

Maíz rojo y bebidas prehispánicas: revisión de procesos, pigmentos y propiedades funcionales.

Red maize and prehispanic beverages: a review of processing, pigments and functional properties

Jorge Paul-Villeda ^a, Víctor L. Espitia-López ^b, Ana K. Zaldívar-Ortega ^c, Antonio de J. Cenobio-Galindo ^d, Denis de J. Dimas-López ^{*e}

Abstract:

Red maize (*Zea mays* L.) has been a fundamental source in Mesoamerican food systems, particularly in the preparation of prehispanic beverages. This review analyzes current scientific evidence on the effects of traditional processing methods such as nixtamalization, malting on pigments and food functionality of red maize. Anthocyanins as the main pigment on red maize and other phenolic compounds are responsible for its bioactive properties and possible functionality over human health. The transformations induced by alkaline and enzymatic processes are discussed in relation to their impact on stability, bioavailability, and functional properties. Additionally, the role of red maize as a functional matrix in traditional beverages is examined, highlighting its nutritional, technological, and cultural relevance within the context of food science.

Keywords:

Red maize, anthocyanins, nixtamalization, malting, prehispanic beverages

Resumen:

El maíz rojo (*Zea mays* L.) ha sido una materia prima fundamental en los sistemas alimentarios de Mesoamérica, especialmente en la preparación de bebidas prehispánicas. Esta revisión aborda la evidencia científica actual sobre los efectos de los métodos tradicionales como la nixtamalización y el malting sobre los pigmentos y las propiedades funcionales del maíz rojo. Las antocianinas como su principal pigmento y otros compuestos fenólicos son los responsables de las propiedades bioactivas y posiblemente funcionales para la salud humana. La transformación inducida por reacciones alcalinas y enzimáticas son abordadas en relación a su impacto en la estabilidad, biodisponibilidad y propiedades funcionales del maíz. Adicionalmente el rol del maíz como materia prima en las bebidas prehispánicas es analizado, resaltando su aporte nutricional, tecnológico y cultural en el contexto de la ciencia de alimentos.

Palabras Clave:

Maíz rojo, antocianinas, nixtamalización, malting, bebidas prehispánicas

Introducción

1. Maíz

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los principales cultivos del mundo para la elaboración de alimentos y para usos

industriales. Se originó en América Central y fue introducido en Europa y otros continentes después de los viajes de Colón a finales del siglo XV [1].

^a Jorge Paul Villeda, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Instituto de Ciencias Agropecuarias| Tulancingo de Bravo, Hidalgo | México, <https://orcid.org/0009-0005-1311-0684>, Email: pa467719@uaeh.edu.mx

^b Víctor L. Espitia-López, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Instituto de Ciencias Agropecuarias| Tulancingo de Bravo, Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0002-9095-3870>, Email: victor_espitia@uaeh.edu.mx

^c Ana K. Zaldívar-Ortega Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Instituto de Ciencias Agropecuarias| Tulancingo de Bravo, Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0002-0436-8473>, Email: ana_saldivar@uaeh.edu.mx

^d Antonio de J. Cenobio-Galindo, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Instituto de Ciencias Agropecuarias| Tulancingo de Bravo, Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0003-3098-0487>, Email: antonio_cenobio@uaeh.edu.mx

^e Denis de J. Dimas-López, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Instituto de Ciencias Agropecuarias| Tulancingo de Bravo, Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0002-9604-9487>, Email: denis_dimas@uaeh.edu.mx

El maíz fue el primer cereal sometido a transformaciones tecnológicas en su cultivo, así como el primero en mostrar un alto rendimiento de grano por hectárea. Es considerado como un alimento de gran importancia económica a nivel mundial como alimento humano, animal y fuente de un gran número de productos industriales [2].

El maíz representa un alimento fundamental, ya que, de manera general es una de las principales fuentes de energía en la dieta mexicana, mostrando en promedio un contenido de 72% de almidón, 10% de proteínas y 4% de grasas. Esto puede diferir por la variedad del cereal [3]. Además de contener almidón, proteína y grasa posee fibra dietética 2% minerales 1% y vitaminas del grupo B [4]. En México se estima que la producción nacional de maíz es del 90% para la variedad blanca y 10% para el amarillo, esto deja a los maíces criollos con el porcentaje más bajo y menos mencionado en las estadísticas nacionales [5].

En cuanto a nutrición y calidad alimentaria, el maíz criollo presenta algunas limitaciones, como una baja concentración de ciertos aminoácidos esenciales, minerales y vitaminas. Por tal motivo en la actualidad se han desarrollado maíces híbridos para su mejoramiento, el cual sea capaz de enfrentar desafíos asociados con la variabilidad climática y demandas nutricionales actuales [6].

1.1. Maíz criollo

El maíz nativo o criollo, como se le conoce en algunos lugares, es un tesoro ancestral en la gastronomía que se ha transmitido desde tiempos antiguos. Es parte esencial de la dieta y la identidad cultural de muchas comunidades en México, donde cada una de estas se encarga de mantener y preservar los cultivos de manera tradicional. Su consumo está arraigado en las tradiciones y creencias de los pueblos indígenas, de la misma manera se destaca por su importancia en lo culinario [7].

Los indígenas mexicanos fueron quienes iniciaron con la evolución del cultivo de maíz, lo hacían mediante la siembra de diversas variedades criollas. Sin embargo, el aprovechamiento nutritivo de estas razas fue desapareciendo con la domesticación del maíz [8]. Esta trayectoria refleja no sólo una adaptación biológica del cultivo, sino también sobre la cultura humana al aprovechar continuamente y creciente en función de necesidades alimentarias, económicas y tecnológicas [9].

Las semillas criollas se siembran en las tierras de temporal, ya que estas presentan mayor resistencia a las sequías. Para poder conservar las semillas o granos estos se almacenan en costales o "cencales" es decir en jacales de zacate, madera, piedra o adobe [10].

La variedad del maíz criollo o nativo cambia de acuerdo con su sabor, textura y color, en Latinoamérica existen alrededor de 220 especies de maíz, donde el 29% son reportadas para México, dentro de éstas el 92% son

consideradas especies nativas [11]. Algunas de las razas denominadas: maíz criollo, son olotillo, tehua, tepecintle, zapalote grande, elotes occidentales, entre otras. Estudios recientes han identificado variedades pigmentadas procedentes de estas razas [12].

Se ha declarado que el maíz criollo se encuentra presente en diversas regiones de México, donde se ha evaluado la diferencia entre diversos tipos de especies, se observó en sus características físicas como: el tallo, granos, inflorescencias y mazorca; también en la pigmentación del maíz criollo, es decir la presencia de colores azules, amarillos, blancos, púrpuras, negros y rojos [13].

1.2. Pigmentos en el maíz

El maíz pigmentado es una representación de la biodiversidad en México, esta coloración se observa gracias al contenido en diversos compuestos, entre ellos se destacan los compuestos fenólicos y antocianinas las cuales aportan beneficios esenciales para la salud de los consumidores [14]. Este tipo de maíces se distingue por sus diversas coloraciones desde los tonos rojos hasta los azules lo cual los vuelve únicos a comparación de las variedades comunes [15]. El color del grano es un índice importante para poder evaluar la calidad y valor del maíz, esto se debe a dos pigmentos naturales, carotenoides y antocianinas, las cuales pueden presentar un mayor o menor contenido de acuerdo con el tipo de pigmentación que presenten [16].

El maíz amarillo obtiene esta coloración ya que presenta un mayor contenido de carotenoides. Dichos compuestos se encuentran presentes en el grano, principalmente en el pericarpio ya que estudios demuestran que por lo general es donde se encuentra la mayor cantidad de pigmentación del maíz [17]. En una evaluación de maíces de grano azul, se halló que la fracción de germen pigmentado correlacionó positivamente con mayor contenido de antocianinas en el grano completo, asimismo predominaba la presencia de ácido linoleico 40.6% [18].

El maíz pigmentado, entre ellos los de tonos rojos, contienen antocianinas las cuales son las responsables de su coloración. Estas moléculas y flavonoides con estructura de dos anillos aromáticos están unidos por una cadena de tres carbonos, en estas variedades se han identificado antocianinas derivadas de la pelargonidina, compuesto que le brinda una coloración rosada a rojiza [19].

Los pigmentos del maíz de acuerdo con las diversas variedades criollas poseen funciones nutricionales y funcionales, esta diferencia de color o pigmentación es asociada con la presencia de compuestos bioactivos como polifenoles, flavonoides y sobre todo, antocianinas [20].

1.3. Carotenoides

Los carotenoides son pigmentos liposolubles del grupo de los terpenoides que contribuyen a la coloración y el valor

nutracéutico en los granos de maíz, específicamente en pigmentaciones amarillas y naranjas [21].

Estos compuestos incluyen xantofilas como luteína y zeaxantina, así como provitamina A como β -caroteno y β -criptoxantina los cuales se asocian a un buen funcionamiento como antioxidante y salud visual [22].

Estudios han reportado en maíces amarillos y rojos un contenido de 823 μg de carotenoides totales por 100 g de materia seca, de los cuales cerca del 50% corresponde a luteína y 40% a zeaxantina [21]. Algunas razas andinas de pigmentos morados y azules mostraron niveles más bajos, entre 0.09 y 1.95 $\mu\text{g}/\text{g}$ de carotenoides totales [23].

1.3. Antocianinas

Las antocianinas son pigmentos solubles en agua que pertenecen al grupo fenólico, estos compuestos se encuentran presentes en cereales negros, morados, rojos, rosados, magentas y azules [20]. Una de las antocianinas que se presenta en el maíz es la 3-glucósido de cianidina, que comúnmente, se encuentra en las variedades moradas, azules y rojas. De acuerdo con diversas investigaciones se menciona que el color del maíz se relaciona con la estructura molecular que presenta cada una de las antocianinas [24].

Entre las antocianinas más comunes en maíces pigmentados se encuentran la cianidina-3-glucósido, cianidina-3-galactósido, pelargonidina-3-glucósido, peonidina-3-glucósido, estas antocianinas determinan la coloración en maíces con pigmentaciones azules y moradas [25].

La concentración de antocianinas cambia según la variedad genética, el color del grano y la distribución en el pericarpio. El contenido de antocianinas totales en productos magenta, es decir, que van del rojo intenso a púrpura tiene un alto contenido de antocianinas en comparación del maíz blanco, con 322.7 y 196.7 μg de antocianinas de muestra. Destacando la presencia de cianidina 3-glucósido y cianidina 3-succinilglucósido [26].

Otro estudio centrado en maíces criollos azules, observó que el contenido total de antocianinas en el grano completo aumentaba cuando el porcentaje de germen pigmentado fuera mayor, durante este proceso se llevó a cabo un ejemplo mediante masa y tortillas, donde se perdieron cantidades sustanciales de antocianinas con un 83% en masa y 64% en tortillas de granos azules [27].

En el estudio sobre la cuantificación de pigmentos en el maíz criollo morado: Apache Red, se encontraron antocianinas aciladas (2-72%), derivados de pelargonidina (5-99%), co-pigmentos de C-glicosil flavona en concentración de 1904 $\mu\text{g}/\text{g}$ y un contenido total de antocianinas de hasta 1598 $\mu\text{g}/\text{g}$ [28]. El ambiente y el manejo del maíz son factores que influyen en el contenido de antocianinas ya que tienden a reducirlas inclusive al aplicar algún método de cocción se modifica la concentración de estos pigmentos [29,30].

Desde un punto de vista saludable, los extractos de maíz pigmentado muestran actividad antioxidante, antiinflamatoria, efectos prometedores ante enfermedades como obesidad, diabetes e incluso con efectos protectores frente al cáncer [31].

1.3.1. Propiedades nutracéuticas y farmacológicas

Los maíces criollos pigmentados como el morado, negro, amarillo y rojo son considerados de gran interés desde el punto de vista nutricional y nutracéutico, ya que poseen compuestos bioactivos como ácidos fenólicos, antocianinas, flavonoides, carotenoides, luteína, zeaxantina, fibra dietética y ácidos grasos poliinsaturados los cuales se relacionan con la disminución y prevención de padecer enfermedades crónicas no transmisibles [19, 32].

El maíz pigmentado, especialmente el maíz morado y rojo, han demostrado poseer propiedades farmacológicas que lo posicionan como un alimento funcional con potencial terapéutico. Una de esas propiedades es la actividad hipoglucémica, los estudios se realizaron en modelos in vivo, donde se redujo significativamente los niveles de glucosa en sangre [33].

En un estudio con variedades de maíz rojo y morado se encontró que ciertos compuestos como cianidina 3-O-glucósido, peonidina 3-O-glucósido, así como quercetina, luteolina y rutina, los cuales poseen efectos antiinflamatorios y han demostrado una mejora de la sensibilidad a la insulina en adipocitos [34]. El maíz criollo pigmentado presenta un perfil enriquecido en antocianinas, gracias a esto el maíz pigmentado aporta una excelente actividad nutracéutica, donde los extractos utilizados en este ámbito han demostrado reducir la formación de especies reactivas de oxígeno, peroxidación lipídica y daño oxidativo en modelos celulares y animales [27].

En modelos de obesidad y disfunción metabólica, los extractos de maíz pigmentado disminuyen la infiltración de macrófagos en el tejido adiposo, mejorando la tolerancia a la glucosa y regulando enzimas clave del metabolismo lipídico como la α -amilasa y lipasa [27]. Las propiedades nutracéuticas del maíz pigmentado están relacionadas con la biodisponibilidad de sus compuestos bioactivos. En diversos estudios han demostrado cómo el proceso de nixtamalización puede ocasionar una reducción significativa del contenido de antocianinas. No obstante, se ha identificado la presencia de antocianinas aciladas, las cuales presentan mayor estabilidad térmica y resistencia a condiciones durante el procesamiento, favoreciendo la extracción y aprovechamiento biológico [35].

El maíz criollo presenta propiedades esenciales que lo hacen apto para el consumo humano; sin embargo, las variedades de maíz pigmentado destacan por su mayor contenido de compuestos bioactivos, lo que favorece su aplicación en el desarrollo de productos nutracéuticos, suplementos dietéticos e ingredientes con potencial farmacológico, aunque sus estudios han sido solo in vitro o en animales, aún se requiere de ensayos clínicos en

humanos, estudios de dosis, seguridad, metabolismo y eficacia terapéutica [36, 37].

1.4. Métodos de cocción del maíz

El procesamiento del grano de maíz (*Zea mays* L.) para el consumo humano abarca diversos métodos de cocción, donde cada uno de ellos presenta implicaciones significativas, entre los más destacados está la cocción con agua (hervido), nixtamalización y entre los menos ocupados, pero de acuerdo con las nuevas investigaciones es recomendable encontramos el malting [34].

Para estos procesos de cocción del maíz es fundamental conocerlos ya que influyen en la biodisponibilidad de nutrientes y compuestos bioactivos, los tratamientos como la nixtamalización mejoran la digestibilidad del grano, lo cual ha impactado la calidad nutricional de los alimentos derivados del grano de maíz [38].

Los métodos de cocción del maíz varían en complejidad y efecto tecnológico, desde el hervido hasta tratamientos más avanzados como la extrusión o la nixtamalización, lo cual induce a cambios químicos para mejorar su funcionalidad y valor nutrimental [39].

1.4.1. Nixtamalizado

La nixtamalización es un proceso tradicional de preparación del grano de maíz (*Zea mays* L.) que consiste en la cocción de los granos en una solución alcalina (cal), seguida de un remojo, lavado y molienda para la producción de masa (nixtamal) que puede ser utilizada para diferentes productos alimenticios [40]. Durante el tratamiento se producen modificaciones físico-químicas en el grano, como la remoción o ablandamiento del pericarpio, difusión de iones de calcio al endospermo. Este tratamiento no solo presenta este tipo de cambios, ya que aporta múltiples efectos bioquímicos sobre el grano y sus componentes [16].

1.4.1.1 Cambios bioquímicos del maíz durante la nixtamalizado

Una de las modificaciones que se presenta en la nixtamalización es la gelatinización parcial de almidón, lo cual da origen a cambios funcionales en la textura y digestibilidad. Estudios recientes han documentado que la cocción alcalina y el remojo provocan una pérdida de la estructura cristalina del almidón [41].

La nixtamalización tiene efectos positivos sobre la biodisponibilidad de ciertas vitaminas del grupo B, especialmente niacina. Su alcalinidad favorece la liberación de niacina ligada, lo que permite que el maíz sea una fuente nutricional más completa. También se analizó que el maíz nixtamalizado puede incrementar la biodisponibilidad de riboflavina y niacina al reducir el ácido fítico considerado como un antinutriente [42]. En un estudio bioquímico se observó que la nixtamalización por extrusión retuvo un 94% de los compuestos fenólicos totales, un 72% con nixtamalización tradicional además de conservar entre 87-98% de la actividad antioxidante y biodisponibilidad de vitaminas hidrosolubles [43]. Otras investigaciones indican que la nixtamalización

descompone los carbohidratos complejos en formas más simples y solubles, a la vez que inactivan o desnaturalizan los inhibidores de proteínas y otros factores como los antinutrientes [44].

Se han comparado métodos tradicionales y comerciales de nixtamalización en tres razas de maíz donde se documentó que el método comercial redujo el tiempo de "floreado" del grano, pero incrementó la pérdida de masa seca, lo cual incidió en la magnitud de los cambios bioquímicos en el grano [18].

También se han evaluado métodos in vitro sobre la digestibilidad del almidón y proteínas tras las condiciones de nixtamalización donde se concluyó que tiempos mayores de remojo al igual que mayor concentración de cal favorecen la digestibilidad del almidón y proteína en los diversos usos que se le da después de este proceso como la elaboración de tortillas [45].

1.4.1.2 Usos del maíz nixtamalizado

El maíz sometido al proceso de nixtamalización adquiere características las cuales le permiten su utilización en numerosos productos tradicionales, así como su aplicación en la industria alimentaria. Cuando se habla de su uso en ámbitos tradicionales, el maíz nixtamalizado es la base para la producción de tortillas, tamales, pozole, entre otros [40]. Un estudio mostró que en la elaboración de pozole con tres especies de maíz sometidas al nixtamalizado generaron mejor calidad sensorial como un agradable aroma de la masa y una mejor aceptación del consumidor en comparación al método comercial [46].

Desde la perspectiva industrial del maíz nixtamalizado ha evolucionado de un proceso tradicional a una agroindustria moderna y en algunos casos han llegado a hacerla un poco más sostenible, esto gracias a la demanda global de tortillas, harinas y snacks sin gluten [40]. Mientras que, por la parte nutricional, el maíz nixtamalizado permite una mejor digestibilidad del almidón y proteína, lo que lo hace más apto para productos de valor agregado como harinas, snacks, tortillas industriales, masa para panificación entre otros [45].

Al aplicar el nixtamalizado al maíz, se modifica la capacidad de absorción de agua lo cual amplía sus usos para la elaboración de harinas instantáneas, productos extruidos o frituras [47]. Desde una perspectiva más sostenible, la nixtamalización genera un residuo (nejayote) que representa un reto ambiental, pero también, una oportunidad de recuperar subproductos. Un reciente análisis revisó los métodos de este tratamiento el cual discute su aprovechamiento como fuente de fibra, minerales o biogás [48].

1.4.2 Malting

El malteado de maíz es un proceso tecnológico mediante el cual los granos de maíz (*Zea mays* L.) son sometidos a tratamientos controlados de hidratación donde la semilla absorbe agua, se humedece y comienza la activación metabólica, durante la germinación las enzimas de la capa de aleurona y del embrión degradan

las paredes celulares, convirtiendo el almidón en azúcares fermentables y proteínas en aminoácidos. El secado final detiene el crecimiento de la plántula, estabilizando el grano y fijando las modificaciones bioquímicas obtenidas [49].

El malting o malteado es un proceso tradicional que es utilizado para mejorar las propiedades culinarias y nutricionales de los cereales nativos. Este proceso somete a los granos de maíz a una combinación de calor y humedad para poder modificar su textura, sabor y apariencia [50].

1.4.2.1 Cambios bioquímicos del maíz durante el malting

Los cambios bioquímicos durante el malting, implican la activación y síntesis de enzimas endógenas las cuales se encargan de catalizar la hidrólisis de componentes como el almidón, proteínas y polisacáridos, en compuestos más simples como azúcares fermentables, péptidos y aminoácidos [51].

Durante la germinación del maíz, se produce una serie de transformaciones bioquímicas como la activación de enzimas hidrolíticas como amilasas, proteasas, fosfatasa las cuales se encargan de degradar el almidón péptido y aminoácidos libres. Se documentan mejoras en la proteína, vitamina C y fibras después de haber realizado el malting [52].

En un estudio de 2023 empleó metabolómica dirigida para analizar la germinación del maíz, halló que el contenido de fenoles monoméricos aumentó en brote/germen y que la actividad hipoglucémica fue más elevada, lo que concluyó que este proceso puede mejorar eficazmente el tipo y contenido de los compuestos fenólicos en diferentes partes del maíz [53].

Otro de los estudios que se ha llevado a cabo es en los cambios funcionales que se presentan después del malting, donde el maíz alcanzó altos contenidos proteicos, mayor germinación y actividad enzimática. Este conjunto de cambios bioquímicos hace que el grano de maíz posea una mayor biodisponibilidad de compuestos bioactivos, aminoácidos y enzimas [54].

1.4.2.2 Usos del maíz con malting

El malting da inicio a una amplia gama de usos que se pueden emplear desde lo tradicional como los cereales hasta generar transformaciones enzimáticas, nutricionales y funcionales que lo han permitido integrar en procesos industriales y alimentarios. Un ejemplo de esto es la elaboración de bebidas fermentadas, en la que se evaluó este proceso para la fabricación de cerveza en regiones donde la cebada es difícil de cultivar [45].

Además de su uso en bebidas, el malting en maíz adopta relevancia en la creación de alimentos funcionales y procesamiento alimentario, debido a sus cambios bioquímicos dando un plus para la creación de harinas enriquecidas y productos de panificación. Este tipo de modificación funcional integra este proceso como una de

las formulaciones alimentarias con mayor exigencia nutricional y tecnológica [49].

De acuerdo con un estudio de alternativas del malting para la elaboración de cerveza, el uso de cereales alternativos como el maíz, permiten reducir la dependencia de importaciones de malta de cebada, lo que facilita la producción regional con insumos locales y así llegar adaptarse ante variabilidades climáticas o de suministros. El maíz con malting representa una vía con alto potencial de innovación y aprovechamiento en la industria de alimentos y bebidas [55].

2. Bebidas prehispánicas con maíz

El maíz *Zea mays* L. ocupa un lugar central en las civilizaciones mesoamericanas, lo cual trasciende su uso como simple alimento para convertirse en el sustrato de una diversidad de bebidas tradicionales, donde la preparación de aguas y bebidas prehispánicas a base de maíz se vinculan mediante técnicas indígenas como la nixtamalización, la fermentación y el uso de ingredientes que puedan complementarlas como el cacao, achiote, especias, entre otras [26].

Las bebidas prehispánicas a base de maíz constituyen una de las expresiones más representativas de la gastronomía mesoamericana, desde tiempos antiguos el maíz fue considerado como un alimento sagrado de acuerdo a los mitos mayas del Popol Vuh, donde su consumo trascendía de la alimentación a un acto ritual, agrícola y espiritual [56]. Los pueblos originarios de México desarrollaron una gran variedad de bebidas derivadas del maíz, estas preparaciones incluían bebidas espesas y calientes, como el atole, hasta bebidas fermentadas y refrescantes como el pozol, el tejuino, el tesguino, entre otros [56].

2.1. Tascalate

El tascalate es una de las bebidas tradicionales más emblemáticas del estado de Chiapas, México, representa un ejemplo significativo de la comunidad cultural en las bebidas prehispánicas a base de maíz donde su origen se remonta a los pueblos mayas, los cuales utilizaban el maíz y el cacao como elementos sagrados en rituales de fertilidad, cosecha y ofrendas [57].

El proceso artesanal de Tascalate se desarrolla mediante el tostado del grano del maíz o en algunos casos se utilizan tortillas de maíz, se retiran las cáscaras en caso de que haya tostado el grano, se deja reposar hasta que el grano se encuentre frío para poder molerlo junto con cacao tostado, semillas de achiote y canela. Una vez obteniendo el polvo obtenido se diluye en agua fría o leche [6].

Los productores locales, en su mayoría mujeres, lo elaboran de manera artesanal, manteniendo las técnicas tradicionales de tostado y molienda, pero adaptándolas a nuevas condiciones de mercado y distribución, donde este proceso, además de conservar la identidad cultural, promueve la sostenibilidad económica de comunidades rurales chiapanecas [57].

2.2. Tejuino

El tejuino es una bebida fermentada tradicional mexicana, no destilada, puede elaborarse mediante maíz germinado o nixtamalizado, actualmente se produce y consume en Nayarit, Jalisco, Zacatecas, Sinaloa, Sonora y Chihuahua [58]. Esta bebida tiene un importante uso ceremonial en diversos grupos étnicos donde su producción se ha extendido entre comunidades indígenas de Nayarit y Jalisco [59].

El proceso de fermentación del tejuino es espontáneo y no controlado, principalmente cuando se trata de un método artesanal, por lo cual sus características sensoriales y la calidad son variables importantes debido a que participan diversos tipos de microorganismos como *Saccharomyces* y bacterias ácido lácticas [59].

El tejuino se considera una fuente potencial de microorganismos probióticos como *Limosilactobacillus fermentum* y *Lactiplantibacillus plantarum*, que pueden contribuir al equilibrio intestinal, además de que se ha comprobado la presencia de compuestos bioactivos antioxidantes que podrían tener efectos positivos en cuanto a la salud metabólica [26].

2.3. Pozol

El pozol es una bebida tradicional mexicana prehispánica elaborada a base de maíz con masa nixtamalizada fermentada, es considerado como un legado ancestral en los pueblos mayas y chontales del sureste de México y es reconocido como una de las bebidas de gran valor gastronómico y social [60].

El pozol se elabora a partir de masa de maíz nixtamalizado que se diluye en agua y se deja fermentar de forma espontánea, esta fermentación da lugar a una bebida ácida, no alcohólica, a la que se le llega a incorporar cacao, especias u otros complementos dependiendo de la zona donde se elabore [61]. Además de llevar a cabo una fermentación espontánea, posee un microbiota complejo compuesta principalmente por bacterias ácido lácticas [60].

2.4. Atole agrio

El atole agrio tiene sus raíces en la cultura indígena de México y está estrechamente vinculado con el maíz, donde la palabra "atole" proviene del náhuatl atolli (aguado de maíz), esta bebida recibe diferentes nombres como xocoatole, xocoatole, xucoatole, shucoatole y cada uno de ellos se consume en rituales, ceremonias o en fiestas festivas como se acostumbra en la actualidad [62].

El atole agrio se prepara a partir de maíz que se deja fermentar por adquirir su sabor agrio característico, el proceso típico puede incluir dos pasos donde se puede usar el maíz tierno, cocido o nixtamalizado el cual se remoja durante horas o incluso un día y/o noche completa, después se muele para poder preparar la masa de maíz fermentada, se diluye en agua para posteriormente hervirlo hasta obtener una consistencia espesa o cremosa [63, 64].

El atole agrio forma parte del patrimonio alimentario de varias comunidades indígenas y mestizas, por ejemplo, en el pueblo mágico de Ixtenco, Tlaxcala, es considerado como uno de los más importantes tesoros gastronómicos, vinculado directamente a la identidad del maíz nativo. Estudios sobre el atole agrio aseguran que este posee diversas versiones dependiendo el método de fermentación que se lleve a cabo, el adaptarlo a ingredientes de otras regiones al igual que la variedad de maíz que se utilice, todos estos factores son los que le van a brindar a la bebida un sabor único y característico [56].

Conclusiones

El agave constituye un recurso estratégico y de gran importancia en América debido a su diversidad biológica, su valor cultural y su potencial económico y ambiental. Asimismo, su capacidad de adaptación a condiciones extremas y su amplia gama de productos derivados lo posicionan como una planta clave para el desarrollo sostenible. Por tanto, la integración de enfoques interdisciplinarios que combinen ciencia, tecnología y conocimientos tradicionales permitirá fortalecer su aprovechamiento sostenible, contribuyendo al desarrollo de la bioeconomía y la seguridad alimentaria.

Referencias

- [1] Revilla P, A. M.-M. (2022). Traditional Foods From Maize (*Zea mays* L.) in Europe. *Front Nutr*, 8(683399), 7. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.683399>
- [2] Simón M, G. S. (2018). Maíz: Importancia, origen, sistemática, morfología y composición química. En *Cereales de verano* (págs. 78-165). Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales.
- [3] Ranum P, P.-R. J.-C. (2014). Global maize production, utilization, and consumption. *Ann N Y Acad Sci.*, 13(12), 105-112. <https://doi.org/10.1111/nyas.12396>
- [4] Mikulajová, A., Matejčeková, Z., Kohajdová, Z. (2024) Cambios en la composición fenólica, antioxidante, sensorial y microbiológica durante la fermentación y el almacenamiento de productos de maíz. *Food Prod Process and Nutr* 6 , 9. <https://doi.org/10.1186/s43014-023-00191-8>
- [5] Haro, L. (15 de Abril de 2024). Lejos de la Autosuficiencia de Maíz. *El Sol de México*. <https://www.elsoldemexico.com.mx/analisis/lejos-de-la-autosuficiencia-de-maiz-11759525.html>
- [6] Pérez, J. A. E., & Ramírez, S. M. G. (2025). Cultura alimentaria del municipio de Ocozacoautla de Espinosa, Chiapas. *Relaciones Estudios de Historia y Sociedad*, 46(182). <https://doi.org/10.24901/rehs.v46i182.1127>
- [7] UNAM. (25 de Enero de 2024). El maíz nativo: un tesoro ancestral en la gastronomía. *Global Revista*. https://unamglobal.unam.mx/global_revista/el-maiz-nativo-un-tesoro-ancestral-en-la-gastronomia/#:~:text=Beneficios%20del%20ma%C3%ADz%20aut%20para%20para.c%20A1ncer%20y%20el%20envejecimient%20prematuro.

- [8] Márquez-Sánchez, F. (2008). De las variedades criollas de maíz (*Zea mays* L.) a los híbridos transgénicos. I: recolección de germoplasma y variedades mejoradas. *SciELO*, 5(2).
- [9] EarthHome: Evolution. (2023b, abril 21). Cultural history of maize - EarthHome: Evolution. <https://evolution.earthathome.org/grasses/andropogoneae/maize-culture/>
- [10] León, A. N. (18 de Octubre de 2021). Maíz criollo en el Estado de Nuevo León. <https://www.gob.mx/agricultura/nuevoleon/articulos/maiz-criollo-en-el-estado-de-nuevo-leon?idiom=es#:~:text=Alrededor%20de%20todo%20el%20territorio.al%20sur%20de%20estado%20de>
- [11] SADER. (2 de Marzo de 2023). La diversidad de maíces de México es el resultado de tres influencias: su domesticación, su cultivo y la diversidad de prácticas agrícolas y de usos de más de 80 pueblos originarios.. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/un-apoyo-para-agricultores-de-maices-nativos>
- [12] Salinas-Moreno, Y., Santillán-Fernández, A., de la Torre, IA, Ramírez-Díaz, JL, Ledesma-Miramontes, A., & Martínez-Ortiz, M. Á. (2024). Rasgos físicos y diversidad de compuestos fenólicos en accesiones de maíz de grano azul-morado (*Zea mays* L.) de razas mexicanas. *Agriculture*, 14 (4), 564. <https://doi.org/10.3390/agriculture14040564>
- [13] Rural, S. d. (2 de Marzo de 2023). La diversidad de maíces de México es el resultado de tres influencias: su domesticación, su cultivo y la diversidad de prácticas agrícolas y de usos de más de 80 pueblos originarios. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/un-apoyo-para-agricultores-de-maices-nativos>
- [14] Bello-Pérez, L. (2016). Aspectos nutraceuticos de los maíces pigmentados: digestibilidad de los carbohidratos y antocianinas. *Agrociencia*, 50(8), 1041-1063. https://doi.org/https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_artext&pid=S1405-31952016000801041
- [15] Serna-Saldívar, S., Gutiérrez-Urbe, J., Mora-Rochin, S., & S., G.-L. (2013). Potencial nutraceutico de los maíces criollos y cambios durante el procesamiento tradicional y con extrusión. *Revista fitotecnia mexicana*, 36, 295-306. https://doi.org/https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_artext&pid=S0187-73802013000500006&lng=es&tlng=es
- [16] Chen, W., Cui, F., Zhu, H., Zhang, X., Lu, S., Lu, C., Chang, H., Fan, L., Lin, H., Fang, J., An, Y., Li, X., & Qi, Y. (2024). Genome-wide association study of kernel colour traits and mining of elite alleles from the major loci in maize. *BMC Plant Biology*, 24(1), 25. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04662-5>
- [17] Guillén-Sánchez, J. M.-A.-M. (2014). Características y propiedades funcionales del maíz morado (*Zea mays* L.) var. subnigroviolaceo. *Scientia Agropecuaria*, 5(4), 211-217. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2014.04.05>
- [18] Vázquez-Carrillo, M. G., Palos-Hernández, A., González-Paramás, A. M., Santos-Buelga, C., García-Cruz, L., Arellano-Vázquez, J. L., & Rojas-Martínez, I. (2025). Blue maize with pigmented germ: Phytochemical compounds and tortilla color. *Food chemistry*, 463(Pt 1), 141109. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141109>
- [19] Sánchez-Nuño, YA, Zermeno-Ruiz, M., Vázquez-Paulino, OD, Nuño, K., & Villarruel-López, A. (2024). Compuestos Bioactivos del Maíz pigmentado (*Zea mays* L.) y su efecto sobre la salud. *Biomoléculas*, 14 (3), 338. <https://doi.org/10.3390/biom14030338>
- [20] Cappellini, F., Marinelli, A., Toccaceli, M., Tonelli, C., & Petroni, K. (2021). Anthocyanins: From Mechanisms of Regulation in Plants to Health Benefits in Foods. *Frontiers in plant science*, 12, 748049. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.748049>
- [21] Zurak, D., Grbeša, D., Duvnjak, M., Kiš, G., Medimurec, T. y Kljak, K. (2021). Contenido de carotenoides y bioaccesibilidad en híbridos comerciales de maíz. *Agriculture*, 11 (7), 586. <https://doi.org/10.3390/agriculture11070586>
- [22] Kuhnen S, L. P. (2011). Carotenoid and anthocyanin contents of grains of Brazilian maize landraces. *J Sci Food Agric.*, 91(9), 1548-1553. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4346>
- [23] Fuentes-Cardenas, I. S., Cuba-Puma, R., Marcilla-Truyenque, S., Begazo-Gutiérrez, H., Zolla, G., Fuentealba, C., Shetty, K., & Ranilla, L. G. (2022). Diversity of the Peruvian Andean maize (*Zea mays* L.) race Cabanita: Polyphenols, carotenoids, in vitro antioxidant capacity, and physical characteristics. *Frontiers in Nutrition*, 9, 983208. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.983208>
- [24] Nardini, M. (2022). Compuestos fenólicos en los alimentos: caracterización y beneficios para la salud. *NIH*, 27(3), 783. <https://doi.org/10.3390/molecules27030783>
- [25] Rubio-Castillo, Á. E., Zamora-Gasga, V. M., Sánchez-Burgos, J. A., Ruiz-Valdiviezo, V. M., Montalvo-González, E., Velázquez-Estrada, R. M., González-Córdova, A. F., & Sáyago-Ayerdi, S. G. (2022). Gut metabolites produced during in vitro colonic fermentation of the indigestible fraction of a maize-based traditional Mexican fermented beverage, Tejuino. *Food chemistry. Molecular sciences*, 5, 100150. <https://doi.org/10.1016/j.fochms.2022.100150>
- [26] Reyes-Pavón, D., Soto-Sigala, K. S., Cano-Sampedro, E., Méndez-Trujillo, V., Navarro-Ibarra, M. J., Pérez-Pasten-Borja, R., Olvera-Sandoval, C., & Torres-Maravilla, E. (2024). Pigmented native maize: Unlocking the potential of anthocyanins and bioactive compounds from traditional to functional beverages. *Beverages*, 10(3), 69. <https://doi.org/10.3390/beverages10030069>
- [27] Kim, HY, Lee, KY, Kim, M., Hong, M., Deepa, P. y Kim, S. (2023). Revisión de las propiedades biológicas del maíz morado (*Zea mays* L.). *Scientia Pharmaceutica*, 91 (1), 6. <https://doi.org/10.3390/scipharm91010006>
- [28] Chatham, L. A., & Juvik, J. A. (2021). Linking anthocyanin diversity, hue, and genetics in purple corn. *G3 (Bethesda, Md.)*, 11(2), jkaa062. <https://doi.org/10.1093/g3journal/jkaa062>
- [29] Zhang, Q., Gonzalez de Mejia, E., Luna-Vital, D., Tao, T., Chandrasekaran, S., Chatham, L., Juvik, J., Singh, V., & Kumar, D. (2019). Relationship of phenolic composition of selected purple maize (*Zea mays* L.) genotypes with their anti-inflammatory, anti-adipogenic and anti-diabetic potential. *Food chemistry*, 289, 739–750. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.116>
- [30] Yeon, H., Yeon, K., & M., K. (2023). Una revisión de las propiedades biológicas del maíz morado (*Zea mays* L.). *MDPI*, 91(1), 6. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/scipharm91010006>
- [31] Urias-Lugo DA, H. J.-R.-T.-S.-U. (2015). Anthocyanins and Phenolic Acids of Hybrid and Native Blue Maize (*Zea mays* L.) Extracts and Their Antiproliferative Activity in Mammary (MCF7), Liver (HepG2), Colon (Caco2 and HT29) and Prostate (PC3) Cancer Cells. *Plant Foods Hum Nutr.*, 70(2). <https://doi.org/10.1007/s11130-015-0479-4>
- [32] Sánchez-Nuño YA, Z.-R. M.-P.-L. (2024). Bioactive Compounds from Pigmented Corn (*Zea mays* L.) and Their Effect on Health. *Biomolecules. Biomoléculas*, 12(4), 338. <https://doi.org/10.3390/biom14030338>
- [33] Li, J., Kang, M., Kim, J. L., Kim, Y. H., & Kang, Y. H. (2011). Las

- antocianinas del maíz morado retardan la glomeruloesclerosis asociada a la diabetes en células mesangiales y ratones db/db. *Revista Europea de Nutrición*, 51, 961-973. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00394-011-0274-4>
- [34] Zhang, S., Ji, J., Zhang, S., Guan, C., & Wang, G. (2020). Effects of three cooking methods on content changes and absorption efficiencies of carotenoids in maize. *Food & Function*, 11(1), 944-954. <https://doi.org/10.1039/c9fo02622c>
- [35] Paulsmeyer, M. N., Vermillion, K. E., & Juvik, J. A. (2022). Assessing the diversity of anthocyanin composition in various tissues of purple corn (*Zea mays* L.). *Phytochemistry*, 201, 113263. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2022.113263>
- [36] Robles-Plata, VT, Serna Saldívar, S., de Dios Figueroa-Cárdenas, J., Rooney, WL, Dávila-Vega, JP, Chuck-Hernández, C., & Escalante-Aburto, A. (2023). Características biofísicas, nutraceuticas y tecnofuncionales de los cereales especiales: palomitas de maíz pigmentadas y sorgo. *Alimentos*, 12 (12), 2301. <https://doi.org/10.3390/foods12122301>
- [37] Prasanna BM, P.-R. N. (2020). Molecular Breeding for Nutritionally Enriched Maize: Status and Prospects. *Front Genet.*, 10(1392), 21. <https://doi.org/10.3389/fgene.2019.01392>
- [38] Eleazu, C. O., Eleazu, K. F., Ukamaka, G., Adeolu, T., Ezeorah, V., Ezeorah, B., Ituma, C., & Ilom, J. (2020). Nutrient and Antinutrient Composition and Heavy Metal and Phenolic Profiles of Maize (*Zea mays*) as Affected by Different Processing Techniques. *ACS Food Science & Technology*, 1(1), 113-123. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.0c00045>
- [39] Wang, S., Chen, K., Tian, A., Pan, M., Liu, X., Qu, L., Jin, J., Lv, S., Xu, Y., Li, Y., Yang, W., Zhang, X., Zheng, L., Zhang, Y., Yang, X., Zhong, F., Xu, L., & Ma, A. (2024). Effect of cooking methods on volatile compounds and texture properties in maize porridge. *Food Chemistry X*, 22, 101515. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101515>
- [40] Paredes López, O., Guevara Lara, F., & Bello Pérez, L. A. (2010). La nixtamalización y el valor nutritivo del maíz. *Ciencias*, 92(092). Recuperado a partir de <https://revistas.unam.mx/index.php/cns/article/view/14831>
- [41] Kamau, EH, Nkhata, SG y Ayuda, EO (2020). Las condiciones de extrusión y nixtamalización incluyen en la magnitud del cambio en los nutrientes y componentes bioactivos de cereales y legumbres. *Ciencia de los Alimentos y Nutrición*, 8(4), 1753-1765. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1473>
- [42] Suri, D.J., & Tanumihardjo, S.A. (2016). Effects of Different Processing Methods on the Micronutrient and Phytochemical Contents of Maize: From A to Z. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 15(5), 912-926. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12216>
- [43] Félix-Sámamo, A. L., Félix-Medina, J. V., Montes-Ávila, J., García-Cano, I., Quintero-Soto, M. F., Perales-Sánchez, J. X. K., & Gutiérrez-Dorado, R. (2025). Nutritional, Antioxidant, and Phytochemical Changes During the Production of Tortillas Using Quality Protein Maize and an Alkaline Extrusion Thermomechanical Process. *Plant foods for human nutrition (Dordrecht, Netherlands)*, 80(4), 183. <https://doi.org/10.1007/s11130-025-01424-6>
- [44] Odukoya, J. O., De Saeger, S., De Boevre, M., Adegoke, G. O., Audenaert, K., Croubels, S., Antonissen, G., Vermeulen, K., Gbashi, S., & Njobeh, P. B. (2021). Effect of Selected Cooking Ingredients for Nixtamalization on the Reduction of Fusarium Mycotoxins in Maize and Sorghum. *Toxins*, 13(1), 27. <https://doi.org/10.3390/toxins13010027>
- [45] Eressa Woldegiorgis, Wabi Bajo & Mulate Zerihun. (2024). Características de calidad de la malta de variedades seleccionadas de maíz. *Revista de avances en ciencia y tecnología de los alimentos*, 11 (2), 22-32. <https://doi.org/10.56557/jafsat/2024/v11i28622>
- [46] Vázquez-Carrillo, MG, Hernández-Montes, A., Palacios-Rojas, N. (2024). Comparación de la nixtamalización tradicional y comercial de tres razas criollas de maíz: impacto en la calidad del pozole y la aceptación del consumidor. *J. Ethn. Food* 11, 11. <https://doi.org/10.1186/s42779-024-00227-5>
- [47] Twagirangungu, J.D. (2024). Efecto de la nixtamalización sobre las aflatoxinas, la funcionalidad y la aceptabilidad del maíz de Mulindi, Ruanda. *EJFOOD*, 6(4). <http://doi.org/10.24018/ejfood.2024.6.4.789>
- [48] Valenzuela, E. I., Gutiérrez-Urbe, J. A., Franco-Morgado, M., & Cervantes-Avilés, P. (2024). Navigating the waters of nixtamalization: Sustainable solutions for maize-processing wastewater treatment. *The Science of the total environment*, 911, 168674. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168674>
- [49] Tene, S. T., Adebo, O. A., Ndinteh, D. T., Obilana, A. O., Foffe, H. A. K., Kenfack, J. O., Kamdem, M. H. K., Klang, J. M., & Womeni, H. M. (2023). Effect of variety and malting conditions on proteolytic activity, free amino nitrogen, and soluble protein contents of two maize varieties (Atp-Y and Coca-sr): amyolytic activity and physico-chemical and functional properties of optimal sample. *Frontiers In Nutrition*, 10. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1163915>
- [50] Moreira-Vera, D., Ormaza-Loor, G., & Quiroz-Saltos, K. (2020). Malteado y variedad de maíz en las características fisicoquímicas y sensoriales en una bebida refrescante. *Revista Arbitrada Yachasun*, 4(7) 120-133. Recuperado a partir de <https://editorialibkn.com/index.php/Yachasun/article/view/85>
- [51] Xu, M., Rao, J., & Chen, B. (2020). Phenolic compounds in germinated cereal and pulse seeds: Classification, transformation, and metabolic process. *Critical reviews in food science and nutrition*, 60(5), 740-759. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1550051>
- [52] Love Amauche Egbegbedia, Peter Agorye Adie, Friday Godwin Okibe y Vachefon Heuvev Forwoukeh. (2025). Efecto del malteado y la fermentación en las propiedades fisicoquímicas de la harina de maíz. *Revista de Avances en Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, 12 (2), 27-34. <https://doi.org/10.56557/jafsat/2025/v12i29203>
- [53] Liu, L., Fang, X., Ren, S., Jia, R., Liu, Q., Liu, H., Xiu, L., Yaqoob, S., Cai, D., & Liu, J. (2023). Targeted metabolic reveals different part of maize in polyphenolic metabolites during germination and hypoglycemic activity analysis. *Food chemistry: X*, 19, 100848. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100848>
- [54] Escamilla-Urbina, I., Totosaús-Sánchez, A., Rodríguez-Huezo, ME. (2025). Efecto del hidróxido de calcio y el tiempo de nixtamalización en la digestibilidad in vitro del almidón y la proteína de tortillas de maíz tradicionales. *Plant Foods Hum Nutr* 80, 61. <https://doi.org/10.1007/s11130-024-01245-z>
- [55] KerryGroup. (2022). Malt Alternatives are Influencing the Future of Beer Brewing | Kerry. <https://www.kerry.com/insights/kerrydigest/2022/malt-alternatives-beer-brewing>
- [56] Ojeda-Linares, C., Álvarez-Ríos, GD, Figueredo-Urbina, CJ, Islas, LA, Lappe-Oliveras, P., Nabhan, GP, Torres-García, I., Vallejo, M., & Casas, A. (2021). Bebidas fermentadas tradicionales de México: un paisaje alimentario biocultural invisible. *Alimentos*, 10 (10), 2390. <https://doi.org/10.3390/foods10102390>
- [57] Céspedes Ochoa, E., Gómez Hernández, E. E., Espino Oliva, E. D. (2024). Elascalate: una opción de expansión de producción artesanal

del mercado regional chiapaneco. Aproximaciones teóricas al desarrollo regional y procesos de innovación. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas, pp.375-388. <http://ru.iiec.unam.mx/6574>

- [58] Ramírez-Guzmán, KN; Torres-León, C.; Martínez-Medina, GA; de la Rosa, O.; Hernández-Almanza, A.; Álvarez-Pérez, OB; Araujo, R.; González, RL; Londoño, L Ventura, J. (2019). Bebidas fermentadas tradicionales en México. En *Bebidas Fermentadas*; Woodhead Publishing: Sawston, Reino Unido; págs. 605–635. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815271-3.00015-4>
- [59] Rubio-Castillo, Á. E., Méndez-Romero, JI, Reyes-Díaz, R., Santiago-López, L., Vallejo-Cordoba, B., Hernández-Mendoza, A., Sáyo-Ayerdi, SG, & González-Córdova, AF (2021). Tejuino, una bebida fermentada tradicional: composición, calidad de seguridad e identificación microbiana. *Alimentos*, 10 (10), 2446. <https://doi.org/10.3390/foods10102446>
- [60] López-Sánchez, R., Hernández-Oaxaca, D., Escobar-Zepeda, A., Ramos Cerrillo, B., López-Munguía, A., & Segovia, L. (2023). Analysing the dynamics of the bacterial community in pozol, a Mexican fermented corn dough. *Microbiology (Reading, England)*, 169(7), 001355. <https://doi.org/10.1099/mic.0.001355>
- [61] López, O. y. G., Castillo, L. J., & Cano, M. P. (2019). El pozol, una bebida ancestral mexicana como legado cultural inmaterial. *Hitos de Ciencias Económico Administrativas*, 24(68), 29-37. <https://doi.org/10.19136/hitos.a24n68.3234>
- [62] Castro-Ricalde, D., González, B., & Osorio, R. (2025). Memorias del atole agrio elaborado por mujeres de San Antonio Acahualco, Estado de México. *Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional*. 35(65). <https://doi.org/10.24836/es.v35i65.1584e251584>
- [63] Torres-Gregorio, M., Ribas-Aparicio, RM, Aguilera-Arreola, MG, Gutiérrez-López, GF, & Hernández-Sánchez, H. (2025). Potencial probiótico de algunas bacterias ácido lácticas aisladas de Atole Agrio de maíz azul de Veracruz, México. *Fermentación*, 11 (8), 474. <https://doi.org/10.3390/fermentation11080474>
- [64] Torres, P. &. (2024). Historia Intelectual, Paisajes Agrícolas y el Origen del Maíz, 1940 - 1960. *Historia Ambiental Latinoamericana y Caribeña*, 14(1), 20-47. <https://doi.org/https://doi.org/10.32991/2237-2717.2024v14i1.p20-47>