos (INTAGRI, 2018).

Según información vertida por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) del año 2021, los estados de México con la mayor producción de nopal verdura son Estado de México, Zacatecas, Puebla, Michoacán, Jalisco, Sinaloa, Chihuahua y Tamaulipas. Con registro del consumo per cápita de nopal verdura de 6.3 kg por año en la dieta cotidiana, según el Panorama Agroalimentario (SIAP, 2022).

2.1.3 Antecedentes de nopal tunero

El nopal tunero es bien conocido como tuna, perteneciente a la familia de las cactáceas, produce frutos de alto valor nutricional destinados al consumo humano. Las tunas son frutos de forma ovalada con una cáscara gruesa, en su interior contienen semillas de color negro, además, presentan variedades de colores externos que van desde blanco, amarillo y rojo, con la característica de tener espinas, ser semiespinosas o carecer de espinas dependiendo de la variedad.

Torres *et al.* (2015) reportaron la composición química de la tuna con altos contenidos de Vitamina C, por otra parte, también reporta que la mayoría las variedades de tunas poseen concentraciones elevadas de calcio y magnesio, mientras que la tuna roja se destaca por su alto contenido de antioxidantes. Las tunas se emplean para el consumo fresco o para la elaboración de mermeladas, jaleas, harinas e incluso yogures (Lazcano *et al.*, 2023).

El nopal tunero prospera en regiones áridas y semiáridas, comunes en México, por lo que el país se distingue como el principal productor global de estos frutos. Entre los estados destacados en la producción de tunas se encuentran el Estado de México, Zacatecas, Puebla e Hidalgo, seguidos por San Luis Potosí y Guanajuato (Granillo *et al.*, 2019). En particular, el Estado de México contribuye con el 45.2% de la producción nacional de tunas, mientras que Zacatecas contribuye con el 23.3%, Puebla con el 11.5% e Hidalgo con el 8.1% (Aguilar *et al.*, 2018).

2.2. Factores climáticos que afectan la producción de nopal

La producción de nopal en regiones de México se caracteriza por ser áridas y semiáridas. Las plantas han desarrollado adaptaciones anatómicas, morfológicas y fisiológicas para sobrevivir en estas condiciones. No obstante, las condiciones climáticas, tanto extremadamente frías como extremadamente cálidas, pueden tener un impacto negativo en la calidad y eficiencia del cultivo y sus productos (Medina *et al.*, 2021).

Ríos y Quintana (2004) reportan que, en términos de las condiciones climáticas ideales para el desarrollo del nopal, se mencionan que requiere una temperatura promedio anual entre 16 y 28 °C, junto con una precipitación pluvial media anual entre 150 a 1800 mm y una altitud que oscile entre los 800 y 1800 msnm. Sin embargo, es importante destacar que el nopal puede crecer en condiciones adversas, fuera de los rangos mencionado.

2.2.1 Tipo de suelo, materia orgánica y fertilidad de suelo

El tipo de suelo donde se desarrolla el cultivo de nopal debe de tener buena fertilidad, rico en materia orgánica, buena permeabilidad y que permita un adecuado acceso del agua para el riego.

Para mejorar la calidad del suelo, es posible utilizar materia orgánica, como estiércol seco de animales como bovinos, ovinos, caprinos, equinos, entre otros. Aplicando una capa de aproximadamente 5 cm de este material, que puede lograr un aumento en el rendimiento por hectárea, mejorar la fertilidad del suelo, reducir la presencia de malezas y favorecer el crecimiento de cladodios jóvenes y tiernos (Niven, 2022).

2.3 Usos medicinales del nopal

Los nopalitos son un alimento muy común en la dieta humana, por ser una fuente nutricional rica en calcio, antioxidantes y fibra dietética. Debido a su composición, pueden contribuir a la prevención de enfermedades como la osteoporosis Loubet, (2008) al proporcionar calcio de fácil absorción al cuerpo, especialmente en estado de cladodios maduros. Sin embargo, en caso de cladodios tiernos o nopalitos, estos contienen niveles elevados de oxalatos de calcio, los cuales pueden limitar la absorción del calcio biodisponible (Zúñiga, 2020).

La presencia de bacterias del género *Oxalobacter formigenes* que se desarrollan en el tracto gastrointestinal desempeñan un papel crucial al actuar como enzima y bacteria capaces de degradar cantidades significativas de oxalatos de calcio (Vázquez *et al.*, 2015). Estas bacterias funcionan en conjunto con la enzima endógena oxalato oxidasa en conjunto con bacterias presentes en el tracto gastrointestinal, principalmente del género *Oxalobacter formigenes*, para degradar los oxalatos en el cuerpo.

El consumo de cladodios puede ser particularmente beneficio para las personas diabéticas, al observar que ayudan a reducir los niveles de glucosa en sangre, actuando como agentes hipoglucemiantes (Fabela *et al.*, 2015).

2.4 Uso de nopal y grana cochinilla en la industria textil

El nopal tiene aplicaciones en la industria textil, donde se utiliza para la aplicación de colorantes orgánicos obtenidos de la grana cochinilla, un insecto que se manifiesta como plaga en los cladodios donde se aloja para alimentarse de la savia hasta el deceso (Arroyo *et al.*, 2020). La grana cochinilla, principalmente la hembra, produce una secreción algodonosa o en forma de polvo que se presenta en forma de cera, laca o seda como una medida de defensa. Esta secreción contiene ácido carmínico, sustancia que se utiliza como colorante orgánico.

En el siglo XVI, el ácido carmínico fue uno de los productos más exportados desde la Nueva España, después del oro y la plata, y se utilizó ampliamente en la industria textil. Sin embargo, en el siglo XX, la llegada de colorantes sintéticos redujo la demanda de colorantes orgánicos derivados de la grana cochinilla. En años recientes, el ácido carmínico ha recuperado su valor como colorante orgánico debido a su naturaleza no tóxica y no carcinogénica en comparación con los colorantes sintéticos, algunos de los cuales están prohibidos por sus efectos adversos para la salud. Esto ha llevado a un renacimiento del ácido carmínico como un colorante apreciado en la industria textil, así como en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética (Salazar *et al.*, 2023; Martínez y Arroyo, 2012).

En la actualidad, la aplicación del nopal en la industria textil ha evolucionado hacia opciones menos diversas. No obstante, han surgido nuevas formas de utilizar el nopal en la fabricación de productos como bolsos, chalecos, billeteras. Más aun, emprendedores mexicanos se ha inspirado en la idea innovadora de crear pieles a partir del nopal, como se menciona en un artículo de modistas (Pedrazas, 2020).

2.5 Uso en la industria alimentaria

En la industria de alimentos, el nopal desempeña un papel versátil, desde su inclusión en la dieta diaria hasta su transformación en productos alimentarios

procesados. En la actualidad, numerosos productos sustituyen a otros alimentos debido a su valor nutracéutico. El nopal se utiliza principalmente en la elaboración de una amplia gama de productos, que incluyen: jugos, licores, bebidas naturales y fermentadas, mermeladas, galletas, cereales, snacks, dulces, panes, tortillas y harinas de nopal con usos medicinales (Torres *et al.*, 2015).

En la industria alimentaria, se ha promovido productos innovadores que aportan un valor adicional a ingredientes como el nopal, el mucílago, la tuna o los pigmentos obtenidos del ácido carmínico de la grana cochinilla (Enríquez y Román, 2023). Las empresas alimentarias han aprovechado al máximo diversas especies de *Opuntia*, que incluyen principalmente en fibra, la capacidad de retención de agua gracias al mucílago, la presencia de minerales, especialmente el calcio y compuestos antioxidantes (Solís *et al.*, 2021). Estas características nutracéuticas han generado un gran interés en el mercado de países europeos y asiáticos, así como en Estados Unidos y Canadá, tanto en la forma fresca como en productos procesados (Maki *et al.*, 2015).

La utilización de harina de nopal en la producción de alimentos en la industria alimentaria ofrece una ventaja significativa en comparación con la harina de trigo. Esto debido su destacado valor nutricional, que incluye una notable cantidad de minerales como calcio, potasio y magnesio, además de vitamina C. La harina de nopal también se destaca por sus propiedades antioxidantes y su alto contenido de fibra (Valdez *et al.*, 2008).

2.6 Usos y comercialización de harina de nopal

El proceso de transformación del nopalito desde su estado fresco a seco se utiliza en la fabricación de polvo o harina (Torres *et al.*, 2015). Para obtener harina de nopal, los nopales son sometidos a un proceso de secado en un horno o estufa para eliminar toda la humedad. Después, son triturados o molidos en una máquina especializada, comúnmente llamada pulverizadora, con el propósito de producir harina. Estos productos se enriquecen con las propiedades nutricionales del nopal, que comprenden vitaminas,

fibra dietética, calcio y antioxidantes (González *et al.*, 2016).

En la actualidad, se observa un crecimiento en la utilización de harina de nopal como sustituto de la harina de trigo en algunos productos de la industria alimentaria. Este cambio se debe a la creciente conciencia de que ciertas personas son alérgicas al gluten.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se estructuró en dos etapas. En la primera etapa (Etapa 1), se llevaron a cabo los análisis del suelo de las localidades donde se colectaron los cladodios para producir la harina. En la segunda etapa (Etapa 2), se procedió a realizar los análisis químicos y nutricionales de la harina de nopal obtenida de diversos cultivares de *Opuntia* en diferentes estados de maduración, teniendo en cuenta su peso correspondiente.

Etapa 1: Análisis de suelo

El campo de la producción de nopales para los cultivares Jalpa y Villanueva (Figura 2) se encuentra ubicado en el predio de la empresa Vertia (Figura 1), ubicada en la Carretera, Zuazua-Marín km 3, en General Zuazua, Nuevo León, con coordenadas geográficas 25°88'N, -100°08'O. Mientras que la localidad en donde se obtuvieron las muestras del cultivar Oreja de Elefante se localiza en el campus Marín de la Facultad de Agronomía con una altitud de 375 msnm, ubicado en las coordenadas geográficas 25° 53'N y 100° 3'O.



Figura 1. Campo de producción de cladodios en el predio de Vertia.



Figura 2. Muestras de nopal cultivar Villanueva.

Las muestras de suelo fueron colectadas a una profundidad entre 0 - 30 cm en las localidades en donde se tomaron los cladodios para obtener la harina de nopal. En el contexto de esta investigación, se busca obtener datos sobre los contenidos de macro y micronutrientes, materia orgánica, estructura, textura, así como el nivel de acidez o

alcalinidad del suelo y la presencia de salinidad. Todo esto se realiza con el objetivo de evaluar si las condiciones del suelo eran adecuadas para obtener cladodios de buena calidad para posteriormente obtener la harina (Pérez, 2013). Estos estudios de suelo se llevaron a cabo en el laboratorio de suelos, aguas y tejido vegetal de la Facultad de Agronomía Campus Marín.

El proceso inicial implicó la recolección de muestras de suelo, las cuales se trasladaron al laboratorio para su análisis. Esto implicó la toma de una muestra compuesta de 0.5 kg de suelo procedente de varias ubicaciones, hasta alcanzar la cantidad necesaria, como se ilustra en la Figura 3.

Las muestras de suelo se secaron a la temperatura del ambiente por tres días. El secado se complementó con un proceso de secado en la estufa con temperatura de 50°C. Posteriormente, se cribó utilizando un tamiz con una abertura de 2.00 mm (correspondiente a la Malla #10), como se ilustra en la Figura 4. Esto tiene como finalidad reducir el tamaño de las partículas del suelo (McKean, 1993)



Figura 3. Colecta de muestra del suelo.



Figura 4. Muestra en Tamiz 2 mm (Malla # 10).

3.1 pH del suelo

La medición del pH del suelo se llevó a cabo antes de decidir qué cultivo cultivar. El pH del suelo se refiere a la concentración de iones de hidrógeno y se clasifica como ácido o alcalino en una escala que varía de 0 a 14 (Cremona y Enríquez, 2020).

La condición del suelo se determina según su pH, considerándose como suelos ácidos aquellos con un pH por debajo de 6, mientras que los suelos con valores de pH superiores a 8 se catalogan como alcalinos. Los suelos con un pH de 7 se consideran neutros (Rivera y Domínguez, 2018). El análisis del pH se realizó utilizando un potenciómetro Thermo SCIENTIFIC-ORION 4 STAR pH – ISE Benchtop, como se muestra en la Figura 5.

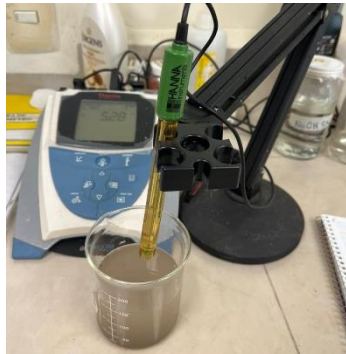


Figura 5. Análisis de pH de cada suelo establecido para los cultivares.

3.1.2 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica se refiere a la presencia de salinidad en el suelo y su capacidad para conducir corriente eléctrica. Esta propiedad se mide en el Sistema Internacional de Unidades y se expresa en siemens por metro (S/m) (Martínez *et al.*, 2022).

La conductividad eléctrica fue obtenida mediante el uso de un conductímetro de bolsillo de la marca HANNA, modelo HI98130, tal como se muestra en la Figura 6. Este método se basa en el principio del puente de Wheatstone y utiliza un extracto saturado (Sarabia *et al.*, 2011).



Figura 6. Conductividad eléctrica del extracto de saturación y su lectura.

3.1.3 Determinación de textura

La evaluación de la Distribución de Tamaño de partículas (textura) del suelo se llevó a cabo utilizando el método del hidrómetro de BOUYOCOS, que se basa en la determinación de las cantidades de arena, limo y arcilla presentes en el suelo (Rojas y Herrera, 2016). Este procedimiento se ejecutó como se ilustra en la Figura 7.



Figura 7. Suspensión acuosa de suelo fino para determinación de textura.

3.1.4 Materia orgánica

La materia orgánica en el suelo representa la acumulación proveniente de desechos de plantas y animales, y su cuantificación es de gran importancia. La presencia de materia orgánica en el suelo influye significativamente en su calidad, afectando positivamente aspectos como la capacidad de drenaje, el pH, la conductividad eléctrica y la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).

La determinación de la materia orgánica se llevó a cabo mediante el método de Walkley y Black, que implica el uso de una solución de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) estandarizada en combinación con una dilución de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado (García y Ballesteros, 2005).

3.1.5 Determinación de minerales.

Los minerales representan el componente inorgánico del suelo, y se dividen en dos categorías: los elementos considerados macros, que son esenciales para el cultivo, y los microelementos, que se presentan en concentraciones menores, pero desempeñan un papel importante en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Estos elementos desempeñan un papel esencial en los procesos metabólicos de las plantas y están directamente relacionados con la obtención de rendimientos óptimos en el cultivo, lo que a su vez asegura la calidad del producto final (Valdez *et al.*, 2019).

Los elementos que se analizaron en este estudio incluyen el potasio (K) y el fósforo (P). El P se determinó con el método de Olsen Modificado, como se describe en la investigación (Vázquez *et al.*, 2004). El K se analizó con el método de absorción atómica (Pérez y Esquivel, 2018).

3.1.6 Determinación de nitrógeno

El nitrógeno es un elemento presente en la materia orgánica y en la solución del suelo y desempeña un papel fundamental en el crecimiento y desarrollo de las plantas. En el suelo, el nitrógeno se presenta en la materia orgánica o en forma iónica como nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+). La concentración total de nitrógeno en el suelo generalmente no supera el 5% (Córdoba *et al.*, 2020).

La determinación de la cantidad de nitrógeno presente en el suelo se llevó a cabo utilizando el método de Micro-Kjeldahl (López *et al.*, 2002) (Figura 8).



Figura 8. Determinación de nitrógeno en suelo por el método Micro-Kjeldahl.

3.2 Análisis de agua para riego

La evaluación del agua utilizada para el riego es un paso fundamental en el proceso de establecimiento de un cultivo, dado que el agua desempeña un papel crucial en la absorción y transporte de nutrientes penetran a través de las raíces de las plantas ubicados en los pelos absorbentes estableciendo una interacción crucial entre el agua y el suelo (Castellón *et al.*, 2015). El problema principal asociado al agua de riego es la alta salinidad, lo cual puede resultar en pérdidas económicas significativas debido a la mala calidad del producto final (Gallart, 2017).

Para el análisis del agua destinada al riego, se recolectó una muestra de 1 litro en un recipiente de vidrio esterilizado, garantizando de esta manera la ausencia de contaminación. Posteriormente, esta muestra fue transportada al laboratorio de Suelos, Aguas y Tejido Vegetal de la Facultad de Agronomía en el Campus Marín para su evaluación. En el marco de los análisis de agua se determinó el pH utilizando un medidor de mesa PH140, así como la evaluación de la conductividad eléctrica mediante un conductímetro de bolsillo de la marca HANNA, modelo HI98130. Además, se realizaron

análisis para determinar la concentración de calcio y magnesio, carbonatos, bicarbonatos y cloruros (Bazán, 2017).

La recolección de muestras para llevar a cabo los análisis relacionados con el agua de riego se llevó a cabo en dos ubicaciones diferentes. En el caso de los campos de cultivo de nopales de los cultivares de Villanueva y Jalpa, las muestras se obtuvieron del predio de Vertia. En cuanto al cultivo de Oreja de Elefante, se utilizó agua de riego proveniente de la Facultad de Agronomía en el Campus Marín.

Etapas 2: Caracterización de harina de nopal

En esta etapa del estudio, se llevó a cabo la producción de harina de nopal, comenzando con la selección y recolección de los cladodios, seguida de un proceso de secado. Posteriormente, se procedió a realizar la caracterización de la harina de nopal, que incluyó la realización de análisis bromatológicos, la determinación de minerales, la medición de oxalatos de calcio y la evaluación de antioxidantes.

3.3 Análisis bromatológicos y de minerales

Los análisis bromatológicos y minerales de la investigación se llevaron a cabo en dos ubicaciones distintas. En primer lugar, se realizaron en las instalaciones de la Facultad de Agronomía en el Campus Escobedo, que se encuentra ubicada en las coordenadas 25°47'3"N, 100°17'8"W. Estos análisis se llevaron a cabo en los laboratorios de Química y Bioquímica, Remediación Ambiental y Análisis de Suelos, Aguas y Plantas. Por otro lado, los análisis relacionados con oxalatos de calcio y antioxidantes se llevaron a cabo en el laboratorio de Biotecnología Microbiana, que se encuentra adyacente a las instalaciones de las plantas piloto del Centro de Investigación y Desarrollo en Alimentos (CIDIA) de la Facultad de Agronomía en el Campus Escobedo.

En cuanto a la recolección de las muestras de los cultivares Villanueva y Jalpa, estas se obtuvieron del predio de Vertia, que está situado en el municipio de Zuazua,

como se muestra en la Figura 9. Por otro lado, las muestras del cultivar Oreja de Elefante, que se ilustran en la Figura 10, se recolectaron en el Campus Marín de la Facultad de Agronomía.



Figura 9. Colecta de cladodios en el predio de Vertia.



Figura 10. Cultivo de Oreja de Elefante.

3.3.1 Colección de cladodios

Los cladodios fueron cortados por cultivar de diferentes tamaños y/o edad de los materiales Villanueva, Jalpa y Oreja de Elefante en donde se obtuvo rangos de peso fresco No.1, <150 g, que es rango de nopalito comercial No.2, 150-300 g, No.3, 300-600 g, No.4, > 600 g. Los cladodios fueron pesados y medidos (largo, ancho y grosor) en una báscula marca ETEKCITY modelo EK8060, y las dimensiones con un vernier electrónico como se muestra en la Figura 11.



Figura 11. (A) peso, (B) medición de largo, (C) medición de ancho y (D) grosor de cladodios.

3.3.2 Preparación y secado de cladodios

Los cladodios se cortaron en tiras con un grosor que no excediera los 2 cm y se colocaron en una estufa de secado de la serie 1600 HAFO a una temperatura de 65°C durante una semana o hasta que alcanzaron un peso constante en su estado seco, tal como se muestra en la Figura 12. Posteriormente se procedió a pesar los cladodios para cada tratamiento y en función de sus rangos de tamaño (<150, 150-300, 300-600, > 600) se llevaron a cabo los procesos de molienda utilizando un molino eléctrico multifuncional de alta velocidad de trituración de la marca Grinder, modelo 700, con una capacidad máxima de 700 g, como se ilustra en la Figura 13. La molienda se realizó hasta obtener una finura de entre 50 y 300 micras, similar a la textura de la harina de almidón de maíz, dejando el material listo para su posterior análisis.



Figura 12. Cladodios en estufa de secado 1600 HAFO SERIES a 65°C.

Figura 13. Molino eléctrico Multifuncional marca Grinder modelo 700.

3.4 Análisis bromatológicos en la harina de nopal

Los análisis bromatológicos son procedimientos realizados con el objetivo de determinar la composición química y el valor nutricional de los alimentos.

3.4.1 Materia seca total

La materia seca total se refiere a la suma de todos los componentes presentes en

una muestra una vez que se ha eliminado o cuantificado la humedad disponible. Principalmente, se emplea en análisis bromatológicos.

$$\% \textit{Materia seca Total} = \frac{\textit{Peso del crisol con muestra seca} - \textit{Peso del crisol}}{\textit{Peso de la muestra humeda}} \times 100$$

3.4.2 Humedad de la harina

El contenido de humedad se refiere a la cantidad de agua presente en un alimento, y es un análisis esencial para expresar su composición en base seca o tal como se encuentra originalmente. La calidad del alimento puede verse afectada por un alto contenido de humedad. Para determinar el porcentaje de humedad, se utilizó un método de referencia que implica pesar un crisol vacío, pesar la muestra en su estado húmedo y pesar la muestra una vez seca, después de someterla a una temperatura de 105°C durante cuatro horas en una estufa. Posteriormente, se dejó enfriar en un desecador y se realizaron los cálculos mediante la diferencia de pesos (Loubet, 2008).

$$\% \textit{Humedad} = 100 - \textit{Materia seca total}$$

3.4.3 Cenizas totales

Las cenizas totales hacen referencia a la materia inorgánica o los residuos que permanecen después de someter una muestra a un proceso de calcinación, y estas representan los minerales presentes que no pueden oxidarse. La muestra se sometió a incineración en una mufla durante 4 horas a una temperatura de 550°C para eliminar la materia orgánica presente (Márquez, 2014). El cálculo del porcentaje de cenizas se realizó mediante la siguiente ecuación (Enríquez y Ojeda 2020).

$$\% \textit{Cenizas} = \frac{(\textit{Peso de Crisol con Cenizas}) - (\textit{Peso de Crisol solo})}{\textit{Gramo de muestra}} \times 100$$

3.4.4 Nitrógeno total de la harina de nopal

El análisis de nitrógeno total consiste en determinar la cantidad total de nitrógeno orgánico presente en una muestra, el cual incluye tanto amoníaco (NH_3) como amonio (NH_4^+) (Sardiñas y Pérez, 2004). Esta determinación se utiliza para cuantificar la proteína contenida en los alimentos, utilizando un factor de conversión. El método utilizado para la determinación de nitrógeno se basa en el proceso de micro Kjeldahl, (Lanza *et al.*, 2016). Este método consta de tres pasos: 1) digestión de la muestra con ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado, como se ilustra en la Figura 14, 2) destilación de la muestra con un catalizador, seguida de la adición de hidróxido de sodio (NaOH) al 40%, y 3) titulación de la solución resultante con ácido clorhídrico (HCl) al 0.01 N, registrando la cantidad de ácido consumido durante la titulación hasta que se produce un cambio de color de rojo a marrón. El resultado de este proceso proporciona la cantidad de nitrógeno total presente en la muestra.



Figura 14. Proceso de digestión con Ácido sulfúrico concentrado.

La determinación de nitrógeno total se cuantificó para todos los rangos de peso y cultivares utilizando la siguiente ecuación (Capcha *et al.*, 2020).

$$\% \text{ Nitrogeno Total} = \frac{(V \text{ ml HCl})(0.01 N)(\text{mequiv N } 0.00014)}{m} \times 100$$

V = Volumen ácido clorhídrico titulación

N = Normalidad de ácido clorhídrico

mequiv = Miliequivalente del Nitrógeno

m = peso de muestra (g)

3.4.5 Proteína

Las proteínas son cadenas de aminoácidos que se encuentran presentes en los alimentos y desempeñan un papel fundamental en el crecimiento y desarrollo de los tejidos en el organismo humano (Da Silva *et al.*, 2020). Para determinar el contenido de proteínas en las muestras, se utilizó el método de micro Kjeldahl para calcular el nitrógeno total, y este valor se multiplicó por el factor de conversión específico para proteínas vegetales, tal como se describe en el trabajo (Briones, 2011).

$$\% \text{ Proteína} = (\% \text{ Nitrogeno Total})(\text{Factor } 6.25)$$

3.4.6 Grasa bruta

La grasa bruta se refiere a la totalidad de la grasa presente en una muestra, la cual solo puede ser extraída utilizando solventes orgánicos, como el éter. El método más comúnmente empleado para determinar la cantidad de grasa bruta en los alimentos, siguiendo la Norma Oficial Mexicana NOM-086-SSA1-1994, consiste en el proceso de Soxhlet, el cual implica una extracción con éter de petróleo como solvente para recuperar las grasas.

$$\% \text{ Grasa} = \frac{\text{Peso de matraz con grasa} - \text{Peso de matraz solo}}{\text{Gramos de muestra}} \times 100$$

3.4.7 Fibra cruda

La fibra cruda es la fibra total en los alimentos compuesta principalmente por lignina, hemicelulosas y celulosa siendo la fibra insoluble (García *et al.*, 2008). La fibra cruda se determinó bajo el método de Maldonado y Morales, (2022) que indica la muestra seca y digerible con ácido sulfúrico e hidróxido de sodio seguido de una calcinación en la mufla.

$$\% \text{ Fibra Cruda} = \frac{\text{Peso del crisol estufa} - \text{Peso del crisol mufla}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

3.4.8 Materia orgánica en la harina de nopal

La materia orgánica se compone de elementos como carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O) y nitrógeno (N). Esta materia orgánica es lo que queda una vez que se ha eliminado la humedad o el agua de la muestra. Para determinar la cantidad de materia orgánica, se cuantificó la concentración de materia inorgánica, utilizando la materia seca total y calculando la diferencia.

$$\% \text{ Materia Orgánica} = \text{Materia seca total} - \% \text{ de Cenizas Totales}$$

3.4.9 Carbohidratos totales

Los carbohidratos son compuestos que se encuentran en los alimentos y que tienen la función de generar energía. Los tres tipos de carbohidratos más conocidos son: azúcar, almidón y fibra. Los carbohidratos totales y también conocido como Extracto Libre de Nitrógeno (ELN) presentes en la harina de nopal fueron calculados por la diferencia y suma de humedad, cenizas totales, proteínas, grasas y fibra cruda (Medina *et al.*, 2018).

$$ELN = 100 - (\% \text{ Humedad} + \% \text{ Cenizas Totales} + \% \text{ Proteínas} + \% \text{ Grasas} + \% \text{ Fibra Cruda})$$

3.5 Minerales en la harina de nopal

Los minerales son la materia inorgánica que se encuentra en los alimentos y se clasifica como minerales macros y micros. Los minerales macros son los elementos que están en mayor concentración como lo son (K, Ca, Mg,) y micros como (Fe, Mn, Cu y Zn). Los minerales tienen una buena aportación mediante los alimentos para un mejor funcionamiento del organismo (Santos *et al.*, 2018).

3.5.1 Extracción de minerales

Las muestras de harina de nopal fueron pesadas a 1 gramo para tres repeticiones por tratamiento tomando peso antes y después del secado en mufla. Posteriormente cada muestra se humedeció con agua destilada y ácido clorhídrico (HCl) colocando la muestra en una estufa hasta que el ácido clorhídrico (HCl) fue evaporado. En un embudo con un papel filtro Whatman # 1 de 110 mm de diámetro fue filtrado el extracto y se colocó en un recipiente con tapa de 30 ml como se muestra en la Figura 15.



Figura 15. Filtración de extractos para cuantificación de minerales.

3.5.2 Determinación de minerales

La determinación de Macroelemento Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y microminerales Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Cobre (Cu) y Zinc (Zn) se realizó por el método de absorción atómica utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica marca GBS, modelo Savant AA, A7254, utilizando una llama de aire oxidante Figura15 (Dávila, 2015) mismo equipo que se encuentra en el Laboratorio de Remedación Ambiental y Análisis de Suelos, Aguas y Plantas. En el caso de Fósforo (P) se determinó por el método de vanadato que forma amarillo de vanadimolibdofosfórico con una lectura de absorbancia en 330 nm (Terán, 2016).

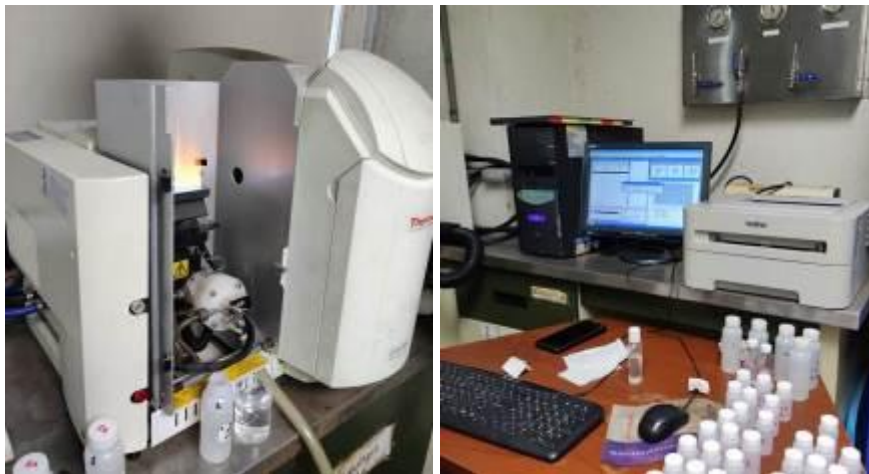


Figura 16. Lecturas de los extractos en el espectrofotómetro de absorción atómica, así como la llama de aire oxidante con el gas acetileno.

3.6 Oxalatos de calcio

Los oxalatos de calcio son cristales que se encuentran principalmente en las cactáceas, la cantidad varía en función de la especie, condiciones climáticas y manejo como estrés hídrico. Los oxalatos de calcio están presentes en el nopal, pero en mayor abundancia en nopales en estado de maduración joven de los cuales citando a Jauregui y Moreno (2004) hay dos tipos de oxalatos de calcio whewellita (oxalato de calcio monohidratado) o la weddellita (oxalato de calcio dihidratado) lo cual son diferentes en su forma.

La determinación de oxalatos de calcio se realizó bajo la metodología de Tovar *et al.* (2007) representado con un diagrama de flujo en la Figura 17 con algunas modificaciones, que consistieron en cortar de forma transversal laminas muy delgadas de nopal de 1 mm de la parte superior, media y basal como se muestra en la Figura 18, cada sección por triplicado para colocar las muestras primero en alcohol etílico al 70 % y enseguida con hidróxido de potasio (KOH) al 10 % para después colocar una muestra en un vidrio porta objeto y visualizarlo en el Microscopio VE-BC3 PLUS con cámara digital en objetivo 10 X, posteriormente hacer el conteo de oxalatos mediante el software procesador de imágenes ImageJ versión IJ1.46r.

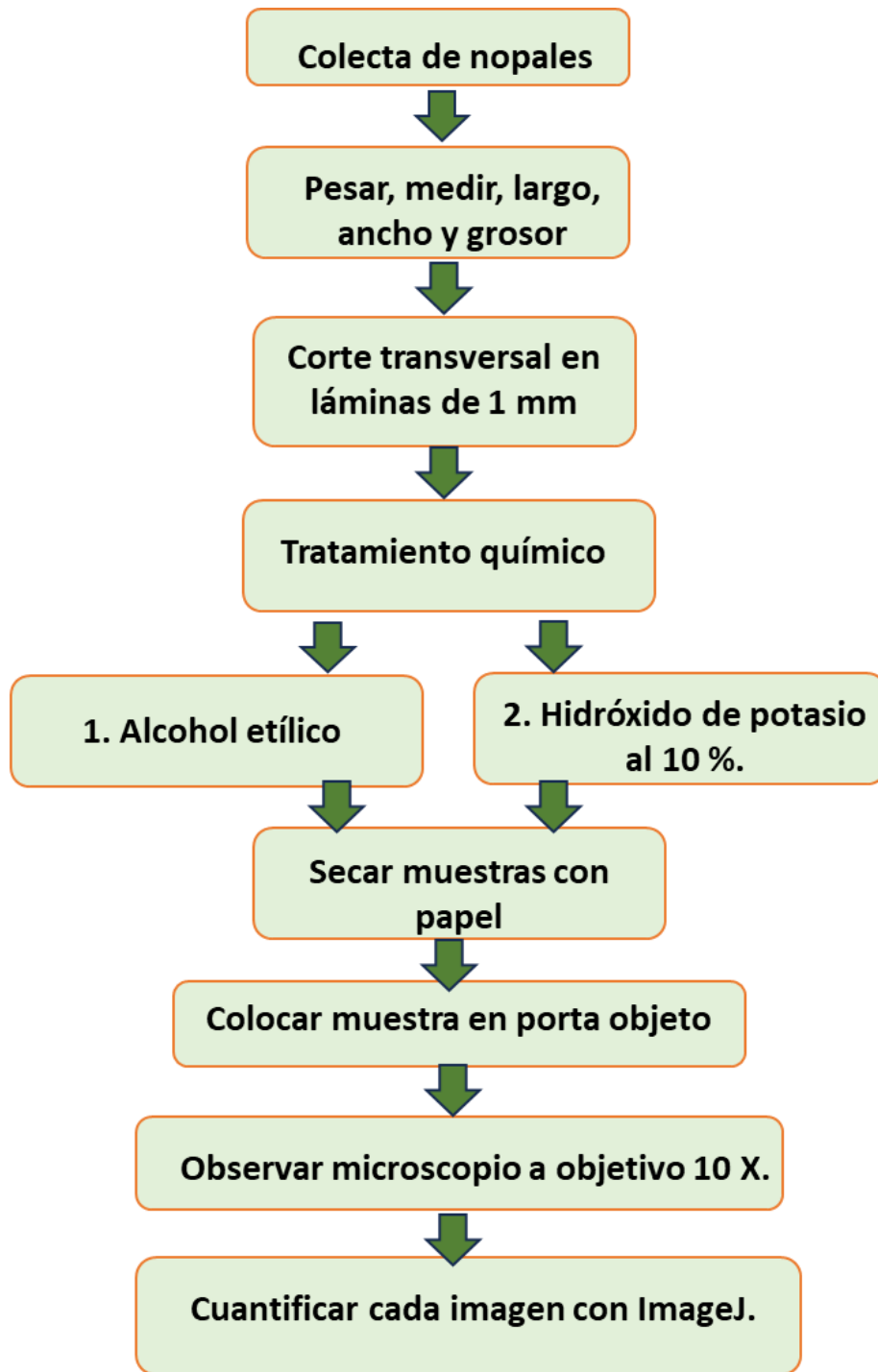


Figura 17. Diagrama de flujo de determinación de oxalatos de calcio.

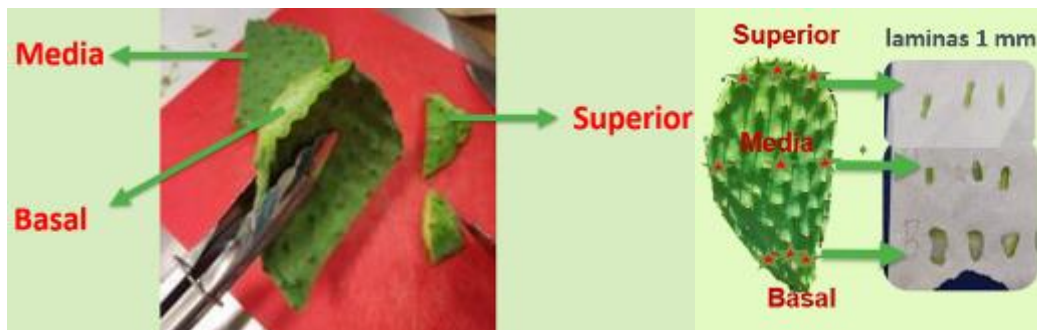


Figura 18. Corte de láminas de cada nopal de la parte superior, media y basal.

3.7 Actividad antioxidante

La actividad antioxidante se refiere a compuestos químicos que tienen grupos hidroxilos en forma de anillos bencénicos (Carbajal *et al.*, 2021). Estas sustancias presentes en los alimentos desempeñan un rol en la protección de las células del organismo contra el estrés oxidativo, que es un desequilibrio entre los radicales libres (moléculas inestables que pueden dañar las células). Los antioxidantes, al neutralizar o reducir el impacto perjudicial de los radicales libres, ayudan a prevenir el daño celular, el envejecimiento prematuro y el desarrollo de diversas enfermedades crónicas, como el cáncer, las enfermedades cardíacas y la arterosclerosis (Castromonte *et al.*, 2020; Mesa *et al.*, 2010). Estos compuestos antioxidantes pueden encontrarse en una variedad de fuentes, incluyendo frutas, verduras, nueces y otros alimentos.

3.7.1 Extractos metanólicos

Los extractos metanólicos utilizados para las determinaciones de antioxidantes presentes en la harina de nopal se realizaron consultando la metodología descrita por Moreno (2011). Las muestras fueron preparadas mezclando 5 g de harina de nopal con 50 ml de alcohol metílico al 80 % seguido de una agitación de 150 rpm constante por 3 horas, posteriormente se llevaron las muestras a una centrifuga durante 10 minutos a 3000 rpm y el sobrenadante se refrigeró a -20 °C, hasta el uso de las muestras para los siguientes análisis.

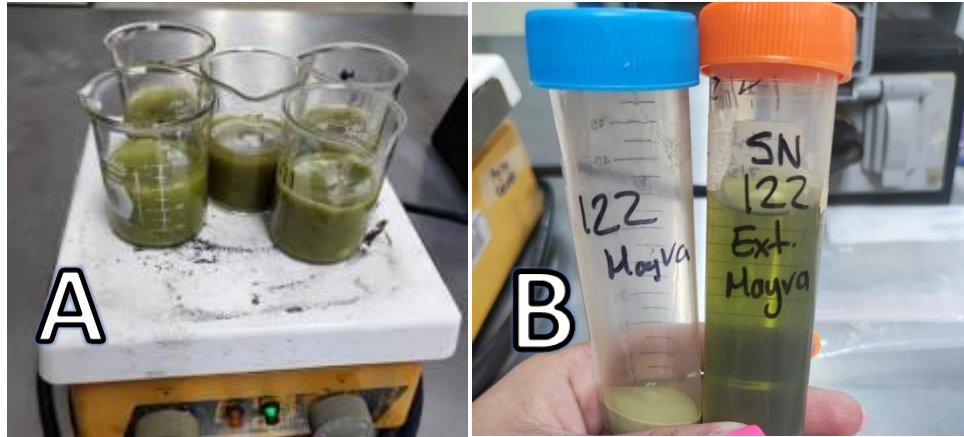


Figura 19. (A) Preparación de extractos con alcohol metílico y (B) Precipitado y sobrenadante del extracto.

3.7.2 Método DPPH

El análisis de antioxidantes se realizó por el método de DPPH (2,2-Difphenyl-1-picryl-hydrazyl) y se utilizó el reactivo Trolox (6-Hydroxy-2, 5, 7, 8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid, 97 %) consultado por Hernández *et al.* (2016) con algunas modificaciones. Para realizar la curva se tomaron 50 μ L de extracto más 1000 μ L de DPPH dejando reposar por 1 hora y después tomar la lectura de las muestras en el espectrofotómetro a una absorbancia de 520 nm (Figura 20). La capacidad antioxidante fue calculada con la ecuación % de inhibición para cada muestra por triplicado.

$$\% \text{ Inhibición} = \frac{(\text{Absorbancia de control} - \text{Absorbancia de muestra})}{\text{Absorbancia de control}} \times 100$$



Figura 20. (A) Preparación de muestras con DPPH y (B) Lectura de muestras en el espectrofotómetro.

3.7.3 Fenoles totales

Los fenoles totales presentes en los extractos de la harina de nopal se obtuvieron utilizando la metodología de Folin citado por Cardador *et al.* (2011) con algunas modificaciones que consisten en colocar 50 μL de extracto, más 125 μL de reactivo Folin Ciocalteu's phenol 2N y 625 μL de Carbonato de Sodio al 20 % (Na_2CO_3) dejando en la oscuridad para su reacción por dos horas. Para la curva se usó el reactivo ácido Gálico $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_5$ para leer la absorbancia de las muestras a 760 nm.



Figura 21. (A) Preparación de curva con ácido gálico en diferentes concentraciones y (B) Aplicación de Folin Ciocalteu a las muestras.

3.8 Diseño experimental

El diseño experimental que se utilizó en esta investigación fue completamente al azar, por lo que se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y comparaciones de medias con el método de Tukey. Los datos fueron analizados utilizando el programa estadístico SPSS y Diseños experimentales de la FA-UANL.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados de análisis de suelo

Las muestras de suelo se recolectaron en las localidades en donde se obtuvieron las muestras de los cladodios de los distintos cultivares evaluados, que incluyen Jalpa, Villanueva y Oreja de Elefante.

Etapa 1: Análisis del suelo

4.1.1 pH

El suelo en la ubicación del cultivar Oreja de Elefante registró un valor de pH de 7.80, mientras que en Villanueva fue de 7.75 y en Jalpa de 7.86, como se detalla en el Cuadro 1. Estos valores indican que el suelo analizado se considera ligeramente alcalino. En las tres localidades se obtuvieron pH's muy semejantes.

Cuadro 1. Análisis de pH para cada suelo respecto a su cultivar.

Cultivares	pH	Clasificación
Jalpa	7.86	Ligeramente alcalino
Villanueva	7.75	Ligeramente alcalino
Oreja Elefante	7.80	Ligeramente alcalino

4.1.2 Conductividad eléctrica

Los resultados de la conductividad eléctrica del suelo para cada localidad se resumen en el Cuadro 2. Los suelos asociados con cada cultivar mostraron los siguientes valores: el suelo del cultivar Oreja de Elefante registró 7.54 dS m⁻¹, lo que se considera moderadamente salino; el suelo del cultivar Villanueva presentó 3.34 dS m⁻¹, categorizado como ligeramente salino; y el suelo del cultivar Jalpa exhibió 5.85 dS m⁻¹, calificando como moderadamente salino. Esta información sugiere que los rendimientos

El suelo en la localidad donde se cultivó la Oreja de Elefante se clasifica como arcilla y al tener mayor porcentaje con un 54 % Charcas *et al.*, (2012) menciona que existe un alto intercambio catiónico, traducido a que es posible la retención e intercambio de nutrientes.

Los suelos de los cultivos Jalpa y Villanueva se clasifican como franco arcilloso dado que están establecidos en el mismo predio y por ende su clasificación indica que al ser francos tienen cualidades mixtas, sin embargo, predominan en arcilla.

4.1.4. Materia orgánica del suelo

El Cuadro 3 reporta los porcentajes de materia orgánica, los cuales se categorizan como contenido bajo si es inferior al 2%, contenido medio si oscila entre el 2% y el 5%, y alto si es superior al 5% (Santos y Velasco, 2016). Los suelos en las ubicaciones donde se cultivó Oreja de Elefante y Jalpa tienen contenidos de materia orgánica de 2.92% y 2.32% respectivamente, clasificándolos como suelos con contenido medio. Mientras que, el suelo de Villanueva registró el 1.92%, lo que se considera un contenido bajo de materia orgánica.

Cuadro 3. Porcentaje de Materia Orgánica del suelo.

Cultivos	Materia orgánica %	Clasificación
Jalpa	2.32	Contenido medio
Villanueva	1.92	Contenido bajo
Oreja Elefante	2.92	Contenido medio

4.1.5 Minerales esenciales en el suelo

El Cuadro 4 muestra los resultados de la determinación de Fósforo (P), donde los tres tipos de suelo indican las concentraciones que se consideran óptimas (Zalba *et al.*, 2002). De las cuales, el suelo donde se cultivó el cultivar Oreja de Elefante exhibió la

concentración más alta, alcanzando los 127.0 mg/kg, mientras que el suelo de Villanueva mostró la concentración más baja, con 33.73 mg/kg (Borgues *et al.*, 2008). En general, las concentraciones menores a 5.5 mg/kg se consideran pobres, las concentraciones entre 5.5 y 11 mg/kg son consideradas como medianas, y superiores a 11 mg/kg se consideran ricas en fósforo.

Las concentraciones de Potasio (K) en los tres suelos se presentan en el Cuadro 4, donde se observa que el suelo con ubicación donde se cultivó Oreja de Elefante tuvo una concentración significativamente mayor, alcanzando un valor de 1165 mg/kg. En contraste, a suelos de los cultivos Jalpa y Villanueva que reportaron concentraciones de 159 mg/kg y 150 mg/kg, respectivamente consideradas como bajas. Por lo anterior mencionado se puede comentar que si necesitamos un material vegetativo de nopal que pueda nutrir en fosforo y potasio el cultivar Oreja de Elefante es el que destaca con respecto a estos dos nutrientes.

Cuadro 4. Concentración de Fósforo y Potasio en tres suelos (mg/kg).

Cultivos	Fósforo (P) (mg/kg)	Potasio (K) (mg/kg)
Jalpa	51.04	159
Villanueva	33.73	150
Oreja Elefante	127.0	1165

4.1.6 Nitrógeno total

La metodología utilizada para determinar el contenido de Nitrógeno (N), mediante el método de Micro-Kjeldahl, con expresión de los resultados en forma de porcentaje de Nitrógeno disponible son reportados en el Cuadro 5. En dicho cuadro, se aprecia valores obtenidos en cada suelo evaluado. para el cultivar Oreja de Elefante exhibió un porcentaje de 0.20 % caracterizada como medianamente rico en nitrógeno. Por otro lado, el suelo de Villanueva mostró un contenido de 0.12 %, categorizado como medianamente pobre, mientras que el suelo de Jalpa presentó un 0.17 %, considerado como nivel medio

en contenido de nitrógeno (Sánchez *et al.*, 2011).

Cuadro 5. Porcentaje de Nitrógeno del suelo.

Cultivares	Nitrógeno %	Clasificación
Jalpa	0.17	Mediano
Villanueva	0.12	Medianamente pobre
Oreja Elefante	0.20	Medianamente rico

4.2. Análisis de agua para riego

4.2.1 pH y conductividad eléctrica

El pH del agua destinada al riego de los cultivos en la empresa Vertia y Campus Marín de la Facultad de Agronomía cumplen con los estándares preestablecidos para el uso de agua de riego. Manteniéndose en un rango de pH que oscila entre 6.5 a 8.5. En el predio de Vertia el pH presentó un valor de 6.6, considerado como un pH normal para riego, mientras que, en la Facultad de Agronomía fue de un pH de 7.4, ambos datos se muestran en el Cuadro 6.

Cuadro 6. pH y conductividad eléctrica de análisis de agua para riego.

Área de estudio	pH	Conductividad dS m⁻¹
Vertia	6.6	4.19
Facultad Agronomía	7.4	2.04

En el predio de Vertia, la conductividad eléctrica se cuantificó en 4.19 dS m⁻¹, mientras que en el agua de riego de la Facultad de Agronomía fue de 2.04 dS m⁻¹. La bibliografía menciona que una conductividad eléctrica que exceda los 3.0 dS m⁻¹ puede tener efectos perjudiciales en el crecimiento de los cultivos y reducir sus rendimientos,

tal como lo establece Medina *et al.* (2016).

4.2.2 Concentración de calcio, calcio + magnesio, carbonatos, bicarbonatos y cloruros

Los resultados de la determinación de calcio son reportados en el Cuadro 7. Donde, el contenido de Ca en el agua del predio de Vertia fue de 20.4 mEq, mientras que se reportó en 7.20 mEq. El alto contenido de Ca en el predio de Vertia se explica por la alta conductividad eléctrica del agua, en comparación con el agua de riego utilizada en la Facultad de Agronomía.

Cuadro 7. Concentración de calcio, calcio + magnesio, carbonatos, bicarbonatos y cloruros en las áreas de estudio.

Área de estudio	Calcio mEq	Calcio + Magnesio mEq	Carbonatos mEq	Bicarbonatos mEq	Cloruros mEq
Vertia	20.40	36.10	0.00	7.20	22.20
Facultad Agronomía	7.20	11.60	0.00	7.71	6.20

El contenido de calcio + magnesio en el predio de Vertia fue de 36.1 mEq de Ca+Mg y 11.6 mEq para el agua de la Facultad de Agronomía. Esta diferencia entre las aguas de los predios también se explica por la diferencia entre las conductividades eléctricas de dichas aguas.

Al evaluar el contenido de carbonatos del agua de riego en ambas ubicaciones, mediante la combinación de una muestra de agua con una gota de fenolftaleína (C₂₀H₁₄O₄), no se observaron cambios en el color de la solución lo que significa la ausencia de carbonatos.

La determinación de bicarbonatos para ambos predios se desarrolló con el indicador naranja de metilo (CH_3) titulándose con ácido sulfúrico (H_2SO_4) a 0.01 N obteniendo 7.20 mEq de bicarbonato (HCO_3) para Vertia y 7.71 mEq para la Facultad de Agronomía (Cuadro 8). Cuando existe una concentración alta de bicarbonatos mayor a la de $\text{Ca}+\text{Mg}$, genera la acumulación de sales principalmente del ion sodio Na^+ (Castellón *et al.*, 2015).

La determinación de cloruros en agua de riego de Vertia se encontraron 22.2 mEq de Cloro (Cl), considerado como una concentración severa (Hernández *et al.*, 2015), mientras que el agua de la Facultad de Agronomía indicó 6.20 mEq de Cloro (Cl), clasificándose como no recomendable. Las concentraciones superiores de 4 mEq L^{-1} para Cloruros en el agua para riego pueden afectar las hojas de las plantas generando clorosis y afectaciones en la fotosíntesis (Pérez *et al.*, 2019).

4.3 Caracterización de la harina de nopal

Etapa 2: Análisis de harina de nopal

4.3.1 Análisis bromatológicos

Las comparaciones de medias para los análisis bromatológicos realizados en la harina de nopal para cada cultivar dentro de cada rango de peso se ilustra en el Cuadro 8 y para los rangos de peso dentro de cada cultivar se muestran en el Cuadro 9.

Las comparaciones de medias de nitrógeno entre cultivares en cada rango de peso (Cuadro 8) mostraron que, en el rango 1 los cultivares Jalpa y Oreja de Elefante tuvieron las mayores concentraciones, en el rango 2 no se encontraron diferencias significativas entre los cultivares, y el rango 3 Jalpa y Villanueva tuvieron mayores concentraciones y en el rango 4 no hubo diferencias significativas entre los cultivares.

Las comparaciones de medias de nitrógeno para los rangos de peso dentro de cada cultivar se muestran en el Cuadro 9, en el cultivar Jalpa las mayores concentraciones de nitrógeno se encontraron en los rangos 1, 3 y 4, en el cultivar Villanueva no se encontraron diferencias significativas entre los rangos, en el cultivar Oreja de elefante la mayor concentración de nitrógeno se encontró en el rango 1.

El porcentaje de proteína se obtiene al multiplicar el porcentaje de nitrógeno por el factor 6.25, por lo que los resultados estadísticos para proteína son iguales a los del nitrógeno (Lanza, 2016). Las comparaciones de medias de los cultivares dentro de los rangos se encuentran en el Cuadro 8 y las comparaciones de medias de los rangos dentro de los cultivares se encuentran en el Cuadro 9.

Cuadro 8. Comparación de medias de análisis bromatológicos de la harina de nopal de cultivares dentro de cada rango.

Cultivares	Rango	Peso	Cenizas			Fibra			Materia orgánica			Grasa			Carbohidratos		
			Nitrógeno	Proteína	Totales	Cruda	orgánica	orgánica	Grasa	Carbohidratos							
			%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
Jalpa	1		0.446 ab	2.788 ab	19.742 a	5.252 b	71.595 b	2.259 a	61.295 ab								
Villanueva	1		0.437 b	2.733 b	18.298 a	7.959 a	70.413 b	1.826 b	57.895 b								
Oreja Elefante	1		0.455 a	2.844 a	13.355 b	7.892 a	76.932 a	1.981 b	64.214 a								
Jalpa	2		0.419 a	2.621 a	18.084 b	5.091 c	70.703 ab	2.102 a	60.889 a								
Villanueva	2		0.428 a	2.677 a	22.632 a	8.308 b	67.890 b	1.616 b	55.289 b								
Oreja Elefante	2		0.424 a	2.649 a	14.438 b	9.040 a	75.396 a	2.051 a	61.657 a								
Jalpa	3		0.437 a	2.733 a	19.493 b	5.983 c	67.715 b	2.148 a	56.851 b								
Villanueva	3		0.442 a	2.761 a	23.411 a	8.420 a	65.608 b	1.689 b	52.739 b								
Oreja Elefante	3		0.406 b	2.537 b	14.791 c	8.011 b	75.171 a	2.047 a	62.576 a								
Jalpa	4		0.446 a	2.788 a	16.881 b	8.376 b	64.027 b	2.302 a	50.559 b								
Villanueva	4		0.433 a	2.705 a	29.089 a	8.907 a	59.406 b	1.675 b	46.120 b								
Oreja Elefante	4		0.433 a	2.705 a	16.824 b	9.066 a	73.068 a	2.174 a	59.124 a								

Cuadro 9. Comparación de medias de análisis bromatológicos de la harina de nopal rangos de peso dentro de cada cultivar.

Cultivares	Rango Peso	Nitrógeno %	Proteína %	Cenizas		Fibra		Materia orgánica		Grasa %	Carbohidratos %
				Totales %	Cruda %	Cruda %	orgánica %				
Jalpa	1	.446 a	2.788 a	19.742 a	5.252 c	71.595 a	2.259 a	61.295 a			
	2	.419 b	2.621 b	18.084 a	5.091 c	70.703 a	2.102 a	60.889 a			
	3	.437 a	2.733 a	19.493 a	5.983 b	67.715 ab	2.148 a	56.851 a			
	4	.446 a	2.788 a	16.881 a	8.376 a	64.027 b	2.302 a	50.559 b			
Villanueva	1	.437 a	2.733 a	18.298 c	7.959 c	70.413 a	1.826 a	57.895 a			
	2	.428 a	2.677 a	22.632 b	8.308 bc	67.890 a	1.616 a	55.289 a			
	3	.442 a	2.761 a	23.411 b	8.420 b	65.608 a	1.689 a	52.739 a			
	4	.433 a	2.705 a	29.089 a	8.907 a	59.406 b	1.675 a	46.120 b			
Oreja Elefante	1	.455 a	2.844 a	13.355 a	7.892 b	76.932 a	1.981 a	64.214 a			
	2	.424 b	2.649 b	14.438 a	9.040 a	75.396 a	2.051 a	61.657 a			
	3	.406 c	2.537 c	14.791 a	8.011 b	75.171 a	2.047 a	62.576 a			
	4	.433 b	2.705 b	16.824 a	9.066 a	73.068 a	2.174 a	59.124 a			

Citando a Mendoza *et al.* (2019), en la elaboración de hot cakes con harina de nopal informó un valor de porcentaje de proteína considerablemente superior, llegando al 6.70 %. Es importante mencionar que, según la investigación de Amador *et al.* (2018) sobre la ingesta de proteína, se recomienda un consumo diario de 0.8 g de proteína por kilogramo de peso corporal para individuos de todas las edades

Las mayores concentraciones de cenizas totales para los cultivares en cada rango de peso (Cuadro 8) mostraron que el cultivar Jalpa y Villanueva tuvieron el mayor porcentaje de cenizas totales, en el rango 2 (150-300 g) el cultivar Villanueva con un 22.632 %, en el rango 3 (300-600) el cultivar Villanueva con un 23.411 % y en el rango 4 (> 600 g) el cultivar Villanueva con un 29.089 %. En general el cultivar Villanueva tuvo la mayor concentración de cenizas seguido del cultivar Jalpa con menor concentración el cultivar Oreja de Elefante.

Las concentraciones de cenizas totales para los rangos de peso dentro de cada cultivar se muestran en el Cuadro 9 donde se exhibe que los cultivares Jalpa y Oreja de Elefante no encontraron diferencias significativas entre los rangos, sin embargo, en el cultivar Villanueva se encontró que el porcentaje de cenizas se incrementó a medida que se incrementa el rango.

Las cenizas totales representan la materia inorgánica presente en la harina de nopal y son indicador importante en su composición. Cabe destacar que los resultados obtenidos en este estudio son semejantes a los informados por Bustamante *et al.* (2021) en su investigación sobre la biosorción de Fe (III) a partir de harina de nopal *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. En ese estudio, se cuantificaron las cenizas a diferentes temperaturas de secado del nopal para la elaboración de la harina, encontrando que a 60 °C se obtuvo un valor de 20.46, a 70 °C 20.12, y a 80 °C 20.78.

La concentración de cenizas totales en la harina de nopal parece depender en gran medida del cultivar y puede variar ligeramente según la temperatura de secado utilizada en la obtención de la harina.

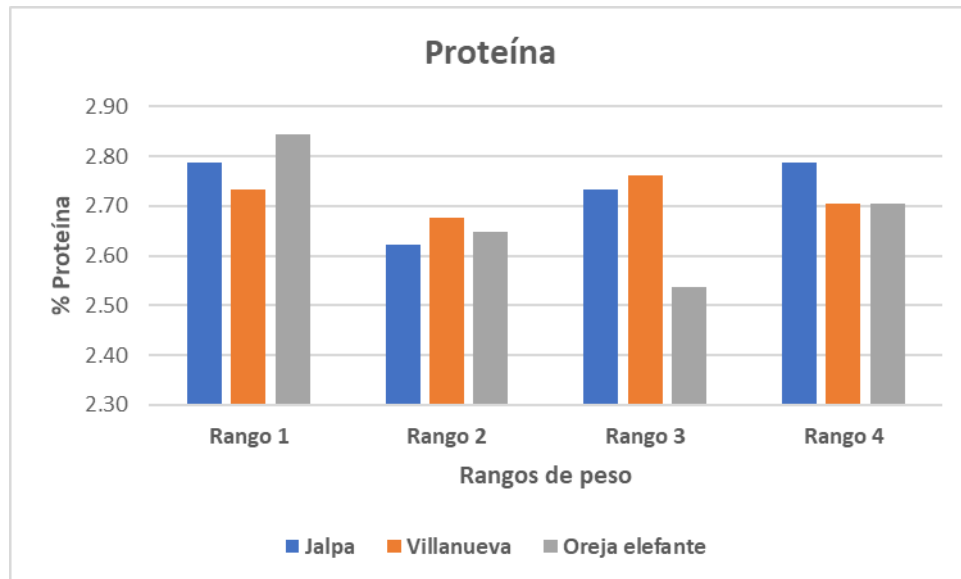


Figura 23. Concentración de proteína en comparación de medias de cultivares y rangos de peso.

La evaluación de comparación medias para fibra cruda, como se presenta en el Cuadro 8, reveló diferencias altamente significativas tanto en los cultivares de harina de nopal como en los diferentes rangos de peso y la combinación de cultivar por rango. El cultivar Villanueva exhibió la concentración más alta de fibra cruda en cada rango de peso. Rango 1 (< 150 g) con un 7.959 %, rango 2 (150-300) con un 8.308 %, rango 3 8.420 %, rango 4 (> 600 g) con un 8.907 %, mientras que el cultivar Jalpa mostró la menor cantidad (Cuadro 9, Figura 24). Además, se encontró que el rango de peso 4 (600 g >) presentó la mayor concentración de fibra cruda para los tres cultivadores en la comparación de medias por rangos. Estos resultados indicaron que a medida que el nopal madura, su contenido de fibra cruda tiende a aumentar. Diego *et al.* (2021) exhibió que la harina de nopal contiene un 14.31 % de fibra cruda, lo cual es superior a los resultados obtenidos en esta investigación.

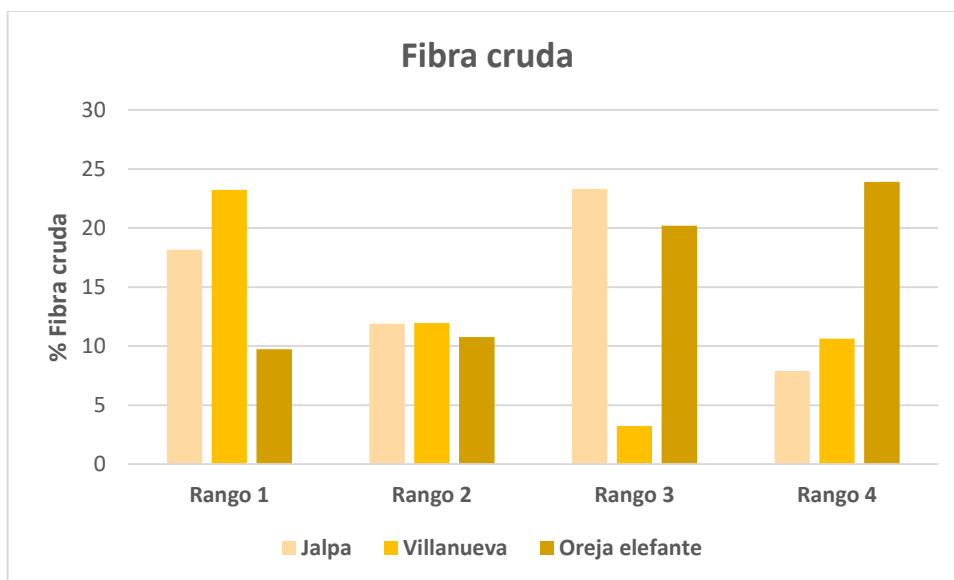


Figura 24. Concentración de fibra cruda en comparación de medias de cultivares y rangos de peso.

La comparación de medias para materia orgánica (Cuadro 8) mostró diferencias altamente significativas en los cultivares y rangos. El cultivar Oreja de Elefante tuvo menor cantidad de materia orgánica en cada uno de los cuatro rangos de peso. La comparación de medias de rangos de peso mostró que la materia orgánica disminuye a medida que se incrementa el rango, aunque en el rango 4 no se encontraron diferencias significativas.

La evaluación de la comparación de medias para grasa se ilustra en el Cuadro 8, donde se encontraron diferencias significativas entre los cultivares y rangos de peso. El cultivar Villanueva tuvo los menores contenidos de grasa en los cuatro rangos. Las comparaciones de medias entre los rangos no mostraron diferencias significativas en ninguno de los cultivares. En la presente investigación se encontraron concentraciones de grasa mayores a los reportados por Sánchez (2020), quien informó una concentración de grasa, de 1.55 %.

En la comparación de medias de los cultivares para carbohidratos (Cuadro 8) se observó que el cultivar Oreja de Elefante presentó el mayor contenido de carbohidratos en los cuatro rangos de peso, alcanzando un porcentaje del 64.21 %, mientras que el cultivar Villanueva exhibió el menor contenido de carbohidratos.

En cuanto al rango de peso, se encontró que el rango 1 (<150 g) contiene la mayor cantidad de carbohidratos. Además, se identificó una tendencia en la que el estado de maduración del nopal influye en la concentración de carbohidratos: a medida que el nopal madura, su concentración de carbohidratos tiende a disminuir.

Castillo *et al.* (2013) en la obtención de harina de nopal reportó porcentajes de proteína del 12.66 %, grasa del 3.03 %, fibra del 47.65 % y cenizas del 20.28 %. Estos valores difieren de los obtenidos en esta investigación, donde se registraron porcentajes más bajos, con un 2.84 % de proteína, un 2.20 % de grasa, un 9.06 % de fibra y un 23.35 % de cenizas.

Las diferencias de los resultados pueden atribuirse a varias razones, como el uso de diferentes cultivares, rangos de peso, tipo de suelo, agua y condiciones climáticas en esta investigación en comparación con el estudio de Castillo. Además, el estado de maduración del nopal y cultivar influye en la composición química de la harina de nopal.

4.3.2 Minerales en la harina de nopal

El análisis experimental realizado en este estudio se basó en la comparación de medias utilizando el método de Tukey, llevado a cabo utilizando el software SPSS Statistics. En el Cuadro 10, se presenta la comparación de medias para cultivar dentro de cada rango de peso, abordando tanto los minerales macro (K, Ca, Mg) como los minerales micro (P, Fe, Mn, Cu, Zn) que se encuentran en concentraciones más bajas, y todos los valores se expresan en miligramos por kilogramo (mg/kg).

Las comparaciones de promedios de K entre los distintos cultivares en cada rango de peso (Cuadro 10) indicaron que en el rango 1, los cultivares Jalpa y Villanueva registraron las concentraciones más altas de este mineral, con 52790 (mg/kg) y 53080 (mg/kg), respectivamente.

Cuadro 10. Comparación de medias en minerales de la harina de nopal por cultivar y rango de peso.

Cultivares	Rango	peso	K	Ca	Mg	P	Fe	Mn	Cu	Zn	Total
			mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	g/kg
Jalpa	1	52790 a	27900 a	12660 a	1680 a	18.15 a	28.73 b	4.85 a	21.61 a	95.10	
Villanueva	1	53080 a	26840 a	9590 b	1260 b	23.23 a	35.30 a	3.62 b	17.84 a	90.85	
Oreja Elefante	1	29760 b	25300 a	6390 c	740 c	9.74 b	15.53 c	2.65 c	5.29 b	62.22	
Jalpa	2	44460 a	38650 a	14730 a	880 b	11.90 a	23.73 a	2.93 a	14.70 a	54.32	
Villanueva	2	39490 b	27710 b	14720 a	1510 a	11.95 a	20.00 b	1.74 b	17.12 a	83.48	
Oreja Elefante	2	33460 c	28560 b	6560 b	750 c	10.76 a	15.18 c	2.77 a	5.33 b	69.36	
Jalpa	3	50580 a	41110 a	15850 a	850 b	23.32 a	25.68 b	2.28 b	14.93 a	108.46	
Villanueva	3	46120 b	36200 b	11990 b	780 b	3.23 b	27.33 a	1.39 c	16.39 a	95.14	
Oreja Elefante	3	40160 c	37050 b	07450 c	1080 a	20.20 a	16.92 c	3.34 a	7.11 b	85.79	
Jalpa	4	38200 b	42810 a	17390 a	640 b	7.89 b	14.42 c	1.28 c	17.15 a	99.08	
Villanueva	4	44730 a	42810 a	16120 a	1010 a	10.62 b	33.36 a	1.95 b	18.58 a	104.73	
Oreja Elefante	4	35510 b	48610 a	8180 b	1050 a	23.90 a	15.47 b	3.08 a	7.50 b	93.40	

Cuadro 11. Comparación de medias de minerales de la harina de nopal rangos de peso dentro de cada cultivar.

Cultivares	Rango	peso	K	Ca	Mg	P	Fe	Mn	Cu	Zn	Total
			mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	g/kg
Jalpa	1	52790 a	27900 b	12660 d	1680 a	18.15 ab	28.73 a	4.85 a	21.61 a	93.42	
	2	44460 b	38650 a	14730 c	880 b	11.90 bc	23.73 c	2.93 b	14.69 a	97.89	
	3	50580 a	41110 a	15850 b	850 b	23.31 a	25.68 b	2.27 c	14.92 a	107.60	
	4	38200 c	42810 a	17390 a	640 c	7.89 c	14.41 d	1.28 d	17.15 a	98.44	
Villanueva	1	53080 a	26840 c	9590 d	1260 b	23.22 a	35.30 a	3.61 a	17.84 a	89.59	
	2	39490 c	27710 c	14720 b	1510 a	11.95 b	20.00 d	1.74 c	17.11 a	81.97	
	3	46120 b	36200 b	11990 c	780 d	3.23 c	27.32 c	1.39 d	16.39 a	94.35	
	4	44730 b	42810 a	16120 a	1010 c	10.62 bc	33.35 b	1.95 b	18.57 a	103.72	
Oreja Elefante	1	29760 c	25300 c	6390 c	740 b	9.73 b	15.52 b	2.65 d	5.29 a	61.48	
	2	33460 b	28560 c	6560 c	750 b	10.76 b	15.17 b	2.76 c	5.33 a	68.61	
	3	40160 a	37050 b	7450 b	1080 a	20.19 a	16.91 a	3.34 a	7.10 a	84.70	
	4	35510 b	48610 a	8180 a	1050 a	23.90 a	15.46 b	3.07 b	7.50 a	92.35	

En los rangos de peso 2 y 3 se encontraron diferencias significativas entre los cultivares, en ambos rangos el cultivar Jalpa mostró una mayor concentración de K, mientras que el cultivar Oreja de Elefante fue el de menor concentración de este mineral.

Las comparaciones de medias de K en los distintos rangos de peso dentro de cada cultivar se detallan en el Cuadro 10. Los resultados indican la existencia de diferencias significativas entre los rangos de peso según el cultivar. Sin embargo, es importante destacar que las concentraciones no siguieron un patrón lineal respecto al rango de peso.

La comparación de medias mostró mayores concentraciones de K en el rango 1 para los cultivares Jalpa y Villanueva, mientras que para el cultivar Oreja de Elefante las mayores concentraciones de K se encontraron en los rangos 3 y 4. El K desempeña un papel fundamental en el funcionamiento del sistema nervioso y muscular. Según las recomendaciones de Sellarés (2020), la ingesta diaria de potasio para un adulto se sitúa en torno a los 4700 mg, con un mínimo de 1600 a 2000 mg al día. Considerando lo anterior, el consumo de nopalitos tiernos (Rango 1) de los cultivares Jalpa y Villanueva pueden suplementar adecuadamente la ingesta de potasio diaria.

La comparación de medias entre los distintos cultivares en cada rango de peso para calcio (Ca) (Cuadro 10) no mostró diferencias significativas entre los cultivares de en los rangos 1 y 4. Sin embargo, en los rangos 2 y 3 el cultivar Jalpa exhibió mayor concentración de calcio.

Las comparaciones de medias de Calcio (Ca) en los diversos intervalos de peso dentro de cada cultivar se presentan en el Cuadro 11. Los resultados demostraron que hubo diferencias significativas entre los rangos dentro de los tres cultivares. En general se encontró que las concentraciones de calcio se incrementaron a medida que se incrementó el rango. Este resultado coincide con lo reportado por Rodríguez *et al.* (2007) quienes indicaron que la concentración de calcio se incrementa en función del estado de maduración, como se muestra en la Figura 25.

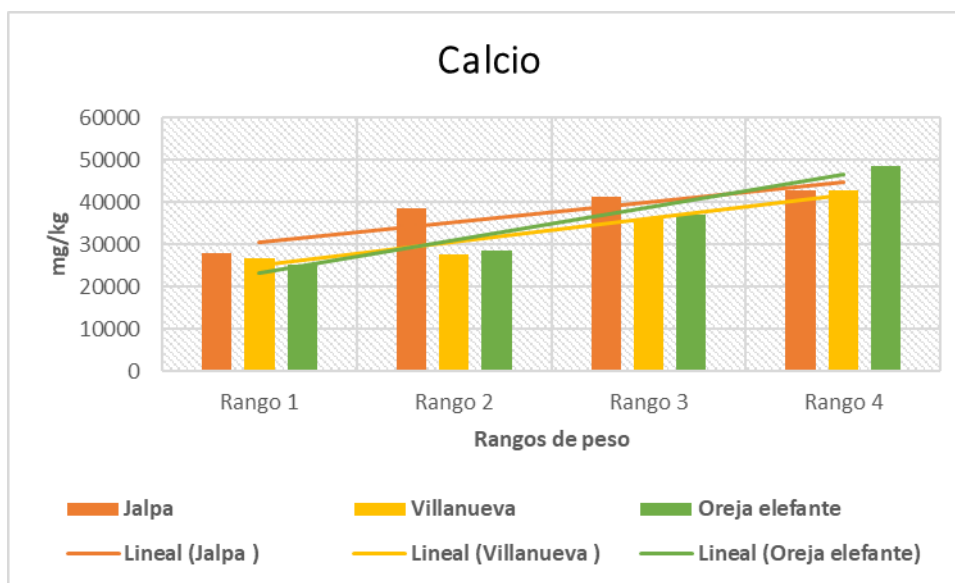


Figura 25. Concentración de calcio en diferentes cultivares para cada rango de peso.

La comparación de medias para el Fósforo (P) se presenta en el Cuadro 10, en donde se presentan las comparaciones dentro de cada rango. En el rango 1 la mayor concentración de P se encontró en el cultivar Jalpa, en el rango 2 en el cultivar Villanueva y en los rangos 3 y 4 en los cultivares Villanueva y Oreja de Elefante.

Las comparaciones de medias de Fosforo (P) en los diversos intervalos de peso dentro de cada cultivar se presentan en el Cuadro 11. Los resultados mostraron que hubo diferencias significativas entre los rangos para los cultivares Jalpa y Villanueva. Las mayores concentraciones de P se encontraron en el rango 1 para el cultivar Jalpa, en el rango 2 para el cultivar Villanueva y para Oreja de Elefante rangos 3 y 4.

El fósforo y el calcio son nutrientes de gran importancia en el proceso de crecimiento y desarrollo de los huesos y dientes, ya que les proporcionan estructura y firmeza. La recomendación diaria de calcio para adultos, tanto para mujeres como para hombres de 12 a 50 años, es de 1200 mg, teniendo en cuenta que su consumo adecuado contribuye a prevenir enfermedades como la osteoporosis (Ortega *et al.*, 2015).

Considerando que la concentración de calcio en los diferentes cultivares que se analizaron estuvo alrededor de 40,000 g/kg, el consumo diario adecuado de calcio se puede lograr con un consumo de 30 g de nopalito diario, si todo el calcio en el nopalito fuese asimilable. En cuanto al fósforo, la ingesta diaria recomendada es de 1000 mg, pero es importante destacar que niveles elevados de fósforo en la sangre pueden dar lugar a una descalcificación de los huesos, lo que puede ocasionar fragilidad y aumentar el riesgo de fracturas (Bedoya *et al.*, 2019).

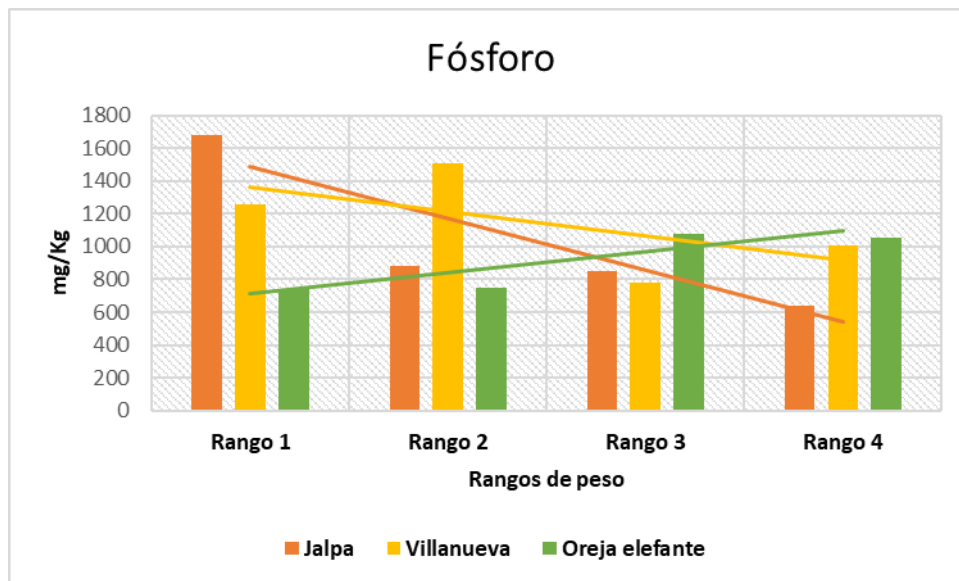


Figura 26. Concentración de fósforo en diferentes cultivares para cada rango de peso.

La comparación de medias para el Magnesio (Mg) (Cuadro 10) presentó diferencias significativas en los cultivares dentro de cada rango de peso. El cultivar Jalpa exhibió mayor concentración en los cuatro rangos de peso, seguido del cultivar Villanueva y en menor concentración el cultivar Oreja de elefante.

Las comparaciones de medias de Mg en los diversos intervalos de peso dentro de cada cultivar se presentan en el Cuadro 11. Los resultados mostraron diferencias altamente significativas entre los rangos de peso dentro de cada cultivar. En los tres cultivares se observó que la concentración de Mg se incrementó a medida que se

incrementaba el rango, por lo que las mayores concentraciones de este elemento se encontraron en el rango 4.

El magnesio (Mg) es un mineral esencial para el organismo humano y desempeña un papel importante en la síntesis de proteínas, el funcionamiento del sistema cardiovascular y la regulación de los niveles de azúcar en la sangre. La ingesta diaria recomendada de este mineral para un adulto oscila entre 300 y 600 mg al día, según Baca *et al.* (2016).

La comparación de medias entre los distintos cultivares dentro de cada rango de peso para Hierro (Fe) (Cuadro 10) mostraron diferencias significativas entre los cultivares en los rangos 1, 3 y 4, mientras que para el rango de peso 2 no mostró diferencias significativas. El cultivar Oreja de Elefante tuvo mayor concentración de Fe en el rango de peso 4, mientras que los cultivares Jalpa y Villanueva tuvieron mayor concentración de este elemento en los rangos de peso 1, 2 y 3.

Las comparaciones de medias para Fe en los diferentes intervalos de peso dentro de cada cultivar se muestran en el Cuadro 11. Los hallazgos indicaron que existen diferencias significativas en los cuatro rangos de peso dentro de cada cultivar. No obstante, en el cuarto rango de peso, el cultivar Oreja de Elefante exhibió la concentración más elevada de hierro, alcanzando los 23.90 mg/kg, y se observó un aumento constante en la concentración de hierro a medida que el rango de peso aumentaba.

El Fe cumple un papel esencial en el organismo humano, desempeñando funciones vitales en el sistema circulatorio, el sistema inmunológico y la síntesis de neurotransmisores, como menciona Sabino (2016). Se aconseja una ingesta diaria recomendada de hierro que oscila entre 12 y 18 mg, y las deficiencias de este mineral suelen estar vinculadas con la falta de consumo de alimentos ricos en hierro, especialmente durante el embarazo y la lactancia.

La comparación de medias para el Manganeso (Mn) (Cuadro 10) reveló diferencias altamente significativas al analizar los cultivares dentro de cada rango de peso. El cultivar Villanueva mostró mayor concentración de Mn en los rangos de peso 1, 3 y 4, mientras que en el rango 2 el cultivar Jalpa mostró mayor concentración.

Las comparaciones de medias de Mn en los diversos intervalos de peso dentro de cada cultivar se presentan en el Cuadro 11. Los resultados exhibieron que en el rango de peso 1 tanto los cultivares Jalpa como Villanueva exhibieron mayor concentración de Mn.

El Mn es un micronutriente indispensable que juega un papel fundamental en la generación de tejidos, el fortalecimiento del sistema inmunológico y la creación de proteínas, según lo mencionado en Santos *et al.* (2018). La ingesta diaria recomendada es de 2 mg de este mineral, y la insuficiencia de este se relaciona con el riesgo de desarrollar diabetes, como señala Rodríguez *et al.* (2011).

La comparación de medias entre los distintos cultivares dentro de cada rango de peso para Cobre (Cu) (Cuadro 10) exhibieron diferencias significativas al comparar los cultivares dentro de cada rango de peso. Los cultivares Jalpa en el rango de peso 1 y 2, así como Oreja de Elefante en los rangos de peso 3 y 4 mostraron mayor concentración de Cu.

Las comparaciones de medias de Cobre (Cu) en los diferentes rangos de peso dentro de cada cultivar se presentan en el Cuadro 11. Los resultados mostraron que el rango 1 tuvo mayor concentración de Cu en los cultivares Jalpa y Villanueva, mientras que en el rango 3 lo mostró el cultivar Oreja de Elefante

La presencia de Cu en la alimentación juega un papel fundamental en la activación de enzimas y colabora con el hierro en el proceso de síntesis de hemoglobina. Además, contribuye al desarrollo óseo y al funcionamiento adecuado del sistema nervioso. Se sugiere una ingesta diaria recomendada de 0.6 mg para niños y 2 mg para adolescentes

y adultos, según Silva (2012).

La comparación de medias para el Zinc (Zn) (Cuadro 10) reveló diferencias significativas entre los cultivares en cada rango de peso, en los cuatro rangos las mayores concentraciones de Zn se encontraron en los cultivares Jalpa y Villanueva, contrastando con las bajas concentraciones encontradas en el cultivar Oreja de Elefante.

Las comparaciones de medias de Zn en los diferentes intervalos de peso dentro de cada cultivar se presentan en el Cuadro 11. Los resultados no exhibieron diferencias significativas entre los rangos de peso de cada cultivar.

El zinc es un elemento vital que cumple una función crucial en la generación de proteínas y tiene un papel importante en la activación de enzimas involucradas en la creación de tejidos, según lo indicado por García (2011).

Los resultados de los minerales totales expresados en g/kg (Cuadro 10, Figura 27) de los cultivares dentro de cada rango de peso mostraron que los cultivares Jalpa y Villanueva, con 108.46 g/kg y 104.73 g/kg respectivamente, obtuvieron mayor concentración de minerales totales.

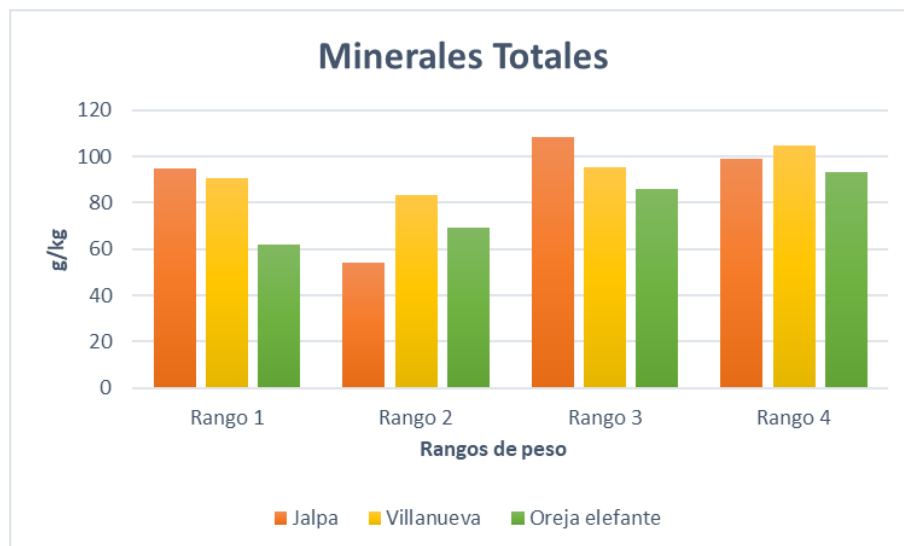


Figura 27. Minerales totales (g/kg) de cada cultivar dentro de cada rango de peso.

Los minerales totales en los diversos intervalos de peso dentro de cada cultivar Cuadro (11) exhibieron que, a mayor peso del nopalito, mayor la cantidad de minerales totales dentro de cada cultivar Figura 28. Los resultados mostraron que los rangos de peso 3 y 4 obtuvieron mayores concentraciones totales dentro de los tres cultivares.

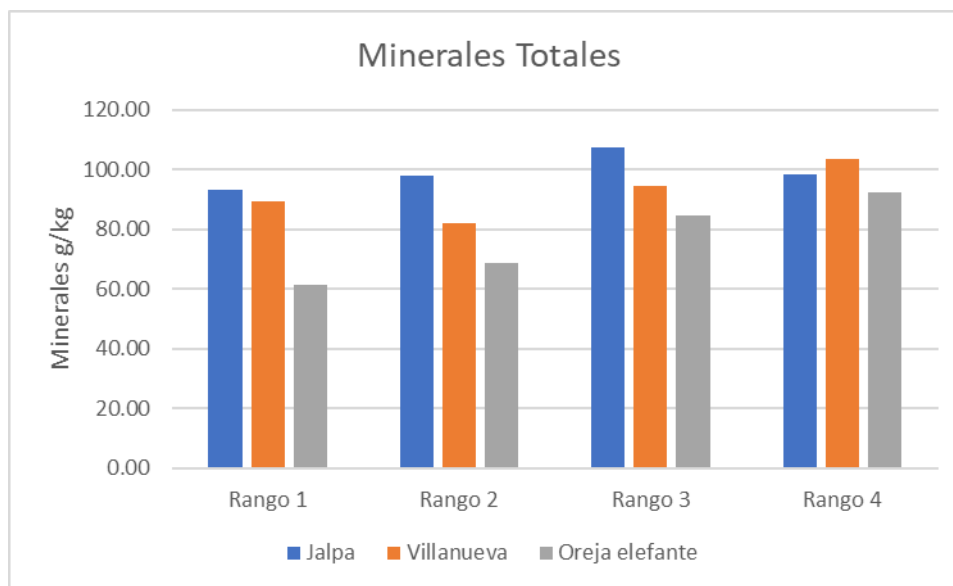


Figura 28. Minerales totales (g/kg) de cada rango de peso y cultivar.

4.3.3 Concentración de oxalatos de calcio

Los oxalatos de calcio se cuantificaron utilizando el software de procesamiento de imágenes ImageJ, llevándose a cabo un análisis de varianza con una comparación de medias utilizando el método Duncan para determinar los niveles de oxalatos totales en las partes superior, media y basal del nopal.

En la Figura 29 se puede observar cómo se realizó el conteo de oxalatos de calcio mediante el software procesador de imagen ImageJ, mediante la observación de la muestra en el microscopio a objetivo 10X.

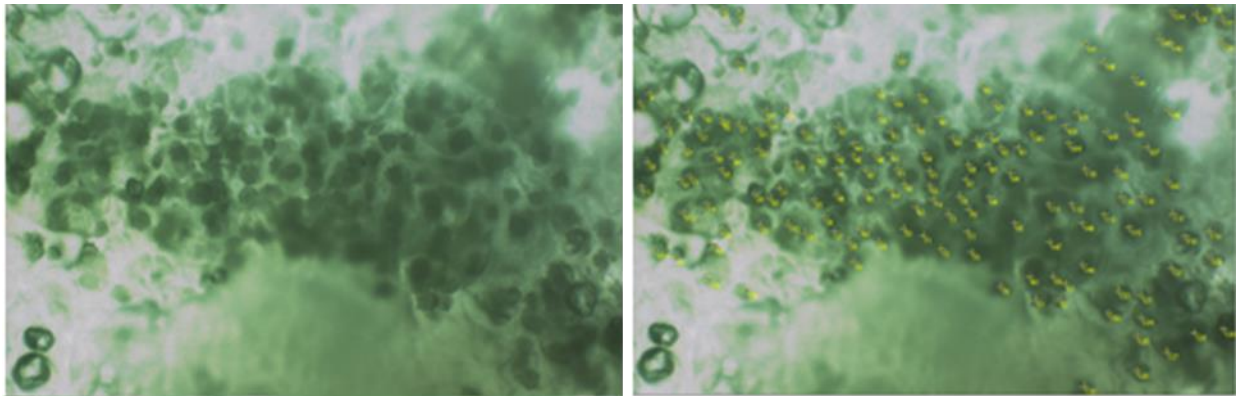


Figura 29. (A) Imagen de oxalatos sin el software ImageJ y (B) Imagen de oxalatos con el software ImageJ.

Los oxalatos de calcio difieren en su forma, tamaño y concentración mediante su ubicación en parte superior, media y basal, así como se ilustra en la Figura 29 para una muestra del cultivar Jalpa. Los oxalatos de calcio miden en promedio de diámetro 8.50 μm según reportado por Zúñiga, (2020), en donde realizó el conteo de oxalatos de calcio sometidos a estrés hídrico en diferentes concentraciones en nopal verdura. La concentración de oxalatos de calcio está ligados a el manejo y condiciones de la planta.

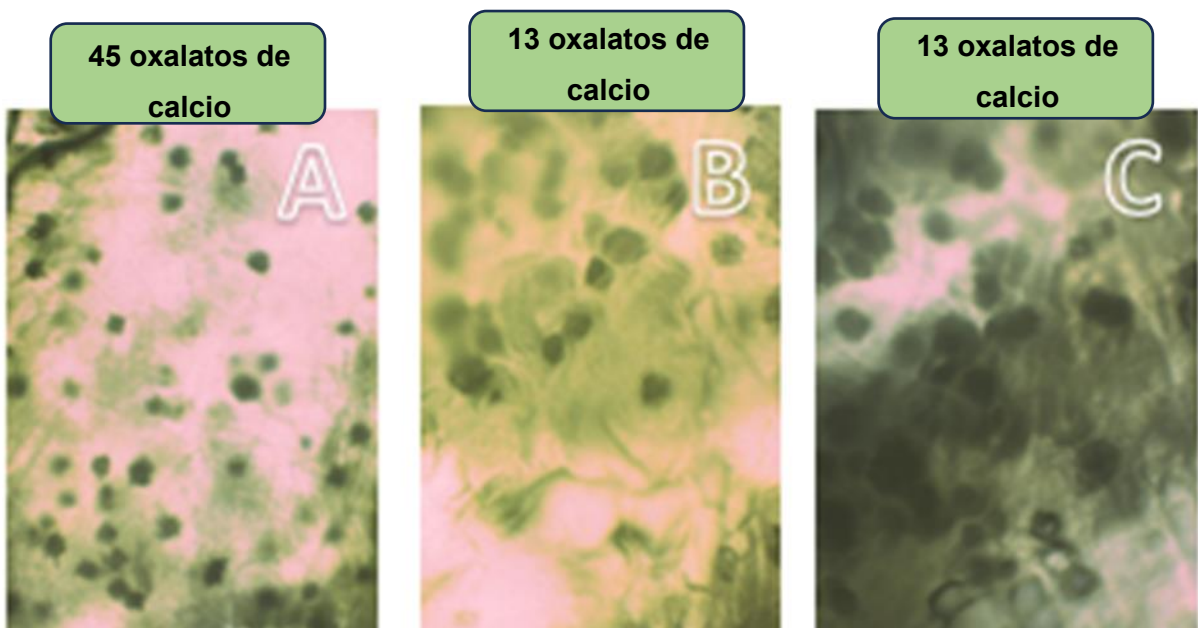


Figura 30. Características de los cristales de oxalatos de acuerdo con su ubicación: (A) superior, (B) media y (C) basal del cultivar Jalpa.

Los cristales de oxalato de calcio en los nopalitos se observan en la Figura 30, tienen características diferentes en la parte basal (A) y la parte superior (B). En la parte basal, los cristales de oxalato de calcio exhiben drusas muy pronunciadas y de mayor tamaño, mientras que, en la parte superior, estas drusas son menos definidas y de menor tamaño. Esta variación se debe a la distribución y concentración de los cristales de oxalato de calcio, que tienden a disminuir en la parte basal y dar lugar a cristales más uniformes en la parte superior.

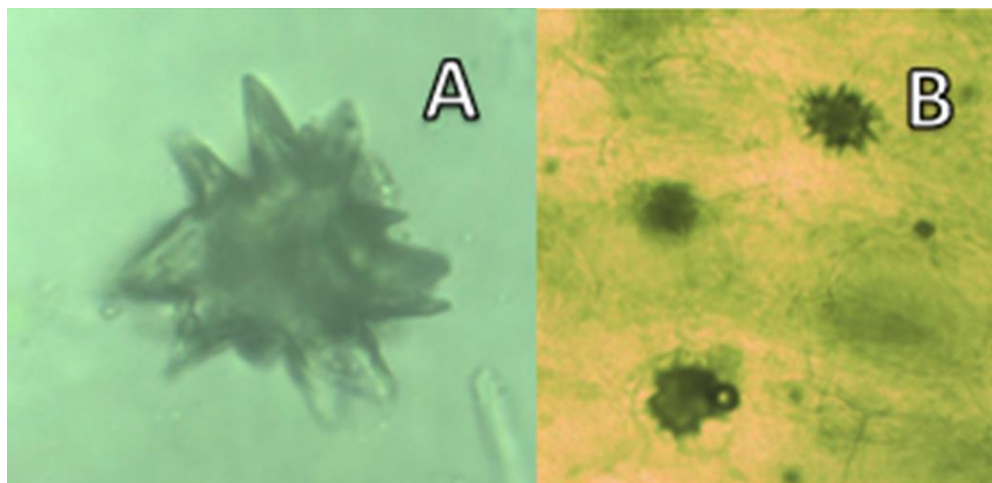


Figura 31. (A) Cristal de oxalato parte basal y (B) Cristales de oxalato parte superior del cladodio en objetivo 10 X.

La comparación de las medias de los cristales de oxalatos de calcio en las secciones superior, media y basal de los nopalitos no mostró interacciones entre los cultivares. Para ello se realizó una comparación de medias para el análisis general por cultivar que se muestran en el Cuadro 12.

Los niveles de oxalatos de calcio por cultivares dentro de la parte superior y media del nopal (Cuadro 12) mostró que tiene mayor concentración el cultivar Villanueva en donde se reportó 58.50 y 45.69 respectivamente. En la parte basal la concentración más fue para el cultivar Oreja de Elefante con 36.00 cristales de oxalatos de calcio.

Para el total de oxalatos de calcio considerando la partes alta, media y basal se encontró el cultivar Villanueva mostró 131.87 y el cultivar Oreja de Elefante 102.82

(Cuadro 12).

Cuadro 12. Comparación de medias generales de oxalatos de calcio de nopal entre cultivares.

Cultivares	Superior	Media	Basal	Oxalatos Totales
Jalpa	34.01 b	24.12 b	26.70 a	84.84 b
Villanueva	58.50 a	45.69 a	27.68 a	131.87 a
Oreja Elefante	30.99 b	35.83 ab	36.00 a	102.82 ab

La comparación de las medias de los cristales de oxalatos de calcio en las partes superior, media y basal de los nopalitos mostró que a medida que se incrementaba el rango disminuía el número de oxalatos, sin embargo, en la parte basal no se encontraron diferencias significativas, pero en el conteo de oxalatos de calcio totales la tendencia fue lineal considerando un decremento del contenido de oxalatos a medida que se incrementaba el rango (Cuadro 13).

Cuadro 13. Comparación de medias generales de oxalatos de calcio de nopal entre rangos de peso.

Rangos	Peso	Superior	Media	Basal	Oxalatos Totales
1	(< 150 g)	58.42 a	49.63 a	30.55 a	138.61 a
2	(150-300 g)	44.66 ab	45.46 a	33.14 a	123.27 ab
3	(300-600 g)	36.93 bc	24.07 b	27.88 a	88.90 bc
4	(600 > g)	24.64 c	21.70 b	28.92 a	75.27 c

La Comparación de medias generales de oxalatos de calcio de nopal entre rangos de peso mostró que en la parte superior el rango 1 (< 150 g) (Cuadro 13) exhibió 58.42 con mayor concentración de oxalatos de calcio, mientras que para el rango 4 (600 > g) es el de menor concentración cumpliendo con el patrón de que los cristales de oxalato de calcio están presentes en mayor cantidad en estado de maduración joven del nopal y a medida que aumenta su peso disminuye la cantidad de oxalatos de calcio.

La parte media del nopal (Cuadro 13) mostró 49.63 cristales de oxalatos para el rango 1 (< 150 g) con mayor concentración, mientras que para el rango 4 (600 > g) indicó 21.70 de cristales de oxalatos de calcio en donde se desempeñó el mismo patrón de a menor peso del nopal, más oxalatos de calcio.

La concentración de oxalatos de calcio para la parte basal (Cuadro 13) mostró que el rango de peso 2 (150-300 g) tiene mayor concentración en comparaciones de los demás rangos de peso, cabe resaltar que esta parte del conteo de los oxalatos de calcio no cumple con la secuencia que desempeñan las otras secciones donde se realizó el conteo de los oxalatos de calcio.

La cantidad de oxalatos de calcio en el nopal está vinculada a un patrón observado en estudios previos (De Lira, 2006), donde se ha notado que los nopalitos en estado de madurez temprana tienen una mayor concentración de oxalatos de calcio, y a medida que aumenta su tamaño y peso, la concentración de estos oxalatos tiende a disminuir. Esta tendencia es inversamente proporcional a la concentración de calcio disponible en el nopal.

Los resultados de la concentración de oxalatos de calcio totales junto con las secciones superior, media y basal se ilustran en la Figura 32.

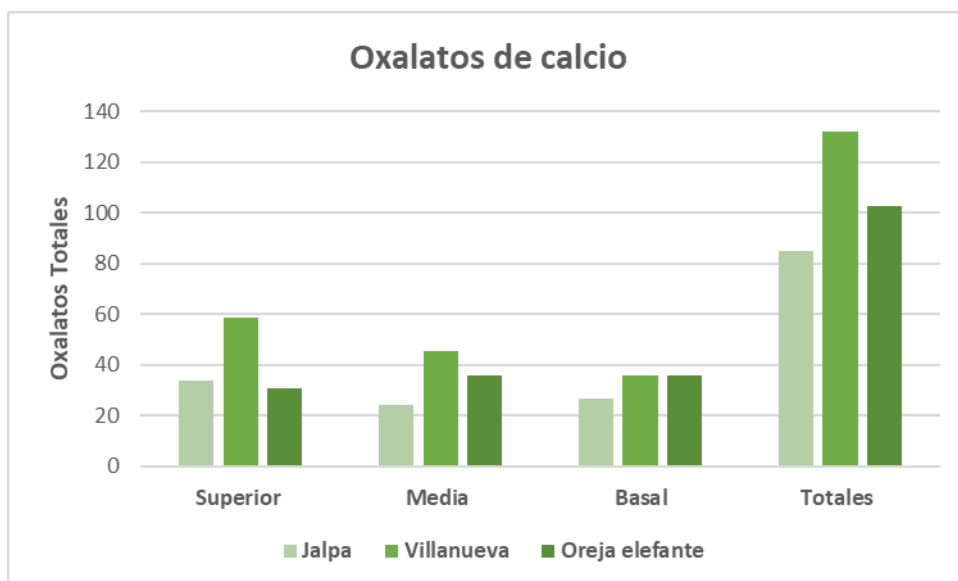


Figura 32. Oxalatos de calcio totales de acuerdo con cada sección; superior, media y basal.

Los oxalatos de calcio totales exhibieron que el cultivar Villanueva tiene mayor concentración con 131.87, seguido del cultivar Oreja de Elefante con 102.82 oxalatos de calcio y en menor cantidad el cultivar Jalpa con 84.84 oxalatos de calcio.

Tovar *et al.* (2007), en su evaluación de concentración de oxalatos presentes en el cultivar Villanueva reportó que el de menor concentración de cristales de oxalatos de calcio en comparación con los otros cultivares evaluados en ese estudio.

4.3.4 Capacidad antioxidante.

La capacidad antioxidante se evaluó utilizando el método de DPPH, en el cual una muestra reacciona con un agente oxidante, lo que significa que tiene la capacidad de inhibir dicho oxidante. La disminución en la absorbancia de la muestra se refleja en un cambio de color, y se calculó el porcentaje de inhibición de la harina de nopal. Esta comparación de los porcentajes se llevó a cabo mediante el método Tukey utilizando el paquete de diseños experimentales de la FA-UANL. Los porcentajes de inhibición se presentan en el Cuadro 14. Cabe destacar que la concentración de la muestra por cada

mililitro de solvente fue de 100 mg de harina por 1 mL de metanol.

Cuadro 14. Porcentaje de inhibición en la harina de nopal por cultivar y rango de peso en función del estado de maduración.

Cultivares	Rango de peso	% Inhibición
Jalpa	1 (< 150 g)	60.486 a
	2 (150-300 g)	44.587 cd
	3 (300-600g)	42.086 d
	4 (600 g >)	51.375 bc
Villanueva	1 (< 150 g)	52.519 b
	2 (150-300 g)	41.372 d
	3 (300-600g)	29.832 f
	4 (600 g >)	32.404 ef
Oreja Elefante	1 (< 150 g)	29.689 f
	2 (150-300 g)	27.403 f
	3 (300-600g)	32.262 ef
	4 (600 g >)	37.549 de

Los resultados de la comparación de medias del porcentaje de inhibición revelaron diferencias altamente significativas en función de los cultivares, los rangos de peso y las combinaciones de ambos. El cultivar Jalpa mostró la mayor concentración de porcentaje de inhibición, particularmente en el rango 1 (<150 g), con un 60.486 %, como se ilustra en la Figura 32. Por otro lado, el cultivar Oreja de Elefante, en el rango de peso 2 (150-300 g), exhibió el menor porcentaje de inhibición, que fue del 27.403 %. Es importante destacar que este cultivar, Oreja de Elefante, generalmente no se utiliza en la producción de nopal verdura, el propósito para forraje es el más usual, mientras que los cultivares Jalpa y Villanueva son más comunes en la producción de nopal verdura o nopalito.

Los resultados de la comparación de medias del porcentaje de inhibición revelaron diferencias altamente significativas en función de los cultivares, los rangos de peso y las combinaciones de ambos. El cultivar Jalpa mostró la mayor concentración de porcentaje

de inhibición, particularmente en el rango 1 (<150 g), con un 60.486 %, como se ilustra en la Figura 33. Por otro lado, el cultivar Oreja de Elefante, en el rango de peso 2 (150-300 g), exhibió el menor porcentaje de inhibición, que fue del 27.403 %. Es importante destacar que este cultivar, Oreja de Elefante, generalmente no se utiliza en la producción de nopal verdura, el propósito para forraje es el más usual, mientras que los cultivares Jalpa y Villanueva son más comunes en la producción de nopal verdura o nopalito.

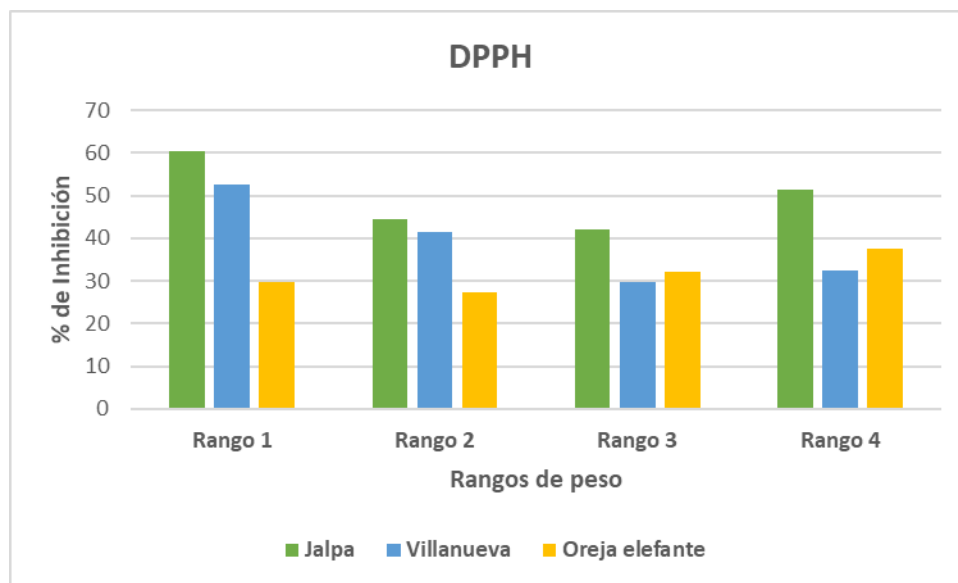


Figura 33. Porcentaje de inhibición de la comparación de medias de los cultivares y cada rango.

Referenciando a Luna *et al.* (2021) en su investigación de “El riego modifica el contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante de los cladodios de nopal tunero”, reportaron que la capacidad antioxidante aumenta bajo las condiciones de estrés hídrico. Lo cual lo relaciona al incremento de la capacidad antioxidante.

Los cultivares pertenecientes a nuestra investigación, fueron sometidos al mismo estrés hídrico, generado por las sequias, y da pie a la percepción de que nuestros cultivares sufrieron el mismo efecto. Un ejemplo extraído de (Luna *et al.*, 2021) es el cultivar *Cristalina*. El cual obtuvo un 28% de inhibición, siendo este el de mayor cantidad y bajo condiciones riego de temporal. En comparación nuestros porcentajes de inhibición

han sido superiores a los de Luna *et al.* (2021).

Los compuestos fenólicos son componentes esenciales de la capacidad antioxidante y se encuentran en una amplia variedad de alimentos, incluyendo frutas, verduras y cereales. Además de desempeñar un papel fundamental en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Peñarrieta *et al.*, 2014). Los compuestos fenólicos también están relacionados con la producción de metabolitos secundarios, que funcionan como mecanismos de defensa contra patógenos (Meléndez *et al.*, 2020). En su mayoría, estos compuestos fenólicos se acumulan en forma de polímeros o lignina (Martínez *et al.*, 2009).

Los resultados obtenidos de fenoles totales se muestran en el Cuadro 15 se presenta el análisis de varianza y comparación de medias para los fenoles totales en la harina de nopal se muestra en el Cuadro 15, representados en unidades de ácido gálico sobre gramos mg EAG/g harina.

Los resultados de los fenoles totales mostraron diferencias significativas entre los cultivares y los rangos (Figura 34). Además, la interacción entre estas variables también fue significativa. Al realizar la comparación de las medias de las combinaciones de cultivares en todos los rangos, se observa que el cultivar Jalpa en el rango 1 exhibió la mayor concentración de fenoles, con un valor de 52.10 mg EAG/g de harina.

Los cultivares Jalpa y Villanueva, mostró que a medida que aumentaba el rango, la cantidad de fenoles disminuía. Sin embargo, en el caso del cultivar Oreja de Elefante, no se observó una diferencia significativa entre los diferentes rangos. En términos generales, al comparar las medias de todas los cultivares, se encontró que el cultivar Jalpa tenía la mayor concentración de fenoles, mientras que los cultivares Villanueva y Oreja de Elefante no mostraron una diferencia significativa entre ellas. En cuanto a la comparación general de los rangos, se evidenció que a medida que aumentaba el rango, la cantidad de fenoles disminuía.

Cuadro 15. Comparación de medias de fenoles totales por cultivares y rangos de peso.

Cultivares	Rango de peso	Fenoles Totales mg EAG/g harina
Jalpa	1 (< 150 g)	52.10 a
	2 (150-300 g)	18.45 bc
	3 (300-600g)	16.65 bc
	4 (600 g >)	12.68 c
Villanueva	1 (< 150 g)	20.83 b
	2 (150-300 g)	18.21 bc
	3 (300-600g)	12.37 c
	4 (600 g >)	13.29 c
Oreja elefante	1 (< 150 g)	14.54 c
	2 (150-300 g)	13.49 c
	3 (300-600g)	14.61 bc
	4 (600 g >)	13.87 c

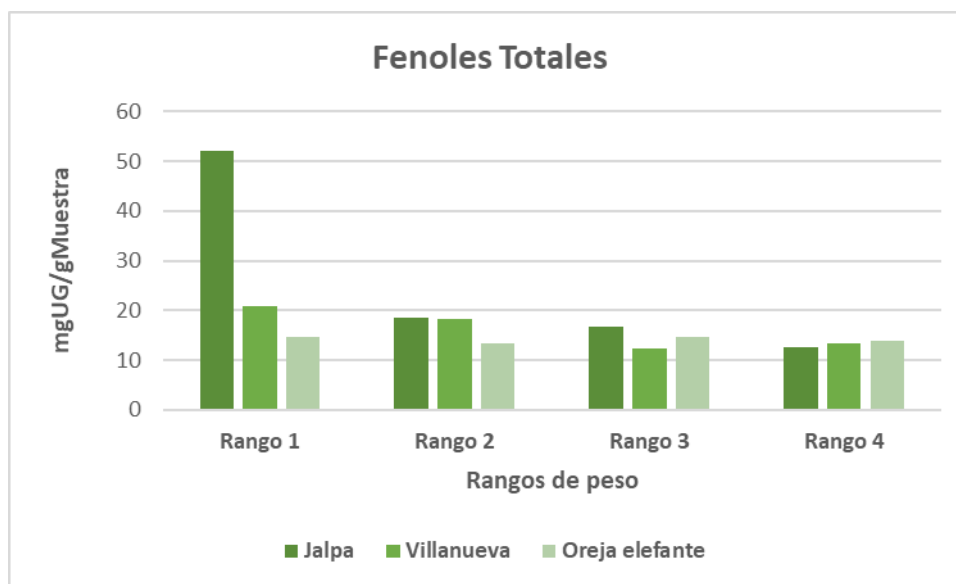


Figura 34. Concentración de Fenoles totales presentes en los cultivares en cada rango de peso.

Haciendo referencia a la investigación de Celis (2009) sobre el potencial nutracéutico de los cladodios de nopal, se llevaron a cabo varios procesos de deshidratación de nopal verdura reportó una concentración de fenoles con valores máximos de 2.08, 2.35 y 2.30 mg EAG/g. En comparación con los resultados de esta investigación, la cantidad de fenoles totales presente en la harina de nopal de diferentes cultivares y rangos de peso es más elevada que la reportada por Celis. Es importante señalar que estas diferencias pueden atribuirse al cultivar de nopal utilizada, su estado de maduración y las condiciones climáticas y de manejo del cultivo de nopal.

Citando (Manzanarez *et al.*, 2022) con su evaluación en dos etapas de coloración con nopal morado y verde en donde se utilizó el mismo método que esta investigación reportó al nopal morado con 2.31 mg EAG/g, mientras que para el nopal verde fue de 2.08 mg EAG/g. Estos datos refuerzan la conclusión de que los resultados de fenoles totales en esta investigación siguen siendo superiores a lo reportado por Manzanarez.

5. CONCLUSIONES

Los cultivares Jalpa, Villanueva y Oreja de Elefante obtuvieron comportamientos diferentemente significativos influenciados por la edad del nopal y los genotipos.

La concentración de fibra en la harina de nopal en los tres cultivares mostró que existe un comportamiento lineal de a mayor estado de maduración, mayor su concentración.

Los oxalatos de calcio se encontraron en mayor cantidad en la parte superior en comparación con las regiones media y basal en los tres cultivares. La cantidad de oxalatos de calcio varió de manera inversa en relación con los rangos de edad, es decir, a medida que la edad disminuía, la presencia de oxalatos de calcio aumentaba. Este patrón se mantuvo constante en los tres cultivares.

La capacidad antioxidante que se evaluó mediante el método de DPPH expresado en % de inhibición y mostró que el cultivar Jalpa fue el que presentó mayor concentración en el rango de peso 1 con 60.486 % de inhibición. Mientras que para en relaciones con los tres cultivares se observó los antioxidantes se encontraron en mayor concentración durante la etapa temprana de madurez de los cladodios.

La concentración de fenoles totales fue evaluada mediante el método de Folin y se expresó en mg EAG/g harina. Por lo tanto, el cultivar Jalpa exhibió mayor concentración en el rango 1 con 52.10 mg EAG/g en comparación con los cultivares Villanueva y Oreja de Elefante, mientras tanto este último mostró menor concentración de fenoles totales. Cabe destacar que la concentración de fenoles totales tuvo un comportamiento, a menor peso del nopal, mayor concentración de fenoles totales.

La composición nutricional de la harina de nopal varía dependiendo del cultivar y del nivel de madurez, el cual está directamente relacionado con el peso de los cladodios.

En términos generales, se puede concluir que, en la caracterización de la harina de nopal, se observó una mayor concentración de minerales, oxalatos y antioxidantes en los cladodios en su estado de maduración temprana.

6. RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos conforme a la caracterización de suelos donde fueron colectados los cultivares, tienen un comportamiento diferente que se recomienda estudiar más sobre las condiciones climatológicas y de manejo que pueden interferir en las concentraciones finales dentro de la caracterización de harina de nopal.

El comportamiento de la concentración de calcio se recomienda investigar a fondo porque sólo en el estado de maduración avanzada tiene mayor concentración.

En la proteína presente en la harina de nopal se recomienda hacer la cuantificación con metodologías diferentes realizadas en esta investigación, ya que lo reportado está muy por debajo de lo que se reporta en otras investigaciones.

Para los oxalatos de calcio se recomienda hacer una simulación con la enzima endógena oxalato oxidasa y la bacteria género *Oxalobacter formigenes*, para ver su comportamiento fuera del cuerpo humano.

La concentración de antioxidantes se recomienda realizar más análisis de capacidad antioxidantes para ver por su composición es más alta en los estados de maduración joven considerado como nopal tierno. Así mismo evaluar si las condiciones climatológicas, estrés hídrico o de manejo interfieren en los resultados finales de concentración de antioxidantes.

El cultivar oreja de elefante es muy diferente en los resultados obtenidos de la caracterización de la harina de nopal comparado con los otros cultivares, por lo que se recomienda realizar más investigaciones sobre el cultivar y tener bien fundamentado su comportamiento, así como su composición, ya que no existen investigaciones relacionadas con el cultivar.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar-Lugo-Marino J. J., Sandoval-Trujillo S. J., Aguilar-Lugo-Gerez E. R. (2018). Análisis comparativo entre un jarabe de Tuna (*Opuntia Amyclaea* T.) y un jarabe comercial sabor maple. Número 69. Págs. 308-329.
- Arroyo-Figueroa, Gabriela, Medina-Saavedra, Tarsicio, Pérez-Sánchez, Rosa E., & Ortiz-Rodríguez, Ruy. (2020). Morfología y edad del cladodio de *Opuntia ficus-indica* sobre la producción de *Dactylopius coccus costa* y contenido de ácido carmínico. *Nova scientia*, 12(25), 00019. 1-16 p.
- Baca-Ibáñez, S. Y., Ríos-Paico, P. E., & Rojas-Naccha, J. C. (2016). Importancia del magnesio en la dieta humana. *Agroindustrial Science*, 5(2), 177-189. <https://doi.org/10.17268/agroind.science.2015.02.10>.
- Bacarrillo-López, Roberto, Pedroza-Sandoval, Aurelio, Inzunza Ibarra, Marco Antonio, Flores-Hernández, Amoldo, & Macías-Rodríguez, Francisco J. (2021). Productividad de forraje de variedades de nopal (*Opuntia spp.*) bajo diferentes regímenes de humedad del suelo. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 8(3), 1-10 p.
- Bazán R. (2017). Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego. Lima, Perú. Ministerio de Agricultura Instituto Nacional de Innovación Agraria. 92 p.
- Bedoya M. P., Moran R. P. y G. E. Estupiñán. (2019). Nivel nutricional y régimen alimenticio de pacientes con insuficiencia renal crónica de un centro de diálisis de Chile. *Revista Científica Mundo de la Investigación y el Conocimiento*. 3(3).
Vol. 3, núm. 3.pp. 243-274.

- Briones J. E. (2011). Obtención de harinas de cereales y leguminosas precocidas y su aplicación en alimentos para el adulto mayor. Instituto Politécnico Nacional. 168 p.
- Carbajal-Solis, D., Del Razo-Jurado, S., Hinojosa-Sánchez, M., & Rivera-Guerrero, J. (2021). Determinación de la capacidad antioxidante de la fresa por métodos de decocción y extracción mecánica en el deterioro de frutas. Memorias del Concurso Lasallista de Investigación, Desarrollo e innovación Vol. 8, Núm. 3, pp. SAL 5-8.
- Cardador-Martínez, A., Jiménez-Martínez, C., & Sandoval, G. (2011). Revalorización de residuos de tuna (*Opuntia spp.*) como fuente de antioxidantes. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 31 (3),782-788 p. [fecha de Consulta 1 de agosto de 2023]. ISSN: 0101-2061. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=395940110036>.
- Capcha Kathia M., Naventa Edwin L., Ríos Christopher R. y Nely Y. Sisa (2020). Evaluación de tres niveles de temperatura de secado del cushuro (*Nostoc sp*) en el color y porcentaje de proteína. Universidad de San Ignacio de Loyola. 42 p.
- Carrillo (2021). Calidad del agua para riego agrícola en la región del acuífero Caleraen Zacatecas, México. Tecnología y Ciencias del Agua. pp 58.
- Castellón Gómez, JJ, Bernal Muñoz, R., y Hernández Rodríguez, MD (2015). Calidad del agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala. *Ingeniería*, 19 (1). 39-50.
- Castillo, Stella Fabiana, Estrada, Liliana, Margalef, María Isabel, & Tóffoli, Susana Lucia. (2013). Obtención de harina de nopal y formulación de alfajores de alto

contenido en fibra. *Diaeta*, 31(142), 20-26. Recuperado en 30 de agosto de 2023, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-73372013000100003&lng=es&tlng=es.

Castromonte, Mary, Wacyk, Jurij y Valenzuela, Carolina. (2020). Encapsulación de extractos antioxidantes de subproductos agroindustriales: una revisión. *Revista chilena de nutrición*, 47 (5), 836-847. <https://dx.doi.org/10.4067/s0717-75182020000500836>.

Celis Fabián, Elvira Fabiola. (2009). Potencial de Nutraceutico de cladodios de Nopal (*Opuntia spp*). Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Química. 117 p.

Cremona M.V. y Enríquez A.S. (2020). Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: El pH y la conductividad eléctrica. *Presencia* No. 73. 5-8 p.

Cruz, El, & Chavarría Miranda, H. (2022). Nopal/tuna, mercado y territorio en México: un enfoque de capacidades. *Eutopía: Revista de Desarrollo Económico Territorial*, (21), 100-123 p. <https://doi.org/10.17141/eutopia.21.2022.5435>.

Da silva E., Alves L., Figueiredo B. H., Ferarri C. A., Batista D., Silva L. C., Da Silva M. R. y J. Virgilio. (2020). Vegetable proteins as functional foods –review. *Curitiba*, v. 6, n. 2, ISSN 2525-8761. 5869-5879 p.

De Lira. C. (2006). Determinación de algunas propiedades fisicoquímicas del nopal OSL. (*Opuntia Streptacantha Lemaire*) en función de su etapa de desarrollo. Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Ciencias Naturales. 89 p.

Dávila P. D. (2015). Determinación de sodio, potasio, hierro, cinc y calcio en tres leguminosas: garbanzo, soya y maní, por espectrofotometría de absorción atómica de llama. Tesis de Licenciatura en Ciencias Químicas. Pontificia

Universidad católica del Ecuador Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Escuela de Ciencias Químicas. 188 p.

Diego L. M., Méndez G., Rivera J. A., y E. Flores. (2021). Efecto del nopal (*Opuntia spp*) deshidratado en polvo sobre las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de salchichas Viena. Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud. XXIII (2): 89-95 p.

Enríquez M. A. y G. L. Ojeda. (2020). Evaluación bromatológica de dietas alimenticias, con la inclusión de harina de plátano de rechazo. Revista Espamciencia. 11(1):12-18 pp.

Enríquez M., Infantes S. y K. Román (2023). Impacto del uso de colorantes naturales en la Industria Alimentaria. RECIENA Revista Científica Agropecuaria. Vol. 3. Núm. 1. 7-15 p.

Fabela-Illescas, H, E., Ávila-Domínguez, R., Hernández-Pacheco, A., Ariza-Ortega, J.A., & Betanzos-Cabrera, G., (2015). Effect of a beverage made from cactus pear (*Nopalea cochenillifera* (L) Salm-dyck) in a rural population of hidalgo, México: a pilot clinical trial. Nutrición Hospitalaria, 32(6), 2710-2714 p.

Fernández-S, A., Loza-Cornejo, L. Torres-Bernal, M.G., Velásquez-Placencia, N.J, y Arreola-Nava, H.J. (2017). Características fisicoquímicas de frutos de variedades silvestres de *Opuntia* de dos regiones semiáridas de Jalisco, México. Polibotanica. Núm. 43, pp. 219-244.

Flores A., Araújo J.T., Gomes F., Ramírez S., y B. Murillo. (2017). Dietas a base de forraje tradicional y nopal (*Opuntia spp.*) enriquecido con proteínas para alimentar cabras Diets based on traditional forages and prickly pear (*Opuntia spp.*) supplemented with protein to feed goats. Nova Scientia. ISSN 2007 - 0705, N.º 18 Vol. 9 (1) pp 149 - 166 – 158.

- Flores M., y Reveles M., (2010). Producción de nopal forrajero de diferentes variedades y densidades de plantación. RESPYN Revista Salud Pública y Nutrición, Edición Especial No. 5-2010 (ISSN 1870-0160).
- Gallart F. (2017). La conductividad eléctrica del suelo como indicador de la capacidad de uso de los suelos de la zona norte del Parque Natural de la Albufera de Valencia. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia. 41 p.
- García Galvis, Johnbryner, & Ballesteros González, María Inés. (2005). Evaluación de parámetros de calidad para la determinación de carbono orgánico en Suelos. *Revista Colombiana de Química*, 34 (2), 201-209 p. Recuperado el 20 de agosto de 2023, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28042005000200009&lng=en&tlng=es.
- Gisbert Blanquer, J. M., Ibañez Ansensio S. y H. Moreno Ramon. (2010). La textura de un suelo. Universidad Politécnica de Valencia. Producción Vegetal. 1-8p.
- González-Miranda, G., Bernal-Ramos, O., Gutiérrez-Alva, E.E y Santamaria-Mendoza, E.A. (2016). Usos y aplicaciones del nopal como oportunidad competitiva en la Ciudad de Toluca, 2016. UAMEX. 73-79 p.
- Granillo R., González I. J., Santana F. y J.L. Martínez. (2019). Estrategia de centros de consolidación para la distribución de tuna en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* volumen 10 número 2. 265-276 pp.
- Hernández-Castillo JBE, Bernardino-Nicanor A, Juárez-Goiz JMS, González-Cruz L. (2016). Determinación de los cambios originados por los procesos de asado y freído del nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) sobre la concentración de carotenoides, fenoles totales y la actividad antioxidante. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Vol. 1, No.1. 526-531 p.

Hernández Rodríguez, María de Lourdes, & Castellón Gómez, Juan José, & Bernal Muñoz, Roberto (2015). Calidad del agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala. *Ingeniería*, 19 (1),39-50 p. [Consultado 15 de mayo de 2022]. ISSN: 1665-529X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46750924004>.

INTAGRI. (2018). Plantas C3, C4 y CAM. Instituto para la innovación Tecnológica en la Agricultura.

Jauregui D. y A. Moreno. (2004). La Biomineralización del Oxalato de Calcio en plantas: retos y potencial. *REB* 23 (1): 18-23 pp.

Lanza José, Gregorio., Churión, Pedro César., Gómez, Néstor (2016). Comparación Entre El método Kjeldahl tradicional y el método dumas automatizado (N Cube) para la determinación de proteínas en distintas clases de alimentos. *Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente*, vol. 28, núm. 2. 9 pp.

Lazcano-Hernández C.Y., Hernández-Hernández A.A., García-Curiel L., Pérez-Escalante E., Contreras-López E. y J.G. Pérez-Flores. (2023). Extracción de compuestos bioactivos a partir de los subproductos de la tuna (*Opuntia ficus-indica* spp.): Tendencias y aplicaciones recientes en alimentos. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Vol. 8 (2023) 785-794 p.

López-Aguilar R., Murillo-Amador B., Benson-Rosas M., López-Arce E., Valle-Meza G. (2002). *Manual de Análisis Químicos de suelos*. Editorial. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, B.C.S. México.1-107 p.

Loubet A. L. (2008). Biodisponibilidad de calcio presente en harina de nopal (*Opuntia ficus indica*) en función a su estado de maduración. Universidad Autónoma del

Estado de Hidalgo. Mineral de la Reforma, Hidalgo. 114 p.

Luna, E., Meza, J. A., & Zegbe, J. A. (2021). El riego modifica el contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante de los cladodios de nopal tunero. *XI Reunión Nacional de Investigación Agrícola. Memoria. Ciudad de México*, 10-12 p.

Maki-Díaz, Griselda, Peña-Valdivia, Cecilia B., García-Nava, Rodolfo, Arévalo-Galarza, M. Lourdes, Calderón-Zavala, Guillermo, & Anaya-Rosales, Socorro. (2015). Características físicas y químicas de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) para exportación y consumo nacional. *Agro ciencia*, 49(1), 31-51 p. Recuperado 10 de mayo de 2022, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952015000100003&lng=es&tlng=es.

Maldonado-Santoyo, María, & Morales-López, Gladys. (2022). Análisis químico y nutricional en hojas de *Ricinus communis*-. *Revista Cubana de Química*, 34(1), 3-18 p. Epub 18 de febrero de 2022. Recuperado en 07 de agosto de 2023, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212022000100003&lng=es&tlng=es.

Manzanarez-Tenorio, LE, Ruiz-Cruz, S, Cira-Chávez, LA, Estrada-Alvarado, MI, Márquez-Ríos, E, Toro-Sánchez, CL Del, & Suárez-Jiménez, GM. (2022). Caracterización fisicoquímica, actividad antioxidante y contenido de fenoles y flavonoides totales de nopal morado (*Opuntia gosseliniana*) en dos etapas de coloración. *Biocencia*, 24(3), 101-106. Epub 19 de junio de 2023. <https://doi.org/10.18633/biocencia.v24i3.1662>.

Márquez B. M. (2014). Cenizas y Grasas. Universidad Nacional de San Agustín. Facultad de Ingeniería de Procesos. Arequipa Perú. 165 p.

Martínez B. I. y G. Arroyo. (2012). Aplicación del insecto grana cochinilla en productos

cosméticos. Memoria de Veranos de la Investigación Científica UG. 448-453 p.

Martínez J. A., Arnó J., y A. Escolà. (2022). Sensores de conductividad eléctrica aparente para el análisis de la variabilidad del suelo en Agricultura de Precisión. Biblioteca Horticultura. 1-22 p.

Martínez- Valverde, Isabel, Periago, María Jesús, & Ros, Gaspar. (2009). Significado nutricional de los compuestos fenólicos de la dieta. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 50(1), 5-18 p.

McKean J. Sheifa. (1993). MANUAL DE ANALISIS DE SUELOS Y TEJIDO VEGETAL. Centro Internacional de Agricultura Tropical· CIAT. Laboratorio de Servicios Analíticos. 1-103 p.

Medina E., Mancilla O., Larios M., Guevara R., Olguin J. y O. Barreto. (2016). Calidad del agua para riego y suelos agrícolas en Tuxcacuesco, Jalisco. IDESIA (Chile). Volumen 34, N.º 6. 51-59 p.

Medina T., Arroyo G., Herrera C., Gantes M., Santoyo L. y A. Santoyo (2018). Análisis químico proximal en residuos sólidos de cerveza artesanal y su aceptación en cerdas. *Abanico Veterinario* ISSN 2448-6132. 86-92 p.

Medina G., Zegbe J. A., Ruiz J.A., Casa J.I. y V. M. Rodríguez. (2021). Influencia del cambio climático en los requerimientos térmicos del nopal tunero (*Opuntia spp.*) en el Centro-Norte de México. *Revista Bio Ciencias*. 1-25 p.

Meléndez Balbuena, L., Cabrera Vivas, B. M., Soto López, I., Castro Lino, A., & Ramírez García, J. C. (2020). Antioxidantes naturales y su poder reductor frente a iones plata: alternativa en la recuperación de metales. *CIBA Revista Iberoamericana De Las Ciencias Biológicas Y Agropecuarias*, 9(17), 1 - 22. <https://doi.org/10.23913/ciba.v9i17.95>.

Mendoza Sosa Vanessa G, Estrella Barrón Raquel, Zarza García Addy L.*, Toledo López Víctor M., Zúñiga Juárez Margarita, Escobar Puentes Abraham, Solís Cardouwer Olga S. (2019). Desarrollo de un hot cake con harina de nopal. Congreso Internacional CUCCAL 12, Palacio de la Autonomía, CDMX. 196-202 p.

Mesa-Vanegas, Ana M., Gaviria, Carlos A., Cardona, Felipe, Sáez-Vega, Jairo A., Blair Trujillo, Silvia, & Rojano, Benjamín A. (2010). Actividad antioxidante y contenido de fenoles totales de algunas especies del género *Calophyllum*. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 15(2), 13-26 p. Recuperado en 02 de agosto de 2023, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47962010000200003&lng=es&tlng=es.

Morales N. V. y M. Quiroga. (2022). Water retention capacity in a sandy soil with addition of aloe vera leaves (*Aloe barbadensis* Miller) and prickly pear stalks (*Opuntia ficus-indica* sp.) dehydrated and their influence in physiological development of chard (*Beta vulgaris* var. Cicla). *CIBUM SCIENTIA*, Bolivia. Vol. 1, n° 1. pp. 32-40.

Niven G. (2022). Evaluación de diferentes abonos orgánicos en la producción de nopal verdura. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Agronomía. 83 pp.

Norma Oficial Mexicana NOM-086-SSA1-1994. Bienes y Servicios. Alimentos y Bebidas No Alcohólicas con modificaciones en su composición. Especificaciones nutrimentales.

Ortega Anta, RM, Jiménez Ortega, AI, & López-Sobaler, AM (2015). El calcio y la salud. *Nutrición Hospitalaria*, 31 (2), 10-17 p. [fecha de Consulta 29 de agosto de 2023]. ISSN: 0212-1611. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=309238518002>.

- Pedrazas-García, L. (2020-2021). The Fashion Industry: Fast Fashion and Environment. Ae 1049. Bachelor's degree in business administration Ae 1049 - Bachelor's Thesis. 64 p.
- Pérez M. (2019). Influencia de la conductividad eléctrica del agua de riego en dos híbridos de pepino (*Cucumis sativus*, L) en casas de cultivos protegidos. Tesis. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. Santa Clara, Villa Clara, Cuba. 52 p.
- Pérez-Díaz, José Pedro, Ortega-Escobar, Héctor Manuel, Ramírez-Ayala, Carlos, Flores-Magdaleno, Héctor, Sánchez-Bernal, Edgar Iván, Can-Chulim, Álvaro, & Mancilla-Villa, Oscar Raúl. (2019). Concentración de nitrato, fosfato, boro y cloruro en el agua del río Lerma. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 6(16), 175-182. Epub 01 de octubre de 2019. <https://doi.org/10.19136/era.a6n16.1829>.
- Pérez E. y R. Esquivel. (2018). Adecuación de metodologías para análisis de sodio y potasio por espectroscopía de absorción atómica, en sales de rehidratación oral. *Tecnología en Marcha*. Vol. 31-2. Abril junio 2018. Pág. 40-57.
- Pérez López, Esteban (2013), "Análisis de fertilidad de suelos en el laboratorio de Química del Recinto de Grecia, Sede de Occidente, Universidad de Costa Rica". *InterSedes: Revista de las Sedes Regionales*, vol. XIV, núm.29, pp.6-18 [Consultado: 28 de enero de 2022]. ISSN: 2215-2458. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=66629448001>.
- Ríos-Ramos, J. y Quintana M. V. (2004). Manejo General del cultivo del nopal. Colegio de Postgraduados. 1-81 p.
- Rivera E., Sánchez M. y H. Domínguez. (2018). pH como factor de crecimiento en plantas. *RIC*. Vol. 4- N.º Especial. 101-105 p.

- Rojas A. Y. y Herrera E.J. (2016). Determinación de textura por el método de Bouyucos método del hidrómetro estandarizado según norma ASRM-152H. Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Pontificia Bolivariana. Floridablanca-Colombia. 5 p.
- Rodríguez M.E., Lira C., Hernández E., Cornejo M. A. Palacios A.J., Rojas I., Reynoso R., Quintero L. C., Del Real A., Zepeda T. A. y C. Muñoz. (2007). Physicochemical Characterization of Nopal Pads (*Opuntia ficus indica*) and Dry Vacuum Nopal Powders as a Function of the Maturation. *Plant Foods Hum Nutr* (2007) 62:107–112 p.
- Rodríguez Delgado, Irán, Pérez Iglesias, Hipólito Israel, García Batista, Rigoberto Miguel, & Quezada Mosquera, Arturo Joel. (2020). Efecto del manejo agrícola en propiedades físicas y químicas del suelo en diferentes agroecosistemas. *Revista Universidad y Sociedad*, 12(5), 389-398.
- Rodríguez-Rodríguez, E., Bermejo, L. M., López-Sobaler, A. M., & Ortega, R. M. (2011). Una ingesta inadecuada de manganeso podría contribuir a la aparición de resistencia a la insulina en niñas. *Nutrición Hospitalaria*, 26(5), 965-970. Recuperado en 30 de agosto de 2023, de http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112011000500007&lng=es&tlng=es.
- Sabino Ramos, A. (2016). Determinación de fierro y cobre en alimentos: maca (*lepidiumperuvianum*), muña (*minthostachymollis*) y cañihua (*chenopodiumpallidicaule*) por espectroscopía de absorción atómica a la llama. 77 p.
- Sarabia I. F., Cisneros R., Aceves J., Durán H. M., y J. Castro. (2011). Calidad del agua de riego en suelos agrícolas y cultivos del Valle de San Luis Potosí, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 27(2), 103-113 p.

Recuperado en 20 de agosto de 2023, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992011000200002&lng=es&tlng=es.

Salazar K.G., Erazo A. E., Oñate B. A., Condo L.A y J.L. Cañar. (2023). Extracción de Acido Carmínico como colorante natural a partir de la cochinilla (*Dactylopius Coccus Costa*). Pol. Con. (Edición nun. 80). Vol. 8, No. 3. Pp 540-564.

Sánchez A.J., Salgado S., Palma D.J., Camacho W., y Guerrero A. (2011). Análisis de Nitrógeno Total en suelos tropicales por Espectroscopía de Infrarrojo Cercano (Nirs) Y Quimiometría. Agro ciencia 45: pp 653-662.

Sánchez M. E. (2020). Evaluación del impacto del consumo de *Opuntia ficus-indica* en la densidad mineral ósea y lípidos séricos en mujeres adultas. Universidad Autónoma de Nuevo León. Tesis. 101 p.

Sandoval-Trujillo, S.J., Ramírez-Cortes, V., y Hernández-Bonilla, B.E. (2019). Alternativas de producción del nopal en el Estado de México. UAEM. pp 1349-1361.

Santos, Silvia, Vinderola, Gabriel, Santos, Luama, & Araujo, Edilene. (2018). Biodisponibilidad de minerales que lados y no que lados: una revisión sistemática. *Revista chilena de nutrición*, 45(4), 381-392 p. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182018000500381>

Santos T. y J. Velasco V. (2016). Importancia de la materia orgánica en el suelo. Agro productividad Volumen 9, Numero 8, agosto 2016. pp: 52-58.

Sardiñas Peña, Olivia, & Pérez Cabrera, Adisbel. (2004). Determinación de nitrógeno amoniacal y total en aguas de consumo y residuales por el método del fenato. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 42(2). 1-5 p. Recuperado

en 01 de agosto de 2023, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032004000200002&lng=es&tlng=es.

Sellarés, V., Rodríguez, D., de Fósforo, I., de Calcio, I., & de Potasio, I. (2020). Nutrición en la Enfermedad Renal Crónica. *Nefrología al día*, 24.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera SIAP, (2021). Producción Anual Agrícola de nopalitas.

Silva P. (2012). Copper content in food consumption Costa Rican by flame atomic absorption spectroscopy and microwave digestion. *Rev Costarr Salud Pública* N.º 2 – Vol. 21; 92-95 p.

Solís G., Mendoza S.M., Juárez S.O., Mancillas M., Ávila J., Leyva M., A., y J.F. Ramírez-García, JF (2021). Evaluación nutracéutica de un pan tipo coyota a partir de harinas de trigo, frijol y nopal con mermelada de higo. *Investigación y Ciencia*, 29 (82), 24-32 p. <https://doi.org/10.33064/iycuaa2021823539>.

Terán C. F. (2016). Comparación de los métodos de digestión seca y digestión ácida por microondas para el análisis de fósforo en brócoli y acelga por Espectrofotometría Ultravioleta – Visible. Tesis licenciatura en Química Analítica. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Escuela de Ciencias Químicas. Quito. 89 p.

Torres-Ponce, R. L. (2015). El nopal: planta del semidesierto con aplicaciones en Farmacia. Alimentos y nutrición animal. *Rev. Mex. Cienc. Agric* vol.6 no.5 Texcoco. 6(5), 1129-1142 p.

Torres-Salcido, G.J & Cornejo-Oviedo, M.F., (2018). Organización y liderazgo en la construcción de un Sistema Agroalimentario Localizado. Un estudio de caso

sobre el nopal en Hidalgo, México. *Estud. soc* vol.28 no.51 Hermosillo.28(51). 1-25 p.

Tovar A., Pando M., González H., Scott L. y S. J. Méndez (2007). Density of Calcium Oxalate Crystals in 15 Prickly Pear Cultivated Species. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 91-98 p.

Valdez R.D., Blanco F., Vázquez R. y R. Magallanes. (2008). Producción y usos del Nopal para verdura. *Revista Salud Publica y Nutrición. Edición Especial No. 14*. 1-19 p.

Valdez L., Ramírez M., Rayas A., Díaz M., Jiménez J., García M., Miranda G., Cruz R., y E. Ramírez. (2019). Production and reproductive problems due to mineral deficiencies in cattle in some tropical regions of Mexico. *Agroproductividad*. Vol. 12, Núm. 12. pp: 11-18.

Vázquez-Alvarado R. E., R. D. Valdez-Cepeda., F. Blanco-Macías., Ma. del C. Ojeda-Zacarías., S. de J. Méndez-Gallegos., J. A. Santos-Haliscak., E. Olivares-Sáenz. (2015). Manejo de condiciones de estrés hídrico y nutricional en la producción de oxalatos de calcio en nopal verdura. XIV Symposium-Taller Nacional y VII Internacional "Producción y Aprovechamiento del Nopal y Maguey XIV Symposium-Taller Nacional y VII Internacional "Producción y Aprovechamiento del Nopal y Maguey".

Vázquez S., Morales L. A., y Dalurzo H.C. (2004). Disponibilidad del fósforo en suelos ácidos de misiones, Argentina. *Agricultura Técnica*, 64(1), 50-57 p. <https://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072004000100006>.

Zalba P., Bravo O., Amiotti NM. y N. Peinemann (2002). Métodos alternativos para determinar las disponibilidades de fósforo en suelos Agrícolas. Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur, Altos del Palihue, (8000) Bahía

Blanca, Argentina. Ciencia del Suelo 20 (1) 2002.50-53 p.

Zúñiga-Valenzuela, R. (2020). Evaluación del estrés hídrico en la formación de oxalatos y carbonatos de calcio con análisis microfotográfico en nopal verdura (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller). Tesis. UANL.1-73 pp.