



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
COORDINACIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



APROXIMACIÓN ETNOBOTÁNICA Y CALIDAD DE FRUTO DE CHILE 'DE AGUA' (*Capsicum annuum* L.) DE OAXACA

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

Presenta:

ERNESTO ESCOBAR BAHENA

BAJO LA SUPERVISIÓN DE: Dr. Juan Martínez Solís



Chapingo, Estado De México, junio 2025



APROXIMACIÓN ETNOBOTÁNICA Y CALIDAD DE FRUTO DE CHILE 'DE AGUA' (*Capsicum annuum* L.) DE OAXACA

Tesis realizada por Ernesto Escobar Bahena bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR:



Dr. JUAN MARTÍNEZ SOLÍS†

ASESOR:



Dr. J. JÉSUS MAGDALENO VILLAR

ASESOR:



Dra. MA TERESA MARTÍNEZ DAMIÁN

ASESOR:



Dra. MARGARITA GISELA PEÑA ORTEGA

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
DEDICATORIA	viii
AGRADECIMIENTOS	ix
DATOS BIOGRÁFICOS.....	x
RESUMEN GENERAL	xi
GENERAL ABSTRACT	xii
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Justificación	3
1.3. Objetivos generales.....	4
1.3.1. Objetivos específicos.....	4
1.4. Hipótesis.....	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1. Genero <i>Capsicum</i> spp.	5
2.1.1. Importancia	5
2.1.2. Diversidad	5
2.2. Chile ‘de agua’ (<i>Capsicum annuum</i> L.).....	6
2.2.1. Importancia	6
2.2.2. Origen y distribución.....	6
2.2.3. Producción estatal	7
2.3. Calidad del fruto	8
2.4. Componentes de calidad.....	8
2.5. Métodos para la evaluación de la calidad.....	9

2.6.	Desarrollo del fruto	10
2.7.	Maduración del fruto	10
2.8.	Cambios fisiológicos durante la maduración	11
2.9.	Tipos de frutos de acuerdo a la maduración	12
2.10.	Índices de madurez.....	12
2.11.	Tipos de madurez del fruto	13
2.12.	Aspectos etnobotánicos	14
2.13.	Importancia de la aproximación etnobotánica en Chile ‘de agua’	14
2.14.	Literatura citada.....	16
CAPÍTULO 3. CALIDAD DE FRUTO DE CHILE ‘DE AGUA’ (<i>Capsicum annuum</i> L.) DE OAXACA CON DISTINTO GRADO DE MADUREZ		21
3.1.	RESUMEN.....	22
3.2.	ABSTRACT	23
3.3.	INTRODUCCIÓN	24
3.4.	MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.4.1.	Sitios de muestreo	25
3.4.2.	Ubicación del sitio experimental	25
3.4.3.	Material experimental	25
3.4.4.	Variables de estudio	25
3.4.5.	Análisis estadístico.....	26
3.5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
3.5.1.	Análisis de agrupamiento	27
3.5.2.	Análisis discriminante	27
3.5.3.	Descripción de grupos.....	30
3.5.4.	Análisis de varianza.....	32
3.5.5.	Calidad físico-química del fruto	32

3.6.	CONCLUSIONES.....	39
3.7.	LITERATURA CITADA	40
CAPÍTULO 4. APROXIMACIÓN ETNOBOTÁNICA DEL CHILE ‘DE AGUA’ (<i>Capsicum annuum</i> L.) DE OAXACA		44
4.1.	RESUMEN	45
4.2.	ABSTRACT	46
4.3.	INTRODUCCIÓN.....	47
4.4.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	49
4.4.1.	Descripción de las áreas de estudio	49
4.4.2.	Obtención de la información etnobotánica	50
4.4.3.	Análisis estadístico.....	50
4.5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	58
4.5.1.	Análisis etnobotánico	58
4.6.	CONCLUSIONES.....	72
4.7.	LITERATURA CITADA	73

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Funciones discriminantes de tres grupos de chile ‘de agua’ definidos con caracteres de calidad de fruto en cinco estados de madurez.....	28
Cuadro 2. Caracterización de los grupos de accesiones de chile ‘de agua’ en cinco estados de madurez con base en variables de calidad del fruto.	31
Cuadro 3. Comparación de medias de la claridad del color del fruto (L^*), evaluada en chile ‘de agua’ en cinco estados de madurez.....	33
Cuadro 4. Comparación de medias del croma del color del fruto (C^*), evaluado en chile ‘de agua’ en cinco estados de madurez.....	33
Cuadro 5. Comparación de medias del tono del color del fruto ($^{\circ}h$), evaluado en chile ‘de agua’ en cinco estados de madurez.....	34
Cuadro 6. Comparación de medias del peso del fruto (g), evaluado en chile ‘de agua’ en cinco estados de madurez.....	34
Cuadro 7. Comparación de medias de la firmeza del fruto (kgf), evaluada en chile ‘de agua’ en cinco estados de madurez.	35
Cuadro 8. Comparación de medias del grosor del mesocarpio del fruto (mm), evaluado en chile ‘de agua’ en cinco estados de madurez.	35
Cuadro 9. Comparación de medias de la acidez titulable del fruto (%), evaluada en chile ‘de agua’ en cinco estados de madurez.....	36
Cuadro 10. Comparación de medias de los sólidos solubles totales del fruto ($^{\circ}Brix$), evaluados en chile ‘de agua’ en cinco estados de madurez.	36
Cuadro 11. Comparación de medias de la Vitamina C del fruto ($mg\ 100\ g^{-1}$), evaluada en chile ‘de agua’ en cinco estados de madurez.	37
Cuadro 12. Comparación de medias de la clorofila del fruto ($\mu g\ 100\ g^{-1}$), evaluada en chile ‘de agua’ en cinco estados de madurez.....	37
Cuadro 13. Comparación de medias de los carotenos del fruto ($\mu g\ 100\ g^{-1}$), evaluados en chile ‘de agua’ en cinco estados de madurez.	38
Cuadro 14. Distribución de localidades de estudio en municipios y distritos de las regiones Valles Centrales y Mixteca en Oaxaca.	49
Cuadro 15. Categorización de las variables sociales de conocimiento local, usos y manejo del chile ‘de agua’ obtenidas a partir de 45 encuestas.	51
Cuadro 16. Variables sociales y agronómicas de conocimiento, usos y manejo del chile ‘de agua’ de los Valles Centrales de Oaxaca, México.	60

Cuadro 17. Medidas de discriminación de las variables etnobotánicas para las primeras dos dimensiones empleadas en la aplicación de 45 encuestas de conocimiento, manejo y usos del chile ‘de agua’.....	67
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción de variedades de chile verde en el estado de Oaxaca.	7
Figura 2. Municipios productores de chile ‘de agua’ en el estado de Oaxaca	7
Figura 3. Dendrograma jerárquico de 50 accesiones de chile ‘de agua’ basado en caracteres de calidad de fruto en cinco estados de madurez, utilizando distancias euclidianas y el algoritmo de mínima varianza de Ward.	27
Figura 4. Representaciones gráficas de variables discriminantes (VD1 y VD2) de tres grupos de accesiones de chile ‘de agua’ en función a variables de calidad en cinco estados madurez.	30
Figura 5. Proyección bidimensional de las medidas de discriminación de las variables etnobotánicas para las primeras dos dimensiones.	69
Figura 6. Representación gráfica del espacio bidimensional de las variables etnobotánicas y su relación con criterios geográficos.	70

DEDICATORIA

A **Dios**, por permitirme vivir hasta este momento tan importante.

A mi papá **Ernesto Escobar Zúñiga** y mi mamá **Rosario Bahena Nava**, por la motivación, sabios consejos y amor que me demuestran cada día. Su apoyo incondicional me fortalece a seguir adelante y nunca darme por vencido.

A mi hermano **José de Jesús Escobar Bahena**, por el sustento brindado durante la realización de mi posgrado, que me dio la oportunidad de obtener este importante logro.

A mi hermana **Carolina Escobar Bahena**, por el cariño y el apoyo recibido durante todos estos años.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCyT) por otorgarme la beca que me sirvió de soporte económico para realización mi maestría.

A la Universidad Autónoma Chapingo al otorgarme la oportunidad de llevar a cabo mi Maestría en Ciencias en Horticultura.

Al Dr. Juan Martínez Solís†, con profundo respeto y agradecimiento póstumo, por su valiosa disposición para dirigir este trabajo, así como por compartir su experiencia y conocimientos, los cuales fueron fundamentales para la correcta elaboración de esta tesis.

A la Dra. Ma Teresa Martínez Damián, por sus aportes y recomendaciones para la adecuada elaboración de la tesis.

A la Dra. Margarita Gisela Pena Ortega, por su valioso apoyo en la revisión y redacción de la tesis.

Al Dr. J. Jesús Magdaleno Villar, por el apoyo brindado en observaciones y revisión a este trabajo.

Al M.C. Janio Ricardo Ochoa Bahena, por sus consejos y apoyo en la elaboración de este trabajo.

A la Lic. Itzel Nayelli Silvestre González, por el tiempo y apoyo brindado en el trabajo de laboratorio.

Al Dr. José Francisco Díaz Nájera, por su invaluable apoyo y orientación en mi proceso de ingreso al posgrado.

A mis profesores del posgrado, por todos los conocimientos y experiencias brindadas.

DATOS BIOGRÁFICOS

Ernesto Escobar Bahena nació el 10 de mayo de 1999 en San Vicente Palapa, Guerrero. Inició su formación académica en el Centro de Estudios Técnicos del Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero (CET-CSAEGRO), donde cursó el bachillerato en las áreas de Químico-Biológicas y Físico-Matemáticas con una especialidad en Técnico Agropecuario entre 2014 y 2017. Posteriormente, continuó sus estudios superiores en el Centro de Estudios Profesionales del Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero (CEP-CSAEGRO), obteniendo el título de Ingeniero Agrónomo Fitotecnista en el periodo 2017-2022. En el periodo 2023-2024 realizó sus estudios de posgrado en la Universidad Autónoma Chapingo, logrando obtener el título de Maestro en Ciencias en Horticultura en 2025.



RESUMEN GENERAL

APROXIMACIÓN ETNOBOTÁNICA Y CALIDAD DE FRUTO DE CHILE 'DE AGUA' (*Capsicum annuum* L.) DE OAXACA

El chile 'de agua' (*Capsicum annuum* L.) es un cultivo de gran importancia económica social y cultural de los Valles Centrales de Oaxaca. Su amplia aceptación en el mercado depende de sus características organolépticas; sin embargo, como producto perecedero, su calidad y su frescura en el punto de venta se ven afectadas por factores como el grado de madurez. Además de su valor alimenticio, el chile 'de agua' posee un profundo valor cultural para los habitantes de la región, quienes por generaciones han transmitido sus conocimientos tradicionales. No obstante, este saber acumulado enfrenta el riesgo de desaparecer. El objetivo del presente estudio fue evaluar la calidad de fruto y realizar una aproximación etnobotánica del chile 'de agua' de los Valles Centrales de Oaxaca, con el fin de destacar las características organolépticas y el valor cultural del chile 'de agua', tanto para incrementar su valor en el mercado como a resaltar su importancia social y económica. Se colectaron 50 accesiones de chile 'de agua' de las regiones de los Valles Centrales y Mixteca de Oaxaca. Mediante análisis multivariado de agrupamiento en la calidad del fruto se identificaron tres agrupaciones, las cuales se corroboraron bajo un análisis discriminante. En cuanto a la información etnobotánica, con el análisis de correspondencia múltiple (ACM) y las medidas de discriminación, las variables etnobotánicas formaron cuatro grupos bien definidos, los cuales se relacionaron con criterios geográficos. La madurez del fruto influyó positiva y negativamente en las características organolépticas del fruto; cosechas tempranas aseguran la obtención de frutos firmes, de colores claros y llamativos, cosechas intermedias frutos con altos valores de croma, mayor grosor del mesocarpio y elevados niveles de Vitamina C. Finalmente, con cosechas tardías se obtienen frutos pesados y de mejor sabor. El conocimiento etnobotánico, prácticas agrícolas y usos del chile 'de agua' varió considerablemente entre los municipios de las dos regiones, sin embargo, existe una interconexión en valor cultural del chile 'de agua', que se refleja no solo en su uso predominante en la gastronomía local, sino también en rituales y tradiciones que aún persisten.

Palabras claves: características organolépticas, valor cultural, análisis multivariado, análisis discriminante, ACM.

GENERAL ABSTRACT

ETHNOBOTANICAL APPROACHMENT AND FRUIT QUALITY OF 'DE AGUA' CHILI (*Capsicum annuum* L.) OF OAXACA

The 'de agua' chili pepper (*Capsicum annuum* L.) is a crop of great economic, social and cultural importance in the Central Valleys of Oaxaca. Its wide acceptance in the market depends on its organoleptic characteristics. However, as a perishable product, its quality and freshness at the point of sale are affected by factors such as degree of ripeness. In addition to its nutritional value, the 'de agua' chili pepper has a great cultural value for the inhabitants of the region, who have passed down their traditional knowledge for generations. Nevertheless, this accumulated knowledge faces the risk of disappearing. The objective of this study was to evaluate the fruit quality and carry out an ethnobotanical approachment to the 'de agua' chili pepper from the Central Valleys of Oaxaca, in order to highlight the organoleptic characteristics and cultural value of the crop, both to increase its value in the market and to highlight its social and economic importance. Fifty accessions of 'de agua' chili pepper were collected from the Central Valleys and Mixtec regions of Oaxaca. Three groupings were identified by multivariate analysis of fruit quality grouping, which were corroborated by discriminant analysis. As for the ethnobotanical information, with multiple correspondence analysis (MCA) and discrimination measures, the ethnobotanical variables formed four well defined groups, which were related to geographic criteria. Fruit maturity influenced positively and negatively the organoleptic characteristics of the fruit; early harvests ensured firm, light-colored and colorful fruit; intermediate harvests resulted in fruit with high chroma values, thicker mesocarp and high levels of vitamin C; finally, late harvests resulted in heavy fruit with better flavor. The ethnobotanical knowledge, agricultural practices and uses of the 'de agua' chili pepper varied considerably between the municipalities of the two regions, however, there is an interconnection in the cultural value of the crop, which is reflected not only in its predominant use in local gastronomy, but also in rituals and traditions that still persist.

Key words: organoleptic characteristics, cultural value, multivariate analysis, discriminant analysis, MCA.

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El género *Capsicum* comprende cinco especies cultivadas (*C. annuum*, *C. chinense*, *C. pubescens*, *C. frutescens* y *C. baccatum*), además de alrededor de 25 especies silvestres y semicultivadas (Aguilar et al., 2010). Entre estas, *C. annuum* es la más importante a nivel mundial y en el país, donde se encuentra la mayor diversidad de esta especie (Aguilar et al., 2010). México cuenta con 64 variedades criollas domesticadas de las cuales 25 se encuentran en el estado Oaxaca (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018; Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020). Dentro de esta riqueza destaca el chile 'de agua', endémico de los Valles Centrales de Oaxaca, donde su cultivo es exclusivo y tiene un profundo significado cultural (Aparicio-del-Moral et al., 2013).

El chile 'de agua' (*Capsicum annuum* L.) es endémico de los Valles Centrales de Oaxaca, única región donde se cultiva y se consume ampliamente (Velasco et al., 1998; López & Castro, 1999; Martínez-Sánchez et al., 2010; Aparicio-del-Moral et al., 2013). Su cultivo es fundamental para la economía local y representa la principal fuente de ingresos para el 90 % de la población (Velasco et al., 1998; Vásquez et al., 2009). En 2023 se produjeron 2,137.14 toneladas por hectárea de chile 'de agua' con un valor de más de 40 millones de pesos (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2024). Más allá de su impacto económico, el chile 'de agua' tiene un profundo valor cultural, además está estrechamente ligado a la calidad de vida de las familias campesinas, contribuye a la seguridad alimentaria y es parte integral de su modo de vida (Aparicio-del-Moral et al., 2013).

La aceptación del chile (*Capsicum* spp.) se atribuye a características como su sabor, aroma, textura y color, que resultan atractivas para el consumidor (Rojas et al., 2004; Aguilar et al., 2010; Blandón, 2012; Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura, 2023). En el caso particular del chile 'de agua', se consume ampliamente por su sabor y nivel de picor (Velasco et al., 1998; López & Castro, 1999; Martínez-Sánchez et al., 2010; Aparicio-del-Moral et al., 2013). Este conjunto de atributos o propiedades definen la calidad del fruto, ya que lo hacen destacar en términos de excelencia o superioridad, tanto de manera objetiva como subjetiva (López, 2003; Kader, 2013). La madurez del fruto determina la calidad del mismo, puesto que, durante la maduración, los frutos experimentan cambios notables en el color, sabor, textura y otros atributos, causados por profundas transformaciones metabólicas y químicas, por lo que, seleccionar el punto ideal de cosecha ayuda a garantizar su calidad y maximizar su aceptación en el mercado (Rojas et al., 2004; Angón-Galván et al., 2006).

Además de valor alimenticio del chile 'de agua', los habitantes de los Valles Centrales mantienen un profundo conocimiento tradicional de este cultivo, en torno a su uso medicinal, ornamental, ritual y como amuleto (Montaño-Lugo et al., 2014). Estos conocimientos tradicionales que a través del tiempo se han acumulado y en ocasiones también se han perdido, debido a la modernización y la intervención humana en el entorno natural, han sido elementos esenciales en el desarrollo de la humanidad y son el campo de estudio de la etnobotánica (Bañuelos et al., 2008; Hernández, 2012).

1.1. Planteamiento del problema

El chile 'de agua', un cultivo endémico de los Valles Centrales de Oaxaca, enfrenta serios desafíos para su permanencia debido a una baja demanda en el mercado nacional y a una comercialización limitada (Montaño-Lugo et al., 2014). La producción se destina principalmente a los mercados de la capital oaxaqueña, donde se vende en fresco, sin haber logrado penetrar otros mercados nacionales que podrían ampliar su consumo (Velasco et al., 1998; Vásquez et al., 2009). Esta falta de diversificación en la comercialización, combinada con la demanda de mayores insumos para su cultivo y su vulnerabilidad a plagas y enfermedades, reducen de manera importante la productividad y calidad del fruto propiciando un desplazamiento progresivo (Vásquez et al., 2009; Montaño-Lugo et al., 2014). Este desplazamiento tiene consecuencias directas para la calidad de vida de las familias campesinas de la región, cuyo sustento y modo de vida están estrechamente ligados a esta variedad de chile (Aparicio-del-Moral et al., 2013). La pérdida de este cultivo no solo amenaza la economía familiar de estos productores, sino también la seguridad alimentaria y la preservación de un componente fundamental de su cultura agrícola (Aparicio-del-Moral et al., 2013).

Ante esta falta y pérdida de reconocimiento que enfrenta este cultivo, es importante comprender, destacar y preservar tanto sus características organolépticas como el conocimiento ancestral acumulado a través de generaciones que los habitantes de los Valles Centrales han transmitido asociado a este cultivo endémico.

1.2. Justificación

El chile ‘de agua’ es un cultivo emblemático en los Valles Centrales de Oaxaca, siendo la única región en la que se siembra y convirtiéndose en un símbolo de la horticultura local (Aparicio-del-Moral et al., 2012). Su importancia va más allá de lo agronómico, pues dinamiza la economía de la región al ser la principal fuente de ingresos para el 90 % de la población, generando empleos y contribuyendo a la seguridad alimentaria de las familias campesinas (Velasco et al., 1998; López, 2002; Vásquez et al., 2009; Aparicio-del-Moral et al., 2012). Este cultivo es altamente rentable y el esfuerzo familiar en su producción permite reducir costos, fortaleciendo la economía de subsistencia y el bienestar de las comunidades locales (López, 2002; Aparicio-del-Moral et al., 2012).

A nivel cultural, el chile ‘de agua’ se consume ampliamente en la región, y su sabor y picor característicos lo hacen fundamental en la preparación de platillos típicos, lo cual refuerza su relevancia social (Velasco et al., 1998; López & Castro, 1999; Martínez-Sánchez et al., 2010). Esta hortaliza es en esencia parte integral del modo de vida de los Valles Centrales, donde se valora tanto por su aporte a la economía familiar como por su rol en la identidad gastronómica de Oaxaca (Aparicio-del-Moral et al., 2012).

El estudio del chile ‘de agua’ es fundamental para enfrentar los desafíos de baja demanda y limitada comercialización de este cultivo endémico de los Valles Centrales de Oaxaca, mejorando su reconocimiento en el mercado y fortaleciendo su valor cultural y económico. Además, con este estudio se impulsan estrategias que favorecen la economía y seguridad alimentaria de las comunidades campesinas de la región, además se promueve a generar estrategias de conservación de una variedad criolla de México, pues el chile ‘de agua’ representa no solo un recurso económico y cultural para los Valles Centrales de Oaxaca, sino también un patrimonio agrícola que contribuye a la diversidad genética del país. Preservar esta variedad es fundamental para mantener la riqueza biocultural que caracteriza a México. Conservar y promover el chile ‘de agua’ significa resguardar una herencia única que fortalece la identidad cultural de Oaxaca y asegura recursos genéticos valiosos para la soberanía alimentaria y la capacidad de adaptación agrícola frente a desafíos futuros.

Bajo estas circunstancias el presente estudio plantea los siguientes objetivos generales y particulares:

1.3. Objetivos generales

Evaluar la calidad de fruto en diferentes accesiones silvestres del chile ‘de agua’ del valle de Oaxaca e identificar aquellas que destaquen por sus características organolépticas que contribuyan a incrementar la venta del producto.

Hacer una aproximación etnobotánica del chile ‘de agua’ en los Valles Centrales de Oaxaca que genere información sobre la importancia social y económica de la especie.

1.3.1. Objetivos específicos

Identificar mediante características organolépticas sobresalientes el potencial comercial de las accesiones para mejorar la competitividad y aceptación del chile ‘de agua’ en el mercado nacional e incluso internacional.

Generar información integral sobre su importancia social y económica, reconociendo su valor cultural y reforzando su papel en la economía local.

1.4. Hipótesis

Las accesiones de chile ‘de agua’ en el valle de Oaxaca presentarán características organolépticas destacadas que incrementarán su atractivo comercial, mejorando su competitividad y aceptación en el mercado nacional e internacional.

La aproximación etnobotánica al cultivo del chile ‘de agua’ en los Valles Centrales de Oaxaca revelará su importancia social y económica, así como su valor cultural, contribuyendo a fortalecer su rol en la economía local y promoviendo su reconocimiento y demanda en mercados más amplios.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Genero *Capsicum* spp.

2.1.1. Importancia

El género *Capsicum* pertenece a la familia de las solanáceas y comprende cinco especies cultivadas (*C. annuum*, *C. chinense*, *C. pubescens*, *C. frutescens* y *C. baccatum*), además de alrededor de 25 especies silvestres y semicultivadas (Aguilar et al., 2010). Entre estas, *C. annuum* es la más importante a nivel mundial debido a la extensión de su cultivo y su valor económico, siendo México su lugar de origen y el país con la mayor diversidad de esta especie (Aguilar et al., 2010).

En México el chile verde (*Capsicum annuum* L.) es de gran importancia, representa el 21.4 % de la producción total de hortalizas (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2024). En 2023, con 174 mil hectáreas sembradas, el país se posicionó como el segundo productor mundial, con una producción de 3.68 millones de toneladas (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2024). Las exportaciones a 47 países, principalmente a Estados Unidos, generaron 1,231 millones de pesos (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2024; Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2024). No obstante, su relevancia trasciende lo productivo, ya que tiene un profundo arraigo cultural. Con un consumo per cápita anual de 19.6 kg, el chile verde es un ingrediente esencial de la cocina mexicana (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2024). Sus 64 variedades reflejan la diversidad cultural del país, siendo un alimento estratégico tanto para la agricultura como un símbolo de las tradiciones indígenas y nacionales (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2024; Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2024).

2.1.2. Diversidad

México es reconocido mundialmente por su enorme diversidad de chiles, una riqueza que ha sido moldeada a lo largo de miles de años por sus pueblos originarios (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018). El chile (*Capsicum annuum* L.) tiene sus primeras evidencias arqueológicas en la cueva de Coxcatlán, en Tehuacán, Puebla, donde se hallaron semillas que datan de entre 6,900 a. C. y 5,000 a. C., lo que demuestra su profundo arraigo en la cultura mexicana (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018). Hoy en día, se conocen al menos 200 variedades criollas, de las cuales 64 variedades han sido domesticadas en el país, lo que lo convierte en el centro de mayor diversidad de chiles a nivel mundial (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018).

Esta extraordinaria diversidad se debe en gran medida a la selección cuidadosa realizada por los agricultores mexicanos a lo largo de los siglos (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018). Mediante la cruce y selección de plantas, lograron mejorar atributos como el color, sabor, tamaño, valor nutritivo y medicinal, además de fortalecer su resistencia frente a plagas y condiciones climáticas extremas (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018). Aunque algunos chiles como el Jalapeño, Guajillo, Serrano y Habanero son conocidos en

todo el país e internacionalmente, muchas otras variedades se cultivan y consumen solo en regiones específicas, lo que refleja el vasto legado cultural y biológico de México (Aguilar et al., 2010).

Un ejemplo claro se encuentra en Oaxaca, uno de los estados con mayor diversidad de chiles, cuenta con 25 variedades criollas (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020). Dentro de esta riqueza destaca el chile 'de agua', endémico de los Valles Centrales de Oaxaca, donde su cultivo es exclusivo y tiene un profundo significado cultural (Aparicio-del-Moral et al., 2013).

2.2. Chile 'de agua' (*Capsicum annuum* L.)

2.2.1. Importancia

El chile 'de agua' (*Capsicum annuum* L.) es de suma importancia económica, social, cultural y de consumo en los Valles Centrales de Oaxaca, México, de donde es endémico (Velasco et al., 1998; Montaña-Lugo et al., 2014). Esta región es la única en el país donde se cultiva y se consume ampliamente por su sabor y nivel de picor (Velasco et al., 1998; López & Castro, 1999; Martínez-Sánchez et al., 2010; Aparicio-del-Moral et al., 2013). Su cultivo es fundamental para la economía local, ya que el 90 % de la población depende de él como principal fuente de ingresos, especialmente en los meses de marzo a agosto (Velasco et al., 1998; Vásquez et al., 2009). Además de generar ingresos, proporciona un alto número de empleos, con una demanda de entre 150 y 228 jornales por hectárea al año, lo que resalta su papel en el sustento de las familias campesinas (Velasco et al., 1998; López, 2002; Vásquez et al., 2009; Aparicio-del-Moral et al., 2013).

El chile 'de agua' destaca por su alto valor comercial y rentabilidad, con una relación beneficio-coste de 3:1 (Velasco et al., 1998; Vásquez et al., 2009). En 2023, la producción generó un valor económico de \$41.83 millones (Servicio de Información Agroalimentaria, 2023). Su comercialización se centra en los mercados locales y de la capital oaxaqueña, donde se vende principalmente fresco y es un ingrediente esencial en la gastronomía regional (Vásquez et al., 2009).

Más allá de su impacto económico, el chile 'de agua' tiene un profundo valor cultural, representa un símbolo de la horticultura regional (Aparicio-del-Moral et al., 2013). Está estrechamente ligado a la calidad de vida de las familias campesinas, contribuye a la seguridad alimentaria y es parte integral de su modo de vida (Aparicio-del-Moral et al., 2013). Es así que, la importancia del chile 'de agua' refleja la rica diversidad genética de los chiles en México, donde su cultivo es fundamental para el desarrollo económico y social de las comunidades rurales oaxaqueñas.

2.2.2. Origen y distribución

El chile 'de agua' es un cultivo endémico de los Valles Centrales del estado de Oaxaca, conocido por su alta demanda de agua para su crecimiento y desarrollo (Aparicio-del-Moral et al., 2013; Montaña-Lugo et al., 2014). Existen dos teorías sobre su origen en la región: una sugiere que fue introducido en la década de los 50 por trabajadores temporales de Sonora y Sinaloa, mientras que la versión más aceptada por los productores locales sostiene que es un chile nativo de los Valles Centrales, cultivado por sus ancestros desde hace al menos un siglo (Cruz, 2019).

Inicialmente, su distribución se limitaba mayormente a los Valles Centrales de Oaxaca, pero actualmente también se cultiva en el estado de Puebla, utilizando semillas adquiridas en las comunidades y mercados del Valle de Oaxaca (Llescalas, 2001; López, 2007; Cruz, 2019).

2.2.3. Producción estatal

En el estado de Oaxaca, durante el año 2023, se produjeron 4,052.39 toneladas de chile verde, con un valor de producción de \$69.96 millones. Esta producción incluye cuatro variedades de chile (Figura 1), de las cuales más del 50 % corresponde a chile ‘de agua’, cultivado en 38 de los 55 municipios productores (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2024).

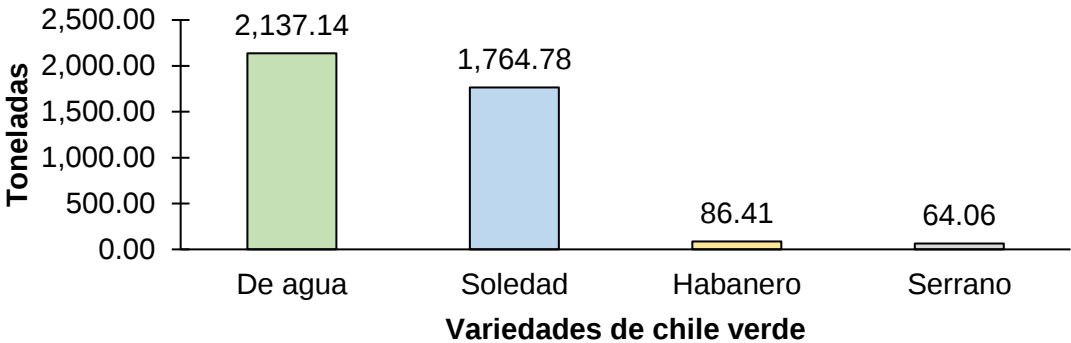


Figura 1. Producción de variedades de chile verde en el estado de Oaxaca (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2024).

En 2023, la producción de chile ‘de agua’ alcanzó 2,137.14 toneladas por hectárea (Figura 2), con un precio medio rural de \$19,575.75 por tonelada, lo que generó un valor de producción equivalente al 60 % del total estatal. Con más del 50 % de la superficie sembrada y cosechada, seis municipios concentraron más de la mitad de la producción total de esta variedad en el estado (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2024).

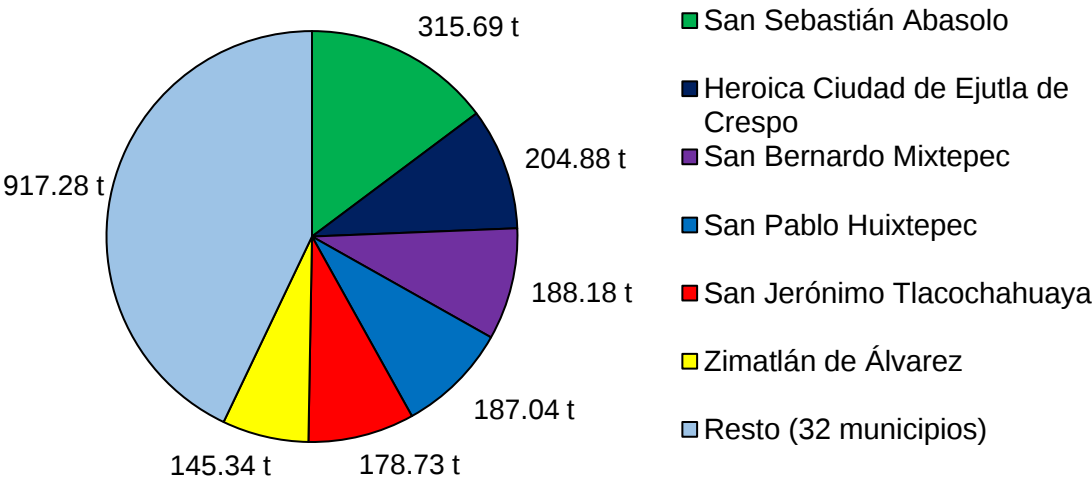


Figura 2. Municipios productores de chile ‘de agua’ en el estado de Oaxaca (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2024).

2.3. Calidad del fruto

La calidad del fruto se define como el conjunto de atributos o propiedades que lo hacen destacar en términos de excelencia o superioridad, tanto de manera objetiva como subjetiva (López, 2003; Kader, 2013). Esta calidad se puede interpretar desde distintos enfoques, dependiendo del destino del fruto, el uso que se le dará y la satisfacción que genera en los consumidores (López, 2003).

Para los consumidores, la calidad implica el grado de cumplimiento de ciertos requisitos que determinan su aceptación, lo cual añade un carácter subjetivo, ya que diferentes personas pueden valorar distintos aspectos del mismo fruto en función de sus preferencias (López, 2003). Los frutos destinados al consumo en fresco se valoran por su uniformidad, madurez y ausencia de defectos, mientras que aquellos para procesamiento se evalúan por características como el color, la viscosidad y su rendimiento industrial (López, 2003).

En la agroindustria, la calidad se determina a través de parámetros específicos como la forma, apariencia, peso seco, sólidos solubles totales, acidez titulable, pH, viscosidad, color y firmeza del fruto (Rivero et al., 2013; Alvarado et al., 2019), atributos que no solo predicen el comportamiento del fruto durante el procesamiento, sino que también permiten evaluar su calidad general.

Además, se distinguen dos grupos de cualidades en los frutos; el primero incluye aquellas cualidades normalizadas en las "normas de calidad", que se centran en aspectos externos y se utilizan en la comercialización (Ruíz & Valero, 2000), mientras que el segundo grupo incluye las cualidades organolépticas o sensoriales, como el sabor, el aroma y la textura, que son apreciadas por el consumidor solo después de probar el producto (Ruíz & Valero, 2000). Estas cualidades son cada vez más importantes para determinar la satisfacción del cliente.

2.4. Componentes de calidad

La calidad del fruto se define tanto por atributos sensoriales, percibidos a través de los sentidos, como por cualidades ocultas relacionadas con su valor nutricional (Mondino & Ferratto, 2006). Estos atributos pueden variar en importancia a lo largo del proceso que va desde la cosecha hasta llegar al consumidor, adaptándose a cada etapa del manejo y consumo del producto (Mondino & Ferratto, 2006). Los componentes de calidad de frutos frescos incluyen apariencia, textura, aroma-sabor (Flavor) y valor nutritivo (El-Zeftawi et al., 1988; Rojas et al., 2004).

La apariencia es el primer criterio que atrae al consumidor hacia un producto frutihortícola y resulta esencial para su aceptación y posible compra (López, 2003). La calidad visual de frutas y hortalizas abarca elementos como el tamaño, la forma, el brillo y el color, así como la ausencia de defectos visibles, que determinan si un producto es percibido como fresco y apetecible (Ferratto, 2004; Rojas et al., 2004). Estas características, visibles a simple vista, son fundamentales para la impresión inicial, ya que el color, el tamaño y la forma son factores clave que guían la elección del consumidor y son generalmente interpretados como indicadores de la calidad general del producto (Ferratto, 2004; Rojas et al., 2004).

La textura de frutas y hortalizas es un atributo complejo que el consumidor percibe mediante sensaciones táctiles y auditivas durante el consumo (Ferratto, 2004). Características como la firmeza, la frescura y la jugosidad se experimentan al morder y masticar el producto, y son indicadores de su calidad y grado de madurez (Rojas et al., 2004). La facilidad o dificultad con la que se desgarra y mastica el tejido del fruto aporta una impresión directa de su frescura y calidad estructural (Ferratto, 2004; Rojas et al., 2004).

El “flavor”, o la combinación de aroma y sabor, es un componente crítico en la calidad sensorial de frutas y hortalizas (Wills et al., 1981; López, 2003). El aroma resulta de compuestos volátiles que se liberan al masticar el producto, mientras que el sabor se asocia a los grados de dulzura, acidez y amargor, los cuales dependen de la madurez y composición química del fruto (López, 2003; Rojas et al., 2004). La percepción conjunta de estas cualidades durante el consumo contribuye a la experiencia de sabor y puede generar una preferencia del consumidor hacia determinados productos o variedades (López, 2003).

El valor nutricional de frutas y hortalizas, aunque limitado por su bajo contenido de materia seca, es significativo debido a su aporte de vitaminas, minerales y fibra (López, 2003). En particular, destacan las vitaminas A y C, esenciales para la salud humana, así como otros nutrientes que, aunque en menor proporción, contribuyen a una dieta balanceada (Rojas et al., 2004). A pesar de su bajo contenido de macronutrientes como carbohidratos, proteínas y lípidos, las frutas y hortalizas son fundamentales en la dieta por su aporte de agua y nutrientes esenciales (López, 2003).

2.5. Métodos para la evaluación de la calidad

La evaluación de la calidad en frutas y hortalizas se realiza mediante métodos objetivos y subjetivos (Mondino & Ferratto, 2004). Los métodos objetivos emplean instrumentos de medición específicos para evaluar características como color, firmeza y sabor; mientras que los métodos subjetivos dependen del análisis sensorial humano y la percepción de atributos organolépticos (Mondino & Ferratto, 2004). La combinación de ambos enfoques es clave para asegurar que un producto cumpla con las expectativas del consumidor, dado que la percepción de calidad sensorial puede influir decisivamente en su elección y fidelidad hacia un producto o marca (Mondino & Ferratto, 2004).

Los métodos para evaluar la calidad se dividen en destructivos y no destructivos; los primeros impiden el desarrollo natural del fruto, ya que requieren la alteración física del producto mediante pulverización, calcinación o separación de sus partes, y los no destructivos permiten analizar el fruto sin perjudicar su estructura y dependiendo de su aplicación pueden ser invasivo o no (Limones-Pérez & Contreras-Medina, 2019). Los métodos no destructivos, guardan estrecha relación con métodos químicos por lo que su información tiende a ser más exacta, entre los métodos no destructivos, aquellos que son puntuales como el uso de colorímetros basados en el espacio de color CIELa*b* y técnicas de espectroscopia (RAMAN y VIS/NIR), ofrecen la ventaja de poder obtener datos de calidad sin comprometer la integridad del producto (Limones-Pérez & Contreras-Medina, 2019). No obstante, la

espectroscopia es una tecnología costosa y compleja, lo cual limita su accesibilidad para pequeños y medianos agricultores (Limones-Pérez & Contreras-Medina, 2019).

Para integrar la evaluación de calidad en los procesos productivos, es necesario contar con equipos adecuados y métodos de medición que se adapten al sistema de producción (Ruíz & Valero, 2000). La firmeza de los frutos, por ejemplo, puede ser medida mediante técnicas destructivas y no destructivas, mientras que el contenido de azúcares (sólidos solubles totales) y ácidos se evalúa para determinar el sabor, y el aroma se aprecia mediante análisis sensorial subjetivo (Ruíz & Valero, 2000). El color, un atributo fundamental para la apariencia, puede evaluarse visualmente mediante plantillas o cuantitativamente mediante parámetros de color como L, a, b, o niveles de reflectancia (Ruíz & Valero, 2000).

2.6. Desarrollo del fruto

El desarrollo del fruto comienza a partir de la transformación del ovario de la flor, que puede o no haber sido fecundado (Calderón, 1985; Rojas et al., 2004). Desde el momento de la fecundación, las paredes del ovario inician una intensa actividad celular, impulsando el crecimiento del fruto (Calderón, 1985; Rojas et al., 2004). Este proceso ocurre en tres etapas principales: crecimiento, desarrollo y maduración, seguidas por el ablandamiento y la senescencia (Alba et al., 2005; Martínez-González et al., 2017), siendo la etapa del desarrollo del fruto la más importante y compleja durante el proceso de maduración (Angón-Galván et al., 2006).

En las primeras fases del desarrollo, tras la polinización y fertilización, se produce una rápida división celular (O'Neill, 1997; Dos Santos et al., 2015; Martínez-González et al., 2017). Luego, el crecimiento del fruto se debe principalmente al aumento en el tamaño de las células por la aparición de vacuolas, lo que provoca su elongación (Dos Santos et al., 2015; Martínez-González et al., 2017). Durante la fase de maduración, el número de células permanece constante, pero su tamaño sigue incrementándose, lo que permite que el fruto madure aún adherido a la planta (Martínez-González et al., 2017).

La madurez fisiológica es un punto en el que el fruto ha alcanzado su desarrollo, pero aún no ha iniciado su senescencia (Martínez-González et al., 2017). En esta fase, el fruto puede ser cosechado y debe subsistir con los sustratos que ha acumulado previamente (Dos Santos et al., 2015; Martínez-González et al., 2017). Posteriormente, la maduración desencadena cambios bioquímicos y fisiológicos irreversibles, como la disminución de la firmeza y el aumento en la velocidad de la respiración, procesos que con ciertas técnicas pueden ser ralentizados, pero no detenidos (Omboki et al., 2015; Martínez-González et al., 2017).

2.7. Maduración del fruto

La maduración del fruto es el proceso que se lleva a cabo después de que el fruto ha alcanzado su crecimiento completo (Rojas et al., 2004; Martínez-González et al., 2017). Durante esta fase, ocurren transformaciones significativas en la composición, color, textura y otros atributos sensoriales del fruto, los cuales son clave para determinar su calidad y aptitud para el consumo (Rojas et al., 2004). Estos cambios

son la manifestación de una serie de complejos procesos bioquímicos y fisiológicos que aseguran el funcionamiento correcto de las células del fruto, indicando que ha llegado a su estado óptimo de desarrollo (Rojas et al., 2004).

La maduración se considera un proceso irreversible, lo que significa que una vez iniciado, no puede detenerse, y los frutos continúan transformándose hasta llegar a la senescencia (Rojas et al., 2004). Durante esta etapa, el fruto desarrolla características físico-químicas específicas (Rojas et al., 2004). Estos cambios son percibidos por el ser humano como señales de calidad, lo que influye directamente en las preferencias y demandas de los consumidores, quienes, de manera práctica y comercial, definen el grado de madurez ideal para su consumo (Rojas et al., 2004).

2.8. Cambios fisiológicos durante la maduración

Los cambios fisiológicos durante la maduración del fruto pueden observarse tanto a nivel celular como en el fruto (Bidwell, 1993; Rojas et al., 2004); a nivel celular uno de los cambios más notables es la pérdida de clorofila, especialmente en aquellas células que contienen cloroplastos (Bidwell, 1993; Rojas et al., 2004), proceso que está acompañado por la lixiviación de la membrana celular, lo que provoca la salida de nutrientes hacia el exterior de las células (Bidwell, 1993; Rojas et al., 2004); además, ocurre la hidrólisis de macromoléculas, donde se descomponen moléculas complejas como almidones y proteínas, o bien, se sintetizan nuevas sustancias que son características del fruto maduro (Bidwell, 1993; Rojas et al., 2004). En cuanto a los cambios a nivel de fruto, la pulpa, en los primeros estados de desarrollo, contiene bajas concentraciones de azúcar y altas cantidades de almidón, ácidos y fenoles (Rojas et al., 2004). Estos componentes iniciales no brindan los atributos sensoriales deseables para el consumo (Rojas et al., 2004). Sin embargo, conforme avanza la maduración, las células de la pulpa se alargan considerablemente, lo que va acompañado tanto de un aumento en el contenido de azúcares como de una disminución del almidón, ácidos y fenoles, lo que mejora tanto el sabor como la textura del fruto (Rojas et al., 2004).

Los cambios asociados con la maduración varían según el tipo de fruto, pero en general, se manifiestan en varios aspectos que determinan la calidad del producto (Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura, 2023). El proceso de maduración incluye dos fases principales: la madurez fisiológica y la madurez de consumo (Martínez-González et al., 2017). La madurez fisiológica se alcanza cuando el fruto ha crecido al máximo y sus semillas están en su punto más vigoroso (Martínez-González et al., 2017). Posteriormente, en la madurez de consumo, el fruto experimenta una serie de cambios importantes: 1) modificación del color, principalmente por alteraciones en los niveles de clorofilas, carotenoides y flavonoides; 2) cambios en la textura debido a la pérdida de turgor celular y alteraciones en la estructura de la pared celular; 3) transformaciones en los niveles de azúcares, ácidos orgánicos y compuestos volátiles que influyen en la calidad nutricional, el sabor y el aroma; y 4) un incremento en la susceptibilidad a patógenos, debido a la pérdida de integridad de la pared celular (Giovannoni, 2004; Seymour et al., 2013; Dos Santos et al., 2015; Martínez-González et al., 2017; Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura, 2023). Estos cambios

fisiológicos son claves para determinar la calidad y el estado del fruto para el consumo.

2.9. Tipos de frutos de acuerdo a la maduración

Los frutos pueden clasificarse de acuerdo con su comportamiento fisiológico en función de un aumento en la respiración y síntesis de etileno durante la maduración en climatéricos y no climatéricos (Lelièvre et al., 2006; Martínez-González et al., 2017).

Los frutos climatéricos son aquellos que, tras alcanzar la madurez fisiológica, pueden continuar su proceso de maduración fuera de la planta, es decir, después de ser cosechados en su etapa pre climatérica (Rojas et al., 2004; Fernández-Trujillo et al., 2007; Obando-Ulloa et al., 2008; Martínez-González et al., 2017). Este tipo de frutos se caracteriza por un incremento acelerado en su tasa de respiración y una notable producción de etileno, hormona que coordina y sincroniza los cambios de maduración (Rojas et al., 2004; Azcón-Bieto & Talón, 2013; Omboki et al., 2015; Martínez-González et al., 2017; Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura, 2023). Dichos cambios incluyen variaciones en el color, aroma, sabor, firmeza y composición química como cambios significativos en los contenidos de azúcares y ácidos (Rojas et al., 2004; Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura, 2023). La respiración intensificada, que es típica en este tipo de frutos, permite que durante la maduración se hidrolice el almidón, acumulado durante el crecimiento, en azúcares simples como la glucosa y fructosa responsables del sabor dulce del fruto, así mismo que acelere la senescencia y aumenta su susceptibilidad a enfermedades (Azcón-Bieto & Talón, 2013; Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura, 2023).

Los frutos no climatéricos son aquellos que requieren cosecharse en su madurez comercial, ya que deben permanecer unidos a la planta para completar su maduración, pues una vez cosechados no aumentan su respiración y producción de etileno (Biale, 1964; Given et al., 1988; Chervin et al., 2004; Rojas et al., 2004; Martínez-González et al., 2017). Estos frutos mantienen una tasa de respiración baja y producen mínimas cantidades de etileno, lo que limita los cambios significativos en color, firmeza, sabor y textura después de ser recolectados (Rojas et al., 2004; Martínez-González et al., 2017; Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura, 2023). Aunque pueden presentar algunos cambios leves en coloración (como el desverdizado) y textura, no responden sustancialmente a tratamientos con etileno y no experimentan el aumento respiratorio característico de los frutos climatéricos (Rojas et al., 2004; Dos Santos et al., 2015; Martínez-González et al., 2017).

2.10. Índices de madurez

Los índices de madurez son criterios utilizados para evaluar el momento óptimo de recolección de un fruto, basándose en características visibles y medibles que reflejan el proceso de maduración (Angón-Galván et al., 2006). Durante la maduración, los frutos experimentan cambios notables en color, sabor, textura y otros atributos, causados por profundas transformaciones metabólicas y químicas (Angón-Galván et al., 2006). La selección y uso adecuado de estos índices permiten

identificar el punto ideal de cosecha, lo que ayuda a garantizar la calidad del producto y maximizar su aceptación en el mercado, minimizando el desperdicio de frutos que no cumplen con las expectativas del consumidor (Angón-Galván et al., 2006).

Existen distintos índices para medir la madurez de un fruto, cada uno aportando información relevante para decidir la cosecha (Knee et al., 1989; Angón-Galván et al., 2006). Entre los más prácticos se encuentran el color de fondo, la firmeza, el contenido de sólidos solubles totales, la prueba de almidón y la acidez, los cuales se utilizan para evaluar atributos físicos y químicos del fruto de forma rápida y sencilla (Knee et al., 1989; Angón-Galván et al., 2006). También existen índices más complejos, como el conteo de días desde la floración, la tasa de respiración y la producción de etileno, empleados principalmente para estudiar las características fisiológicas del fruto (Knee et al., 1989; Angón-Galván et al., 2006).

Los índices fisicoquímicos tradicionales, como la firmeza, acidez, colorimetría, sólidos solubles totales y almidón, se consideran estándar en la industria frutícola (Crisosto, 1999; Angón-Galván et al., 2006), y aunque la correlación de estos índices con la madurez y calidad deseadas por el consumidor no siempre es perfecta, su uso conjunto permite un control más preciso sobre la calidad y el estado de maduración del fruto al momento de la recolección (Crisosto, 1999; Angón-Galván et al., 2006).

2.11. Tipos de madurez del fruto

La madurez fisiológica es el estado en el desarrollo de un fruto en el cual ha alcanzado su máximo crecimiento y desarrollo (Rojas et al., 2004). En esta fase, el fruto contiene los elementos bioquímicos necesarios para continuar su maduración incluso después de ser cosechado, lo que le permite desarrollar completamente sus aromas, sabores y colores característicos (Rojas et al., 2004; Blandón, 2012; Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura, 2023). La madurez fisiológica suele comenzar antes de finalizar el crecimiento celular y se completa cuando el fruto ha desarrollado semillas viables para generar nuevas plantas, este proceso se logra solo si el fruto permanece en la planta hasta ese momento (Angón-Galván et al., 2006).

La madurez organoléptica o de consumo es el estado en el que un fruto ha desarrollado plenamente las características sensoriales (color, sabor, aroma, textura y composición interna) que lo hacen atractivo y deseable para el consumo (Rojas et al., 2004; Blandón, 2012; Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura, 2023). Este proceso transforma un fruto fisiológicamente maduro en uno visual, olfativo y gustativamente adecuado para su ingesta (Leopold & Kriedemann, 1975; Angón-Galván et al., 2006). La madurez organoléptica puede completarse tanto en la planta como después de la cosecha y, en general, coincide con los últimos días de la madurez fisiológica, llevando al fruto hacia su etapa de senescencia (Angón-Galván et al., 2006).

La madurez comercial es el punto de desarrollo en el cual un producto agrícola cumple con los atributos y requisitos necesarios para satisfacer las expectativas del mercado y del consumidor (Rojas et al., 2004). Este estado marca el momento

óptimo para la recolección de un fruto u hortaliza destinado a un propósito específico, asegurando que el producto cuente con los índices de madurez deseados o sea capaz de alcanzarlos en condiciones de almacenamiento (Wills et al., 1997; Angón-Galván et al., 2006). La madurez comercial se relaciona ligeramente con la madurez fisiológica o de consumo y puede presentarse en cualquier etapa del desarrollo del fruto, lo que hace difícil diferenciarla de otras etapas como el crecimiento, madurez fisiológica, organoléptica o senescencia (Wills et al., 1997; Angón-Galván et al., 2006).

2.12. Aspectos etnobotánicos

La etnobotánica es el campo que estudia las relaciones entre los seres humanos y las plantas a lo largo del tiempo, abarcando tanto aspectos ecológicos como culturales, sociales e históricos (Hernández, 2012). Estas interacciones están determinadas por factores ambientales y culturales, y cambian de manera cualitativa y cuantitativa a medida que las sociedades se desarrollan, lo que a su vez transforma los usos, creencias y prácticas relacionadas con las plantas (Hernández, 2012). A través del tiempo, los conocimientos tradicionales se han acumulado, aunque en ocasiones también se han perdido, debido a la modernización y la intervención humana en el entorno natural (Hernández, 2012).

En el caso del chile (*Capsicum* spp.), este ha jugado un papel central en la vida de las sociedades mexicanas desde la época prehispánica (Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, 2021). No solo es un alimento esencial, sino también un símbolo de identidad cultural y una fuente de recursos medicinales y económicos (Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, 2021). Los chiles han sido utilizados en la gastronomía, la medicina tradicional y, en algunas regiones, en rituales y creencias locales (Montaño-Lugo et al., 2014).

A lo largo de la historia las plantas han sido elementos esenciales en el desarrollo de la humanidad, pues han cubierto diferentes necesidades biológicas y culturales (Bañuelos et al., 2008), en el caso específico del chile 'de agua' no solo tiene una gran importancia económica, sino también cultural y social (Montaño-Lugo et al., 2014). Los habitantes de los Valles Centrales mantienen un profundo conocimiento tradicional en torno a este cultivo, que incluye su uso medicinal, ritual y como amuleto, mientras que los consumidores lo valoran principalmente por su sabor y como ingrediente gastronómico, además de sus aplicaciones medicinales y ornamentales (Montaño-Lugo et al., 2014).

2.13. Importancia de la aproximación etnobotánica en chile 'de agua'

El estudio de las interrelaciones entre el ser humano y las plantas que lo rodean, así como su posterior domesticación, es fundamental no solo por marcar hitos en la evolución humana, sino también por la estrecha relación que existe entre el desarrollo de la agricultura y el grado de civilización alcanzado por las sociedades (Fernández, 1965). El estudio etnobotánico del chile 'de agua' resulta esencial, puesto que, además de ser un alimento fundamental en la dieta local, desempeña un papel importante en los usos medicinales, rituales y simbólicos de la región (Montaño-Lugo et al., 2014).

Documentar y analizar estos conocimientos tradicionales es crucial para preservar los saberes tradicionales y asegurar así la continuidad del cultivo, especialmente en un momento en que el cultivo del chile 'de agua' está en riesgo de desplazamiento, lo cual implica la extinción de una parte importante de la identidad cultural de los pueblos que lo han cultivado durante generaciones (Montaño-Lugo et al., 2014). Además, dado que el chile 'de agua' es una variedad endémica, su desaparición significaría una pérdida de biodiversidad agrícola del país (Montaño-Lugo et al., 2014).

2.14. Literatura citada

- Aguilar, R. V. H., Corona, T. T. López, L. P., Latournerie, M. L., Ramírez, M. M., Villalón, M. H. & Aguilar, C. J. A. (2010). *Los chiles de México y su distribución*. SINAREFI, Colegio de Posgraduados, INIFAP, IT-CONKAL, UANL y UAN. <https://www.researchgate.net/publication/235657255>
- Alba, R., Payton, P., Fei, Z., McQuinn, R., Debbie, P., Martin, G. B. & Giovannoni, J. J. (2005). Transcriptome and selected metabolite analyses reveal multiple points of ethylene control during tomato fruit development. *The Plant Cell*, 17(11), 2954–2965. <https://doi.org/10.1105/tpc.105.036053>
- Alvarado, B. E., Ramírez, P. J. G., Martínez, V. E. M., Piña, B. C. C. De la Cruz, B. L. & Chablé, M. F. (2019). Calidad de fruto de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) de generaciones S₂ y F₄. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria de México*, 7(2), 1–9.
- Angón-Galván, P., Santos-Sánchez, N. F. & Hernández, C. G. (2006). Índices para la determinación de las condiciones óptimas de maduración de un fruto. *Temas de ciencia y tecnología*, 10(30), 3–8.
- Aparicio-del-Moral, J. O., Ternero-Campante, M. A., Sandoval-Castro, E. Villarreal-Manzo, L. A. & Rodríguez-Mendoza, M. de los A. (2013). Factores sociales y económicos del cultivo de chile de agua (*Capsicum annuum* L.) en tres municipios de los valles centrales de Oaxaca. *Ra Ximhai*, 9(1), 17–24. <https://doi.org/10.35197/rx.09.01.e.2013.03.ja>
- Azcón-Bieto, J. & Talón, M. (2013). *Fundamentos de fisiología vegetal* (2nd digital ed.). Universitat de Barcelona. McGraw-Hill Interamericana. <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FundamentosdeFisiologiaVegetal2008Azcon..pdf>
- Bidwell, R. G. S. (1993). *Fisiología y bioquímica vegetal* (1st ed). AGT Editor, S.A. <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/fisiologiavegetalbidwell.pdf>
- Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. (2021). *El chile como parte de la cultura alimenticia de México*. Secretaria de Ciencia, Humanidad, Tecnología e Investigación. Ciencia y Tecnología. Gobierno de México. <https://www.ciad.mx/el-chile-como-parte-de-la-cultura-alimenticia-de-mexico/#:~:text=Los%20chiles%20que%20se%20producen,impacto%20en%20la%20gastronom%C3%ADa%20internacional>.
- Biale, J. B. (1964). Growth, maturation, and senescence in fruits. *Science*, 146(3646), 880–888. DOI: 10.1126/science.146.3646.880
- Blandón, N. S. (2012). *Fisiología de poscosecha*. UNI. <http://listas.exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Fisiologiaposcocsecha.pdf>
- Bañuelos, N., Salido, P. L. & Gardea, A. (2008). Etnobotánica del chiltepín. Pequeño gran señor en la cultura de los sonorenses. *Estudios sociales*, 16(32), 177–205.

- Calderón, A. E. (1985). *Fruticultura general. El esfuerzo del hombre* (3rd ed.). México. Limusa S. A.
- Chervin, C., El-Kereamy, A., Roustan, J. P., Latché, A., Lamon, J. & Bouzayen, M. (2004). Ethylene seems required for the berry development and ripening in grape, a non-climacteric fruit. *Plant Science*, 167(6), 1301–1305. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.06.026>
- Crisosto, C. H. (1999). Optimum procedures for ripening stone fruit. *Management of ripening fruit. Postharvest Horticulture Series*, 9, 28–30.
- Cruz, A. O. R. (2019). *Manejo intensivo del chile de agua en ambientes protegidos, para mejorar su rendimiento, la calidad y propiedades nutricionales del fruto*. [Tesis Doctoral, Instituto Politécnico Nacional]. http://literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080/xmlui/handle/LITER_CIIDIROAX/520
- Dos Santos, R. S., Arge, L. W. P., Costa, S. I., Machado, N. D., de MelloFarias, P. C., Rombaldi, C. V. & de Oliveira, A. C. (2015). Genetic regulation and the impact of omics in fruit ripening. *Plant Omics*, 8(2), 78–88.
- El-Zeftawi, B. M., Brothier, L., Dooley, L., Goubran, F. H. & Holmes, R. (1988). Some maturity indices for tamarillo and pepino fruits. *Journal of Horticultural Science*, 63(1), 163–169. <https://doi.org/10.1080/14620316.1988.11515842>
- Fernández, J. (1965). La etnobotánica: estado actual de su estudio en la República Argentina. *In Anales de Arqueología y Etnología* (20), 71–106.
- Fernández-Trujillo, J. P., Obando, J., Martínez, J. A., Alarcón, A. L., Eduardo, I., Arús, P. & Monforte, A. J. (2007). Mapping fruit susceptibility to postharvest physiological disorders and decay using a collection of near-isogenic lines of melon. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 132(5), 739–748. <https://doi.org/10.21273/JASHS.132.5.739>
- Ferratto, J. A. (2003). Importancia de la gestión de la calidad en frutas y hortalizas situación y perspectiva. *Facultad de Ciencias Agrarias–UNR*, 12(04). <https://fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/12/1AM12.htm>
- Giovannoni, J. J. (2004). Genetic regulation of fruit development and ripening. *The plant cell*, 16(1), 170–180. <https://doi.org/10.1105/tpc.019158>
- Given, N. K., Veis, M. A. & Gierson, D. (1988). Hormonal regulation of ripening in the strawberry, a non-climacteric fruit. *Planta*, 174(3), 402–406. <https://doi.org/10.1007/BF00959527>
- Hernández, X. E. (2012). El concepto de etnobotánica. *Etnobiología*, 10(4), 91–93.
- Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura (2023). *Poscosecha y Buenas Prácticas de Producción orientadas a la Agricultura Familiar*. <https://mfiles.iica.int/ctl/cpc/lec/m2.pdf>
- Kader, A. A. (2013). Postharvest Technology of Horticultural Crops - An Overview from Farm to Fork. *Ethiopian Journal of Applied Science and Technology*, (1), 1–8.

- Knee, M., Hatfield, S. & Smith, S. M. (1989). Evaluation of various indicators of maturity for harvest of apple fruits intended for long-term storage. *Journal of Horticultural Science*, 64(4), 403–411. <https://doi.org/10.1080/14620316.1989.11515971>
- Lelièvre, J. M., Latché, A., Jones, B., Bouzayen, M. & Pech, J. C. (2006). Ethylene and fruit ripening. *Physiologia Plantarum*, 101(4), 727–739. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1997.tb01057.x>
- Leopold, A. C. & Kriedemann, P. (1975). *Plant growth and development* (2nd ed). McGraw-Hill Interamericana.
- Limones-Pérez, L. & Contreras-Medina, L. M. (2019). Métodos destructivos y no destructivos para la estimación de atributos internos y externos de calidad y madurez de un fruto-una revisión. *Perspectivas de la Ciencia y la Tecnología*, 2(3), 110–126.
- Llascalas, J. J. A. (2001). *Caracterización Fenotípica del chile de agua en los Valles Centrales de Oaxaca*. Memoria de Residencia Profesional, Instituto Tecnológico Agropecuario de Oaxaca.
- López, C. A. F. (2003). *Manual Para la Preparación y Venta de Frutas y Hortalizas* (151). Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/497a5e1c-4e41-4d44-a4bd-838b1f27f4cd/content>
- López, L. P. (2007). El Chile de Agua: un chile típico de los Valles Centrales de Oaxaca, México. *Revista Agroproduce*, 16, 8–12.
- López, L. P. S. & Castro, G. F. H. (1999). *Al rescate de la diversidad del chile (Capsicum spp) en Oaxaca. Publicación especial*. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. INIFAP, Oaxaca. México.
- Martínez-González, M. E., Balois-Morales, E., Alia-Tejacal, I., Cortes-Cruz, M. A., Palomino-Hermosillo, Y. A. & López-Guzmán, G. G. (2017). Poscosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(19), 4075 – 4087. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i19.674>
- Martínez-Sánchez, D. Pérez-Grajales, M., Rodríguez-Pérez, J. E. & Moreno-Pérez, E del C. (2010). Colecta y caracterización morfológica de ‘chile de agua’ (*Capsicum annuum* L.) en Oaxaca, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 16(3), 169–176.
- Mondino, M. C. & Ferrato, J. (2004). El análisis sensorial una herramienta para la evaluación de la calidad desde el consumidor. *Agromensajes*, 1(18), 16–24.
- Montaño-Lugo, M. L., Velasco, V. V. A., Ruíz, L. J., Campos, A. G. V. Rodríguez, O. G. y Martínez, M. L. (2014) Contribución al conocimiento etnobotánico del chile de agua (*Capsicum annuum* L.) en los Valles Centrales de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(3), 503–511. <https://doi.org/10.29312/remexca.v5i3.953>

- O'Neill, S. D. (1997). Pollination regulation of flower development. *Annual Review of Plant Biology*, 48, 547–574. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.48.1.547>
- Obando-Ulloa, J. M., Moreno, E., García-Mas, J., Nicolai, B., Lammertyn, J., Monforte, A. J. & Fernández-Trujillo, J. P. (2008). Climacteric or non-climacteric behavior in melon fruit: 1. Aroma volatiles. *Postharvest Biology Technology*, 49(1), 27–37. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.11.004>
- Omboki, R. B., Wu, W., Xie, X. & Mamadou, G. (2015). Ripening genetics of the tomato fruit. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 8(4), 567–572.
- Rivero, M. L., Quiroga, M. M. I., González, E.O. & Moraga, L. (2013). *Postcosecha de tomate. Control de calidad. Laboratorio de Postcosecha E.E.A.* [Ficha técnica No. 6]. Centro Regional Mendoza-San Juan, Argentina.
- Rojas, A. J. M., Peñuela, M. A. E., Gómez, P. C. R., Aristizábal V. G. E., Chaparro C. M. C. & López, R. J. A. (2004). Caracterización de los productos hortifrutícolas colombianos y establecimiento de las normas técnicas de calidad. En M. A. E. Peñuela, *Capítulo 2. Cambios físicos y químicos que ocurren durante el crecimiento y maduración de los productos hortifrutícolas y su relación con la calidad.* (pp. 25–31). <http://hdl.handle.net/10778/828>
- Ruíz, A. M. & Valero, U. C. (2000). La calidad de la fruta. *Vida rural*, 107(8), 66–68.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (28 de enero de 2024). *México, entre los principales productores de chile verde en el mundo: Agricultura.* [Comunicado de prensa]. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/mexico-entre-los-principales-productores-de-chile-verde-en-el-mundo-agricultura?idiom=es#:~:text=M%C3%A9xico%20es%20un%20pa%C3%ADs%20I%C3%ADder,de%20Agricultura%20y%20Desarrollo%20Rural.>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (31 de diciembre de 2018). *Las 64 variedades de chile en México.* Gobierno de México. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/las-64-variedades-de-chile-en-mexico?idiom=es#:~:text=y%205000%20a.C.-,Hoy%20se%20conocen%20al%20menos%20200%20variedades%20criollas%20y%2064,que%20nos%20legaron%20los%20antiguos>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2024). *Panorama Agroalimentario 2024.* Gobierno de México. https://drive.google.com/file/d/1NXcDhaB63Z94wjRUVF6f_FK0Urv6cgvJ/view?usp=sharing
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2024). *Servicio de Información Agroalimentaria de Consultada –* [Módulo Agrícola Municipal del SIACON-NG]. <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>
- Seymour, G. B., Ostergaard, L., Chapman, N. H., Knapp, S. & Martin, C. (2013). Fruit development and ripening. *Annual Review of Plant Biology*, 64, 219–241. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050312-120057>

- Vásquez, L. A., Tlapal, B. B., Yáñez, M. M de J., Pérez, P. R. & Quintos, E. M. (2009). Etiología de la marchitez del 'chile de agua' (*Capsicum annuum* L.) en Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 32(2), 127–134. <https://doi.org/10.35196/rfm.2009.2.127>
- Velasco, V. V. A., Trinidad, S. A., Tirado, T. J. L., Téliz, O. D., Martínez, G. A. & Cadena, H. M. (1998). Efecto de algunos nutrimentos en plantas de chile de agua infectadas con virus. *Terra Latinoamericana*, 16(004), 317–324.
- Wills, R. B. H., Lee, T. H., Graham, D., McGlasson, W. B. & Hall, E. G. (1981). *Postharvest. An introduction to the physiology and handling of fruits and vegetables* (6th ed.). New South Wales University Press Limited, Kensington, Australia.
- Wills, R. H., Lee, T. H., McGlasson, W. B., May, E. G. & Graham, D. (1997). *Fisiología y manipulación de frutas, hortalizas y plantas ornamentales* (2nd ed.). Acribia, S. A.

**CAPÍTULO 3. CALIDAD DE FRUTO DE CHILE ‘DE AGUA’
(*Capsicum annuum* L.) DE OAXACA CON DISTINTO GRADO DE
MADUREZ**

CALIDAD DE FRUTO DE CHILE ‘de AGUA’ (*Capsicum annuum* L.) DE OAXACA CON DISTINTO GRADO DE MADUREZ

3.1. RESUMEN

El chile ‘de agua’ (*Capsicum annuum* L.) es un cultivo fundamental para la economía en los Valles Centrales de Oaxaca, única región donde se cultiva y consume ampliamente. La aceptación del fruto se atribuye a sus características organolépticas, la cuales son determinantes para su comercialización en los mercados locales; sin embargo, al tratarse de un producto perecedero, la calidad del fruto se ve influenciada por factores como el grado de madurez, por lo que establecer el punto óptimo de cosecha garantiza que el fruto mantenga sus características organolépticas deseables que maximizan su aceptación en el mercado. El objetivo de este trabajo fue identificar el potencial comercial de accesiones de chile ‘de agua’, con distinto grado de madurez, para mejorar su competitividad y aceptación en el mercado nacional e incluso internacional. Se colectaron 50 accesiones de chile ‘de agua’ en seis distritos de los Valles Centrales de Oaxaca y un distrito de la región Mixteca. Cada accesión se cosechó a los 35, 45, 55, 65 y 75 días después de antesis (dda). La evaluación de los parámetros de calidad de fruto se llevó a cabo en el Laboratorio de Fisiología de Frutales del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. Se evaluaron variables bioquímicas (acidez titulable, sólidos solubles totales, Vitamina C, clorofila y carotenos) y biofísicas (peso, grosor del mesocarpio, firmeza y color). Con los resultados obtenidos se realizó un análisis multivariado de agrupamiento que produjo tres grupos, así como un análisis discriminante que explicó el 85.2 % de la variabilidad observada. Adicionalmente se realizó un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). Se identificaron tres perfiles específicos: los frutos del Grupo 1 son ideales para exportación, los del Grupo 2 para procesamiento industriales y los del Grupo 3 para consumo en fresco en mercados gourmet.

Palabras clave: potencial comercial, calidad bioquímica, calidad biofísica, análisis de agrupamiento, análisis discriminante.

FRUIT QUALITY OF 'DE AGUA' CHILI (*Capsicum annuum* L.) WITH DIFFERENT DEGREE OF MATURITY

3.2. ABSTRACT

'De agua' chili pepper (*Capsicum annuum* L.) is a fundamental crop for the economy at Central Valleys of Oaxaca, which represent the only Mexican region where it is widely cultivated and consumed. The acceptance of fruit is attributed to its organoleptic characteristics, which are decisive for its commercialization at local markets. However, being a perishable product, its fruit quality is influenced by factors such as the degree of ripeness. Therefore, establishing of the optimum harvesting point ensures that the fruit maintains its desirable organoleptic characteristics that maximize its acceptance at the market. The objective of this research was to identify the commercial potential of 'de agua' chili pepper accessions, with different maturity levels, to improve their competitiveness and acceptance in the national and even international markets. Fifty accessions were collected in six counties of the Central Valleys of Oaxaca and one from the Mixtec region. Each accession was harvested at 35, 45, 55, 55, 65 and 75 days after anthesis (daa). The evaluation of fruit quality parameters was carried out at the Fruit Tree Physiology Laboratory of the Crop Science Department of the Universidad Autonoma Chapingo. Biochemical traits (titratable acidity, total soluble solids, vitamin C, chlorophyll and carotenes) and biophysical (weight, mesocarp thickness, firmness and color) variables were evaluated. A multivariate clustering analysis was performed with the data, where three groups were obtained. A discriminant analysis was also performed which explained 85.2 % of the observed variability; an analysis of variance and a Tukey's mean comparison test ($P \leq 0.05$) were also conducted. Three specific profiles were identified at fruits: Group 1 fruits are ideal for exportation, Group 2 for industrial processing, and Group 3 for fresh consumption at gourmet markets.

Key words: commercial potential, biochemical quality, biophysical quality, cluster analysis, discriminant analysis.

3.3. INTRODUCCIÓN

El chile (*Capsicum* spp.) es una de las hortalizas más cultivadas y demandadas a nivel mundial, ubicándose entre las siete más importantes en términos de producción (Pérez-Castañeda et al., 2008; Vázquez et al., 2010). En México, el chile tiene una relevancia económica, social y cultural profunda, siendo un elemento central en la historia y gastronomía nacional (Pérez-Castañeda et al., 2008; Aguilar et al., 2010; Vázquez et al., 2010; Castellón-Martínez et al., 2012).

El consumo de chile en México es significativo, con una ingesta per cápita de 19.6 kg anuales (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2024). La aceptación de este fruto se atribuye principalmente a sus características organolépticas, tales como su sabor, aroma, textura y color, que resultan atractivas para el consumidor (Rojas et al., 2004; Aguilar et al., 2010; Blandón, 2012; Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura, 2023). En el caso del chile ‘de agua’, estas cualidades son determinantes para su comercialización, especialmente en los mercados locales de Oaxaca (Vásquez et al., 2009); sin embargo, al tratarse de un producto perecedero, la calidad del fruto se ve influenciada por factores como el grado de madurez, que afectan tanto su aspecto visual como sus características de sabor y textura (Mondino & Ferrato, 2004).

La evaluación de los índices de madurez es fundamental para determinar el momento óptimo de cosecha, lo cual garantiza que el fruto alcance su máxima calidad en el punto de venta y mantenga su frescura y características organolépticas deseables (Angón-Galván et al., 2006). La madurez de consumo o madurez organoléptica, donde el fruto exhibe plenamente sus atributos sensoriales, es crucial para su aceptación en el mercado (Rojas et al., 2004; Blandón, 2012; Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura, 2023).

En los mercados locales de Oaxaca, los consumidores de chile ‘de agua’ seleccionan los frutos en función de características específicas de calidad (Virgen, 2006; Ambrosio, 2007; Carrillo, 2007; Cruz, 2019). Aunque no existe una normativa oficial que estandarice una clasificación del fruto, los productores de la región, guiados por las preferencias de los consumidores, clasifican los frutos en tres calidades para facilitar su comercialización (Virgen, 2006; Ambrosio, 2007; Carrillo, 2007; Cruz, 2019). Los frutos de primera y segunda calidad son más rentables, ya que alcanzan un precio más alto y tienen una venta más rápida, en contraste, los frutos de tercera calidad, que no cumplen con las exigencias del mercado, suelen ser abandonados en el campo porque el costo de cosecha supera sus ganancias en fresco (Cruz, 2019).

El presente estudio se enfoca en la calidad de fruto del chile ‘de agua’ en distintos grados de madurez, evaluando características clave en accesiones silvestres del valle de Oaxaca. El objetivo fue identificar aquellas que destacan por sus atributos organolépticos, con el fin de maximizar su atractivo en el mercado y contribuir al aumento en las ventas de este cultivo endémico de alto valor cultural y económico para la región.

3.4. MATERIALES Y MÉTODOS

3.4.1. Sitios de muestreo

Las colectas se llevaron a cabo en seis distritos de la región de los Valles Centrales y en un distrito de la región Mixteca del estado de Oaxaca, México. Las condiciones climáticas predominantes en estas áreas son semicálido templado subhúmedo (A)C(wo) y subhúmedo, con precipitaciones anuales entre 700 a 800 mm, así como, desértico, semidesértico de seco a frío, con temperaturas entre los 12 a 25 °C y precipitación media anual de 550 mm, respectivamente.

3.4.2. Ubicación del sitio experimental

La evaluación de la calidad se llevó a cabo en el Laboratorio de Fisiología de Frutales del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicada en el kilómetro 38.5 de la carretera México-Texcoco, en el Estado de México.

3.4.3. Material experimental

Se colectaron frutos de chile ‘de agua’ de 50 accesiones provenientes de los distritos de Etlá, Zimatlán, Ejutla, Centro, Tlacolula y Ocotlán (en la región de los Valles Centrales), así como del distrito de Nochixtlán (en la región Mixteca). Se llevaron a cabo cinco colectas, correspondientes a cinco estados de madurez de los frutos: a los 35, 45, 55, 65 y 75 días después de la antesis (dda).

3.4.4. Variables de estudio

3.4.4.1. Variables bioquímicas:

Acidez titulable (%). La metodología utilizada, basada en la A.O.A.C. (1990), consistió en triturar 5 gramos de fruto en 50 mL de agua destilada. El extracto se filtró y se determinó su volumen final, de éste se tomaron 10 mL, a los cuales se les añadieron dos gotas de fenolftaleína como indicador. Posteriormente, se tituló con una solución de NaOH al 0.1 N hasta alcanzar la neutralización. Finalmente, para expresar el porcentaje de acidez como porcentaje de ácido cítrico se utilizó la siguiente fórmula específica:

$$\text{Acidez (\%)} = \frac{\text{mL NaOH} \times N \times \text{Meq. ácido} \times V \times 100}{\text{peso muestra} \times \text{alícuota}}$$

Sólidos solubles totales (°Brix). Para determinar esta variable, se preparó una mezcla de 5 g de fruto triturado en 50 mL de agua destilada. Una muestra de esta solución se colocó en la lente de un refractómetro digital ATAGO® Pocket Pal-1 con rango de 0 a 53 %; el equipo fue previamente calibrado con agua destilada, y el prisma del refractómetro fue lavado entre cada muestra para evitar cualquier posible contaminación. Las lecturas obtenidas se multiplicaron por un factor de disolución de 10 y se expresaron en °Brix.

Vitamina C (mg·100 g⁻¹ de peso fresco). La determinación de Vitamina C se realizó utilizando un método de titulación visual basado en la reducción del ácido ascórbico por 2,6-diclorofenolindofenol, siguiendo las directrices de la A.O.A.C (1990). Para este análisis, se homogeneizó 1 gramo de fruto con 25 mL de ácido

oxálico (0.5 %). El extracto resultante se filtró en un frasco, para posteriormente tomar una alícuota de 5 mL y titularla con la solución de 2,6-diclorofenolindofenol hasta que la mezcla adquirió y mantuvo una coloración rosa pálido durante al menos un minuto. Esta coloración indicó el punto final de la titulación.

Clorofila y Carotenoides ($\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$). Para cuantificar los pigmentos de clorofila y carotenoides, se utilizaron 5 gramos de fruto, los cuales se sometieron a un proceso de extracción utilizando 20 mL de acetona al 80 %, de acuerdo con el protocolo establecido por Lichtenthaler (1987). La absorbancia de las muestras se midió en un espectrofotómetro digital UV-VIS Perkin Elmer® a tres longitudes de onda específicas: 646 nm, 476 nm y 663 nm.

3.4.4.2. Variables biofísicas:

Peso (g). Para determinar el peso en gramos de cada fruto se utilizó la balanza granataria Ohaus®.

Grosor (mm). El grosor del mesocarpio se midió en milímetros utilizando un vernier mecánico TRUPER®, modelo STAUNLESS STEEL. Para ello, se cortaron los frutos por su sección ecuatorial y se registró el grosor en milímetros.

Firmeza (kgf). La firmeza del fruto se midió utilizando un texturómetro digital Compact Gauge (Mecmesin®, EE. UU.) equipado con una punta cónica de 9.5 mm de ancho y 7.3 mm de longitud. Se aplicó presión sobre la zona ecuatorial del fruto hasta que la punta penetró en el tejido, registrando la fuerza ejercida en kilogramos-fuerza (kgf). Las lecturas obtenidas se expresaron directamente en kgf para cada fruto analizado.

Color (L C h°). Para determinar este parámetro del fruto, se utilizó un colorímetro ColorTec-PCMTM. A partir de los valores L^* , a^* y b^* , se calcularon el ángulo de tono (h°) y la cromaticidad (C^*), obteniendo así los valores de L^* (brillo), el índice de saturación (Chroma) y el ángulo de tono (Hue). Para estos cálculos se utilizaron las fórmulas descritas por McGuire (1992):

$$C^* = \left[(a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \right] \quad h^\circ = \text{ATAN} (b^*/a^*)$$

3.4.5. Análisis estadístico

A partir de los datos recolectados de las variables evaluadas se realizó un análisis de agrupamiento utilizando el algoritmo de mínima varianza de Ward y la matriz de distancias euclidianas. La altura de corte se basó en la pseudo F (Johnson, 1998) y la pseudo estadística t^2 (Hotelling, 1951). Para verificar la formación de los grupos y determinar los caracteres responsables de cada uno, se aplicó un análisis discriminante considerando como variable categórica los grupos generados. Finalmente, se llevaron a cabo un análisis de varianza y prueba de comparaciones de medias (Tukey $P \leq 0.05$) para corroborar la existencia de diferencias estadísticas entre los parámetros evaluados en función de los grupos identificados (SAS Institute, 1983).

3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.5.1. Análisis de agrupamiento

Mediante el algoritmo de mínima varianza de Ward se estableció la estructura del dendrograma del análisis de agrupamiento de las 50 accesiones de chile ‘de agua’ (Figura 3), a partir de las 11 variables evaluadas. La altura de corte, del dendrograma resultante, de 0.063 en el r^2 semiparcial, determinada en función de la pseudo F y la pseudoestadística t^2 de Hotelling (1951), definió que el número óptimo de grupos fueron tres, donde 15 accesiones pertenecieron a los dos primeros grupos mientras que las 20 accesiones restantes formaron el tercer grupo (Figura 3). En este trabajo se utilizó el método de mínima varianza de Ward para valorar la variación existente entre las accesiones evaluadas debido a que este método tiene la ventaja de reducir la presencia de individuos atípicos dentro de las agrupaciones formadas (Núñez-Colín & Escobedo-López, 2011).

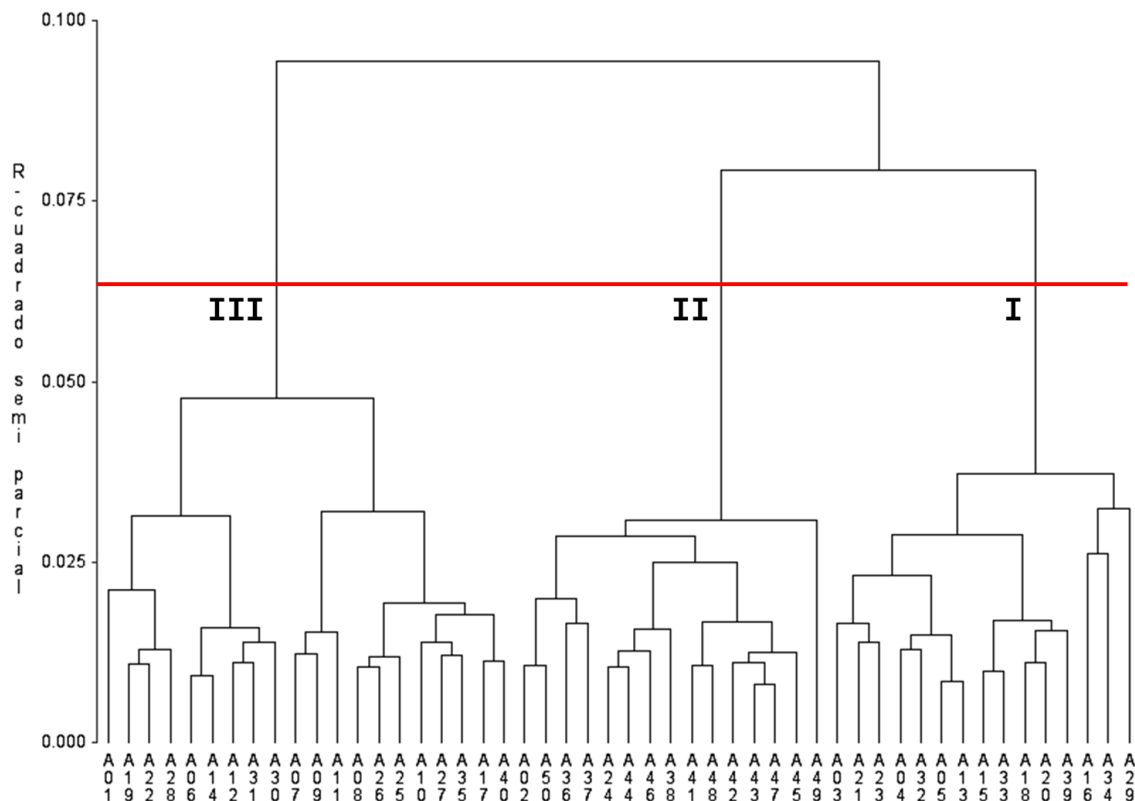


Figura 3. Dendrograma jerárquico de 50 accesiones de chile ‘de agua’ basado en caracteres de calidad de fruto en cinco estados de madurez, utilizando distancias euclidianas y el algoritmo de mínima varianza de Ward. **A:** accesión.

3.5.2. Análisis discriminante

En el análisis discriminante se consideró como variable categórica los tres grupos formados en el análisis anterior. Se generaron dos variables discriminantes (VD), con las que se explicó el 85.2 % de la variabilidad observada, con variaciones individuales de 70.4 y 14.8 %, respectivamente. Se obtuvieron distancias

multivariadas entre los centroides de los grupos significativamente diferentes de cero ($P \leq 0.01$), lo que indica que los tres grupos de las accesiones presentan contrastes marcados. La estructura canónica total indicó las asociaciones lineales entre las funciones discriminantes generadas y los 44 caracteres usados para realizar el análisis (Cuadro 1).

Cuadro 1. Funciones discriminantes de tres grupos de chile ‘de agua’ definidos con caracteres de calidad de fruto en cinco estados de madurez.

Variable	35 dda		45 dda		55 dda		65 dda		75 dda	
	VD1	VD2	VD1	VD2	VD1	VD2	VD1	VD2	VD1	VD2
L*	-5.17	3.66	-2.41	-4.04	-2.90	2.76	2.63	1.31	5.06	0.73
C*	-0.76	-0.69	-5.05	1.32	-0.78	1.49	0.17	-1.17	1.72	-1.09
h°	-0.09	-1.44	0.17	-1.82	1.50	-0.26	-6.09	-1.16	0.90	-1.38
PE	1.09	0.23	5.20	0.32	-7.76	0.09	4.98	2.27	-1.11	1.40
FI	1.67	-1.84	-2.49	-1.26	8.85	-0.01	-5.46	1.28	-2.25	2.06
GM	-4.53	2.91	1.08	1.21	1.11	-2.78	7.63	0.44	—	—
AT	—	—	—	—	0.24	-0.26	3.95	-1.30	-6.58	-0.10
SST	—	—	—	—	-1.94	1.54	-6.62	1.08	-3.91	0.72
VC	—	—	—	—	1.14	0.64	-0.17	-0.26	0.63	-0.40
CL	—	—	—	—	1.21	1.87	1.55	0.85	-4.20	-1.30
CA	—	—	—	—	1.46	0.15	2.39	1.30	-3.45	0.88

dda: Días después de antesis. **VD:** Variable Discriminante. **L*:** Claridad del color. **C*:** Cromatismo del color. **h°:** Ángulo tono del color. **PE:** Peso. **FI:** Firmeza. **GM:** Grosor del mesocarpio. **AT:** Acidez titulable. **SST:** Sólidos solubles totales. **VC:** Vitamina C. **CL:** Clorofila. **CA:** Carotenos.

En el estado de madurez de 35 días después de antesis (dda), la VD1 se asoció negativamente con la luminosidad del color (L*) (-5.17) y el grosor del mesocarpio del fruto (-4.53), mientras que tuvo una asociación positiva con la firmeza (1.67) y el peso del fruto (1.09). Por su parte, la VD2 presentó una relación positiva con la luminosidad del color (L*) (3.66) y el grosor del mesocarpio del fruto (2.91), pero se asoció negativamente con la firmeza (-1.84) y el tono del color del fruto (-1.44).

A los 45 dda, la VD1 mostró una asociación negativa con la cromaticidad del color (C*) (-5.05) y la firmeza del fruto (-2.49), aunque se asoció positivamente con el peso del fruto (5.20) y el grosor del mesocarpio (1.08). En cuanto a la VD2, se observaron asociaciones positivas con la cromaticidad del color (C*) (1.32) y el grosor del mesocarpio (1.21), mientras que se asoció negativamente con la luminosidad del color (L*) (-4.04) y el tono del color (h°) (-1.26).

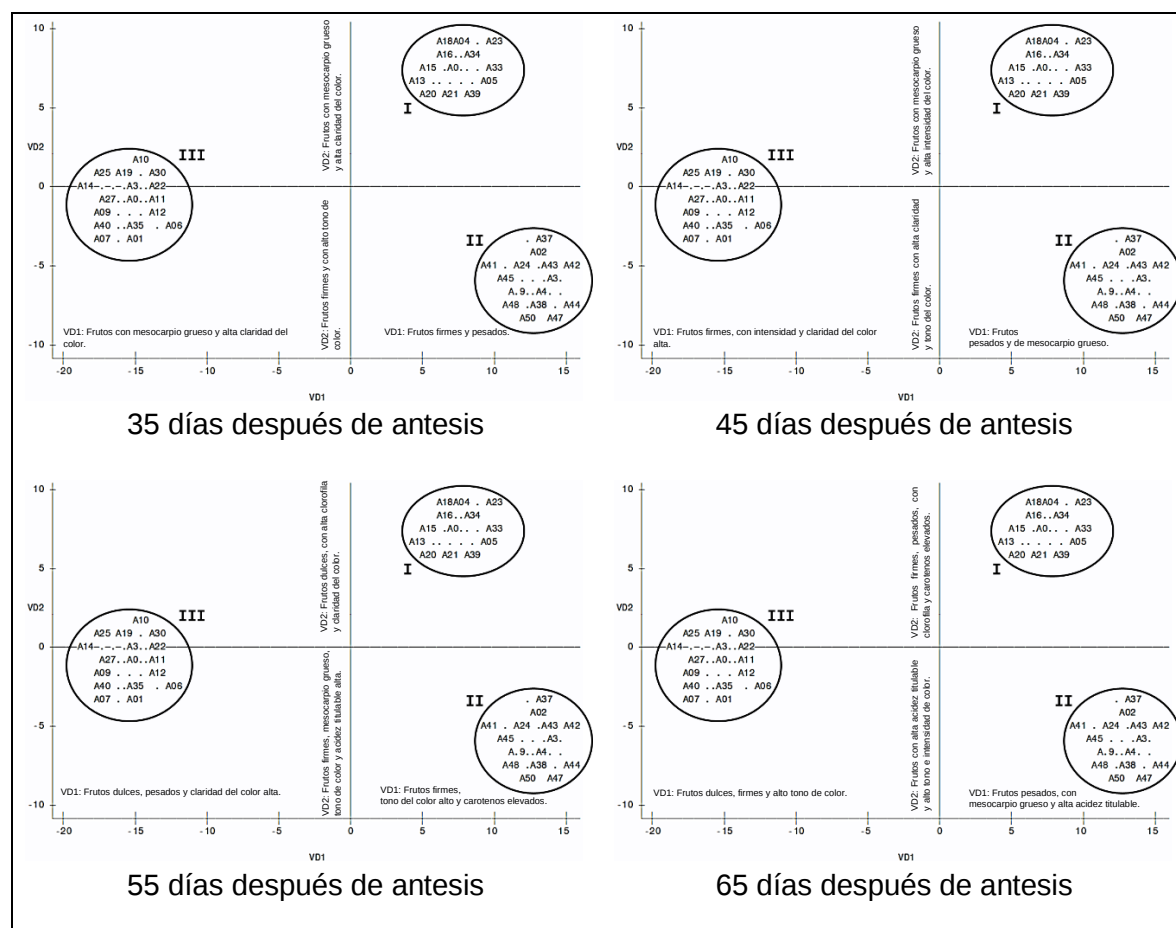
En el estado de madurez de 55 dda, la VD1 estuvo negativamente asociada con el peso del fruto (-7.76) y la luminosidad del color (L*) (-2.90), pero tuvo asociaciones positivas con la firmeza (8.85) y los carotenos (1.46). La VD2, por su parte, se asoció

de manera positiva con la luminosidad del color (L^*) (2.76) y la clorofila (1.87), mientras que presentó asociaciones negativas con el grosor del mesocarpio (-2.78) y la acidez titulable del fruto (-0.26).

En la etapa de madurez de 65 dda, la VD1 se asoció negativamente con los sólidos solubles totales (-6.62), el tono del color (-6.09) y la firmeza del fruto (-5.46), aunque se relacionó positivamente con el grosor del mesocarpio (7.63) y el peso del fruto (4.98). La VD2, en esta etapa, mostró una asociación positiva con el peso del fruto (2.27) y la claridad del color (1.31), pero se asoció negativamente con la acidez titulable (-1.30) y la cromaticidad del color del fruto (C^*) (-1.17).

Finalmente, a los 75 dda, la VD1 presentó asociaciones negativas con la acidez titulable (-6.58) y la clorofila del fruto (-4.20), mientras que tuvo asociaciones positivas con la luminosidad del color (L^*) (5.06) y la cromaticidad del color del fruto (1.72). En este estado de madurez, la VD2 se asoció positivamente con la firmeza (2.06) y el peso del fruto (1.40), mientras que tuvo relaciones negativas con el tono del color (-1.38) y la clorofila del fruto (-1.30).

Este análisis discriminante permitió clasificar las accesiones en tres grupos, evidenciando asociaciones claras entre las variables medidas y los distintos estados de madurez (Figura 4). Cada grupo está compuesto por accesiones homogéneas entre sí, pero heterogéneas en comparación con los otros grupos.



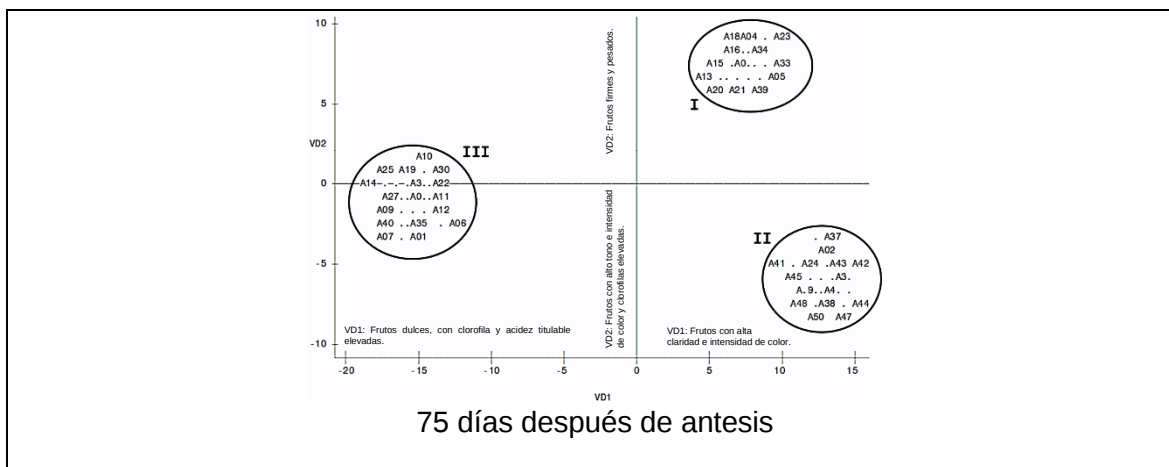


Figura 4. Representaciones gráficas de variables discriminantes (VD1 y VD2) de tres grupos de accesiones de chile 'de agua' en función a variables de calidad en cinco estados madurez.

Las representaciones graficas de este análisis evidenciaron cómo las accesiones, a lo largo de los diferentes estados de madurez, variaron significativamente en términos de características físicas y químicas.

3.5.3. Descripción de grupos

El Grupo 1, integrado por 15 accesiones, mostró un patrón de maduración más lento, con frutos que conservaron un mayor peso, un grosor de mesocarpio superior y una firmeza moderadamente alta conforme avanzó la madurez (Cuadro 2). Los sólidos solubles totales y la Vitamina C alcanzaron valores elevados en la etapa intermedia de la maduración, disminuyendo ligeramente hacia la fase final.

El Grupo 2, también conformado por 15 accesiones, presentó una maduración más rápida. Los frutos de este grupo fueron menos pesados, pero más firmes y con un grosor del mesocarpio moderadamente alto, lo que indica una estructura más compacta, adecuada para cosechas tempranas. A medida que progresó la madurez, se observó una disminución más pronunciada en peso y firmeza, acompañadas por un aumento considerable en la acidez titulable y niveles bajos de sólidos solubles totales y Vitamina C (Cuadro 2).

El Grupo 3, conformado por 20 accesiones, se distinguió por frutos con elevada intensidad y claridad del color, alto contenido de carotenos, además de presentar peso y firmeza moderadas y bajo grosor del mesocarpio (Cuadro 2). Aunque en etapas más avanzadas de la madurez, el peso y la firmeza disminuyeron, la intensidad y claridad del color, los niveles de carotenos y Vitamina C permanecieron elevados, y los sólidos solubles totales se mantuvieron moderadamente altos.

Martínez-González et al. (2017) señalan que durante la maduración del fruto se producen cambios bioquímicos y sensoriales, como lo son variaciones en las concentraciones de azúcares y ácidos orgánicos, que afectan el sabor y el valor nutricional del fruto, ocasionan la pérdida de turgencia celular y la estructura de la pared celular se modifican, lo cual cambia la textura y firmeza del fruto, y ocasiona cambios en el color del fruto debidos a variaciones en las concentraciones de

clorofilas, carotenos y flavonoides. Estos cambios fueron los más evidentes dentro de los grupos de accesiones analizadas durante su madurez.

Cuadro 2. Caracterización de los grupos de accesiones de chile ‘de agua’ en cinco estados de madurez con base en variables de calidad del fruto.

Grupo	Accesión	Origen	Características
1	(15 Accesiones) A29, A34, A16, A39, A20, A18, A33, A15, A13, A05, A32, A04, A23, A21, A03	1. Zimatlán 2. Ejutla 3. Ocotlán 4. Etla	35 dda: Frutos pesados, con mesocarpio grueso, color moderadamente claro y saturado, y firmeza intermedia.
			45 dda: Frutos pesados, con color de claridad y saturación medias, mesocarpio delgado y firmeza moderada.
			55 dda: Frutos pesados, con alta saturación de color, mesocarpio grueso, sólidos solubles totales moderados, firmeza y contenido de Vitamina C medios, y alta clorofila.
			65 dda: Frutos pesados, con color de claridad moderada, mesocarpio grueso, firmeza intermedia, sólidos solubles totales moderados y alta clorofila.
			75 dda: Frutos pesados, con firmeza media, altos niveles de carotenos, baja claridad de color y bajos sólidos solubles totales y Vitamina C.
2	(15 Accesiones) A49, A45, A47, A43, A42, A48, A41, A38, A46, A44, A24, A37, A36, A50, A02	1. Zimatlán 2. Ejutla 3. Tlacolula 4. San Andrés Nuxiño	35 dda: Frutos de buena firmeza y mesocarpio grueso, con baja saturación y claridad de color, pero con poco peso.
			45 dda: Frutos firmes, con mesocarpio grueso, color de baja claridad y saturación, así como poco peso.
			55 dda: Frutos firmes, con alta acidez titulable y carotenos; peso, clorofila y mesocarpio moderados, y bajos niveles de Vitamina C y sólidos solubles totales.
			65 dda: Frutos firmes, con mesocarpio moderadamente grueso, bajo peso y sólidos solubles totales; alta claridad de color, acidez titulable y clorofila.
			75 dda: Frutos firmes, con claridad moderada, alta saturación de color, alto contenido de Vitamina C, bajo peso y niveles bajos de carotenos.

Cuadro 2... Continuación

Grupo	Accesión	Origen	Características
3	(20 Accesiones)		35 dda: Frutos de color claro y alta saturación, moderadamente pesados, con mesocarpio delgado y baja firmeza.
			45 dda: Frutos con alta claridad y saturación de color, peso moderado, baja firmeza y mesocarpio delgado.
			55 dda: Frutos claros, con alta Vitamina C, peso y carotenos moderados, sólidos solubles totales altos, pero con baja clorofila, firmeza y grosor del mesocarpio.
			65 dda: Frutos con alta saturación y claridad moderada de color, altos niveles de carotenos, peso y sólidos solubles totales elevados, pero baja firmeza y grosor del mesocarpio.
			75 dda: Frutos de peso moderado, con alta claridad y saturación moderada de color, alta acidez titulable y clorofila, sólidos solubles totales elevados y baja firmeza.
	A40, A17, A35, A27, A10, A25, A26, A08, A11, A09, A07, A30, A31, A12, A14, A06, A28, A22, A19, A01	1. Zimatlán 2. Ejutla 3. Ocotlán 4. Centro	

A: Accesión. **dda:** Días después de antesis.

3.5.4. Análisis de varianza

A partir de los análisis de varianza se observaron diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) entre los grupos en 22 de los caracteres evaluados en este análisis: cuatro a los 35 dda, tres a los 55 dda y cinco a los 45, 65 y 75 dda. Los parámetros de calidad: Vitamina C, Clorofila y Carotenos, no presentaron diferencias significativas entre los grupos formados en los cinco estados de madurez. Estos resultados fueron corroborados mediante la prueba de comparación de medias, la cual coincidió con los hallazgos del análisis discriminante.

3.5.5. Calidad físico-química del fruto

La luminosidad (L^*) en los frutos mostró diferencias significativas entre los grupos ($P \leq 0.05$) a los 35 días después de antesis (dda). Las accesiones del grupo 1 y 3 presentaron los valores más altos con 32.52 y 34.33, respectivamente (Cuadro 3). Pese a la falta de significancia en los demás estados de madurez los valores promedio de L^* fluctuaron de 34.33 a 14.08 a medida que avanzó la madurez, lo cual demostró una disminución progresiva en los valores de L^* . Este descenso en la luminosidad indica una transición hacia tonos más oscuros, relacionados con la maduración y el desarrollo de colores más rojizos. Noichinda et al. (2016) señalan que los frutos de *Capsicum annuum* desarrollan una coloración rojiza al alcanzar la

madurez debido al aumento en la actividad de la clorofilasa, enzima que degrada la clorofila y a medida que ésta se descompone, revela pigmentos característicos de la maduración del fruto, como el color rojo (Deaquiz-Oyola, 2014).

Cuadro 3. Comparación de medias de la claridad del color del fruto (L^*), evaluada en chile ‘de agua’ en cinco estados de madurez.

VARIABLE	GRUPO	DÍAS DESPUÉS DE ANTESIS				
		35	45	55	65	75
L^*	1	32.52 A	27.30 A	16.56 A	14.64 A	14.08 A
	2	30.15 B	25.93 A	17.23 A	16.58 A	16.88 A
	3	34.33 A	28.16 A	19.32 A	14.93 A	17.28 A
	DMSH	2.16	2.45	4.1	2.86	3.96

Promedios con distinta letra en una hilera son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). **DMSH:** Diferencia mínima significativa honesta.

El croma (C^*), reveló diferencias significativas entre los grupos ($P \leq 0.05$) a los 45 y 75 dda. Las accesiones de los grupos 3 y 2 mostraron los valores más altos en esta variable, con 34.12 y 52.64, respectivamente (Cuadro 4). A lo largo de los estados de madurez se observaron aumentos y descensos en los valores promedio de C^* , los cuales fluctuaron de 26.47 a 53.66. Estos cambios en el croma, junto con los de la luminosidad, sugieren un proceso de intensificación del color que se atenúa hacia el final del ciclo de maduración. Benito-Bautista et al. (2016) reportan tendencias similares en valores de C^* durante la maduración de frutos de tomate de cascara con incrementos y descensos en los valores de C^* durante la maduración del fruto.

Cuadro 4. Comparación de medias del croma del color del fruto (C^*), evaluado en chile ‘de agua’ en cinco estados de madurez.

VARIABLE	GRUPO	DÍAS DESPUÉS DE ANTESIS				
		35	45	55	65	75
C^*	1	30.46 A	26.89 B	53.66 A	41.95 A	37.82 B
	2	30.33 A	26.47 B	51.11 A	45.72 A	52.64 A
	3	32.13 A	34.12 A	47.08 A	48.65 A	44.97 AB
	DMSH	5.9	6.27	7.47	8.32	8.35

Promedios con distinta letra en una hilera son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). **DMSH:** Diferencia mínima significativa honesta.

El tono del color ($^{\circ}h$) presentó diferencias significativas entre los grupos ($P \leq 0.05$) a los 35 y 45 dda. Destacaron, respectivamente, las accesiones del grupo 1 con -40.27 y una tonalidad verde, así como, las accesiones del grupo 3 con 36.14 y una tonalidad transitoria al rojo (anaranjada) (Cuadro 5). La falta de significancia en los valores de esta variable en los últimos estados de madurez (55, 65 y 75 dda) indicó una tonalidad rojiza general para todos los grupos. Los valores promedio de $^{\circ}h$

fluctuaron de -65.18 a 36.14. Estos resultados reflejan que el tono del color en los frutos de chile ‘de agua’ cambia a lo largo de la maduración. Baba et al. (2016) reportan diferentes tonalidades del color en frutos de *Capsicum* sp. durante la madurez del fruto predominando el color rojo en los frutos maduros.

Cuadro 5. Comparación de medias del tono del color del fruto (°h), evaluado en chile ‘de agua’ en cinco estados de madurez.

VARIABLE	GRUPO	DÍAS DESPUÉS DE ANTESIS				
		35	45	55	65	75
h°	1	-40.27 A	8.06 AB	24.51 A	11.70 A	21.34 A
	2	-65.18 B	-11.21 B	31.52 A	26.27 A	25.84 A
	3	-62.66 B	36.14 A	24.69 A	11.77 A	24.31 A
	DMSH	21.47	29.86	15.87	14.69	14.16

Promedios con distinta letra en una hilera son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). **DMSH:** Diferencia mínima significativa honesta.

El peso del fruto mostró diferencias significativas entre los grupos ($P \leq 0.05$) en todos los estados de madurez. El valor más alto de esta variable lo presentaron las accesiones del grupo 1 con 41.04 g a los 75 dda (Cuadro 6). El peso promedio del fruto fluctuó de 24.38 a 41.04 g, en general, a medida que el fruto maduró su peso aumentó respecto al obtenido en el primer estado de madurez, lo que sugiere un incremento de biomasa conforme avanza la maduración. Zavala-Hernández et al. (2015) encontraron que variables cuantitativas de los frutos, como el peso, se incrementan conforme se alcanza la madurez expresando sus valores máximos entre los 68 y 75 dda.

Cuadro 6. Comparación de medias del peso del fruto (g), evaluado en chile ‘de agua’ en cinco estados de madurez.

VARIABLE	GRUPO	DÍAS DESPUÉS DE ANTESIS				
		35	45	55	65	75
PESO	1	35.38 A	39.76 A	38.91 A	38.58 A	41.04 A
	2	24.38 B	29.09 C	29.42 B	27.02 B	25.18 B
	3	31.23 A	34.57 B	34.10 AB	27.90 B	30.29 B
	DMSH	4.95	4.7	5.77	4.74	5.5

Promedios con distinta letra en una hilera son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). **DMSH:** Diferencia mínima significativa honesta.

La firmeza del fruto manifestó diferencias significativas entre los grupos ($P \leq 0.05$) en todos los estados de madurez. A los 35 dda las accesiones del grupo 2 mostraron la mayor firmeza con 20.69 kgf (Cuadro 7). Los valores promedio de firmeza fluctuaron de 20.69 a 3.76 kgf, es decir, ésta disminuyó significativamente a medida que avanzó la madurez. Martínez-González et al. (2017) mencionan que el

ablandamiento del fruto es uno de los cambios que ocurren durante el proceso de maduración. Dicha pérdida de firmeza es resultado de la solubilización y despolimerización de la pared celular del fruto (Villarroel & Albornoz, 2024).

Cuadro 7. Comparación de medias de la firmeza del fruto (kgf), evaluada en chile ‘de agua’ en cinco estados de madurez.

VARIABLE	GRUPO	DÍAS DESPUÉS DE ANTESIS				
		35	45	55	65	75
FIRMEZA	1	16.33 B	13.34 B	10.66 A	8.00 A	5.14 A
	2	20.69 A	17.87 A	12.11 A	9.09 A	5.67 A
	3	14.40 B	12.65 B	7.05 B	5.34 B	3.76 B
	DMSH	2.23	2.25	1.78	1.59	1.01

Promedios con distinta letra en una hilera son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). **DMSH:** Diferencia mínima significativa honesta.

El grosor del mesocarpio evidenció diferencias significativas entre los grupos ($P \leq 0.05$) a los 45 (grupo 1), 55 (grupo 2) y 65 (grupo 1 y 2) dda. El mayor grosor del mesocarpio lo exhibieron las accesiones del grupo 1 a los 55 dda con un valor de 2.96 mm (Cuadro 8). Los valores promedio de esta variable fluctuaron de 2.56 a 2.96 mm. Conforme el fruto maduró, el grosor del mesocarpio aumentó, con su pico máximo en etapas intermedias de madurez (55 dda) y una estabilización en los estados más avanzados. Kyriacou et al. (2016) mencionan que un mayor grosor del pericarpio del fruto es un atributo positivo, pues le confiere mayor resistencia para el transporte. Por su parte Pérez-Grajales et al. (2021) indican que dicha característica evita la pérdida de peso postcosecha.

Cuadro 8. Comparación de medias del grosor del mesocarpio del fruto (mm), evaluado en chile ‘de agua’ en cinco estados de madurez.

VARIABLE	GRUPO	DÍAS DESPUÉS DE ANTESIS				
		35	45	55	65	75
GROSOR	1	2.84 A	2.60 AB	2.96 A	2.89 A	-
	2	2.72 A	2.78 A	2.94 AB	2.82 A	-
	3	2.59 A	2.56 B	2.79 B	2.58 B	-
	DMSH	0.25	0.19	0.16	0.23	-

Promedios con distinta letra en una hilera son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). **DMSH:** Diferencia mínima significativa honesta.

La acidez titulable reveló diferencias significativas entre los grupos ($P \leq 0.05$) a los 65 y 75 dda. Las accesiones de los grupos 2 y 3, respectivamente, presentaron la mayor acidez con 0.66 y 0.85 % (Cuadro 9). Los valores promedio de esta variable fluctuaron de 0.50 a 0.85 %. La acidez del fruto manifestó un incremento gradual

conforme avanzó la madurez, alcanzando su punto máximo en la etapa final. Jimenez et al. (2024) mencionan que la acidez del fruto está estrechamente relacionada con su maduración, lo cual tiene un impacto directo en su calidad final, ya que ofrece una medida de la frescura y el sabor ácido de los frutos.

Cuadro 9. Comparación de medias de la acidez titulable del fruto (%), evaluada en chile ‘de agua’ en cinco estados de madurez.

VARIABLE	GRUPO	DÍAS DESPUÉS DE ANTESIS				
		35	45	55	65	75
ACIDEZ TITULABLE	1	-	-	0.50 A	0.56 B	0.66 B
	2	-	-	0.57 A	0.66 A	0.76 AB
	3	-	-	0.56 A	0.65 AB	0.85 A
	DMSH	-	-	0.07	0.1	0.14

Promedios con distinta letra en una hilera son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). **DMSH:** Diferencia mínima significativa honesta.

Los sólidos solubles totales (°Brix) del fruto registraron diferencias significativas entre los grupos ($P \leq 0.05$) a los 75 dda. En este último estado de madurez, las accesiones del grupo 3 mostraron la concentración más alta con 8.88 °Brix (Cuadro 10). Los valores promedio de esta variable fluctuaron de 7.40 a 9.36 °Brix. Pese a la falta de significancia en los demás estados de madurez, la concentración de sólidos solubles totales de las accesiones de los grupos 2 y 3 aumentó conforme maduró el fruto, en contraste, en el grupo 1 ésta disminuyó. Aizat et al. (2014) reportan cambios significativos en el contenido de almidón, azúcares y otros derivados durante las diferentes etapas de maduración de *Capsicum* sp. Campos et al. (2024) mencionan que con la maduración los frutos tienden a volverse más dulces, debido a que el etileno activa enzimas que degradan el almidón en azúcares, lo cual influye en su sabor.

Cuadro 10. Comparación de medias de los sólidos solubles totales del fruto (°Brix), evaluados en chile ‘de agua’ en cinco estados de madurez.

VARIABLE	GRUPO	DÍAS DESPUÉS DE ANTESIS				
		35	45	55	65	75
SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES	1	-	-	8.13 A	9.36 A	7.47 B
	2	-	-	7.40 A	7.71 A	7.82 AB
	3	-	-	7.80 A	8.78 A	8.88 A
	DMSH	-	-	2.22	3.6	1.28

Promedios con distinta letra en una hilera son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). **DMSH:** Diferencia mínima significativa honesta.

El contenido de Vitamina C no evidenció diferencias significativas entre los grupos ($P \leq 0.05$) en ninguno de los estados de madurez del fruto (Cuadro 11). Pese a la

falta de significancia la concentración promedio de esta variable fluctuó de 55.12 a 60.20 mg por cada 100 g de fruto, con su pico máximo de concentración en la etapa intermedia de la maduración (55 dda), la cual disminuyó ligeramente hacia la etapa final (75 dda). Rosales & Arias (2015) indican que el contenido de Vitamina C esta correlacionado positivamente con la maduración del fruto, así como con el contenido de sólidos solubles totales.

Cuadro 11. Comparación de medias de la Vitamina C del fruto (mg 100 g⁻¹), evaluada en chile 'de agua' en cinco estados de madurez.

VARIABLE	GRUPO	DÍAS DESPUÉS DE ANTESIS				
		35	45	55	65	75
VITAMINA C	1	-	-	59.86 A	55.12 A	55.63 A
	2	-	-	58.58 A	55.52 A	57.54 A
	3	-	-	60.20 A	50.86 A	57.03 A
	DMSH	-	-	6.16	5.04	6.65

Promedios con distinta letra en una hilera son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). **DMSH:** Diferencia mínima significativa honesta.

El contenido de clorofila no presentó diferencias significativas entre los grupos ($P \leq 0.05$) en ninguno de los estados de madurez del fruto (Cuadro 12). A pesar de la falta de significancia la concentración promedio de clorofila fluctuó de 1.26 a 3.31 μg por cada 100 g de fruto. Noichinda et al. (2017) mencionan que en etapas iniciales de la madurez de frutos de *Capsicum annuum* los niveles de clorofila son predominantes y disminuyen a medida que el fruto madura completamente.

Cuadro 12. Comparación de medias de la clorofila del fruto (μg 100 g⁻¹), evaluada en chile 'de agua' en cinco estados de madurez.

VARIABLE	GRUPO	DÍAS DESPUÉS DE ANTESIS				
		35	45	55	65	75
CLOROFILA	1	-	-	2.49 A	2.40 A	2.42 A
	2	-	-	1.66 A	3.31 A	2.63 A
	3	-	-	1.37 A	2.30 A	2.66 A
	DMSH	-	-	1.67	1.79	1.26

Promedios con distinta letra en una hilera son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). **DMSH:** Diferencia mínima significativa honesta.

El contenido de carotenos no reveló diferencias significativas entre los grupos ($P \leq 0.05$) en ninguno de los estados de madurez del fruto (Cuadro 13), sin embargo, la concentración de carotenos varió de 23.47 a 29.40 μg por cada 100 g de fruto, registrándose la mayor concentración en la última etapa de la maduración (75 dda). Maldonado et al. (2020) mencionan que en frutos del género *Capsicum* durante su

proceso de maduración se genera una intensa síntesis de carotenoides de pigmentación rojo-anaranjado.

Cuadro 13. Comparación de medias de los carotenos del fruto ($\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$), evaluados en chile 'de agua' en cinco estados de madurez.

VARIABLE	GRUPO	DÍAS DESPUÉS DE ANTESIS				
		35	45	55	65	75
CAROTENOS	1	-	-	23.47 A	26.69 A	29.40 A
	2	-	-	27.43 A	25.70 A	28.98 A
	3	-	-	27.18 A	29.25 A	29.35 A
	DMSH	-	-	4.96	5.43	5.65

Promedios con distinta letra en una hilera son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). **DMSH:** Diferencia mínima significativa honesta.

3.6. CONCLUSIONES

Los análisis multivariado y discriminante definieron tres calidades de fruto (grupos) en función de variables bioquímicas y biofísicas.

Las accesiones del Grupo 1, con su maduración lenta y capacidad para retener peso, firmeza y grosor de mesocarpio, poseen atributos potenciales para ser utilizados en mercados que requieran frutos con adaptabilidad al almacenamiento prolongado y resistencia al transporte.

Las accesiones del Grupo 2, con su maduración más rápida, disminución pronunciada de peso y firmeza y aumento de acidez, son potencialmente ideales para procesamientos industriales.

Las accesiones del Grupo 3, con su maduración intermedia, mayor concentración de carotenos y colores claros e intensos, presentan características con uso potencial en mercados que valoran la apariencia estética y la calidad visual.

Cosechas tempranas (35 a 45 dda) aseguran la obtención de frutos firmes, de colores claros y llamativos, cosechas tardías (65 a 75 dda) garantiza la obtención de frutos pesados y de mejor sabor mientras que las cosechas intermedias (55 dda) permiten obtener frutos con altos valores de croma, mayor grosor del mesocarpio y niveles de Vitamina C elevados.

3.7. LITERATURA CITADA

- Aguilar, R. V. H., Corona, T. T. López, L. P., Latournerie, M. L., Ramírez, M. M., Villalón, M. H. & Aguilar, C. J. A. (2010). *Los chiles de México y su Distribución*. SINAREFI, Colegio de Posgraduados, INIFAP, IT-CONKAL, UANL y UAN. <https://www.researchgate.net/publication/235657255>
- Aizat, W. M., Dias, D. A., Stangoulis, J. C. R., Ablea, J. A., Roessne, U. & Able, M. J. (2014). Metabolomics of *Capsicum* ripening reveals modification of the ethylene related-pathway and carbon metabolism. *Postharvest Biology and Technology*, 89, 19–31. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.11.004>
- Ambrosio, S. F. (2007). *Análisis de los aspectos socio-culturales y económicos del agroecosistema chile de agua (Capsicum annuum L.) en Cuilapam de Guerrero, Oaxaca* [Tesis Maestría, Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca].
- Angón-Galván, P., Santos-Sánchez, N. F. & Hernández, C. G. (2006). Índices para la determinación de las condiciones óptimas de maduración de un fruto. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 10(30), 3–8.
- Association of Official Agricultural Chemist (A.O.A.C.) (1990). *Official Methods Analytis* (15th ed.). Washington, D. C. <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/aoac.methods.1.1990.pdf>
- Baba, V. Y., Rocha, K. R., Gomes, G. P., Ruas, C. F., Ruas, P. M., Rodríguez, R., & Gonçalves, L. S. A. (2016). Genetic diversity of *Capsicum chinense* accessions based on fruit morphological characterization and AFLP markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 63, 1371–1381. <https://doi.org/10.1007/s10722-015-0325-4>
- Benito-Bautista, P., Arellanes-Juárez, N. & Pérez-Flores, M. E. (2016). Color y estado de madurez del fruto de tomate de cáscara. *Agronomía Mesoamericana*, 27(1), 115–130. <https://doi.org/10.15517/am.v27i1.21891>
- Blandón, N. S. (2012). *Fisiología de poscosecha*. UNI. <http://listas.exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Fisiologiaposcocsecha.pdf>
- Campos, M. G. E., Guamangallo, T. J. V., Cevallos, C. E. R. & Acosta, O. O. A. (2024). Factores determinantes en el proceso de maduración y su relación con los diferentes cambios en frutas y hortalizas. *Reciena*, 4(1), 79–86. <https://doi.org/10.47187/3ew2nn40>
- Carrillo, E. (2007). *Caracterización, evaluación y selección de colectas en base a producción, calidad de fruto y semilla en chile de agua (Capsicum annuum L.)* [Tesis Doctoral, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo].

- Castellón-Martínez, E., Chávez-Servia, J. L., Carrillo-Rodríguez, J. C. & Vera-Guzman, A. M. (2012). Preferencias de consumo de chiles (*Capsicum annuum* L.) nativos en los Valles Centrales de Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(5), 27–35. https://doi.org/10.35196/rfm.2012.Especial_5.27
- Cruz, A. O. R. (2019). Manejo intensivo del chile de agua en ambientes protegidos, para mejorar su rendimiento, la calidad y propiedades nutricionales del fruto [Tesis Doctoral, Instituto Politécnico Nacional].
- Deaquiz-Oyola, Y. A. (2014). Los frutos y su fotosíntesis. *Conexión Agropecuaria*, 4(1), 39–47.
- Hotelling, H. (1951). *A generalized t test and measure of multivariate dispersion. Proceedings of the Second Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*. Berkeley, California: University of California Press. <https://doi.org/10.1525/9780520411586-004>
- Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura (2023). *Poscosecha y Buenas Prácticas de Producción orientadas a la Agricultura Familiar*. <https://mfiles.iica.int/ctl/cpc/lec/m2.pdf>
- Jimenez, J. L. D., Cujilema, T. C. M., Villacres, P. S. P. & Chuin, V. G. M. (2024). Determinación de la Acidez Titulable en cítricos amazónicos: Correlación con la Madurez y la Susceptibilidad a la Pudrición. *Ciencia Latina*, 8(2), 2441–2451. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i2.10681
- Johnson, E. D. (1998). *Applied Multivariate, Methods for data Analysts*. USA: Cole Publishing Company.
- Kyriacou, M. C., Soteriou, G. A., Rouphael, Y., Siomos, A. S. & Gerasopoulos, D. (2016) Configuration of watermelon fruit quality in response to rootstock-mediated harvest maturity and postharvest storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 96(7), 2400–2409. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7356>
- Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148, 350–382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
- Maldonado-Astudillo, Y. I., Jiménez-Hernández, J. & Salazar, R. (2020). Fisiología y tecnología postcosecha del chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Universidad Autónoma de Guerrero*, 279–289.
- Marín-Montes, I. M., Rodríguez-Pérez, J. E., Sahagún-Castellanos, J., Hernández Ibáñez, L., & Velasco-García, Á. M. (2016). Variación morfológica y molecular de 55 colectas de tomate nativo de México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 22(2), 117–132.

- Martínez-González, M. E., Balois-Morales, E., Alia-Tejacal, I., Cortes-Cruz, M. A., Palomino-Hermosillo, Y. A. & López-Guzmán, G. G. (2017). Poscosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(19), 4075 – 4087. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i19.674>
- McGuire, R. G. (1992). Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27(12), 1254–1255. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.27.12.1254>
- Mera, G. C., Tandalla, J. V. G., Carvajal, E. R. C., & Ordoñez, O. A. A. (2024). Factores determinantes en el proceso de maduración y su relación con los diferentes cambios en frutas y hortalizas. *Reciena*, 4(1), 79-86.
- Mondino, M. C. & Ferrato, J. (2004). El análisis sensorial una herramienta para la evaluación de la calidad desde el consumidor. *Agromensajes*, 1(18), 16–24.
- Noichinda, S., Bodhipadma, K., Mounghomprang, D., Thongnurung, N. & Kasiolarn, H. (2016). Harvesting indices of Chi-fah Yai pepper (*Capsicum annuum* L.) fruit. *The Journal of Applied Science*, 15(2), 20–23. <https://doi.org/10.14416/j.appsci.2016.11.001>
- Núñez-Colín, C. A., & Escobedo-López D. (2011). Uso correcto de análisis clúster en la caracterización de germoplasma vegetal. *Agronomía Mesoamericana*, 22(2), 415–427. <https://doi.org/10.15517/am.v22i2.8746>
- Pérez-Castañeda, L. M., Castañón-Nájera, G. & Mayek-Pérez, N. (2008) Diversidad morfológica de chiles (*Capsicum* spp.) en Tabasco, México. *Cuadernos de Biodiversidad*, (27),11–22. <https://doi.org/10.14198/cdbio.2008.27.02>
- Pérez-Grajales, M., Pérez-Reyes, T. Q., Cruz-Álvarez, O., Castro-Brindis, R. y Martínez-Damián, M. T. (2021) Compatibilidad del portainjerto CM334 y su respuesta sobre el rendimiento, calidad fitoquímica y contenido de capsaicinoides en frutos de *Capsicum pubescens*. *Información Técnica Económica Agraria*, 117(4), 332–346. <https://doi.org/10.12706/itea.2021.003>
- Rosales, L. D. D. y Arias, A. G. (2015). Vitamina C y parámetros fisicoquímicos durante la maduración de *Berberis Lobbiana* “Untusha”. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 81(1), 63–75. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v81i1.15>
- Rojas, A. J. M., Peñuela, M. A. E., Gómez, P. C. R., Aristizábal V. G. E., Chaparro C. M. C. & López, R. J. A. (2004). Caracterización de los productos hortifrutícolas colombianos y establecimiento de las normas técnicas de calidad. En M. A. E. Peñuela, *Capítulo 2. Cambios físicos y químicos que ocurren durante el crecimiento y maduración de los productos hortifrutícolas y su relación con la calidad*. (pp. 25–31). <http://hdl.handle.net/10778/828>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2024). *Panorama Agroalimentario 2024*. Gobierno de México.

https://drive.google.com/file/d/1NXcDhaB63Z94wjRUVF6f_FK0Urv6cgvJ/view?usp=sharing

- Statistical Analysis System (SAS Institute) (1983). *SAS technical report A108. Cubic clustering criterion*. Cary, N.C. USA: Author.
- Vásquez, L. A., Tlapal, B. B., Yáñez, M. M de J., Pérez, P. R. y Quintos, E. M. (2009). Etiología de la marchitez del 'chile de agua' (*Capsicum annuum* L.) en Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 32(2), 127–134.
- Vázquez, G. E., Ramírez, M. M., Mata, V. H., Ariza, F. R. & Alia, T. I. (2010). Atributos de calidad y vida de anaquel de frutos de cultivares de chile serrano en México, *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(4), 79–82.
- Villarroel, C., & Albornoz, K. (2024). Fisiología de la maduración y manejo en postcosecha de frutilla chilena (*Fragaria chiloensis*). *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 40(1), 198–212. <http://dx.doi.org/10.29393/chjaas40-19fmck20019>
- Virgen J., S. D. (2006). *Rentabilidad y mercadeo de la producción de chile de agua bajo invernadero en el municipio de Ayoquezco de Aldama, Oaxaca* [Tesis Ingeniero Agrónomo, Universidad Autónoma Chapingo].
- Zavala-Hernández, J., Córdova-Téllez, L., Martínez-Herrera, J., & Molina-Moreno, J. C. (2015). Desarrollo del fruto y semilla de *Jatropha curcas* L. e indicadores de madurez fisiológica de la semilla. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(3), 275–284.

CAPÍTULO 4. APROXIMACIÓN ETNOBOTÁNICA DEL CHILE ‘DE AGUA’ (*Capsicum annuum* L.) DE OAXACA

APROXIMACIÓN ETNOBOTÁNICA DEL CHILE 'DE AGUA' (*Capsicum annuum* L.) DE OAXACA

4.1. RESUMEN

A lo largo de la historia, las plantas han cubierto diferentes necesidades biológicas y culturales del ser humano, lo cual ha influido en el desarrollo de la sociedad. En el caso específico del chile 'de agua', los habitantes de los Valles Centrales de Oaxaca mantienen un profundo conocimiento tradicional en torno a su uso ritual, medicinal y como alimento. Sin embargo, a medida que las sociedades se desarrollan, los conocimientos pueden acumularse o, en algunos casos, perderse debido a la modernización y la intervención humana en el entorno natural. Esta investigación tuvo como objetivo generar información integral de la importancia social y económica del chile 'de agua', contribuyendo a su continuidad como un elemento fundamental de la identidad y la vida cotidiana en la región. El estudio se realizó en ocho municipios de los Valles Centrales de Oaxaca y un municipio de la región Mixteca. Se realizaron encuestas a productores y comerciantes estructuradas en torno a 43 variables etnobotánicas relacionadas con el uso y prácticas agrícolas del chile 'de agua'. La información obtenida de las encuestas se transformó en variables categóricas y se les asignó un valor numérico, con los cuales se llevó a cabo un análisis de correspondencia múltiple (ACM) y se calcularon las medidas de discriminación. En las dos primeras dimensiones se explicó el 74.37 % de la variabilidad acumulada en las variables etnobotánicas seleccionadas. En la primera dimensión (50.36 %) influyeron principalmente aspectos prácticos y técnicos del cultivo, mientras que la segunda dimensión (24.01 %) estuvo influenciada por variables geográficas y culturales. La influencia de estas variables formó cuatro grupos bien definidos, los cuales se relacionaron con criterios geográficos. Los hallazgos mostraron una clara correspondencia entre el conocimiento etnobotánico, usos y prácticas agronómicas del chile 'de agua' y los grupos geográficos preestablecidos.

Palabras clave: importancia social, importancia económica, encuestas, ACM, medidas de discriminación.

ETHNOBOTANICAL APPROACHMENT OF 'DE AGUA' CHILI (*Capsicum annuum* L.) OF OAXACA.

4.2. ABSTRACT

Throughout history, plants have covered up different biological and cultural needs of human beings, which has influenced the development of society. In the specific case of the 'de agua' chili pepper, the inhabitants of the Oaxaca's Central Valleys maintain a deep traditional knowledge of its ritual, medicinal and food uses. However, as societies develop, this knowledge may accumulate or, in some cases, be lost due to modernization and human intervention in the natural environment. The objective of this research was to generate comprehensive information on the social and economic importance of the 'de agua' chili pepper, contributing to its continuity as a fundamental element of identity and daily life in the region. The study was conducted in eight counties in the Central Valleys of Oaxaca and one county in the Mixtec region. Surveys were conducted with producers and traders structured around 43 ethnobotanical variables related to the use and agricultural practices of 'de agua' chili pepper. The information obtained from the surveys was transformed into categorical variables and assigned a numerical value, with which a multiple correspondence analysis (MCA) was carried out and discrimination measures were calculated. The first two dimensions explained 74.37 % of the accumulated variability in the selected ethnobotanical variables. The first dimension (50.36 %) was mainly influenced by practical and technical aspects of cultivation, while the second dimension (24.01 %) was influenced by geographical and cultural variables. The influence of these variables formed four well defined groups, which were related to geographic criteria. The findings showed a clear correspondence between ethnobotanical knowledge, uses and agronomic practices of chile 'de agua' and preestablished geographic groups.

Key words: social importance, economic importance, surveys, MCA, discrimination measures.

4.3. INTRODUCCIÓN

Las plantas han sido elementos esenciales en el desarrollo de las sociedades humanas, satisfaciendo necesidades tanto biológicas como culturales (Buñuelos et al., 2008). Entre estas, los chiles destacan por su trascendencia en la cultura e identidad del pueblo de México, donde se han convertido en un símbolo que define no solo la gastronomía, sino también la identidad cultural (Aguirre & Muñoz, 2015). Aunque el chile es un elemento que caracteriza a México, su influencia se ha extendido a nivel global, siendo fundamental en diversas culturas culinarias alrededor del mundo (Aguirre & Muñoz, 2015).

En México, la tradición del consumo de chile se remonta a tiempos prehispánicos y ha perdurado hasta nuestros días, especialmente en el estado de Oaxaca, una región con una rica historia cultural y culinaria (Castellón-Martínez et al., 2012). Dentro de Oaxaca, en los Valles Centrales, se cultivan diversas variedades de chile, pero destaca especialmente el chile ‘de agua’ (Aparicio-del-Moral et al., 2013), cuyo nombre se debe a la gran cantidad de agua que este requiere para su producción (Montaño-Lugo et al., 2014). Esta especie es endémica de la región de los Valles Centrales donde su importancia económica, social y de consumo lo convierte en un símbolo de la horticultura regional, ya que únicamente se cultiva y consume ampliamente en esta región (Velasco et al., 1998; Martínez-Sánchez et al., 2010; Aparicio-del-Moral et al., 2013; Montaño-Lugo et al., 2014). Apreciado por su sabor y picor en la preparación de platillos, es el único chile de la región que se comercializa por pieza, además su producción se ha expandido significativamente desde la década de 1970 a lo largo de siete distritos y 35 municipios (Martínez-Sánchez et al., 2010; Aparicio-del-Moral., 2013; Montaño-Lugo et al., 2014), lo que hace de su cultivo una actividad vital para la economía local y una parte integral de la vida cotidiana en los Valles Centrales de Oaxaca.

A pesar de la significativa importancia económica, social y cultural del chile ‘de agua’ en los Valles Centrales de Oaxaca, este cultivo enfrenta un insuficiente reconocimiento que amenaza su continuidad. Esta falta de reconocimiento se refleja en la baja demanda en el mercado nacional, lo que ha impedido su expansión a mercados fuera de la región, limitando así su potencial comercial (Montaño-Lugo et al., 2014). Además, el desplazamiento progresivo del cultivo, impulsado por factores como la alta demanda de insumos, la vulnerabilidad a plagas y enfermedades, y los efectos del cambio climático, ha reducido la producción en comparación con años anteriores (Montaño-Lugo et al., 2014). Esto no solo representa un riesgo económico, sino que también conlleva la pérdida de una riqueza cultural y social, dado que el chile ‘de agua’ es una variedad endémica de la región (Montaño-Lugo et al., 2014). Asimismo, la insuficiente transmisión de conocimientos entre generaciones y la falta de relevo generacional ponen en peligro las prácticas agrícolas tradicionales necesarias para mantener este cultivo, comprometiendo su supervivencia como un elemento clave de la identidad y la economía local (Aparicio-del-Moral et al., 2013).

Pese a estos desafíos, el chile ‘de agua’ sigue siendo vital para la economía y la calidad de vida en los Valles Centrales de Oaxaca (Aparicio-del-Moral et al., 2013).

Con una superficie de cultivo de aproximadamente 1,500 hectáreas y un rendimiento promedio de 6 a 8 toneladas por hectárea, este cultivo no solo genera ingresos significativos, sino que también en promedio emplea 150 jornales por hectárea al año, siendo una fuente importante de empleo rural (Velasco et al., 1998). La producción, destinada principalmente a los mercados de la capital oaxaqueña, garantiza la seguridad alimentaria local, además es un componente esencial de la gastronomía regional, reforzando su valor cultural y social, así mismo, su relación beneficio-costeo destaca su rentabilidad, subrayando la importancia de preservar este cultivo ante las amenazas actuales (Vásquez et al., 2009).

Frente a este panorama, resulta crucial llevar a cabo una aproximación etnobotánica al cultivo del chile 'de agua' en los Valles Centrales de Oaxaca. En este contexto, el objetivo del estudio es generar información integral sobre su importancia social y económica del cultivo, reconociendo su valor cultural y reforzando su papel en la economía local. Así mismo, al comprender mejor las dinámicas culturales y agronómicas que los sustentan, se podrán implementar estrategias efectivas para su preservación y fortalecimiento de su producción en el futuro, asegurando así su continuidad como un elemento clave de la identidad y la vida cotidiana en la región.

4.4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.4.1. Descripción de las áreas de estudio

El estudio se realizó en doce localidades del estado de Oaxaca, ubicadas en los municipios de San Bernardo Mixtepec, Zimatlán de Álvarez, Heroica Ciudad de Ejutla, Ocotlán de Morelos, Asunción Ocotlán, Santiago Apóstol, San Sebastián Abasolo, San Juan Guelavia y San Andrés Nuxiño, pertenecientes a cuatro distritos de la región de los Valles Centrales y un distrito de la región Mixteca (Cuadro 14).

Cuadro 14. Distribución de localidades de estudio en municipios y distritos de las regiones Valles Centrales y Mixteca en Oaxaca.

REGIÓN	DISTRITO	MUNICIPIO	LOCALIDAD
Valles Centrales	Zimatlán	San Bernardo Mixtepec Zimatlán de Álvarez	San Bernardo Mixtepec Zimatlán de Álvarez
	Ejutla	Heroica Ciudad de Ejutla	Heroica Ciudad de Ejutla El Arrogante Justo Benítez San José las Huertas Hacienda Vieja
	Ocotlán	Ocotlán de Morelos Asunción Ocotlán Santiago Apóstol	Ocotlán de Morelos Asunción Ocotlán Santiago Apóstol
	Tlacolula	San Sebastián Abasolo San Juan Guelavia	San Sebastián Abasolo San Juan Guelavia
Mixteca	Nochixtlán	San Andrés Nuxiño	Río Yutaname

Región Valles Centrales: Esta región es una de las más importantes económicamente en el estado, con una extensión territorial de 11,987.58 km², que representa el 12.8 % de la superficie total del estado. Está compuesta por siete distritos y 121 municipios.

Municipio San Bernardo Mixtepec: Se encuentra en las coordenadas 16° 49' latitud norte y 96° 54' longitud oeste, a una altitud de 1,600 msnm. Su superficie es de 8,456 hectáreas, de las cuales 563 están dedicadas a la agricultura. El clima predominante es templado, con lluvias en verano y frío en invierno.

Municipio Zimatlán de Álvarez: Ubicado en las coordenadas 16° 56' 12" latitud norte y 97° 45' 08" longitud oeste, este municipio presenta altitudes que van de los 1,450 a los 2,780 metros sobre el nivel del mar. El clima es templado subhúmedo, caluroso en verano y frío en invierno.

Municipio Heroica Ciudad de Ejutla: Situado entre los paralelos 16° 27' y 16° 45' de latitud norte, y los meridianos 96° 35' y 96° 52' de longitud oeste. Su altitud varía de los 1,300 a los 3,000 msnm. El clima predominante es semicálido, templado subhúmedo y semicálido subhúmedo con lluvias en verano.

Municipio Ocotlán de Morelos: Localizado entre las coordenadas de longitud oeste 96° 49' 29.28" a 96° 36' 02.16" y latitud norte 16° 41' 31.20" a 16° 52' 39.00", este municipio se encuentra a una altitud de 1,500 msnm. Su clima es templado, con lluvias moderadas en verano y principios de otoño.

Municipio Asunción Ocotlán: Ubicado en las coordenadas 96° 43' 15" longitud oeste y 16° 45' 30" latitud norte, su altitud es de 1,500 msnm. Presenta un clima templado, con lluvias que alcanzan una precipitación media anual de 746.6 mm entre mayo y septiembre.

Municipio Santiago Apóstol: Sus coordenadas geográficas son 16° 48' de latitud norte y 96° 43' de longitud oeste, con una altitud de 1,400 msnm. El clima predominante es semicálido, con una temperatura media anual de 25 °C.

Municipio San Sebastián Abasco: Localizado en las coordenadas 17° 00' de latitud norte y 96° 35' de longitud oeste, a una altura de 1,550 msnm, este municipio experimenta temperaturas que varían entre los 9 y 30 °C a lo largo del año.

Municipio San Juan Guelavia: Situado entre los paralelos 16° 55' y 17° 00' de latitud norte, y los meridianos 96° 30' y 96° 35' de longitud oeste, su altitud oscila entre los 1,500 y 1,700 msnm. El clima es seco y semiseco, con temperaturas que van de los 18 a 22 °C.

Región Mixteca: Esta región abarca una superficie de 15,671.08 km², lo que representa el 16.7 % de la superficie estatal y alberga una quinta parte de la población oaxaqueña. Está constituida por siete distritos y 155 municipios.

Municipio San Andrés Nuxiño: Ubicado entre los paralelos 17° 10' y 17° 17' de latitud norte, y los meridianos 96° 59' y 97° 09' de longitud oeste, su altitud varía entre los 1,700 y 2,600 msnm. El clima predominante es templado subhúmedo y semicálido subhúmedo, con lluvias en verano.

4.4.2. Obtención de la información etnobotánica

Para recopilar la información etnobotánica, se llevaron a cabo 45 encuestas en las localidades de origen de las accesiones analizadas. Estas encuestas se aplicaron principalmente en predios particulares, así como en comercios y mercados locales. Se estructuraron en torno a 43 variables relacionadas con el conocimiento etnobotánico, los usos y las prácticas agronómicas del chile 'de agua'.

4.4.3. Análisis estadístico

Para analizar la información obtenida de las encuestas, las respuestas se transformaron en variables categóricas, asignando un valor numérico a cada una de ellas (Cuadro 15). Con estas transformaciones, se llevó a cabo un análisis de correspondencia múltiple y se calcularon las medidas de discriminación. Estas pruebas estadísticas se realizaron utilizando el programa IBM SPSS Statistics versión 25.

Cuadro 15. Categorización de las variables sociales de conocimiento local, usos y manejo del chile ‘de agua’ obtenidas a partir de 45 encuestas.

Variable	Descripción	Categoría	Descripción
1	Edad	1	≤30 años
		2	30 a 50 años
		3	51 a 70 años
		4	>70 años
2	Sexualidad	1	Masculino
		2	Femenino
3	Ultimo grado de escolaridad	1	No estudio
		2	Primaria
		3	Secundaria
		4	Licenciatura
4	Número de integrantes en la familia	1	≤2 integrantes
		2	2 a 4 integrantes
		3	5 a 7 integrantes
		4	>7 integrantes
5	Actividad económica a la que se dedica	1	Agricultura
		2	Comercio
6	Grupo indígena al que pertenece	1	Ninguno
		2	Zapoteco
		3	Mixteco
7	Ocupación	1	Productor
		2	Comerciante
8	Lugar de encuesta	1	Predio particular
		2	Comercio Local
		3	Mercado

Cuadro 15... Continuación

Variable	Descripción	Categoría	Descripción
9	Pueblo donde se realizó la encuesta	1	San Bernardo Mixtepec
		2	San Juan Guelavia
		3	Heroica Ciudad de Ejutla
		4	Zimatlán de Álvarez
		5	El Arrogante Justo Benítez
		6	Asunción Ocotlán
		7	Ocotlán de Morelos
		8	San José las Huertas
		9	Hacienda Vieja
		10	Santiago Apóstol
		11	San Sebastián Abasolo
		12	Río Yutanume
10	Municipio donde se realizó la encuesta	1	San Bernardo Mixtepec
		2	Heroica Ciudad de Ejutla
		3	Zimatlán de Álvarez
		4	Ocotlán de Morelos
		5	San Sebastián Abasolo
		6	San Juan Guelavia
		7	San Andrés Nuxiño
		8	Asunción Ocotlán
		9	Santiago Apóstol
11	Nombres comunes del fruto	1	Chile 'de agua'
		2	Chile de pozo
		3	Aguachile
12	Uso principal del fruto	1	Alimenticio
		2	Limpias
		3	Insecticida

Cuadro 15... Continuación

Variable	Descripción	Categoría	Descripción
13	Formas del fruto	1	Forma 1
		2	Forma 2
		3	Forma 3
		4	Forma 4
		5	Forma 5
		6	Forma 6
14	Consideraciones de fruto ideal	1	Tamaño y Color
		2	Tamaño, Forma, Color y Picor
		3	Tamaño, Forma, Color y Vida de anaquel
		4	Tamaño, Color, Picor, Vida de anaquel
		5	Tamaño, Color, Textura y Picor
15	Obtención de semilla	1	Semilla propia
		2	Semilla comprada
		3	No obtiene semilla
16	Intercambio de semilla	1	Si
		2	No
17	Uso de semilla mejorada	1	Si
		2	No
18	Consideraciones de fruto para semilla	1	Tamaño
		2	Tamaño y Color
		3	Tamaño y Firmeza
		4	Tamaño, Color, Firmeza y Porte de planta
		5	No ha extraído

Cuadro 15... Continuación

Variable	Descripción	Categoría	Descripción
19	Técnica de extracción de la semilla	1	Secado al sol
		2	Secado a la sombra
		3	Secado en collares
		4	No ha extraído
20	Problemas en la germinación	1	Si
		2	No
21	Viabilidad de la semilla	1	<1 año
		2	1 año
		3	2 años
		4	3 años
22	Fecha de siembra	1	No siembra
		2	Marzo a Agosto
		3	Septiembre a Febrero
		4	Todo el año
23	Época de cosecha	1	No cosecha
		2	Diciembre a Mayo
		3	Junio a Noviembre
24	Duración de la cosecha	1	<1 mes
		2	1 a 3 meses
		3	4 a 5 meses
25	Rendimiento del cultivo (canastos/ha)	1	Sin rendimiento
		2	< 100 canastos
		3	100 a 200 canastos
		4	201 a 300 canastos
		5	> 300 canastos

Cuadro 15... Continuación

Variable	Descripción	Categoría	Descripción
26	Platillos elaborados con el fruto	1	Rellenos
		2	Rellenos y Rajas
		3	Rellenos, Rajas y Salsas
		4	Rellenos, Rajas y Asados
		5	Rellenos, Salsas y Asados
27	Sitio de venta del fruto	1	Capital del estado
		2	Mercado local
28	Estado del fruto para la venta	1	Fresco
		2	Seco
29	Precio de venta del fruto de primera calidad	1	\$300 a \$600
		2	\$601 a \$900
		3	\$901 a \$1,200
		4	\$1,201 a \$1,500
		5	\$1,501 a \$1,800
30	Precio de venta del fruto de segunda calidad	1	\$150 a \$300
		2	\$301 a \$450
		3	\$451 a \$600
		4	\$601 a \$750
		5	\$751 a \$900
31	Precio de venta del fruto de tercera calidad	1	≤ \$100
		2	\$101 a \$300
		3	\$301 a \$500
		4	\$501 a \$600
32	Precio de venta del fruto de cuarta calidad	1	≤ \$50
		2	\$51 a \$150
		3	\$151 a \$200
		4	\$201 a \$250

Cuadro 15... Continuación

Variable	Descripción	Categoría	Descripción
33	Cantidad de fruto destinado a la venta	1	Todo
		2	Mayoría
34	Cantidad de fruto destinado al autoconsumo	1	No consume
		2	<10 chiles
		3	10 a 20 chiles
		4	21 a 30 chiles
		5	>30 chiles
35	Integrantes de familia destinados al manejo del cultivo	1	Ninguno
		2	1 integrante
		3	2 integrantes
		4	3 integrantes
		5	4 integrantes
		6	5 integrantes
36	Integrantes de familia destinados a la venta del fruto	1	Ninguno
		2	1 integrante
		3	2 integrantes
37	Factores de fracaso del cultivo	1	Bióticos
		2	Abióticos
		3	Económicos
		4	Bióticos y Abióticos
		5	Ninguno
38	Futuro a corto plazo del cultivo	1	Si
		2	No
39	Marcas nacionales elaboradas con el fruto	1	Ninguna

Cuadro 15... Continuación

Variable	Descripción	Categoría	Descripción
40	Productos procesados elaborados con el fruto	1	Ninguno
41	Principales cultivos que establecen	1	Chile 'de agua'
		2	Chile 'de agua', maíz, frijol y ajo
		3	Chile 'de agua', jitomate, pepino, sandía y melón
		4	Chile 'de agua', tomate, maíz, frijol, calabaza y cebolla
		5	Otros
		6	No produce
42	Años trabajando con el cultivo	1	0 años
		2	1 a 11 años
		3	12 a 22 años
		4	23 a 33 años
		5	35 a 45 años
43	Tecnificación aplicada al cultivo	1	Riego rodado
		2	Riego por goteo
		3	Riego manual
		4	Riego por cajetes
		5	Sin tecnificación

4.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.5.1. Análisis etnobotánico

A partir del análisis de la información etnobotánica obtenida de las 45 encuestas realizadas (Cuadro 16) se encontró que la mayoría de los encuestados tiene entre 30 a 50 años, que representa 53.3 % del total, mientras que el 35.6 % se encuentran entre los 51 y 70 años. En cuanto al género, el 55.6 % son hombres y el 44.4 % mujeres. En términos de escolaridad, el 62.2 % de los encuestados han completado la primaria, seguidos por 22.2 % que cursaron la secundaria y 11.1 % que alcanzaron la licenciatura.

La estructura familiar predominante entre los encuestados incluye entre 2 y 4 integrantes (57.8 %), mientras que el 28.9 % tienen entre 5 y 7 miembros en su familia. En lo que respecta a la pertenencia étnica, el 62.2 % no pertenecen a ningún grupo, mientras que 15.6 % son zapotecos y 22.2 % mixtecos.

La principal actividad económica de los encuestados es la agricultura (73.3 %) y 26.7 % son comerciantes. La experiencia de los encuestados en el cultivo de chile 'de agua' es variada el 26.7 % tiene entre 1 y 11 años trabajando con este cultivo, el 22.2 % cuenta con 12 a 22 años de experiencia, y solo el 8.9 % ha trabajado en ello por más de 35 años.

Las encuestas se realizaron principalmente en predios particulares, abarcando el 71.1 % de las respuestas, con una pequeña representación en comercios locales y mercados. Los pueblos más representados en la encuesta fueron San Bernardo Mixtepec y Río Yutamume, con 20.0 % y 22.2 %, respectivamente. Los municipios con mayor representación fueron San Andrés Nuxiño y Heroica Ciudad de Ejutla, ambos con 22.2 %, y San Bernardo Mixtepec con 20.0 %.

El 93.3 % de los encuestados conoce el fruto como Chile 'de agua', el 4.4 % lo llama Chile de pozo, y el 2.2 % lo conoce como Aguachile. De acuerdo con Montaña-Lugo et al. (2014), el nombre Chile 'de agua' se debe a que este cultivo requiere abundante agua para su producción.

El 91.1 % de los encuestados utiliza el fruto principalmente con fines alimenticios. Montaña-Lugo et al. (2014), en su estudio sobre el conocimiento etnobotánico del chile 'de agua' en los Valles Centrales, encontraron el uso comestible como el más sobresaliente debido a las características organolépticas del fruto, como su sabor distintivo, que varía de dulce a picante, y su alta pungencia, que no deja un picor prolongado en la boca, así mismo debido a la liberación de endorfinas, ya que el consumir chile está relacionado con la liberación de estas sustancias que generan un estado de bienestar en el consumidor (López, 2003; Long, 2008; Castellano-Martínez et al., 2012). En lo que respecta al uso para limpias (4.4 %), Montaña-Lugo et al. (2014) describen un ritual de ahumado con chile 'de agua' deshidratado para "proteger a un niño de brujas", destacando que la pungencia del chile potencia la efectividad del ritual. Así mismo, el chile ha sido históricamente parte de las prácticas de curanderos para tratar enfermedades culturales, como limpias y mal de ojo (Montaña-Lugo et al., 2014).

Al definir el fruto ideal, los encuestados consideran clave el tamaño, forma, color y vida de anaquel, que son importantes para el 42.2 % de los encuestados. Otros factores como el tamaño, forma, color y picor son relevantes para el 22.2 %. Estas características influyen en la preparación de platillos típicos. Entre los más destacados se encuentran los chiles rellenos, ya sea solos (17.8 %) o en combinaciones que incluyen rellenos, rajas y salsas, preferida por el 26.7 %. Aguilar et al. (2010) destacan la importancia de este chile en la preparación de platillos como chiles asados y, especialmente, en los chiles rellenos, los cuales son los más populares y pueden estar rellenos de picadillo de pollo, carne de res o queso.

Respecto a la obtención de semillas, el 64.4 % de los encuestados utiliza semillas propias y el 71.1 % no participa en el intercambio de semillas; además, el 95.6 % no emplea semillas mejoradas. Los principales criterios de selección de frutos para semilla incluyen el tamaño, color, firmeza y porte de la planta, factores importantes para el 24.4 % de los encuestados. Las técnicas de extracción de semillas más comunes son el secado al sol (28.9 %) y a la sombra (24.4 %). El 93.3 % de los encuestados no reporta problemas de germinación, y en cuanto a la viabilidad, el 42.4 % considera que las semillas son viables por 2 años, mientras que el 36.4 % opina que lo son por 1 año.

El cultivo principal entre los encuestados es el chile 'de agua', ya sea, que se dediquen exclusivamente a la producción de éste (8.9 %) o lo combinen con otros cultivos como maíz, frijol y ajo (26.7 %), tomate, maíz, frijol, calabaza y cebolla (20.0 %) o jitomate, pepino, sandía y melón (11.1 %). Al respecto, Vásquez et al. (2009) destacan que el chile 'de agua' es crucial en la economía local ya que 90 % de la población tiene a esta hortaliza como cultivo primario.

De acuerdo con los datos, la mayoría de los encuestados (33.3 %) emplea la técnica de riego rodado, mientras que el 20.0 % utiliza riego por goteo. Aguilar et al. (2010) indica que el chile 'de agua' es parte de la riqueza genética de chiles con usos específicos en regiones particulares de México, el cual se cultiva principalmente a cielo abierto y con riego rodado.

En cuanto a la fecha de siembra, 37.8 % de los encuestados siembra chile 'de agua' de septiembre a febrero, el 31.1 % lo hace entre marzo y agosto, y solo un 4.4 % siembra durante todo el año. La cosecha se concentra principalmente entre diciembre y mayo (46.7 %), seguida por la que ocurre entre junio y noviembre (22.2 %). En términos de rendimiento, el 26.7 % de los productores produce entre 100 y 200 canastos, y solo el 11.1 % supera los 300 canastos, cabe mencionar que el peso promedio de los frutos de un canasto es de 14.57 kg.

El chile 'de agua' es un ingrediente clave dentro de la gastronomía regional, puesto que se comercializa principalmente en mercados de la capital en un estado fresco del fruto (Vásquez et al., 2009). En este enfoque se refleja la alta demanda del producto en la capital. Sin embargo, se encontró que solo el 37.8 % de los frutos se venden en la capital, mientras que un 62.2 % se destina a mercados locales. Además, el 93.3 % de los frutos se venden frescos, concordando con la importancia del producto en su estado natural.

La mayoría de los encuestados (93.3 %) destina su producción principalmente a la venta, mientras que el autoconsumo es menor, con un 48.9 % que consume entre 10 y 20 chiles. Del fruto destinado a la venta el menor precio de los frutos de primera calidad es de entre 300 y 600 pesos por canasto (35.6 %), mientras que los de segunda calidad tienen un precio de entre 150 y 300 pesos (17.8 %).

En cuanto a la participación familiar, en el 24.4 % de las familias, dos miembros se involucran en el manejo del cultivo, mientras que en el 55.6 % solo un miembro se encarga de la venta, lo cual, refleja una agricultura familiar donde la mano de obra se distribuye para maximizar la eficiencia y reducir costos. De acuerdo con Aparicio-del-Moral et al. (2013), los beneficios económicos en la producción agrícola están directamente relacionados con la mano de obra familiar, puesto que resulta evidente que la participación de los miembros del hogar en las diversas etapas del proceso productivo del chile ‘de agua’ permite optimizar los recursos disponibles, minimizando la necesidad de contratar trabajadores externos (228 jornales por hectárea al año).

Los principales factores de fracaso en la producción de chile ‘de agua’ se deben a la combinación de factores bióticos y abióticos (46.7 %), seguidos por problemas económicos (13.3 %). A pesar de estos desafíos el 93.3 % de los encuestados considera que el cultivo tiene un futuro prometedor a corto plazo. Este optimismo podría estar relacionado con la adaptación de los productores a las condiciones adversas, así como por el valor cultural y económico que el chile ‘de agua’ representa para la comunidad. Sin embargo, Montaño-Lugo et al. (2014) señalan que existe un desplazamiento del cultivo de chile ‘de agua’, motivado por la demanda creciente de insumos, la vulnerabilidad a plagas y enfermedades, y los cambios climáticos, así como los problemas de comercialización, que ha llevado a una significativa disminución de su producción.

Cuadro 16. Variables sociales y agronómicas de conocimiento, usos y manejo del chile ‘de agua’ de los Valles Centrales de Oaxaca, México.

Variable	Descripción	Descripción	Porcentaje
1	Edad	≤30 años	8.9 %
		30 a 50 años	53.3 %
		51 a 70 años	35.6 %
		>70 años	2.2 %
2	Sexualidad	Masculino	55.6 %
		Femenino	44.4 %
3	Ultimo grado de escolaridad	No estudio	4.4 %
		Primaria	62.2 %
		Secundaria	22.2 %
		Licenciatura	11.1 %

Cuadro 16... Continuación

Variable	Descripción	Descripción	Porcentaje
4	Número de integrantes en la familia	≤2 integrantes	6.7 %
		2 a 4 integrantes	57.8 %
		5 a 7 integrantes	28.9 %
		>7 integrantes	6.7 %
5	Actividad económica a la que se dedica	Agricultura	73.3 %
		Comercio	26.7 %
6	Grupo indígena al que pertenece	Ninguno	62.2 %
		Zapoteco	15.6 %
		Mixteco	22.2 %
7	Ocupación	Productor	73.3 %
		Comerciante	26.7 %
8	Lugar de encuesta	Pedio particular	71.1 %
		Comercio Local	15.6 %
		Mercado	13.3 %
9	Pueblo donde se realizó la encuesta	San Bernardo Mixtepec	20.0 %
		San Juan Guelavia	4.4 %
		Heroica Ciudad de Ejutla	8.9 %
		Zimatlán de Álvarez	8.9 %
		El Arrogante Justo Benítez	6.7 %
		Asunción Ocotlán	2.2 %
		Ocotlán de Morelos	6.7 %
		San José las Huertas	2.2 %
		Hacienda Vieja	4.4 %
		Santiago Apóstol	4.4 %
		San Sebastián Abasolo	8.9 %
		Río Yutanume	22.2 %

Cuadro 16... Continuación

Variable	Descripción	Descripción	Porcentaje
10	Municipio donde se realizó la encuesta	San Bernardo Mixtepec	20.0 %
		Heroica Ciudad de Ejutla	22.2 %
		Zimatlán de Álvarez	8.9 %
		Ocotlán de Morelos	6.7 %
		San Sebastián Abasolo	8.9 %
		San Juan Guelavia	4.4 %
		San Andrés Nuxiño	22.2 %
		Asunción Ocotlán	2.2 %
		Santiago Apóstol	4.4 %
11	Nombres comunes del fruto	Chile 'de agua'	93.3 %
		Chile de pozo	4.4 %
		Aguachile	2.2 %
12	Uso principal del fruto	Alimenticio	91.2 %
		Limpias	4.4 %
		Insecticida	4.4 %
13	Formas del fruto	Forma 1	4.4 %
		Forma 2	37.8 %
		Forma 3	20.0 %
		Forma 4	33.3 %
		Forma 5	0.0 %
		Forma 6	4.4 %
14	Consideraciones de fruto ideal	Tamaño y Color	13.3 %
		Tamaño, Forma, Color y Picor	22.2 %
		Tamaño, Forma, Color y Vida de anaquel	42.2 %
		Tamaño, Color, Picor, Vida de anaquel	17.8 %
		Tamaño, Color, Textura y Picor	4.4 %

Cuadro 16... Continuación

Variable	Descripción	Descripción	Porcentaje
15	Obtención de semilla	Semilla propia	64.4 %
		Semilla comprada	8.9 %
		No obtiene semilla	26.7 %
16	Intercambio de semilla	Si	28.9 %
		No	71.1 %
17	Uso de semilla mejorada	Si	4.4 %
		No	95.6 %
18	Consideraciones de fruto para semilla	Tamaño	20.0 %
		Tamaño y Color	22.2 %
		Tamaño y Firmeza	4.4 %
		Tamaño, Color, Firmeza y Porte de planta	24.4 %
		No ha extraído	28.9 %
19	Técnica de extracción de la semilla	Secado al sol	28.9 %
		Secado a la sombra	24.4 %
		Secado en collares	17.8 %
		No ha extraído	28.9 %
20	Problemas en la germinación	Si	6.7 %
		No	93.3 %
21	Viabilidad de la semilla	<1 año	3.0 %
		1 año	36.4 %
		2 años	42.4 %
		3 años	18.2 %
22	Fecha de siembra	No siembra	26.7 %
		Marzo a Agosto	31.1 %
		Septiembre a Febrero	37.8 %
		Todo el año	4.4 %

Cuadro 16... Continuación

Variable	Descripción	Descripción	Porcentaje
23	Época de cosecha	No cosecha	31.1 %
		Diciembre a Mayo	46.7 %
		Junio a Noviembre	22.2 %
24	Duración de la cosecha	<1 mes	31.1 %
		1 a 3 meses	46.7 %
		4 a 5 meses	22.2 %
25	Rendimiento del cultivo (canastos/ha)	Sin rendimiento	28.9 %
		<100 canastos	13.3 %
		100 a 200 canastos	26.7 %
		201 a 300 canastos	20.0 %
		>300 canastos	11.1 %
26	Platillos elaborados con el fruto	Rellenos	17.8 %
		Rellenos y Rajas	11.1 %
		Rellenos, Rajas y Salsas	26.7 %
		Rellenos, Rajas y Asados	20.0 %
		Rellenos, Salsas y Asados	24.4 %
27	Sitio de venta del fruto	Capital del estado	37.8 %
		Mercado local	62.2 %
28	Estado del fruto para la venta	Fresco	93.3 %
		Seco	6.7 %
29	Precio de venta del fruto de primera calidad	\$300 a \$600	35.6 %
		\$601 a \$900	24.4 %
		\$901 a \$1,200	17.8 %
		\$1,201 a \$1,500	15.6 %
		\$1,501 a \$1,800	6.7 %

Cuadro 16... Continuación

Variable	Descripción	Descripción	Porcentaje
30	Precio de venta del fruto de segunda calidad	\$150 a \$300	17.8 %
		\$301 a \$450	26.7 %
		\$451 a \$600	15.6 %
		\$601 a \$750	8.9 %
		\$751 a \$900	31.1 %
31	Precio de venta del fruto de tercera calidad	≤ \$100	11.1 %
		\$101 a \$300	55.6 %
		\$301 a \$500	31.1 %
		\$501 a \$600	2.2 %
32	Precio de venta del fruto de cuarta calidad	≤ \$50	38.0 %
		\$51 a \$150	35.0 %
		\$151 a \$200	24.0 %
		\$201 a \$250	3.0 %
33	Cantidad de fruto destinado a la venta	Todo	6.7 %
		Mayoría	93.3 %
34	Cantidad de fruto destinado al autoconsumo	No consume	13.3 %
		<10 chiles	17.8 %
		10 a 20 chiles	48.9 %
		21 a 30 chiles	8.9 %
		>30 chiles	11.1 %
35	Integrantes de familia destinados al manejo del cultivo	Ninguno	28.9 %
		1 integrante	17.8 %
		2 integrantes	24.4 %
		3 integrantes	8.9 %
		4 integrantes	15.6 %
		5 integrantes	4.4 %

Cuadro 16... Continuación

Variable	Descripción	Descripción	Porcentaje
36	Integrantes de familia destinados a la venta del fruto	Ninguno	4.4 %
		1 integrante	55.6 %
		2 integrantes	40.0 %
37	Factores de fracaso del cultivo	Bióticos	11.1 %
		Abióticos	8.9 %
		Económicos	13.3 %
		Bióticos y Abióticos	46.7 %
		Ninguno	20.0 %
38	Futuro a corto plazo del cultivo	Si	93.3 %
		No	6.7 %
39	Marcas nacionales elaboradas con el fruto	Ninguna	100.0 %
40	Productos procesados elaborados con el fruto	Ninguno	100.0 %
41	Principales cultivos que establecen	Chile 'de agua'	8.9 %
		Chile 'de agua', maíz, frijol y ajo	26.7 %
		Chile 'de agua', jitomate, pepino, sandía y melón	11.1 %
		Chile 'de agua', tomate, maíz, frijol, calabaza y cebolla	20.0 %
		Otros	8.9 %
		No produce	24.4 %
42	Años trabajando con el cultivo	0 años	26.7 %
		1 a 11 años	26.7 %
		12 a 22 años	22.2 %
		23 a 33 años	15.5 %
		35 a 45 años	8.9 %
43	Tecnificación aplicada al cultivo	Riego rodado	33.3 %
		Riego por goteo	20.0 %
		Riego manual	15.6 %
		Riego por cajetes	4.4 %
		Sin tecnificación	26.7 %

El Análisis de Correspondencia Múltiple realizado para identificar las relaciones entre las 43 variables etnobotánicas reveló tanto las asociaciones entre variables y categorías, como las variables con altos valores en las medidas de discriminación para cada dimensión (Cuadro 17). Estas medidas destacaron la capacidad de las variables para diferenciar entre categorías, lo que facilitó una interpretación más precisa de las asociaciones y patrones presentes en los datos.

Cuadro 17. Medidas de discriminación de las variables etnobotánicas para las primeras dos dimensiones empleadas en la aplicación de 45 encuestas de conocimiento, manejo y usos del chile ‘de agua’.

Variable	Descripción	Dimensión 1	Dimensión 2
1	Edad	0.059	0.007
2	Sexualidad	0.488	0.014
3	Ultimo grado de escolaridad	0.040	0.176
4	Número de integrantes en la familia	0.055	0.114
5	Actividad económica a la que se dedica	0.965	0.004
6	Grupo indígena al que pertenece	0.269	0.704
7	Ocupación	0.965	0.004
8	Lugar de encuesta	0.941	0.011
9	Pueblo donde se realizó la encuesta	0.989	0.946
10	Municipio donde se realizó la encuesta	0.738	0.931
11	Nombres comunes del fruto	0.198	0.002
12	Uso principal del fruto	0.048	0.281
13	Formas del fruto	0.418	0.166
14	Consideraciones de fruto ideal	0.362	0.354
15	Obtención de semilla	0.968	0.170
16	Intercambio de semilla	0.172	0.128
17	Uso de semilla mejorada	0.021	0.134
18	Consideraciones de fruto para semilla	0.943	0.096
19	Técnica de extracción de la semilla	0.940	0.227
20	Problemas en la germinación	0.041	0.004
21	Viabilidad de la semilla	0.857	0.167
22	Fecha de siembra	0.982	0.393
23	Época de cosecha	0.878	0.030
24	Duración de la cosecha	0.861	0.002
25	Rendimiento del cultivo (canastos/ha)	0.922	0.278
26	Platillos elaborados con el fruto	0.198	0.121

Cuadro 17... Continuación

Variable	Descripción	Dimensión 1	Dimensión 2
27	Sitio de venta del fruto	0.248	0.39
28	Estado del fruto para la venta	0.03	0.065
29	Precio de venta del fruto de primera calidad	0.476	0.488
30	Precio de venta del fruto de segunda calidad	0.111	0.439
31	Precio de venta del fruto de tercera calidad	0.114	0.28
32	Precio de venta del fruto de cuarta calidad	0.048	0.111
33	Cantidad de fruto destinado a la venta	0.033	0.078
34	Cantidad de fruto destinado al autoconsumo	0.385	0.121
35	Integrantes de familia destinado al manejo del cultivo	0.928	0.261
36	Integrantes de familia destinada a la venta del fruto	0.271	0.202
37	Factores de fracaso del cultivo	0.805	0.056
38	Futuro a corto plazo del cultivo	0.035	0.094
39	Marcas nacionales elaboradas con el fruto	-----	-----
40	Productos procesados elaborados con el fruto	-----	-----
41	Principales cultivos que establecen	0.905	0.507
42	Años trabajando con el cultivo	0.971	0.477
43	Tecnificación aplicada al cultivo	0.97	0.815

La inercia acumulada en las dos primeras dimensiones explica el 74.37 % de la variabilidad de las 43 variables seleccionadas. La primera dimensión explica el 50.36 % de la variación total y la segunda el 24.01 % (Figura 5).

En la proyección bidimensional de las medidas de discriminación (Figura 5), las variables etnobotánicas que influyeron en la separación de las categorías en la primera dimensión incluyeron aspectos prácticos y técnicos del cultivo, como la fecha de siembra, los años dedicados al cultivo, el nivel de tecnificación aplicado, y el rendimiento del cultivo (canastos/ha). Además, se consideraron factores relacionados con la obtención de semillas, la actividad económica principal, la ocupación, y el manejo familiar del cultivo. Estas variables, que mostraron coeficientes adimensionales superiores a 0.900, subrayaron las similitudes y diferencias en prácticas agrícolas específicas y factores de manejo del cultivo.

Por otro lado, la segunda dimensión resaltó la influencia de variables geográficas y culturales, como el pueblo y el municipio donde se realizó la encuesta (con valores de 0.946 y 0.931, respectivamente), la tecnificación aplicada al cultivo (0.815), y la pertenencia a un grupo indígena (0.704) (Figura 5). Esta dimensión reflejó divisiones basadas en el contexto geográfico y cultural, revelando cómo las diferencias en la cultura agrícola y el manejo del chile ‘de agua’ están determinadas por la identidad cultural y el entorno geográfico de cada municipio.

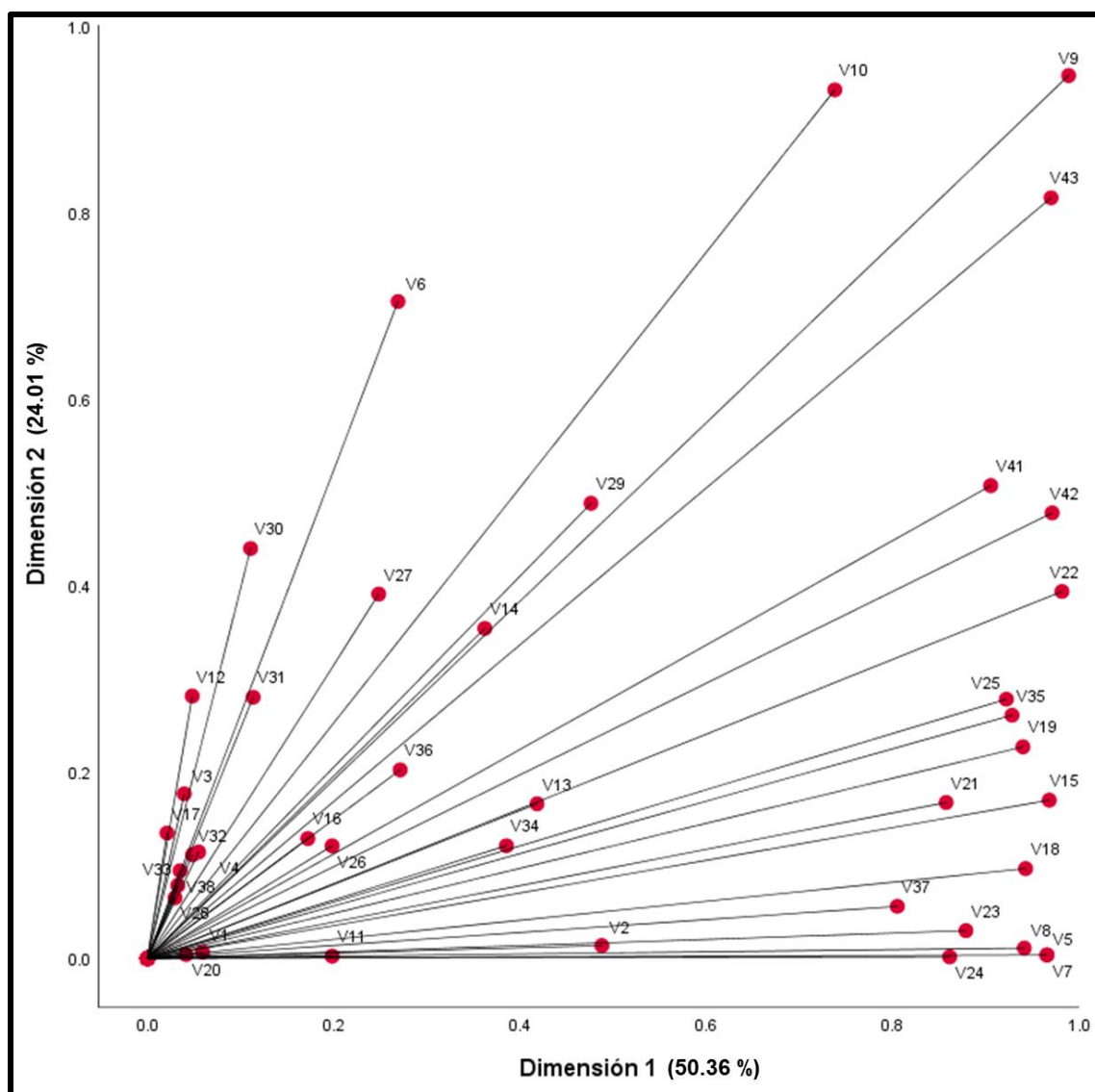


Figura 5. Proyección bidimensional de las medidas de discriminación de las variables etnobotánicas para las primeras dos dimensiones.

La representación gráfica en el espacio bidimensional (Figura 6) proporcionó una visión clara del grado de correspondencia entre las variables etnobotánicas analizadas y los municipios de las encuestas. Esta visualización destacó las relaciones entre las variables y las agrupaciones geográficas, reflejando las diferenciaciones observadas en los enfoques preestablecidos de la Dimensión 1, centrada en aspectos técnicos del cultivo, y la Dimensión 2, enfocada en factores geográficos y culturales.

La formación de grupos en el análisis de correspondencia múltiple reflejó cómo las variables etnobotánicas y las prácticas agronómicas de Chile 'de agua' se distribuyen de manera diferenciada en función de factores geográficos, climáticos, culturales y socioeconómicos en las regiones estudiadas (Figura 6).

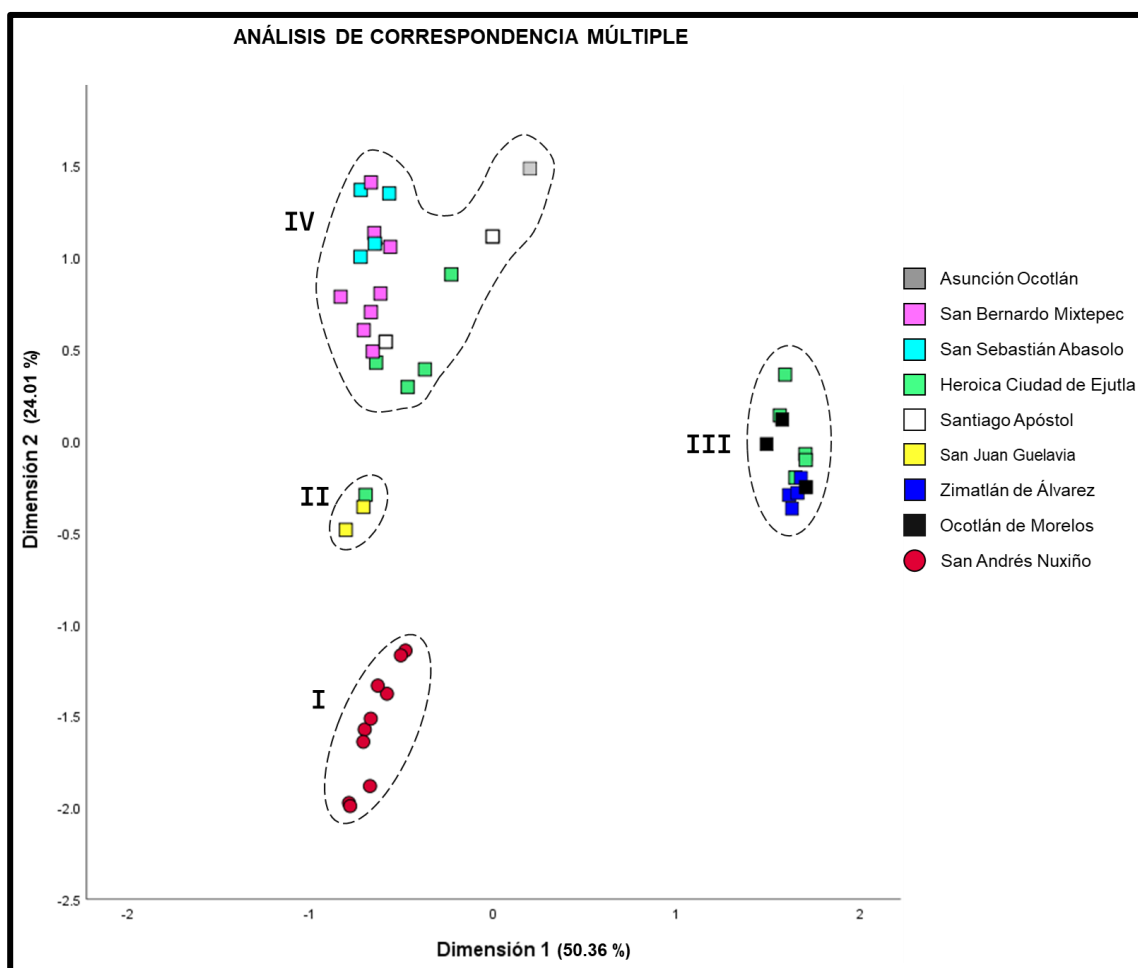


Figura 6. Representación gráfica del espacio bidimensional de las variables etnobotánicas y su relación con criterios geográficos.

San Andrés Nuxiño (Grupo I), el único municipio de la Región Mixteca en el estudio se separó claramente de los municipios de los Valles Centrales, lo que sugirió una diferencia significativa en las prácticas agrícolas y el conocimiento etnobotánico del chile ‘de agua’. Esto puede deberse a las condiciones geográficas y climáticas distintas, como altitudes más elevadas y climas subhúmedos, que pueden influir en la forma en que se cultiva y maneja el chile ‘de agua’. Este hallazgo concuerda con estudios que han señalado la importancia del ambiente en la configuración de las prácticas culturales y agrícolas, especialmente en sociedades rurales donde la subsistencia está estrechamente ligada a los recursos naturales disponibles (González, 2003).

Por otro lado, el Grupo II reveló una similitud en las prácticas agrícolas y conocimiento etnobotánico entre los municipios San Juan Guelavia y Heroica Ciudad de Ejutla, a pesar de las diferencias en altitud y clima. Esta similitud puede estar relacionada con la interconexión cultural y la experiencia común en el cultivo de chile ‘de agua’ entre los municipios, donde el intercambio de conocimientos contribuye a un enfoque común en las prácticas agrícolas. Esto puede ser interpretado como una adaptación cultural al ambiente compartido, donde la cultura

agrícola se ajusta a las condiciones locales y a las influencias externas, tal como lo señalan estudios diacrónicos sobre la relación entre naturaleza y cultura en las sociedades rurales (González, 2003).

La inclusión de Heroica Ciudad de Ejutla en dos grupos diferentes (Grupo 2 y Grupo 3) sugirió que este municipio comparte características con diferentes patrones de cultivo. Este grupo refleja una zona de transición que demuestra cómo las comunidades agrícolas pueden adaptar sus métodos de cultivo en función de las condiciones ambientales y las influencias culturales, mostrando una flexibilidad en la adopción de tecnologías y técnicas que permiten una mayor adaptabilidad ante las variaciones ambientales (González, 2003).

El grupo más grande y diverso en términos de municipios (Grupo IV) sugirió una fuerte interconexión en las prácticas etnobotánicas y agronómicas dentro de los Valles Centrales, especialmente en municipios con altitudes moderadas y climas templados. La diversidad climática y altitudinal dentro de este grupo indicaron que, a pesar de estas diferencias, hay un conjunto compartido de conocimientos y prácticas relacionadas con el chile 'de agua', posiblemente debido a la cercanía cultural y la economía agrícola predominante en la región. Este hallazgo refuerza la idea de que las sociedades rurales, a través del tiempo, han desarrollado sistemas agrícolas que no solo se adaptan a las condiciones ambientales locales, sino que también están profundamente influenciados por el contexto cultural y social en el que se desarrollan (González, 2003).

La separación del municipio de la región Mixteca en un grupo distinto en el espacio bidimensional sugirió que las prácticas y conocimientos etnobotánicos en esta área difieren significativamente de los de los Valles Centrales. Este hallazgo subraya la influencia singular de los factores geográficos, climáticos y culturales propios de la Mixteca en las técnicas agrícolas locales (González, 2003). Dentro de los Valles Centrales, la formación de tres grupos distintos indicó que incluso dentro de esta región, existe una variación notable en la forma en que se cultiva y se entiende el chile 'de agua'. La diversidad observada puede atribuirse a una combinación de factores, incluidos los métodos de cultivo, las tradiciones culturales locales y las adaptaciones a las variaciones en el entorno (González, 2003).

4.6. CONCLUSIONES

El chile 'de agua' es un elemento clave tanto para la economía y cultura regional de Oaxaca, donde enfrenta desafíos significativos que ponen en riesgo su continuidad.

El valor cultural del chile 'de agua' se refleja no solo en su uso predominante en la gastronomía local, sino también en rituales y tradiciones que aún persisten.

El chile 'de agua' es un símbolo de la riqueza cultural y agrícola con prácticas que han sido transmitidas a través de generaciones.

Existe una clara correspondencia entre el conocimiento etnobotánico, usos y prácticas agronómicas del chile 'de agua' y los grupos geográficos preestablecidos.

Las prácticas agrícolas, usos y el conocimiento etnobotánico sobre el chile 'de agua' varían considerablemente entre regiones.

Existe una interconexión cultural entre los municipios de los Valles Centrales pese a la diferenciación en las prácticas agrícolas, usos y el conocimiento etnobotánico del chile 'de agua'.

La preservación del chile 'de agua' es vital, para mantener la economía local y conservar la herencia cultural de la región. Este estudio contribuye a su reconocimiento e importancia y ofrece un punto de partida para futuras acciones orientadas a asegurar su sostenibilidad.

4.7. LITERATURA CITADA

- Aguilar, R. V. H., Corona, T. T, López, L. P., Latournerie, M. L., Ramírez, M. M., Villalón, M. H. & Aguilar, C. J. A. (2010). *Los chiles de México y su distribución*. SINAREFI, CP, INIFAP, IT-CONKAL, UANL y UAN. <https://www.researchgate.net/publication/235657255>
- Aguirre, H. E. & Muñoz O.V. (2015). El chile como alimento. *CIENCIA*, 66(3), 16–23.
- Aparicio-del-Moral, J. O., Ternero-Campante, M. A., Sandoval-Castro, E. Villarreal-Manzo, L. A. & Rodríguez-Mendoza, M. de los A. (2013). Factores sociales y económicos del cultivo de chile de agua (*Capsicum annuum* L.) en tres municipios de los valles centrales de Oaxaca. *Ra Ximhai*, 9(1), 17–24. <https://doi.org/10.35197/rx.09.01.e.2013.03.ja>
- Buñuelos, N., Salido P.L. & Gardea, A. (2008). Etnobotánica del chiltepín. Pequeño gran señor en la cultura de los sonorenses. *Estudios Sociales*, 16(32), 1–30.
- Castellón-Martínez, E., Chávez-Servia, J. L., Carrillo-Rodríguez, J. C. & Vera-Guzman, A. M. (2012). Preferencias de consumo de chiles (*Capsicum annuum* L.) nativos en los Valles Centrales de Oaxaca, México. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 35 (5), 27–35. https://doi.org/10.35196/rfm.2012.Especial_5.27
- González, J. A. (2003). Anales de antropología. Vol. 37. Instituto de Investigaciones Antropológicas de la Universidad Autónoma de México. https://revistas.unam.mx/index.php/antropologia/article/download/9970/pdf_461/0
- Long, J. (2008). Tecnología alimentaria prehispánica. *Estudios de cultura náhuatl*, 39, 127–136. <https://nahuatl.historicas.unam.mx/index.php/ecn/article/download/15291/14537>
- López, R. G. O. (2003). *Chilli: La especia del Nuevo Mundo*. *Ciencia*, (69), 66–75. <https://www.revistacienciasunam.com/images/stories/Articles/69/CNS06908.pdf>
- Martínez-Sánchez, D., Pérez-Grajales, M., Rodríguez-Pérez, J. E. & Moreno, P. E. D. C. (2010). Colecta y caracterización morfológica del Chile de Agua (*Capsicum annuum* L.) en Oaxaca, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 16(3), 169–176. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2014.03.014>
- Montaño-Lugo, M. L., Velasco, V. V. A., Ruíz, L. J., Campos, A. G. V., Rodríguez, O. G. & Martínez, M. L. (2014). Contribución al conocimiento etnobotánico del chile de agua (*Capsicum annuum* L.) en los Valles Centrales de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(3), 503–511. <https://doi.org/10.29312/remexca.v5i3.953>
- Vásquez, L. A., Tlapal, B. B., Yáñez, M. M. D. J., Pérez, P. R. & Quintos, E. M. (2009). Etiología de la marchitez del ‘Chile de agua’ (*Capsicum annuum* L.)

en Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 32(2), 127–134.
<https://doi.org/10.35196/rfm.2009.2.127>

Velasco, V. V. A., Trinidad, S. A., Tirado, T. J. L., Téliz, O. D., Martínez, G. A. & Cadena, H. M. (1998). Efecto de algunos nutrimentos en plantas de chile de agua infectadas con virus. *Terra Latinoamericana*, 16(4), 317–324.