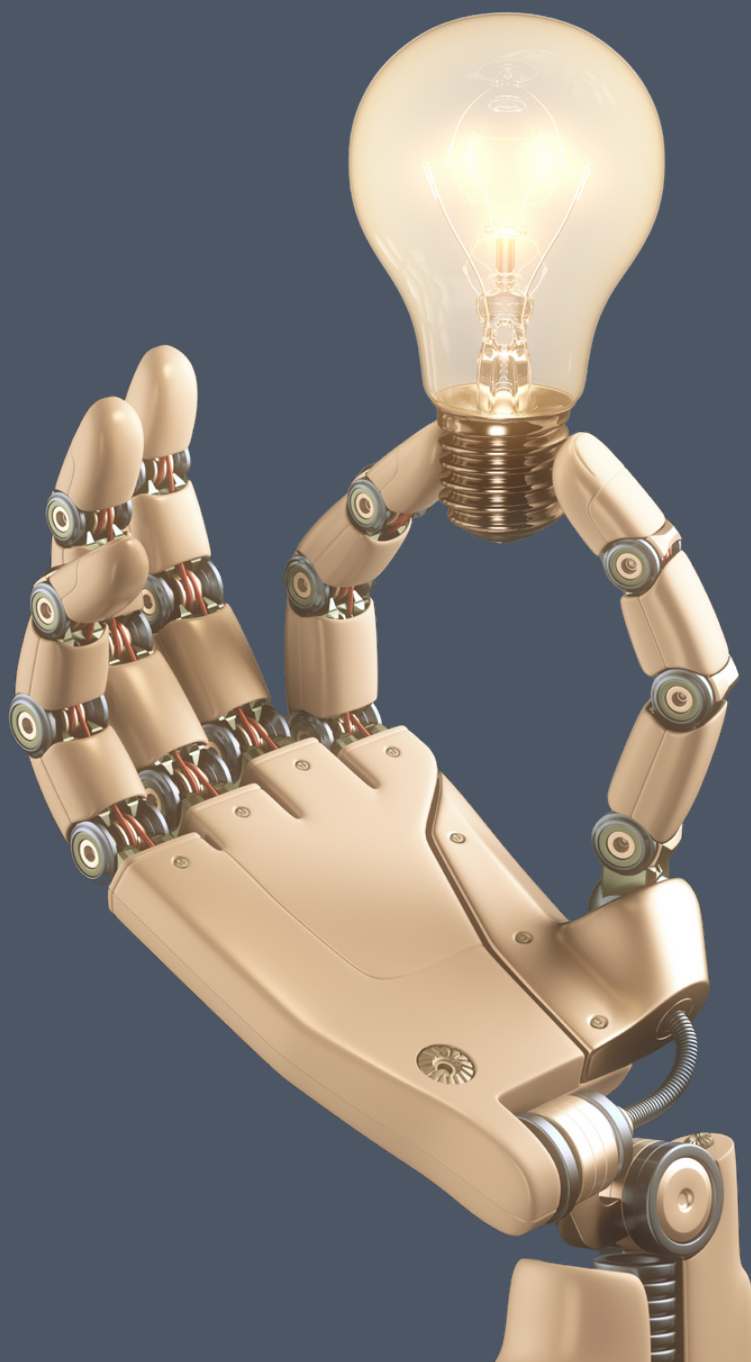




INTERCULTURALIDAD, CIENCIA Y TECNOLOGÍA -
ISSN: 2697-0090



VOL. 3 N° 1
SEPTIEMBRE
2025

@ Editorial: Servicios Académicos Intercontinentales S.L. B-93417426, Málaga, España.

@ Los autores de las colaboraciones son responsables de los contenidos expresados en los mismos.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.

Responsable de la revista:

Universidad Intercultural de San Luis Potosí

Rectoría: Mariano Arista 925, Col. Tequisquiapan, San Luis Potosí, SLP.
México.

MEA. Héctor González Picazo.

Subdirector Académico

academica@uicslp.edu.mx

Miembros del consejo editorial:

Dra. Aurora Orduña Correa. *Rectora*

MEA. Héctor González Picazo. *Subdirector Académico*

Mtro. Hugo Cesar Flores Palomo. *Subdirector desarrollo institucional*

Mtra. Melissa Rodríguez. *Coordinación de investigación*

Directorio:

Dra. Aurora Orduña Correa.

Rectora, UICSLP

MEA. Héctor González Picazo.

Subdirector Académico, UICSLP

Mtro Hugo Cesar Flores Palomo

Subdirector de desarrollo intercultural, UICSLP

Lic. Ma. De los Ángeles Pérez Euologio

Subdirectora Escolar, UICSLP

Lic. Vicente de Jesús Pozos Cano

Subdirector Administrativo, UICSLP

M.F. Víctor Hugo Galván Sánchez

Subdirector de Planeación y Desarrollo, UICSLP



TABLA DE CONTENIDO

EL PATRIMONIO BIO-CULTURAL DE LOS PUEBLOS TÉNEK Y NAHUA DE LA HUASTECA POTOSINA. Oscar Uriel Camacho Chávez.	01
CUANTIFICACIÓN DE TANINOS EN EXTRACTOS VEGETALES UTILIZADOS COMO AGENTES REDUCTORES EN LA SÍNTESIS VERDE DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA Y SU EVALUACIÓN ANTIMICROBIANA. Ana Ketzaly Calvillo Anguiano, Luis Octavio Hernández Arteaga, Idania De Alba Montero, Alejandra Durán Almendárez, Ana Laura Ruiz Castillo, Facundo Ruiz.	36
RADIACIÓN SINCROTRÓN: UN AVANCE PARA LA INNOVACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA Y EL CULTIVO DE TEJIDOS VEGETALES. Luis Jesús Castillo-Pérez, René Loredó Portales, Juan José Maldonado Miranda, Candy Carranza Álvarez.	48
PROTOTIPO DIGITAL DE APOYO PARA LA ENSEÑANZA DE LAS MATEMÁTICAS EN NIÑOS Y NIÑAS DE EDUCACIÓN BÁSICA. Camila Guadalupe Suárez Sevilla, Samantha Lizbeth Dimas Monsiváis, Carlos Iván Ponce López, Job Martínez Cárdenas, Andrea Ávila Salas, Axel Fuentes Camarillo, Maria Lisseth Flores Cedillo, Ramiro Eduardo Flores Cedillo, Monserrat Arriaga Flores.	66
INCLUSIÓN EDUCATIVA DE ESTUDIANTES CON NECESIDADES EDUCATIVAS ESPECIALES (NEE) EN CONTEXTOS INTERCULTURALES: UN ESTUDIO DE CASO EN TAMAZUNCHALE, SAN LUIS POTOSÍ. Angélica Velázquez Hernández.	82
EVALUACIÓN DEL EFECTO DE UN INOCULANTE DE MICORRIZAS EN EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE PEPINO (<i>Cucumis sativus</i> L.) EN CONDICIONES DE INVERNADERO. Bruno Alejandro Olvera Martínez, José Luis Rodríguez Chávez, Rocío Crystabel López González, Dalia Elizabeth Miranda-Castilleja.	103

EL PATRIMONIO BIO-CULTURAL DE LOS PUEBLOS TÉNEK Y NAHUA DE LA HUASTECA POTOSINA

Oscar Uriel Camacho Chávez¹

Universidad Intercultural de San Luis Potosí

Docente

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es reflexionar en torno a la conciencia de los pueblos tének y nahua de la Huasteca potosina sobre la biodiversidad y los conocimientos heredados que dan vida y sentido al mundo. La metodología para este trabajo parte de la ciencia básica: deductiva por la revisión de la teoría antropológica estructural, la literatura arqueológica y etnográfica relativa a los pueblos mesoamericanos, inductiva porque describe —a través de observaciones durante estancias de campo (2014 - 2018)— un modelo sobre la conciencia étnica de los pueblos de la Huasteca potosina sobre lo que se ha denominado memoria biocultural. Destacamos que los sistemas agroforestales como la milpa, los huertos y los bosques de manejo son ejemplos claros de la inexistente separación entre persona y naturaleza, así como, de herramientas prácticas y cognitivas que podemos considerar, en tanto mecanismos gregarios, para construir un futuro más viable y sostenible.

Palabras clave: Patrimonio, natural, cultural, Huasteca, tének, náhuatl.

THE BIO-CULTURAL HERITAGE OF THE TÉNEK AND NAHUA PEOPLES OF THE HUASTECA POTOSINA

ABSTRACT

The objective of this work is to reflect on the awareness of the Tének and Nahua peoples of the Huasteca Potosina regarding biodiversity and the inherited knowledge that gives life and meaning to the world. The methodology for this work is based on basic science: deductive, through a review of structural anthropological theory and archaeological and ethnographic literature related to Mesoamerican peoples; and inductive, because it describes—through observations during field trips (2014-2018)—a model of the ethnic awareness of the peoples of the Huasteca Potosina regarding what has been called biocultural memory. We emphasize that agroforestry systems such as milpas, orchards, and managed forests are clear examples of the nonexistent separation between person and nature, as well as practical and cognitive tools that we can consider, as gregarious mechanisms, to build a more viable and sustainable future.

¹ Licenciado en Antropología Social
Docente de la Universidad Intercultural de San Luis Potosí, Campus Tancanhuitz
uriel.camacho.ch@gmail.com / oscar.camacho@uicslp.edu.mx

Keywords: Heritage, natural, cultural, Huasteca, tének, náhuatl.

Introducción

Hoy día vivimos época de crisis: económica, ecológica, energética, migratoria, etc. Aunque en apariencia pareciera que éstas son inconexas bastaría con seguir sus hilos para encontrarnos con la compleja madeja que teje nuestro universo (Latour, 2008). En las últimas décadas las principales potencias mundiales han retomado en su agenda político-militar el objetivo de liderar el control de los recursos naturales tales como el agua, el petróleo, el gas y, recientemente, el litio, provocado procesos que amenazan el equilibrio y la vida en el planeta (White House, 2022). No hace mucho una crisis sanitaria evidenció las contradicciones del modelo económico capitalista, al mismo tiempo que exacerbó la delgada línea en la que converge la naturaleza, la sociedad y el discurso político, orillándonos a cuestionar sobre la forma de producción y el consumo de mercancías en las sociedades (post)industriales (Agamben et al., 2020). Hoy en día es innegable que el desequilibrio ecológico esté ligado al sistema, modo de vida e ideología capitalista que se distingue por las implicaciones de la acción humana sobre la naturaleza y por el efecto negativo en las condiciones de vida en el planeta.

El aumento de la temperatura y del mar, los grandes ciclones y las crisis sanitarias, así como las sequías, son síntomas del desequilibrio de los ecosistemas debido a la deforestación por la explosión demográfica y el cambio de uso de suelo para la agricultura industrial y la ganadería extensiva, derivados del modo de vida utilitario capitalista. Pero, ¿cómo es que conociendo la amenaza que enfrentamos se siga sin reaccionar?, ¿cómo es que desde hace tiempo se sabe que el sistema capitalista está destrozando el único planeta que tenemos y, sin embargo, no se tome conciencia frente a ello? Disciplinas como la filosofía, la economía, la historia, la ecología y la antropología han tratado de responder estas cuestiones. Cada una de ellas, con sus singulares matices, nos permiten describir y analizar las condiciones divergentes del mundo que habitamos, orillándonos en cierta medida a pensar en estrategias que sean capaces de reensamblar la sinergia entre los procesos naturales y sociales. (Deleuze y Guattari, 1985; Latour, 1991; Toledo, 2003; Leff, 2019; Aviña, 2022). Pero, ¿realmente estos procesos se encuentran separados o caso se trata de una mera *ilusión*? (Sahlins, 2011).

La problemática sobre la diversidad étnica frente a lo universal hegemónico, implica que seamos capaces de reconocer las diferencias y similitudes en el plano de lo simbólico, lo social y lo político, es decir, considerar las diversas formas de organización y orden territorial para establecer un diálogo entre las distintas variantes del pensamiento humano para reconocimiento de la multiplicidad, pero no de la multiplicación del *uno* globalizante (capitalista) “sino desde la suma de los distintos *Otros* para un solo nosotros” (Aviña, 2007, p. 334). Ya Lévi-Strauss (1964) planteaba que la mente humana es lo similar que hay entre los hombres en tanto nivel lógico y estructural sin rechazar las particularidades y los cambios histórico-culturales.

Aunque hoy en día se maximizan las relaciones sociales entre indígenas y mestizos, en lo real el intercambio simbólico entre éstos se ve imposibilitado por los lugares que cada subjetividad ocupa dentro de la estructura social (Baudrillard, 1969). Mientras el marco conceptual dentro del cual el sujeto indígena es “devorado” por el mestizo se conoce y replica, la manera en que los pueblos originarios “expropián” al *otro* es ignorada. Por ello cabe preguntarse ¿cómo es que piensan los pueblos originarios —particularmente tének y nahua de la Huasteca potosina— la naturaleza, el territorio, el espacio?, ¿cuál es su orden lógico, de percepción e interpretación?, ¿cuáles han sido y son sus valores, su ética y estética?, ¿qué es para ellos bueno o malo, verdadero o falso? De aquí que esta propuesta parta de una reflexión sobre las nociones propias de los pueblos originarios acerca de lo que consideran, desde su perspectiva, como patrimonio cultural y natural, así como del trasfondo histórico-lógico.

Históricamente los diversos territorios indígenas han estado sometidos a un constante control, dominio y diferentes formas de explotación, operando siempre según la lógica dominante de uno de los múltiples regímenes de acción y significación de la naturaleza, es decir, bajo la visión hegemónica sobre las prácticas y representaciones de la naturaleza.³ En México, a través del *neoextractivismo*,⁴ empresas nacionales y extranjeras han saqueado recursos naturales de territorios bajo uso indígena, explotando a sus habitantes y despojándoles de sus espacios bajo el sometimiento de políticas de muerte, violencia, enfermedad y destrucción de la naturaleza (Merchand, 2018; Robles Gil y Aviña, 2012; Aviña y López, 2021; De Haro, 2023; Corpi y Sarno, 2023; Le Cour y Frissard, 2024). En el caso particular de la Huasteca potosina la administración y control gubernamental de los recursos naturales y genéticos ha estado sistemáticamente influenciado por agentes externos rendidos a la lógica del capital, mismos que han contemplado su privatización (Jabardo y Padilla, 2016, p. 133). Tal es el caso de los sistemas de plantaciones de monocultivos como la caña de azúcar que generan pérdida de la biodiversidad y degradación del suelo con el constante uso de pesticidas y fertilizantes, además de promover la concentración de tierra y recursos en pocas manos (Carreras, 2023, p. 82).

Si la naturaleza ha ingresado desde hace tiempo al terreno de lo político (Latour, 2007), es necesaria la tarea de reconocer y construir nuevos esquemas prácticos que permitan reflexionar y analizar las relaciones entre los procesos sociales y naturales desde una perspectiva holística, integradora y funcional a través de la historia (tiempo) y en diferentes escalas (espacio) (Toledo, 2013, p. 42). Frente

³ Me refiero a aquellas formas de nombrar, señalar y relacionar la sociedad y la naturaleza que abarcan desde lo *prehispánico* (antes de la invasión española, Siglo XV), *colonial* (después del Siglo XVI), *moderno* (Siglo XIX) y *posmoderno* (Siglo XX-XXI).

⁴ El *neoextractivismo* es una categoría analítica que nos habla acerca de las relaciones de poder y las disputas en territorios históricamente dominados. Se define como el “modo de apropiación de la naturaleza, un patrón de acumulación colonial, asociado al nacimiento del capitalismo moderno [con] dimensiones a diferentes niveles: globales (transición hegemónica, expansión de la frontera, agotamiento de los bienes naturales no renovables, crisis socioecológica de alcance planetario), regionales y nacionales (relación entre el modelo extractivo-exportador, el Estado-nación y la captación de renta extraordinaria)” (Svampa, 2018, p. 21).

a esta situación, valdría la pena preguntarse ¿qué herramientas prácticas y cognitivas podemos considerar para construir un futuro más viable y sostenible? Desde una heurística alimentada por la antropología simbólica y (*post*)estructural, nuestro argumento hipotético es que la conciencia de los pueblos originarios de la Huasteca potosina presentan rutas, estrategias y tropos (cognitivos, prácticos y políticos) que establecen el equilibrio en las relaciones entre los procesos naturales y los procesos sociales al estar mediados por un trasfondo histórico-cultural —profundo y de larga duración—, de modo que constituyen una propia teoría o visión del ser (ontología), una episteme o teoría de conocimiento, metodologías o procesos y una ética ante la vida y la naturaleza (Aviña, 2010).

En este sentido nuestra propuesta tiene como objetivo reflexionar en torno a la conciencia de los pueblos tének y nahua de la Huasteca potosina sobre el patrimonio biocultural, es decir, las “formas diversas de pensamiento, conocimiento, prácticas y tecnologías en torno al uso, manejo y disfrute del medio ambiente” (Pohlenz, 2013, p.18). Y así reconocer en el discurso étnico el conjunto de elementos, conductas, palabras y cosas que se vinculan en el llamado patrimonio biocultural. Para ello se ha contemplado partir de la propia red simbólica y analítica de los pueblos de la huasteca potosina (*emic*) y no la de las comunidades científicas (*etic*), y así, en consecuencia, tratar de realizar un análisis antropológico respecto a la significación de la naturaleza. De modo que los juicios axiológicos aquí planteados no serán desde el sistema de valores occidental, supuestamente universal, sino, desde la propia praxis tének y nahua.

Marco teórico-metodológico

El mecanismo epistémico desde el que queremos avanzar, implica considerar al individuo dentro del mundo, en acto y potencia, porque el mundo está en el individuo de la misma manera (Aviña, 1999, p. 88). Desde este paradigma se propone superar las relaciones deterministas (tanto universales-absolutas, como particulares-relativistas). Con más precisión nos alejamos de los esquemas teleológicos: “racionales” y “objetivos”, donde las únicas vías posibles se establecen por las determinaciones materiales de la naturaleza o por la domesticación de ésta en términos de una razón práctica (Camacho, 2023). Esquemáticamente distinguimos dos enfoques, por un lado, el enfoque particularista que reduce las relaciones lógico-universales de lo humano pensando a la naturaleza como un objeto a partir del cual el hombre echa a volar su imaginación. Por el otro, el enfoque universalista que pretende encubrir la contingencia y variabilidad de lo histórico poniendo por encima de lo cultural el trabajo totalizante de la naturaleza (Descola, 1987). Para salir de esta dicotomía se retoma la propuesta epistemológica y ontológica de la teoría (*post*)estructural, entendida como la búsqueda de relaciones culturales particulares de posibilidades lógico-universales del ser humano que sostiene la existencia de mecanismos formales a través de principios clasificatorios, conceptuales, prácticos y complementarios (Foucault, 1968; Baudrillard, 1969; Descola, 2001; Bourdieu, 2007; Aviña, 2023).

Desde este paradigma antropológico podremos problematizar los fundamentos ontológicos y epistemológicos de la visión hegemónica acerca de lo que supone ser la naturaleza.

De acuerdo con el planteamiento de integración de lo particular en lo universal, y viceversa, de lo universal en lo particular es que aquí no se concibe al ser humano separado del medio físico ya que ambos conforman un único colectivo, es decir, una *unidualidad* sujeto-objeto, persona-contexto, cultura-naturaleza, cuerpo-mente, etc. Es mediante el cuerpo que el ser humano se abre al mundo ante todo lo que se le manifiesta, es el punto de partida para toda reflexión y producción simbólica (Fagetti, 1996). En el cuerpo humano las sociedades mesoamericanas consideraban la existencia de equivalencias y paralelismos entre los distintos órdenes del universo, en numerosas evidencias etnográficas se ha registrado como un microcosmos, es decir, una réplica del orden externo del cosmos que se ve reflejada en el orden interno del cuerpo (Galinier, 1990; López, 1996; Hernández, 2007; Gallardo, 2019; Aguirre, 2020; Lorente, 2020; Camacho, 2021).

Entendemos aquí por *cosmos* al concepto cuyo “sentido original deriva del griego, que significa mundo o universo, pero también refiere al orden o estructura” (Aviña y Wiesheu, 2009, p. 10). En la antropología mexicana —influenciada por la tradición filosófica alemana de Wilhelm Dilthey— numerosos se ha empleado el término cosmovisión para describir y analizar la imagen o concepción de ideas sobre el mundo entre los pueblos indígenas (Medina, 2000). Para Johanna Broda (1991, p. 462) la cosmovisión se refiere al sistema de representación simbólica que tiene nexos con las estructuras ideológicas, sociales y económicas sobre la cual los antiguos mesoamericanos combinaban, de manera coherente, sus nociones sobre el ambiente en que vivían y el cosmos en que situaban la vida. Para Antonella Fagetti (1996, p. 6) este concepto se refiere al “conjunto de ideas, concepciones y creencias que un grupo social elabora buscando respuestas a interrogantes en torno a su existencia en el mundo, en torno al universo, a los fenómenos naturales, al funcionamiento de todo organismo viviente”. Por su parte, López Austin (1996, p. 20) entiende la cosmovisión como: “un conjunto articulado de sistemas ideológicos relacionados entre sí en forma relativamente congruente, con el que un individuo o un grupo social pretende aprehender el universo”.

La metodología para este trabajo parte de la ciencia básica: es de tipo deductiva por la revisión de la teoría antropológica (*post*)estructural, la literatura arqueológica y etnográfica relativa a los pueblos mesoamericanos. Inductiva, porque describe un modelo general sobre la conciencia étnica de los pueblos originarios de la Huasteca potosina sobre lo que se ha denominado patrimonio biocultural, a partir de observaciones de primera mano durante varias estancias de campo utilizando el método etnográfico: viendo lo que pasa, participado en las actividades, aprendiendo la lengua, escuchando lo que se dice, realizando encuestas y entrevistas a profundidad (Hammersley y Atkinson, 1994). De modo que este texto es de carácter cualitativo, descriptivo y reflexivo respecto a la revisión bibliográfica y etnográfica que se ha realizado a lo largo de cuatro años viviendo y conviviendo con los habitantes tének y nahua de la Huasteca potosina, particularmente en la comunidad tének de Mantetzulel (2014-

2018) en el municipio de Aquismón, y recientemente (2023) en la comunidad de tének de Tamaletom y nahua de Cuatlamayan, pertenecientes al municipio de Tancanhuitz, San Luis Potosí. Asimismo, en la bibliografía de este texto hay títulos en los que se muestra claramente cómo, en múltiples variantes nahuas, suceden estos procesos del patrimonio indígena.

La Huasteca potosina: breve contexto socio-bio-cultural

Sin duda, hoy en día, la pérdida cada vez más frecuente de ecosistemas es reconocida como uno de los retos más relevantes para asegurar el devenir de la vida en el planeta. La naturaleza de este problema exige que sea abordado a través de un pensamiento complejo que reflexione “con más atención el tejido de eventos, acciones, interacciones, retroacciones, determinaciones y azares, que constituyen nuestro mundo” (Morin, 1990, p. 17). De la misma forma, partiendo de este paradigma de la complejidad, es que entendemos a la región de estudio como una entidad que se ha construido por las relaciones, eventos y acciones entre los diferentes procesos físicos e históricos que la componen.

La región Huasteca es entonces una *totalidad estructural*, es decir, total porque se presenta como una madeja compleja de relaciones biológicas, sociales y de códigos culturales, y estructural porque su construcción depende de las relaciones entre las diferentes estructuras o partes que le componen, así, “lo determinante son las relaciones y las relaciones de las relaciones y no solo los elementos” (Aviña, 2023, p. 14).

Definir la región de la Huasteca, tanto espacial como conceptualmente, implica considerar un examen polisémico que nos aleje de todo de tipo determinismo. El más común fundado en la idea de que un espacio-geográfico “lejos de dar cuenta de un territorio como procesos de socialización de la naturaleza, de interacción cultura-medio ambiente, únicamente intenta seguir líneas de frontera basadas en un determinismo ambiental y tecnológico alimentario” (Aviña, 2013b, p. 10).⁹ De modo que aquí presentamos, a partir de una heurística positiva las propiedades socio-culturales y bio-físicas que componen el conjunto de aspectos de la región Huasteca, particularmente la porción ubicada en el estado Potosino.

La región conocida como Huasteca conforma un área pluriétnica con rasgos culturales particulares de los pueblos contiguos al Golfo de México y la Sierra Madre Oriental. Según algunos aspectos bioculturales la presencia de grupos humanos en este territorio se puede documentar desde el periodo Formativo o Preclásico (300 a. n. e) con grupos mayas e influencia olmeca; en el Clásico (400-600 a. n. e.) con el contacto de grupos toltecas y la creciente influencia del Altiplano; y en el Posclásico (1100-1400 a. n. e.) con la ocupación mexica en la región (Galindo, 1999; González et al., 2011; Voss, 2012;

⁹ Otro tipo de determinismo que distinguimos es el *particularista*, que se basa en el reconocimiento de elementos propios de cada región, fundamentalmente objetos materiales, para elaborar un listado de cosas recurrentes en un área geográfica determinada, lo que se denominó: “rasgos culturales”. Misma posición teórica que “delimita” las fronteras de Mesoamérica (Kirchhoff, 2000).

Caraveo, 2015). El origen del término Huasteca proviene del náhuatl *Cuexcatlan*, que es el lugar donde habita el *cuextecatli*: antiguo gobernante de los *cuextecas* (Ariel de Vidas, 2009). Según Joaquín Meade (1942, p. 23) este término se generalizó por la relación entre el vocablo nahua *cúes* que hace referencia a montículos o plataformas circulares de centros ceremoniales, espacios funerarios, construcción de viviendas, etc. En un sentido arqueológico y geográfico su definición ha sido generalmente extendida y asociada a la presencia del grupo etnolingüístico tének —mal llamados huastecos— por monumentos como plataformas circulares, la cerámica de tipo negro sobre blanco y la escultura antropomorfa de hombres, mujeres y ancianos (Trejo, 1989; Ochoa, 1991; Stresser-Péan, 2001; Familiar, 2013). No obstante, siguiendo a Kroefges y Schulze (2013, p. 121), “la distribución de los elementos estilísticos prehispánicos no concuerda con la expansión del idioma teenek al momento de la conquista española, ni con la distribución actual de los teenek”.

Sin existir una delimitación clara, lo que hoy se entiende como Huasteca es una vasta región que abarca porciones de los estados mexicanos de Hidalgo, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas y Veracruz. Por semántica las poblaciones que han habitado en esta región se les denominó “huastecos”. Sin embargo, no usaremos esta regla como sinónimo de una lengua, pueblo o cultura ya que en dicha área se han desarrollado diversos grupos étnicos como totonacos, tének, nahuas, tepehuas, otomís, entre otros. Incluso, el ser “huasteco” o “huasteca” han sido categorías identitarias adoptadas más por las personas mestizas que por los mismos pueblos tének o nahua quienes continúan luchando por el reconocimiento a su autodenominación (Ariel, 2009; Moctezuma, 2006; Rodríguez, 2023).

En su porción potosina, la Huasteca, se sitúa entre la cadena montañosa de la Sierra Madre Oriental y las planicies de las cuencas del río Tapaón y Gallinas que desembocan en el Pánuco. Esta región representa el 66.4% de la superficie del estado, predominando la vegetación de selvas altas subperennifolia y bajas caducifolias (SEMARNAT, 2015). Esta región del estado potosino se conforma por los municipios de Aquismón, Axtla de Terrazas, Ciudad Valles, Coxcatlán, Ébano, El Naranjo, Huehuetlán, Matlapa, San Antonio, San Martín Chalchicuautla, San Vicente Tancuayalab, Tamasopo, Tamazunchale, Tampacán, Tampamolón, Tamuín, Tancanhuitz, Tanlajás, Tanquián y Xilitla (**ver figura 1**).¹⁰

De acuerdo al ejercicio de territorialización Estatal de la Secretaría de Desarrollo Social y Regional se han adaptado cuatro criterios para la definición de las regiones (altiplano, centro, media y huasteca) y sus microregiones, referentes a las capacidades productivas y de desarrollo social. Entre los que destacan: 1) los centros de intercambio económicos como lugares donde acude la gente a realizar

¹⁰ Además de la región Huasteca, la administración político-económica del estado de San Luis Potosí se compone de tres regiones geográficas más. 1) el Altiplano que se encuentra ubicado en la parte noreste del estado: de clima seco-desértico forma parte del ecosistema de Desierto de Chihuahua; 2) la región Centro que comparte el clima desértico del Altiplano, sin embargo, se caracteriza por ser el núcleo político, económico e industrial (en esta región se encuentra la capital del estado); y 3) la región Media, de clima seco y templado, un área rural en proceso de industrialización.

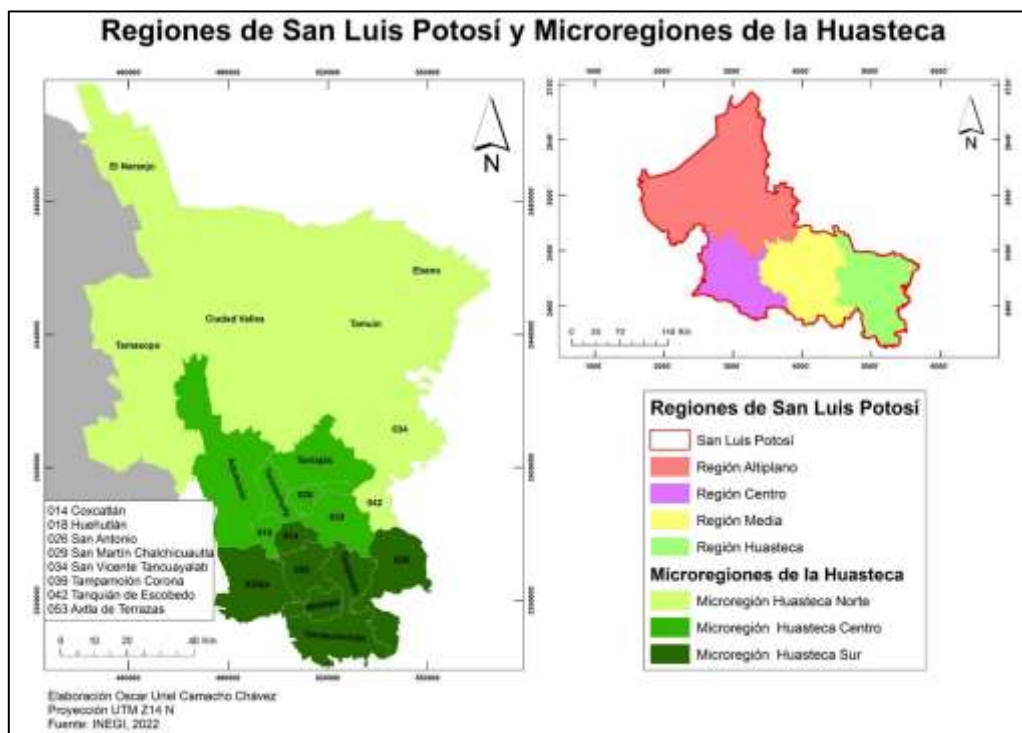
compra-venta de productos, a emplearse, a satisfacer sus necesidades y a recibir servicios educativos y de salud, 2) según el Perfil Productivo donde se identifiquen las actividades y potencialidades económicas (agropecuarias, industriales o servicios), 3) por la red de caminos (carreteras federales, estatales y caminos rurales) que determinan el tránsito y las relaciones de la población y de la producción entre los centros de intercambio comercial y sus áreas de influencia, y 4) por la división geopolítica del estado (SEDESORE, 2022, p. 10).

De este modo, según el ordenamiento político-administrativo del estado potosino, la Huasteca potosina se encuentra dividida en tres microregiones: Norte, Centro y Sur. La microregión Centro (donde se ubican los municipios de Aquismón, Huehuetlán, San Antonio, Tampamolón, Tancanhuitz y Tanlajás) y Sur (Axtla de Terrazas, Coxcatlán, Matlapa, San Martín Chalchicuautla, Tamazunchale, Tampacán y Xilitla) se componen en su mayoría de selvas media-alta, bosques y pastizales, además de practicarse la agricultura de temporal y humedad en estas microregiones se concentra la población indígena. En contraste, en la microregión Norte, predomina la población mestiza y la agricultura de riego (principalmente monocultivos de caña), así como la ganadería intensiva y las zonas de pastizal en los municipios de Ébano, San Vicente Tancuayalab, Tamuín y Tanquián. Por otro lado, en los municipios como El Naranjo, Tamasopo y Ciudad Valles existe presencia relevante de selva alta y bosques, así como de población indígena tének, náhuatl y xi'uy¹¹ (**ver tabla 1**).

Figura 1

Regiones de San Luis Potosí y Microregiones de la Huasteca

¹¹ De acuerdo a la clasificación etnolingüística del INALI, esta lengua pertenece a la región Centro-Huasteco-Golfo. Actualmente, el *xi'uy* se habla en el estado de San Luis Potosí, cuenta con dos variantes lingüísticas, el *xi'uy* (norte) que se habla principalmente en los municipios de Rayón y Tamasopo, la otra variante es el sur concentrada en el municipio de Santa María Acapulco. <https://www.inali.gob.mx/detalle/lengua-xioi-xiuy-pame>



Según el Consejo Estatal de Población, para 2020 en San Luis Potosí la población de 3 años y más que habla al menos una lengua indígena fue de 231 mil 213 personas, lo que corresponde al 8.6% del total de la población potosina. Las lenguas indígenas habladas en el estado son náhuatl (52%), tének (41%), xi'uy (5%), otomí (0.2%), mazahua, mixteco y zapoteco (0.1%). De los veinte municipios de la Huasteca potosina donde se ubica una presencia de población indígenas significativa, catorce de ellos representan más del 50% de la población total, todos con indicadores de vulnerabilidad, marginación, pobreza y pobreza extrema. La mayoría de los pueblos originarios que habita esta región viven en asentamientos dispersos, se dedican al cultivo de la tierra por temporal, al trabajo como jornaleros o al comercio en mercados y tianguis. Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2020), los municipios de la Huasteca potosina con mayor población náhuatl son los que comprenden la parte sur de la región, entre los que destacan Axtla de Terrazas, Coxcatlán, Matlapa, San Martín Chauticuautla, Tamazunchale, Tampacán y Xilitla con más del 90%, mientras que la población tének se distribuyen en mayor medida en los Municipios del centro y norte como Aquismón, Huehuetlán, San Antonio, Tamuín y Tanlajás con más del 92% de la población. Municipios como Tampamolón, Tancanhuitz y Ébano se componen de población tének y nahua casi de manera proporcional (**ver figura 2**). Por otro lado, la población xi'uy tiene mayor presencia en la parte norte, particularmente en municipios como Tamasopo (97%), El Naranjo (1.3%), Ciudad Valles (0.17%) y Tamuín (0.27%).

Tabla 1

Número de población étnica por municipio. Fuente: INEGI, Censo de Población y Vivienda 2020.

Región	Municipios	Número de población		
		Tének	Náhuatl	Xi'uy
Huasteca Norte	Ciudad Valles	11,555	1,602	23
	El Naranjo	143	77	3
	Ébano	1,911	1,335	0
	San Vicente Tancuayalab	3,398	185	0
	Tamasopo	101	75	5,054
	Tamuín	8,849	732	19
	Tanquián	2,346	398	3
Huasteca Centro	Aquismón	32,116	237	0
	Huehuetlán	7,894	617	0
	San Antonio	37,753	95	0
	Tampamolón	5,862	1,481	0
	Tancanhuitz	7,251	5,397	0
	Tanlajás	14,336	49	0
	Aquismón	32,116	237	0
Huasteca Sur	Axtla de Terrazas	241	16,300	0
	Coxcatlán	119	10,621	0
	Matlapa	53	15,610	0
	San Martín Chalchicuautla	27	7,597	0
	Tamazunchale	328	33,684	0
	Tampacán	60	4,891	0
	Xilitla	1,335	16,303	0

El patrimonio natural de la Huasteca potosina es producto de largos procesos geológicos. Durante el Cretácico y Jurásico Superior, hace 75 millones de años, en esta región se formó una plataforma de rocas sedimentarias plegadas, predominando las rocas calizas, arenisca y lutitas (Reyes et al., 2019, p. 34). Estas cualidades geológicas inciden en los suelos, ya que al ser de material calizo estos se vuelven incapaces de retener el agua en la superficie formando redes de canales subterráneos. Hidrográficamente esta región se sitúa entre grandes canales fluviales pertenecientes a la cuenca del Pánuco-Moctezuma el cual comprende el extremo norte del valle de México, la meseta de San Luis Potosí y la llanura de los valles de Tampico (Puig, 1991, p. 38). No es casual que desde tiempos

anteriores a la invasión europea las poblaciones étnicas desarrollaran centros político-administrativos a orillas de los principales afluentes. En los márgenes del río Tampaón, por ejemplo, fueron diversos los grupos culturales que se asentaron. Los tének constituyen uno de ellos, sitios como Tamtok, Tamohi, Tampacoy, Laguna del Mirador, Agua Nueva y Lomas del Real forman parte relevante del sistema hidráulico que da vida al Pánuco lo que constituyó un desarrollo biocultural en la zona (González et al., 2011; Macías, 2022; Hernández, 2024).

Las características geomorfológicas, montañas y valles, de la Sierra Madre Oriental posibilitan el desarrollo de una importante riqueza biológica. Los recursos naturales de esta región confieren una gran diversidad biológica, según la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2015), se reportan al menos seis tipos de vegetación como bosques de encino, mesófilo de montaña, selva alta y mediana subperennifolia, selva baja caducifolia, vegetación riparia, pastizal inducido y natural, entre otros mesoclimas. En un estudio realizado en 2019 se encontró que en la zona se albergan 494 especies vegetales de plantas vasculares, 47 especies de orquídeas, 109 especies de mamíferos, 125 especies de aves, alrededor de 500 especies de lepidópteros o mariposas, 13 géneros de hormigas, hasta 205 especies y 39 familias de arañas araneomorfas, 25 especies, 18 géneros y nueve familias de anfibios, de las cuales dos especies son endémicas (Reyes et al., 2019).

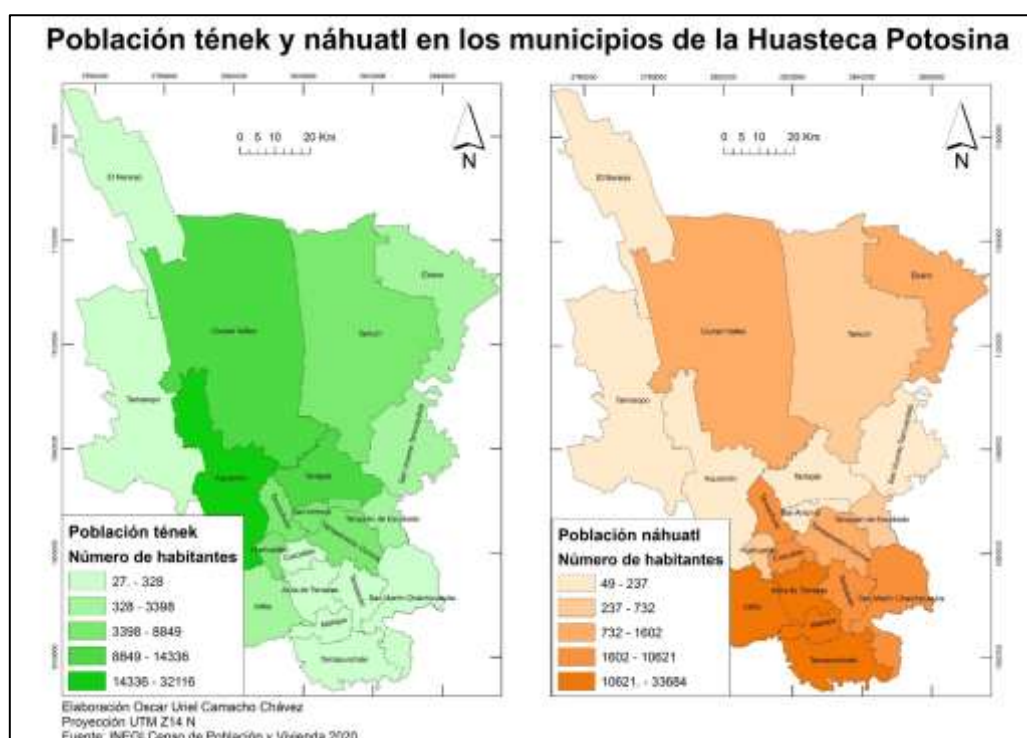
Desde mediados del Siglo XX esta vasta región biocultural del estado potosino se ha visto trastocada, producto de la puesta en marcha de megaproyectos que provocaron toda una transformación espacial además de una serie de conflictos territoriales entre la población y las instancias gubernamentales (Jabardo, 2016). A finales de la década de los setentas tiene lugar el proyecto hidráulico Pujal-Coy (1978). Proyecto que consistía en irrigar una superficie de 200,000 hectáreas a través del bombeo de agua del río Tampaón en los municipios de Ébano y Tamuín, sin embargo, este quedó inconcluso (Reyes et al., 2006, p. 151). En el 2017 se pone en marcha el acueducto Monterrey VI (Saldívar, 2019); una obra de captación y bombeo de agua que inician en el estado de San Luis Potosí, particularmente en el municipio de Ébano, cruzando los estados de Veracruz y Tamaulipas hasta llegar a Linares, Nuevo León para ser distribuida a toda el Área Metropolitana de Monterrey. Teniendo como presupuesto 18,283 millones de pesos (80% de la iniciativa privada) para recorrer más de 500 km y abastecer, por un periodo de al menos 50 años, a la ciudad de Monterrey (CONAGUA, 2017).

Además de los conflictos surgidos alrededor de los recursos hídricos y territoriales en la región, otros prototipos de proyectos estudiaron la tenencia de la tierra ejecutando el mapeo de los recursos genéticos de interés estratégico para Estados Unidos con fines militares, geopolíticos y de beneficio corporativo (Vélez, 2011; López, 2014). Actualmente la Huasteca potosina, según el Programa Regional de la Zona Huasteca (2022-2027), es vista como un espacio para la consolidación de proyectos detonantes de desarrollo por sus recursos y ubicación estratégica, por la conexión y cercanía con puertos de estados como Tamaulipas y Veracruz, y las fronteras de los estados de Hidalgo y Querétaro. Administrativamente para el estado potosino la región Huasteca constituye un área total de

11,179.87 km² que representan el 18.3% de la superficie territorial total, con una densidad de población de 64 personas por km² siendo la segunda región más poblada del estado (SEDESORE, 2022).

Figura 2

Mapa de distribución de la población tének y náhuatl en la Huasteca potosina. Fuente: INEGI Censo de Población y Vivienda 2020.



El patrimonio bio-cultural en la Huasteca potosina

Hablar de patrimonio, es referirse a todas aquellas cosas, objetos, tecnología e infraestructura en la que se ve plasmada la actividad social y cultural. Sin embargo, este término tiene una segunda acepción: lo inmaterial. Entendido como aquellos acervos heredados por generaciones (pasadas y contemporáneas) como las tradiciones, lengua, arte, usos sociales, rituales, fiestas, conocimientos, prácticas, saberes y técnicas (UNESCO, 2011). Estos elementos materiales e inmateriales se desarrollan alrededor de la vida económica y social de los diversos pueblos del mundo. Particularmente en los pueblos originarios de México el patrimonio se sujeta a un sistema de valores colectivo y recíproco entre lo tangible e intangible, entre lo cultural y lo natural, lo humano y lo no-humano.¹² Por ejemplo, las comunidades tének y nahual de la Huasteca potosina nos muestran que todo en este

¹² Humanos y no-humanos son expresiones tomadas de Bruno Latour, (1991) que describen las relaciones de correspondencia entre *sujetos* y *objetos* dentro de una misma esfera ontológica. Los no-humanos pueden ser elementos del mundo tangible como plantas, animales, semillas u objetos, pero también intangibles como seres divinos, míticos o espíritus.

mundo tiene vida y alma, es decir, se trata de sociedades repletas de subjetividades a partir de las cuales se establecen relaciones de comunicación e intercambio (Pitarch, 1996; Hernández, 2004; Hernández, 2004; Aguirre, 2011; Hernández, 2013; Caraveo, 2015; Gómez, 2017; Gallardo, 2019; Lara, 2022; Camacho, 2023).

Parte del territorio potosino en el que se desarrollan los grupos étnicos tének y nahua, se encuentra dentro de lo que Eckart Boege (2008) ha identificado como la Región Biocultural Prioritaria para la Conservación y el Desarrollo “Huastecas-Sierra Norte de Puebla”.¹³ Este ejercicio de regionalización contiene dos aspectos esenciales: lo biológico y lo cultural. De modo que las regiones bioculturales son entendidas como “aquellas en donde los territorios de los pueblos indígenas coinciden con los centros de origen y diversificación tanto de a) biodiversidad, como de la b) diversidad domesticada” (Ídem., 2008, p. 139). Para entender este concepto valdría también acercarnos al término de “patrimonio biocultural”. De igual forma, siguiendo a Boege (2008), el concepto de patrimonio biocultural descansa sobre el ejercicio de territorialidad, particularmente de los pueblos indígenas, a través de las prácticas productivas, los conocimientos tradicionales o locales y un sistema de creencias culturalmente definido y sujeto al devenir histórico:

Es decir, para desarrollar el concepto de patrimonio biocultural de los pueblos indígenas es imprescindible clarificar la dimensión de la territorialidad de los pueblos indígenas en un espacio determinado. Así, desglosamos el patrimonio biocultural de los pueblos indígenas en los siguientes componentes: recursos naturales bióticos intervenidos en distintos gradientes de intensidad por el manejo diferenciado y el uso de los recursos naturales según patrones culturales, los agroecosistemas tradicionales, la diversidad biológica domesticada con sus respectivos recursos fitogenéticos desarrollados y/o adaptados localmente (Ídem., 2008, p. 1).

En la región biocultural de la Huasteca potosina se generan diversos paisajes, desde la vegetación propia de la zona hasta los suelos antrópicos de agroecosistemas tradicionales-itinerantes e industriales-intensivos. En espacios tradicionales como las parcelas, los huertos y solares confluyen conocimientos y memorias que se han transmitido por generaciones entre los pueblos tének y nahua de la Huasteca. Estos espacios además de integrar saberes y experiencias de valor patrimonial que definen la identidad étnica, son una gran fuente de almacenamiento y reproducción de recursos como semillas, árboles, animales, plantas medicinales, hongos, entre otros.

La milpa —del náhuatl *milpan*: *milli* “parcela sembrada” y *pan* “encima de”, “en la espalda de”— o para los tének *aleláb* (tierra o terreno sembrado de maíz), así como los solares y el monte son lugares de la tierra y forman parte de uno de los tres planos del universo: cielo-tierra-inframundo. La asociación de

¹³Esta categoría espacial responde a una propuesta del autor para definir veintidós regiones bioculturales a lo largo del país. Particularmente la propuesta para las regiones bioculturales Huastecas-Sierra Norte de Puebla, se integra por los pueblos indígenas tének (huasteco), hñüühü (otomí), masewal (nahua), tachiü iin (totonaca) e ihichiwiin (tepehua) de los estados de Hidalgo, Puebla, San Luis Potosí y Veracruz (Boege, 2024).

cultivos de maíz, frijol, calabaza y chile en un espacio determinado —por lo general de tipo cuadrangular—, constituye el sistema agrícola predominante en la región. A través de la técnica de roza, tumba y quema los campesinos tének y nahua obtienen de una a dos cosechas al año, después, por ocho o diez años se aplica descanso de la tierra en el que una serie de plantas, animales y hongos tienen cabida para aprovechar los intervalos de reposo.

Según las personas de la comunidad tének de Mantetzulel, municipio de Aquismón, este plano terrestre se piensa con la forma similar a la de un caimán, además posee cualidades femeninas y exige ofrendas, se le nombró *Bokom Mím Tsabál* (Camacho, 2021).¹⁴

La tierra se dice Madre Tierra, en tének nosotros decimos Bokom Mím Tsabál porque es grande, todo lo que vez es la Madre Tierra. El cerro, la cueva, la tierra, todo es ella. Es como un cocodrilo por eso se dice Bokom Mímláb porque es una señora fuerte ¿por qué se dice así? Y ¿quién le nombró? Nosotros así conocemos como tének porque nos contó el abuelo y abuela que así lo creó Mámláb, su espalda como montañas por eso es de piel gruesa porque ella se aguanta todo. Nosotros ensuciamos, cuando vamos a sembrar le clavamos la estaca y ahora que se ocupa la maquina se arrastra y se daña. Pero de todos modos se siembra y da producto. Da que comer como el maíz, el mango, la naranja, la calabaza, de todo nos da la Madre Tierra. Nosotros le pedimos si estamos en una enfermedad, le pedimos a Bokom Mím para que nos libere, si tenemos mucha necesidad que no tenemos que comer pedimos a Bokom Mím para que haya que comer, si tenemos muchos enemigos que no nos quieren pedimos a Bokom Mím que los perdone y que se retire, por eso nosotros tenemos mucho respeto, hacemos ofrenda y pedimos permiso y perdón (notas de campo don Victoriano Aguilar, Mantetzulel, 2016).

La base alimentaria de tének y nahua, como de los pueblos mesoamericanos, está sustentada por el maíz (*idhídh* o *sintli*) por lo que se ha sido una planta con mucho valor simbólico y nutrimental. Entre los pueblos de la Huasteca potosina y veracruzana Lorenzo Ochoa y Gerardo Gutiérrez (1996, p. 132) encuentran el término *Cipactli* (náhuatl) y *Zipac* (tének) que está estrechamente relacionado con el alma o espíritu del maíz: “con este término se designa al *ehatal* del maíz, “*el alma del maíz*”, el *ts’itsiin* o “espíritu” del maíz y a el *ichiich* o el embrión dentro de la semilla del maíz”. Curiosamente, la palabra tének *Dhipák* —espíritu o alma del maíz— tiene una segunda acepción que se puede traducir como pez espada. Según Ochoa y Gutiérrez (ídem., p. 133) este término también puede aludir al saurio hembra fertilizado por los dioses de la lluvia, el trueno y el relámpago.¹⁵ Distintos son los relatos de los

¹⁴ *Mím Tsabál* se puede traducir como “Madre Tierra”, mientras *Bokom* su traducción literal sería “hongo” o “moho”. De modo que la expresión *Bokom Mím Tsabál* hace referencia, desde un ejercicio metafórico, a la extensión de suelo que cubre todo el planeta; similar al proceso de reproducción de los hongos como el moho que aumenta de tamaño a medida que crece en frutas, troncos, hojas de plantas, excremento.

¹⁵ Dentro de la tradición nahua, en varios relatos cosmogónicos, se describe a “un gran pez semejante a un lagarto o caimán, *Cipactli* o *Tlatecuhtli*, era la Tierra y caminaba sobre el agua ya existente [...] Monstruo de la Tierra, quien flota sobre las Aguas Inceadas del Inframundo y cuyo cuerpo conforma tanto nuestro mundo como el cielo” (Arellano, 1995, p. 17).

pueblos de la Huasteca sobre el maíz, concebido como un niño o joven héroe —*Chicomexóchitl* para los nahuas, *Dhipák* para los tének— que llegó a la humanidad después de una serie de circunstancias fatídicas como el rechazo de su abuela y la muerte (Ochoa, 2000; Hernández, 2004; Sandstrom, 2010; Rosas, 2016).

La historia del maíz me la contó mi abuela. Dice que había una muchacha que iba a lavar a un arroyo, siempre iba en el día con su mamá, pero un día fue sola. Ese día hacía mucho calor y había un pájaro que traía una camisa roja de lumbre. Entonces dice que ese pájaro le escupió a la muchacha, desde mero arriba le cayó en la boca [...] La muchacha quedó embarazada, pero no sentía nada. Nomás un día nació un niño como maizal. Era Dhipák, que es el alma del maíz. Entonces, su abuela no lo quería, lo quemó, pero vio que salía más. Entonces lo cortó todos los elotes para desgranarlo, pero cada maicito era una cabeza del muchacho. Entonces los aventó al río. Por eso ahorita todos sabemos del maíz, porque también así llegó (notas de campo don Aurelio Hernández, Mantetzulel, 2016).

En un relato nahua, registrado por Anuschka van't Hooft, se dice que el joven Chicomexóchitl era muy travieso y juguetón. Actitudes que le disgustaban a su abuela, por lo que le enviaba a realizar tareas a lugares peligrosos esperando deshacerse de él, pero:

Cuando nada ni nadie puede vencer a Chikomexochitl, la abuela toma la iniciativa de matarlo ella misma. Un día, dice el relato, ella le “quiebra el pescuezo” y se deshace del muchacho. La anciana regresa cada rato al lugar donde había enterrado el cuerpo de su nieto para espíarlo y ver qué pasaba. Después de unas semanas, ella vio que había brotado una plantita de maíz, que crecía más y más, hasta que espigó y se dieron grandes elotes. Hasta tres elotes dicen que tenía la mata de maíz. Este maíz era Chikomexochitl (van't Hooft, 2008: 54).

Además de contener una calidad poética sobre el origen y nacimiento del maíz, estos relatos míticos son manifiestos de la ideología de los pueblos tének y nahua de la Huasteca potosina que explican y dan sentido a los procesos naturales como la reproducción del maíz, la vida y la muerte. También nos enseñan a respetar y socializar los entornos y conocer las técnicas tradicionales de cultivo, de modo que conforman un recurso de enseñanza-aprendizaje sobre “el conocimiento y manejo del clima, el cuidado de las plantas, la recepción de la cosecha, el almacenamiento del grano y, finalmente, sus formas de consumo” (Gómez, 2017: 450).

La práctica del culto a la fertilidad es una característica extendida entre los pueblos tének y nahua. Aunque se encuentra más asociada a los primeros por las prácticas de culto fálico, la sexualidad femenina en el arte escultórico y por el empleo del algodón (Ochoa, 1991; Aguilar, 2001; Johansson, 2006; Familiar, 2013; Rocha, 2018; Mastetta, 2023). Simbólicamente el algodón ha estado asociado a la fertilidad, la sexualidad y lo femenino, además “con una importante región cultivadora de algodón y en donde existieron hábiles artesanos que trabajaron esta fibra en la época prehispánica: la Huasteca”

(Ricón, 2016, p. 27). El dominio de los mexicas en la Huasteca, a partir de la conquista de Axayácatl, en el siglo XV, contribuyó a la incorporación de diversas mercancías como las flores, el pulque, el maíz y el algodón que tributaban los pueblos de esta región. Además de estos productos, diferentes deidades —así como diversas expresiones lingüísticas— fueron asimiladas en la compleja conciencia mexica, entre las cuales se encontraba Ixcuina (Gajewska, 2015, p. 94). El término Ixcuina, según Patrick Johansson (2012, p. 110), es un término con origen etimológico tének en el que se puede encontrar las connotaciones del algodón: “la palabra teenek para algodón es *cuynim*, mientras que el radical común a las muchas variantes para “mujer” o “esposa” es *ix*”. Aunque otra interpretación de este término es como “flechadora”. Según Ricardo Ricón (2016, p. 31) esta forma de llamar a la diosa proviene “de la raíz *cuy*, de la cual derivan palabras tales como *cu[y] il* (*Kwi’il*) “flechador” o “arquero” y el verbo *cuynal* “flechar” o “apedrear”. Además, esta interpretación se apoya en el rito de fertilidad *tlacacaliliztli* o “sacrificio de hombres por flechamiento” llevado a Tula, procedente de la Huasteca. Vinculado a tales aspectos está el culto a la deidad que los mexicas nombraron Tlazoltéotl “una diosa joven, madre o abuela, y utiliza a menudo los instrumentos del hilado, el tejido y el algodón” (Aguilar, 2016, p. 57). Esta divinidad femenina —que se relaciona con la fecundación, las actividades agrícolas, las cosechas, el nacimiento de la humanidad, la inmundicia y la suciedad— “redimía “ecológicamente” [a] la muerte, a la vez que, mediante un procesamiento digestivo de lo que comía, regeneraba la vida” (Johansson, ídem., p. 110).

Dentro de esta relación dialéctica (de vida para la muerte y muerte para la vida) la síntesis se expresa en un espacio lleno de símbolos y signos contruidos por interacciones de humanos y no-humanos (plantas, animales y entidades anímicas) que en ella habitan. Entre los tének potosinos se cree que el monte (*alte*) antes de convertirse en parcela (*aleláb*), casa (*atáj*), comunidad (*kwenchal*) o pueblo (*bichow*), es decir, previo a pasar de un espacio poco intervenido por los humanos (*joltom*)¹⁶ a uno con mayor grado de intervención humana hay que realizar una serie de pleitesías tanto a Bokom Mím Tsabál (Madre Tierra) como a Muxi’, *el altísimo Trueno*, por las perturbaciones que se realicen en el espacio:

sabemos que Muxi’ es eternidad y lo tenemos que respetar mucho. Cuando viene y andamos trabajando en el monte, viene como una tempestad, no tenemos que hacer nada, hay que estar calmaditos, respetar a él y recibirlo, no enojarse, no platicarse, no hacer nada, déjalo de hacer todo hasta que pase la tempestad volvemos hacer las cosas porque él viene no nomás él, sino que llama cielo y tierra, viene a que se estén quietos y si uno no se enqueta le sucede algo malo. Por eso se dice Pulik Muxiláb el altísimo Trueno que choca con la tierra y el mar [...] por decir yo le pido perdón a la Madre Tierra por [lo] que voy hacer yo aquí con mi herramienta,

¹⁶ Según Rivera Lozayo (2013, p. 40)) este término se refiere a los lugares donde existe muy poca actividad humana, se consideran lugares de la nada. Por ejemplo, al decir *joltom k’wajilom* se hace referencia aquellas personas que viven alejadas del resto en un espacio contiguo al monte, que, por lo regular se cree son portadores de un *don* como los “nahuales” (*timél*) o “brujos” (*dhiman*) (notas de campo Tamaletom, Tancanhuitz, 2024).

que la voy a lastimar, pero también le pido que me cuide, que me libere de toda maldad (notas de campo, don Victoriano, Mantetzulel 2017).

Muxi', es la deidad tének que se describe como un anciano y tiene su morada en el fondo del mar, posee un bastón y su asiento está tejido de serpientes (notas de campo, Mantetzulel, 2017). Es el creador del universo y de todo lo que en él habita: animales, plantas, árboles, personas, ríos, montañas, nubes, vientos, lluvia, tierra. Tiene carácter ambivalente, por un lado, es "el dios benevolente que tiene la voluntad de liberar el líquido vital, además de extraer toda materia divina. Y, por el otro, el ser capaz de destruir todo a su paso o de contener los fenómenos celestes que generan vida" (Camacho, 2023, p. 37).

Durante una de las estancias de trabajo de campo en la comunidad de Mantetzulel (2018), se pudo registrar en una conversación un ejemplo de la capacidad liberadora de Muxi' al sacar el maíz de una piedra para regalarlo a los seres humanos:

"[...] para que hubiera maíz fue mucha tarea. Los antepasados hicieron una ofrenda para sacarlo porque estaba en una piedra, le pidieron a Muxi' que con una tronada lo saque. Cuando aventó el rayo quebró la piedra y salió el maíz, pero salió quemado. Uno blanco, amarillo, otro rojo, hasta negro, así como con la gente [...]" (notas de campo don Abelino Hernández, Mantetzulel, 2018).

El maíz, que nace de la tierra, provee de fuerza, vida y recursos económicos. Entre los pueblos de la Huasteca potosina existe una alta valorización por el trabajo de la tierra y la experiencia misma del cuerpo frente a las actividades que se desempeñan en el campo. En términos tének, trabajar la tierra significa una persona vigorosa, con salud, capaz de enseñar, aprender y dialogar con otros, participar en actividades y rituales públicos o privados. Entre los nahuas de la Huasteca, el maíz es un parámetro de la salud y está en función de las tortillas que se consumen: "La concepción que se tiene es que este alimento es el componente principal de la sangre, es decir, que las tortillas o productos derivados del maíz se transforman en sangre, por lo que disminuir su consumo tiene repercusiones" (Hernández, 2013: 134).

Al sembrar maíz, pero también en cualquier otro trabajo que implique un daño hacia la tierra, siempre se hace respetando lo mayormente posible a esta entidad sagrada. De aquí que esta visión y orden del mundo conlleve cada ciclo agrícola a una serie de fiestas, solicitudes y agradecimientos (**ver figura 3**). Esto quiere decir que, de no llevarse a cabo estos ciclos se afectaría "el equilibrio entre las relaciones que ancestralmente la comunidad mantiene con los seres que proveen al territorio, relaciones que dan respuestas a las necesidades colectivas y estructuran el orden social en las comunidades" (Rodríguez y García, 2022, p. 85).

Gran parte de las festividades y los rituales en la Huasteca potosina están relacionados con un calendario agrícola: las peticiones de lluvia, la limpieza del terreno, la siembra, la cosecha, el

almacenaje, etc. Por ejemplo, para los tének de Mantetzulel del municipio de Aquismón, por lo general, los meses de enero y febrero son de llovizna y frío; en estos meses no se realiza ningún trabajo agrícola, solo la recolección de leña en los terrenos. En marzo y abril, se comienzan los trabajos de limpieza de los terrenos y se festeja la Semana Santa. En el mes de mayo, el día 15 (San Isidro Labrador), se marca el tiempo de lluvias con el murmullo que produce Muxi' desde el mar, se realiza ritual de petición de lluvias e inician los trabajos de siembra que se pueden extender hasta octubre; se preparan ofrendas como *bolím*,¹⁷ pan, café, aguardiente y copal. Los meses de junio, julio y agosto son los más activos en cuanto a lluvia. En septiembre, el día 30, se celebra la fiesta en honor a San Jerónimo, se realiza ritual para la lluvia, alejar plagas y enfermedades; este tiempo marca la posibilidad de una segunda siembra si hay lluvias o la tierra sigue húmeda. En octubre es el tiempo de lo *jilotes*: maíz tierno. El mes de noviembre, tiempo de los muertos y los tamales, marca el fin del ciclo agrícola y las lluvias. En diciembre, el día 24, se realiza el último ritual para agradecer a Muxi' y Mím Tsabál por lo obtenido en el año, las ofrendas son *bolím*, tamales, atole, café, pan, aguardiente, copal (*jom*) y algunas mazorcas (*way'*); también se seleccionan los mejores granos de maíz (*idhith*) que serán sembrados en el próximo año (notas de campo, Mantetzulel, 2018).

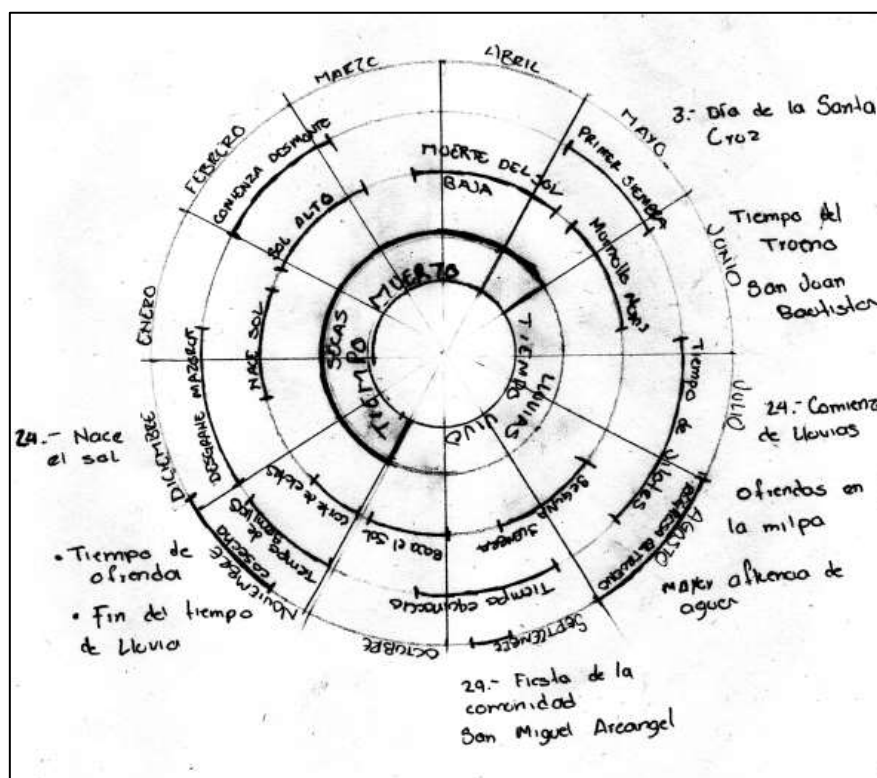
En la comunidad nahua de Coatzontitla del municipio de Axtla de Terrazas, el ritual de la siembra del maíz comienza con la bendición y la ofrenda para las semillas, además de la preparación la tierra pidiendo permiso a los dueños del monte por la tumba de árboles para la reparación del terreno y para que durante los trabajos en este no surja ningún accidente:

Un día antes se prende una vela e incienso en el altar doméstico y sahúman los instrumentos de trabajo, al igual que las semillas que se sembrarán. Una vez llegado el día de comenzar la siembra, se llevan velas, copal, aguardiente y un patlache para pedir permiso nuevamente; se derrama aguardiente hacia los cuatro puntos cardinales y algunos entierran un corazón de pollo por cada rumbo. Para el día de la cosecha, cuando se hace en grande el festejo para recogerla, se lleva a cabo la ceremonia en la milpa con los mismos elementos que en al iniciar la siembra y se hace la figura de un niño con hojas de maíz, el *tzinconet'* (Mayorga, 2015, p. 15).

Figura 3

Calendario agrícola en Mantetzulel (notas de campo; Mantetzulel, 2016).

¹⁷ Un *bolím* es un tamal grande hecho de masa a base de maíz, chile rojo y especias. También se le añade carne de pollo o puerco y es cocido al vapor. Es un platillo ceremonial ya que solamente se acostumbra en los eventos especiales (Fernández et al., 2013).



A pesar del cambio climático y las pocas lluvias en los últimos años, la agricultura de temporal en la Huasteca potosina continúa siendo desarrollada por las familias bajo el sistema de roza, tumba y quema. Sistema agrícola que ha estado mal asociado como una de las causas de deforestación en la región, por lo general este sistema da hasta dos cosechas al año: la primera de mayo a junio, la segunda de agosto a septiembre, incluso prolongándose hasta el mes de octubre. El paisaje agrícola en esta región consiste en una serie de parcelas “en el ciclo de milpa (maíz, frijol, calabaza, ajonjolí, jícama, camotes, yuca, plátanos y más), tierras en descanso, cultivos de caña de azúcar, cítricos, bosques de bajo manejo” (Rivera, 2013, p. 89). Siguiendo a Nuria Vargas (2013, p. 101), a través de un censo que realizó para reconocer los recursos con los que cuenta la comunidad de Pokchich, en el municipio de San Antonio, registró 234 especies en diversos agroecosistemas como la milpa (*ém lom*), el cañaveral (*pakablom*), el traspatio (*k’álumlab*) y los bosques de manejo (*te’lom*). En los cuales se distribuyen 110 especies comestibles, 7 para la construcción, 13 de ornato, 50 medicinales, 18 maderables, 15 de alimento de ganado, 2 de linderos, 12 para la elaboración de artesanías y 7 especias.

Janis Alcorn, en 1981 (citado en Hernández et al., 2016, p. 77), utiliza el término *te’lom* para referirse a la parte forestal del sistema agrícola reconocido por los tének, que incluye diversos tipos de hongos, bambúes, palmas, arbustos y árboles frutales, maderables, medicinales y para la construcción. La traducción literal de esta palabra (*te’lom*) sería “montón o conjunto de árboles” y se refiere a un área de selva con cierta intervención humana. Alcorn define al *te’lom* como:

una estructura forestal permanente, que parece un bosque no perturbado conformado por especies nativas de bosques primarios y secundarios así como especies introducidas, dispersadas por humanos, aves, murciélagos y viento; se caracteriza por una gran diversidad de especies en los diferentes estratos de vegetación y es manejado de una forma que minimiza la perturbación intensiva de las comunidades naturales; este manejo es realizado por todos los miembros de la familia, asimismo hay un entendimiento y manipulación de la sucesión de la vegetación. El sistema tiene las siguientes ventajas: bajos requerimientos de labor, incremento de especies útiles a través del tiempo, producción de ingresos monetarios para la adquisición de objetos manufacturados, producción de bienes directamente útiles en la subsistencia de la casa y distribución de los riesgos productivos con la diversidad del sistema (citado en Rivera, 2013, p. 228).

El *te'om* forma parte de un amplio sistema agroforestal del que los tének tienen conciencia, es decir, una estructura de relaciones, intercambios y reproducción de diferentes especies según el contexto físico, ecológico y económico. Los cambios de usos de suelo y la deforestación son procesos que han estado presentes desde los primeros pueblos hasta nuestros días. Sin embargo, varía el grado de impacto según la sociedad. No es el mismo el uso y conversión de energía de un metabolismo industrial, pensado para elevar la productividad de una zona, a uno tradicional-de-subsistencia que ve a los bienes naturales como flujos e interacciones de elementos ecológicos, económicos y culturales que forman parte de un mismo sistema de intercambio y correlatividad. Por ejemplo, en la comunidad tének de Pokchich, donde cada familia realiza la milpa dos veces al año, los flujos energéticos y de materiales no se realizan con los rendimientos máximos posibles, según los cálculos realizados por Nuria Vargas:

Considerando exclusivamente la producción actual del maíz, cultivo fundamental para la obtención de calorías de la comunidad, en un año bueno, la producción total de maíz del ejido de Pokchich, en las 77,3 ha destinadas a este fin, asciende a 278 280 kg, si cada kg de maíz proporciona 3 555,55 kcal, entonces la producción total actual de calorías por año, en Pokchich, es de 989 440 000 kcal, dado que la población de Pokchich es de 400 habitantes, corresponde a cada uno un total de 2473600 kcal/año, es decir, un total de 6776,99 kcal/hab/día, si consideramos una merma de 20% (pérdida observada en el campo por manejo incorrecto postcosecha, plagas, etc.), entonces el valor final de calorías es de 5421,592 kcal/hab/día [...] en Pokchich una kilocaloría de trabajo humano, produce en condiciones normales, entre 20 y 40 kilocalorías, dado que la eficiencia energética, energía destinada al trabajo/energía consumida, es en el cuerpo humano de una quinta parte, entonces la eficiencia energética de la agricultura debe ser como mínimo de 5:1, para que la sociedad en cuestión sea sostenible y en Pokchich se encuentra entre 20:1 y 40:1. (Vargas, 2013, p. 112).

A este cálculo del *coeficiente económico* o de eficiencia de la energía habría que agregar múltiples productos como la calabaza, el ajonjolí, el camote y la leña que se obtienen cuando las tierras descansan, además de la recolección de plantas silvestres. En oposición se encuentran los metabolismos industriales que han provocado grandes cambios en el uso de suelo y la vegetación, así como en las dinámicas sociales de espacios determinados en la región, siendo el resultado de políticas rendidas a la lógica del capital. Por ejemplo con el proyecto Pujal-Coy (1978), que tenía como objetivos: “redistribuir la tierra, construir grandes obras civiles e hidráulicas, aumentar la producción y elevar la productividad [agrícola] de la zona y fomentar la inmigración de campesinos demandantes de tierras de otras regiones de México (SARH, 1980)” (citado en Reyes et al., 2006, p. 28). Lo que provocó “toda una serie de conflictos por la apropiación del territorio a manos de nuevos pobladores frente a las instancias de gobierno encargadas del reparto agrario” (Jabardo, 2016, p. 154). Al final, la deforestación para llevar a cabo dicho proyecto, que suponía el tránsito de la ganadería extensiva a la agricultura de riego, tuvo un enorme costo ambiental con el desmonte de más de 73,000 hectáreas de selva entre 1973 y 1985. Lo que significó una tasa anual de deforestación del 11% (ídem., 2006, p. 37).

Analizando datos de los años de 2001 y 2021, sobre la vegetación y el uso de suelo en la Huasteca potosina, se puede observar que la concentración y el crecimiento de la agricultura de riego, así como de los asentamientos urbanos, se siguen acumulando principalmente en los municipios de la microregión norte: Ciudad Valles, Ébano, San Vicente Tancuayalab, Tamuín y Tanquián. Posiblemente por influencia del intenso proceso de cambio de uso del suelo que implicó la creación del distrito de riego Pujal-Coy cuyo saldo fue haber reducido en más de un 75% la superficie cubierta por selva (Reyes et al., 2006). De acuerdo a los datos del INEGI (serie II y VII del continuo nacional), sobre la vegetación en la Huasteca potosina, podemos encontrar que para 2001 la selva representaba el 29% de la superficie terrestre, los pastizales el 38%, los bosques el 5%, el palmar 0.5%, la agricultura de temporal el 23%, de riego 4% y humedad 0.06%, mientras los asentamientos humanos el 0.5%, estos últimos ubicados principalmente en los municipios de Ciudad Valles, Ébano, San Vicente Tancuayalab, Tamuín y Tanquián. Por otra parte, para 2021 los asentamientos humanos representaron el 1.2% principalmente en las cabeceras municipales de la región. La selva representó el 30%, los pastizales 25%, los bosques 5%, la agricultura de temporal 28%, de riego 9%, mientras que el palmar 0.3% y la agricultura de humedad 0.07% (**ver tabla 2**). De esta información podemos destacar que, para 2021, todos los municipios de la región registraron un crecimiento en los asentamientos humanos. Así mismo, en municipios como Ciudad Valles y Tamuín se registró crecimiento de selva. Por otra parte, la agricultura de riego también registró un crecimiento considerable, sobre todo en los municipios de la parte norte de la región como Ébano, San Vicente Tancuayalab y Tamuín. En contraste la permanencia de la agricultura de temporal, de selvas, pastizales y bosques abarca la parte centro y sur de la región en la que se encuentran los municipios de Aquismón, Axtla de Terrazas, Coxcatlán, Huehuetlán, Matlapa, San Antonio, San Martín Chalchicuautla, Tamasopo, Tamazunchale, Tampacán, Tampamolón, Tancanhuitz, Tanlajás, Tanquián y Xilitla (**ver figura 4**).

Tabla 2

Cambio de uso de suelo y vegetación 2001 y 2021 en la Huasteca potosina en hectáreas y porcentaje.

Fuente: INEGI Uso de suelo y vegetación serie II yVII.

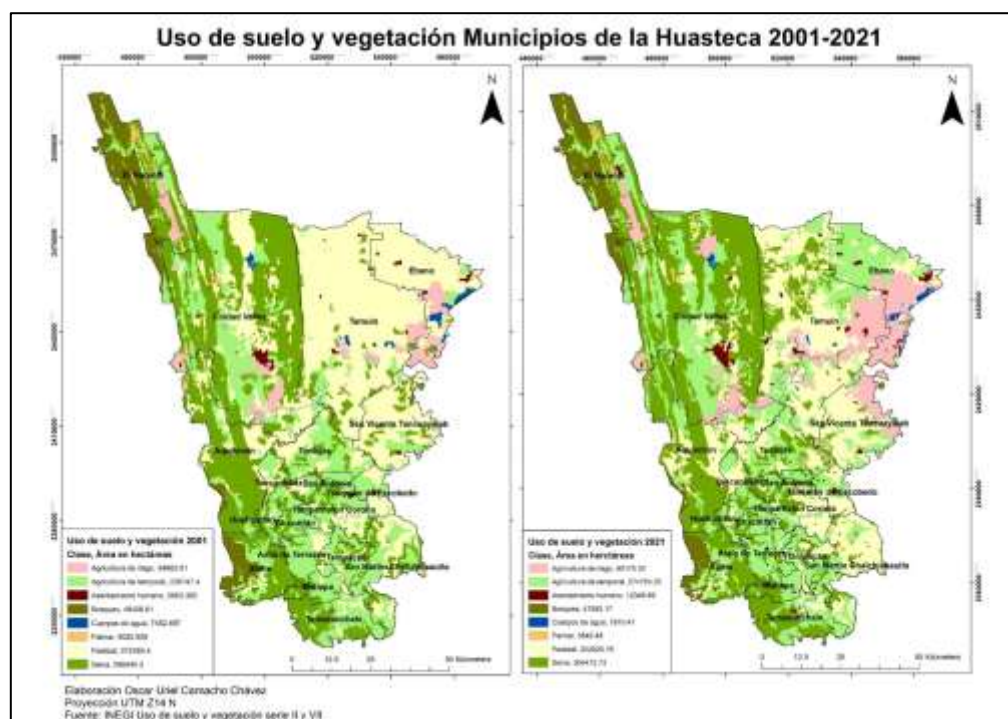
Ecosistema	2001 (hectáreas)	2001 (%)	2021 (hectáreas)	2021 (%)
Agricultura de riego	34962.81	4%	85175.02	9%
Agricultura de temporal	228747.44	23%	274753.25	28%
Agricultura de humedad	689.70	0.06%	715.86	0.07%
Asentamientos humanos	5663.30	0.5%	12346.69	1.2%
Bosques	49408.61	5%	47593.17	5%
Palmar	5020.55	0.5%	3842.48	0.3%
Pastizal	372383.36	38%	252829.76	25%
Selva	286945.23	29%	304472.73	30%

No es casual que en los municipios de la Huasteca centro y sur, todos ellos donde los pueblos tének y nahua históricamente han tenido presencia —incluso en algunos desde tiempos precolombinos— sean los espacios donde se conserve mayor biodiversidad. Del mismo modo que no es casual encontrar diversos actores, públicos o privados, que a través del uso y abuso del patrimonio indígena conformen los espacios y determinen los tiempos del ejercicio de los recursos, así como los valores patrimoniales indígenas del territorio mexicano (Aviña, 2013a, p. 221). De modo que esto vuelve crucial no solo la conservación de los bienes y recursos naturales, sino también, el reconocimiento y fortalecimiento de los valores históricos, éticos, estéticos, epistémicos, pedagógicos, identitarios y étnicos de los pueblos indígenas en general y de los de la Huasteca potosina en particular. En este sentido es importante destacar que, los valores que dan significado al patrimonio biocultural a través de los contenidos propios de los pueblos indígenas de la región reconocen formas diversas de nombrar, señalar y estar-en-el-mundo. Tal es el caso del agroecosistema basado en la asociación de cultivos (maíz-frijol-calabaza-chile) llamado *milpa* o *aleláb* que se vincula física y simbólicamente con el plano terrestre del universo, cuyas cualidades son femeninas y se piensa similar a un caimán capaz de engullir a los hombres y exigir ofrendas para reproducir la vida. A diferencia de la conciencia capitalista-occidental que ve en la

tierra, desde la óptica del libre mercado, una propiedad altamente redituable para extraerle toda la riqueza y desecharla. De modo que la tierra, pero también el agua, las plantas, los animales y las personas se convierten en activos financieros, es decir, signos en el mercado de valores en el que las partes contratantes no intercambian los elementos, sino sus derechos de uso en el momento y al precio acordados (Vázquez y Melissa, 2021, p. 6).

Figura 4

Uso de suelo y vegetación en la Huasteca potosina 2001 y 2021. Fuente INEGI.



Uno de los derechos inherentes en la vida de los pueblos indígenas es aquel que se refiere al territorio, así como al uso y disfrute de los recursos naturales bajo los propios sistemas organizativos comunitarios. Esto se refiere “al espacio geográfico que se encuentra bajo la influencia histórico-cultural y el control político de un pueblo, lo que permite tomar decisiones sobre el conjunto de los recursos naturales para definir cómo se usan y cómo se dispone de ellos” (Gómez, 2011, p. 134). En 1994 en México surge a la luz pública el Ejército Zapatista de Liberación Nacional (EZLN) dejando como importante referente jurídico la propuesta de Ley COCOPA, que entre sus mayores virtudes denuncia la enajenación indígena producto de la explotación de sus territorios, así como el reconocimiento de sus comunidades como sujetos de derecho. Sin embargo; a pesar de estos referentes en materia jurídica y otros avances en lo académico, en México no se ha llegado al grado de cambio real como diversos movimientos indígenas en Bolivia y Ecuador que, desde la década de los ochentas, han

alcanzado una discusión profunda acerca de lo que es el Estado-Nación y cómo es que pueden convivir diferentes herencias étnico-culturales dentro de un mismo marco jurídico (Ávila, 2011).

Recientemente, las comunidades indígenas de los municipios de Tancanhuitz, Tanlajás y San Antonio han cobrado conciencia de que al igual que otros pueblos originarios de México, como en los estados de Oaxaca, Chiapas y Michoacán, es posible administrar el territorio, la justicia y autogobernarse través de sus usos y costumbres (Canedo, 2008; Galindo y López, 2019; Zertuche, 2023). Para la asamblea que impulsa el autogobierno indígena en la región, el ejercicio de las comunidades nahuas del estado de Guerrero (de la Cruz y Caballero, 2024) resulta ser un hito sobre el camino que han emprendido, ya que a través de un tribunal federal se ha logrado que se avale y respete su derecho al autogobierno para nombrar sus autoridades por usos y costumbres.

Los pueblos indígenas de la Huasteca potosina están amparados bajo el Convenio 169 de la OIT (1991), la Declaración los Derechos de los Pueblos Indígenas por la ONU (2006) y la Ley de Consulta Indígena para el estado y municipios de San Luis Potosí (2010). Desde el 2017 la base social comunitaria de esta región, organizada alrededor de una Asamblea Indígena, busca defender el territorio y la administración de justicia a partir de los usos y costumbres. Incluso impugnado ante el Tribunal Electoral del Poder Judicial de la Federación (2024) en la Sala Regional Monterrey para que sus derechos como pueblos originarios sean atendidos, primordialmente aquellos sobre la elección de los representantes indígenas, el derecho a la consulta libre, previa e informada y la administración por usos y costumbres de su territorio y recursos bioculturales.

Conclusión

El territorio que abarca actualmente el norte de Veracruz, el noreste de Hidalgo y Querétaro, el sur de Tamaulipas y el sureste de San Luis Potosí, es decir parte de la región Huasteca, es una zona de origen y concentración de biodiversidad y de saberes. En ella se encuentran diversos pueblos indígenas —tének, totonacos, nahuas, tepehuas, otomís, xi'uy, entre otros—, todos en sus territorios con importantes recursos hídricos, forestales, energéticos, biológicos y epistémicos de interés estratégico geopolítico o corporativo.

Frente a este panorama, nos encontramos ante dos variables o formas de socialización de la naturaleza. Cada una de ella caracterizada por valores culturales y recursos materiales propios. Por un lado, las proyecciones de la modernidad capitalista que buscan fagocitar los recursos naturales y culturales extrayendo toda riqueza altamente redituable e insertándola dentro de un sistema de signos como el mercado bursátil, sobre el que se apoya la diversificación global de las fuentes de energía, materias primas y bienes manufacturados al mismo tiempo que posibilita el intercambio de las mercancías transformadas a través de la moneda (Descola, 2017, p. 22). Para el pensamiento capitalista-occidental todo se puede convertir en dinero, es decir, todo se puede cuantificar y ser fuente

considerable de ganancias financieras (Vélez, 2012; Banco Mundial, 2022). Incluso la cultura, la identidad y etnicidad son activos redituables para el capital en tanto “la apropiación del capital simbólico de las alteridades culturales para su reinterpretación *occidentalizante*. Esta es la cultura como capital simbólico altamente redituable en términos geopolíticos, y por ende, económicos” (Aviña, 2007, p. 332). Por otro lado, los modos de asociación o identificación de la naturaleza entre los pueblos tének y nahua de la Huasteca potosina que ven en la tierra, junto con todos sus componentes, un organismo vivo con el que se pueden entablar relaciones de comunicación, correspondencia y complicidad. De modo que lo que existe es una amplia gama de relaciones y acontecimientos vividos de manera subjetiva y coloquialmente donde no se concibe a la naturaleza separada de las personas, se trata más bien del nacimiento en conjunto de humanos y no-humanos. Por ejemplo, la concepción tének (*Bokom Mím Tsbál*) y nahua (*Tlazoltéotl*) de la Madre Tierra capaz de alimentarse de la inmundicia e incluso de nuestros cadáveres para genera vida y, que, además, constituye el espacio en el que habitamos los humanos; el espíritu-alma del maíz —*Chicomexóchitl* o *Dhipák*— que llegó a la humanidad, por sacrificio de su abuela, para proveer de fuerza y recursos económicos. Es decir, lo que hay es una serie de relaciones correlativas entre humanos y no-humanos que forman parte de una misma realidad, no existe clasificación alguna por jerarquías o dominio de lo humano sobre lo no-humano.

Las técnicas de uso y socialización de la naturaleza de los pueblos tének y nahua, es decir, los sistemas agroforestales como la milpa, el traspatio, los huertos y los bosques de manejo son ejemplos claros de la inexistente separación entre persona y naturaleza, así como de herramientas prácticas y cognitivas que podemos considerar, en tanto mecanismos gregarios, para construir un futuro más viable y sostenible. La asociación de cultivos de maíz, frijol, calabaza y chile en un espacio de tipo cuadrangular, también llamado *milpa* o *aleláb*, constituye el sistema agrícola predominante en la región. A través de la técnica de roza, tumba y quema los campesinos tének y nahua obtienen de una a dos cosechas al año, después, por tres o diez años se aplica descanso de la tierra en el que una serie de elementos (bióticos y abióticos) tienen cabida para aprovechar los intervalos de reposo. La base ideológica de dicho espacio está sustentada a partir del vasto sistema que nombra y señala a las cosas (cosmovisión) de acuerdo principios lógico-existenciales sobre la forma de pensar y actuar en el espacio-tiempo (cosmología) generando así valor nutrimental, patrimonial, económico y cultural (Warman, 1988). Alrededor de la milpa se configuran creencias, mitos y rituales, mientras el saber se pone en práctica con el trabajo de la tierra, las técnicas agrícolas, la observación y la socialización a edad temprana. A pesar de los cambios climáticos y de uso de suelo, derivados de la significación de la naturaleza en mercancías, así como de los hábitos alimenticios impulsados por la industrial de alimentos ultraprocesados, el maíz sigue siendo el principal alimento y sustento de los pueblos tének y nahua de la Huasteca potosina. Debido a su relevancia e importancia, esta planta articula además la vida ceremonial de los pueblos a través de ciertas festividades, rituales y celebraciones marcadas en el calendario agrícola: indicando el tiempo de lluvia, la limpieza del terreno, la siembra, la cosecha, el almacenaje, etc.

Otra estrategia que nos muestra los pueblos indígenas de la Huasteca potosina, particularmente los tének, contra la deforestación de la selva es el sistema agroforestal conocido como *te'lom*, que se refiere a una “selva humanizada” donde se aplica en menor grado manejo humano, en la que los campesinos pueden describir su composición por el tipo de plantas o de animales que en ella habitan. Esta práctica es la parte forestal del sistema agrícola reconocido como milpa —en tének *aleláb*—, que incluye diversos tipos de animales, plantas, árboles frutales, maderables, medicinales y para la construcción. El *te'lom* es sobre todo un “área que se alterna con la milpa bajo la práctica del sistema de roza, tumba y quema, lo que lo convierte en una extensa área potencialmente agrícola (Hernández et al., 2016, p. 90). Los huertos y los cultivos de traspatio también presentan alternativas contra la degradación de los suelos “pues son sistemas vegetales proyectados por la gente consecuencia de un entendimiento del entorno, necesidades, conocimientos, habilidades y acciones individuales, familiares y comunitarias” (Rivera, 2013, p. 252) De modo que los bosques de manejo (*te'lom*), los huertos familiares (*wal eléb*) y el traspatio (*k'álumlab*) son áreas importantes y claves para la agroforestación, pues representan estrategias para la protección y conservación de los recursos genéticos dadas las condiciones climatológicas, sanitarias y económicas que hoy en día enfrentamos en la región, en el país, en el mundo.

Estas formas de interacción y socialización de la naturaleza que se entretajan entre humanos y no-humanos está registrada en la memoria biocultural de los pueblos indígenas de la Huasteca. Dicha memoria se integra de tres facciones: *genética* que se conforma con las adaptaciones biológicas que el ser humano experimenta a través de un largo proceso; *lingüística*, ésta se puede conocer a través del saber que se expresa en el lenguaje, y *cognitiva*, que permite aprehender de esa experiencia histórica (Gómez et al., 2024, p. 74). La memoria de los pueblos se integra por la herencia de conocimientos colectivos que, a través la experiencia y la práctica, articulan un conjunto de saberes que le dan vida y sentido al mundo. De modo que todo individuo es capaz de organizar contenidos de acción de forma lógica, sin embargo, estos son vividos de manera subjetiva y coloquialmente, es decir, corresponden al sentido común y no a los presupuestos teóricos-científicos. Lo que existe, en los hechos y en la conciencia de los pueblos de la Huasteca potosina es la continuidad de flujos y contraflujos entre lo que occidente entiende como espacio humanizado —aquel donde se vive y se produce— y la selva, hipostasiada e inhóspita. De tal manera que para los pueblos que habitan la Huasteca potosina nunca ha existido, en el fondo, un ambiente *virgen* o *natural* constituido en su totalidad (como señala la epistemología occidental de corte idealista o materialista), sino, un profundo proceso de coexistencia y coevolución a través miles de años entre todos los seres del mundo.

Finalmente, a nuestro entender lo se requiere es el impulsar e integrar la visión, saberes y prácticas de los pueblos indígenas en general y de la Huasteca potosina en particular, en las acciones concretas de conservación y reproducción del patrimonio biocultural. Alcanzar esas acciones requiere de lograr una organización política intercultural de lo más adecuada, que permita el desarrollo autónomo de la

diversidad étnica que compone el país, sin “balcanizar” o desmembrar al Estado, pero tampoco, sin simplemente integrar y someter a los pueblos indígenas al mismo Estado-Nación, es algo complejo con muchas aristas sociales y culturales, pero, sobre todo, es un hecho político antes que un objeto teórico.

Referencias bibliográficas

- Agamben, G., Zizek, S., Nancy, J.-L., Berardi, F., López Petit, S., Butler, J., Badiou, A., Harvey, D., Han, B.-C., Zibechi, R., Galindo, M., Gabriel, M., Yañez González, G., Manrique, P., & Preciado, P. (2020). *Sopa de Wuhan. Pensamiento contemporáneo en tiempos de Pandemias*. ASPO (Aislamiento Social Preventivo y Obligatorio).
- Aguilar González, W. (2016). *Tocio-Tlazoltéotl: La diosa del tejido entre los mexicas* [Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000748920/3/0748920.pdf>
- Aguilar Hernández, Y. A. (2001). *Una escultura huasteca llamada el adolescente: Iconografía e iconología* [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Aguirre Mendoza, I. (2011). *El poder de los seres Organización social y jerarquía en el cosmos de los teenek de Tamapatz, San Luis Potosí*. El Colegio de San Luis.
- Aguirre Mendoza, I. (2020). La teoría de la fuerza entre los teenek de San Luis Potosí. En P. Gallardo Arias (Ed.), *Cuerpo y persona: Aportes antropológicos en México, El Salvador y Venezuela* (pp. 185–206). Instituto Nacional de Antropología e Historia. http://mediateca.inah.gob.mx/islandora_74/islandora/object/libro%3A764
- Arellano Hernández, A. (1995). El monstruo de la Tierra: Una revisión. En C. Varela Torrecilla, J. L. Bonoro Villarejo, & M. Y. Fernández Marquín (Eds.), *Religión y sociedad en el área maya* (pp. 15–28). Sociedad Española de Estudios Mayas. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2775185>
- Ariel de Vidas, A. (2009). *Huastecos a pesar de todo. Breve historia del origen de las comunidades teenek (huastecas) de Tantoyuca, norte de Veracruz*. Centro de Estudios Mexicanos y Centroamericanos, CONACULTA.
- Ávila Romero, A. (2011). *Buen Vivir—Sumak Kawsay—Lekil Kuxleja* (pp. 1–3). Universidad Intercultural de Chiapas. <https://www.unich.edu.mx/wp-content/uploads/2013/09/Art.-Buen-Vivir.pdf>
- Aviña Cerecer, G. (1999). El complejo místico maya como mecanismo cognitivo y simbólico. *Ludus Vitalis, Revista de filosofía de la vida*, 7(12), 87–120.
- Aviña Cerecer, G. (2007). Hacia una antropología del nosotros. Ejercicios de transculturalidad Latinoamericana. *Thémata: Revista de filosofía*, 39, 331–338.
- Aviña Cerecer, G. (2010). *Rayo: Política y naturaleza entre los mayas*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Aviña Cerecer, G. (2013a). El patrimonio natural y cultural de los pueblos. En A. Cruz-Manjarrez (Ed.), *Multiculturalismo y minorías étnicas en las Américas* (pp. 211–228). Universidad de Colima.

- Aviña Cerecer, G. (2013b). Frontera Mesoamérica—Gran chichimeca: Más allá de determinismos físicos e ideológicos. En R. Pérez-Taylor, I. Zamora Sáenz, & C. González Herrera (Eds.), *Antropología del desierto: Etnicidad e identidad*. UNAM, Instituto de Investigaciones Antropológicas.
- Aviña Cerecer, G. (2022). Antropología del futuro: Posapocalipsis e inmanencia. *Contenido. Cultura y Ciencias Sociales*, 11, 69–92.
- Aviña Cerecer, G. (2023). *Dialécticas del Imperio. Inmanencia, violencia, educación, migración y decolonialidad*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ciencias Sociales y Humanidades.
- Aviña Cerecer, G., & López Serna, F. (2021). Del homicidio de los defensores ambientales y el Acuerdo Internacional de Escazú. *Themis. Órgano de divulgación jurídica*, 13, 32–36.
- Aviña Cerecer, G., & Wiesheu, W. (2009). *Construyendo cosmologías: Conciencia y práctica*. CONACULTA-ENAH-INAH.
- Banco Mundial. (2022). *El agua en la agricultura*. World Bank. <https://www.bancomundial.org/es/topic/climate-resilient-irrigation>
- Baudrillard, J. (1969). *El sistema de los objetos*. Siglo XXI.
- Boege, E. (2008). *El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México. Hacia la conservación in situ de la biodiversidad y agrobiodiversidad en los territorios indígenas*. Instituto Nacional de Antropología e Historia, Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas. https://patrimoniobiocultural.com/archivos/publicaciones/libros/El_patrimonio_biocultural.pdf
- Boege, E. (2024). *Etnografía del patrimonio biocultural de las regiones y territorios indígenas de México. Volumen IV. Regiones bioculturales del Golfo de México*. Secretaría de Cultura, INAH. <https://www.aacademica.org/eckart.boege/52.pdf>
- Bourdieu, P. (2007). *El sentido práctico*. Siglo XXI.
- Broda, J. (1991). Cosmovisión y observación de la naturaleza: El ejemplo del culto de los cerros. En J. Broda, S. Iwaniszewski, & L. Maupomé (Eds.), *Arqueoastronomía y Etnoastronomía en Mesoamérica* (pp. 461–500). Instituto de Investigaciones Históricas, UNAM.
- Camacho Chávez, O. U. (2021). *Cuatro rumbos y un centro: La estructura del cosmos y el cuerpo entre los Tének de Mantetzulel* [Tesis de licenciatura]. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Camacho Chávez, O. U. (2023). Señales y temporal: Apuntes sobre la meteorología desde la cosmovisión de los Tének de Mantetzulel. *Antrópica. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 9(17), 19–42. <https://doi.org/10.32776/arcsh.v9i17.388>
- Canedo Vásquez, G. (2008). Una conquista indígena. Reconocimiento de municipios por “usos y costumbres” en Oaxaca (México). En CLACSO (Ed.), *La economía política de la pobreza* (pp. 401–426). Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales. <https://biblioteca.clacso.edu.ar/clacso/clacso-crop/20100616043912/11Vasquez.pdf>

- Caraveo Tuñón, J. (2015). *Cosmovisión de la cultura prehispánica Huasteca: Vida-muerte-regeneración y culto a la fertilidad. Interpretación simbólica de un grupo de esculturas huastecas* [Tesis de licenciatura]. Escuela Nacional de Antropología e Historia.
- Carreras Llamas, E. (2023). *Producción cañera en la Huasteca Potosina y reorganización comunal: El papel de un Río* [Maestría, El Colegio de San Luis]. <https://colsan.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1013/1533/1/Producci%C3%B3n%20ca%C3%B1era%20en%20la%20Huasteca%20Potosina%20y%20reorganizaci%C3%B3n%20comunal%20el%20papel%20de%20un%20r%C3%ADo.pdf>
- CONAGUA. (2017). *Presas y acuerdos para abastecimiento de agua potable: Acueducto Monterrey VI* (pp. 1–6). CONAGUA, SEMARNAT. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/230764/Proyecto_Monterrey_VI.pdf
- Congreso del Estado de San Luis Potosí. (2010). *Ley de consulta indígena para el estado y municipios de San Luis Potosí* [Ley]. Instituto de Investigaciones Legislativas, Unidad de Informática Legislativa. <https://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Estatat/San%20Luis%20Potosi/wo56592.pdf>
- Consejo Estatal de Población. (2021). *Perfil sociodemográfico y socioeconómico de la población indígena en el Estado de San Luis Potosí*. Gobierno del Estado de San Luis Potosí. https://slp.gob.mx/coespo/Documentos%20compartidos/AaPoblaci%C3%B3nInd%C3%ADgena_COESPO_2021.pdf
- Corpi, S., & Sarno, T. (2023). Aguacates y tráfico de armas, la combinación criminal que asfixia a Michoacán. *El País*. <https://elpais.com/mexico/actualidad/2023-11-11/aguacates-y-trafico-de-armas-la-combinacion-criminal-que-asfixia-a-michoacan.html>
- de Haro López, I. (2023). *Avocados: Mexico's Green Gold. The U.S. Opioid Crisis and its Impact on Mexico's Drug Cartel Violence*. SSRN. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4366356>
- de la Cruz Díaz, E., & Caballero Cocteco, J. L. (2024). Derecho de elección de los pueblos originarios en el Estado de Guerrero. *Revista iberoamericana de Ciencias Sociales y Humanísticas*, 13(26), 41–66.
- Deleuze, G., & Guattari, F. (1985). *El Anti-Edipo*. Paidós.
- Descola, P. (1987). *La selva culta. Simbolismo y praxis en la ecología de los Achuar*. Instituto Francés de Estudios Amerindios.
- Descola, P. (2001). Construyendo naturalezas. Ecología simbólica y práctica social. En P. Descola & G. Pálsson (Eds.), *Naturaleza y sociedad. Perspectivas antropológicas* (pp. 101–123). Siglo XXI.
- Descola, P. (2017). ¿Humano, demasiado humano? *Desacatos. Revista de Ciencias Sociales*, 54, Article 54. <https://doi.org/10.29340/54.1737>
- Fagetti, A. (1996). *Cuerpo humano y naturaleza en la cosmovisión de un pueblo campesino* [Maestría]. Escuela Nacional de Antropología e Historia.

- Familiar, G. (2013). Las esculturas de anciano encorvados de la Huasteca prehispánica, ¿el dios Maam para los teenek de la actualidad? En Ana Bella Pérez Castro (Ed.), *La Huasteca: Concierto de saberes en homenaje a Lorenzo Ochoa* (pp. 61–82). UNAM, IIA, COLSAN.
- Fernández Acosta, N., Pérez Hernández, F., Fernández Acosta, J., Hernández Tinajero, J. L., Méndez Rosa, J. B., Esteban Martínez, Ma. C., Flores Aguilar, M., & Hernández Santiago, R. L. (Eds.). (2013). *Lejkixkáv ti tének ani ti láb káwintaláb. Diccionario en lenguas tének y español*. Dhuchum tsalap ti tének, A.C.
- Foucault, M. (1968). *Las palabras y las cosas. Una arqueología del saber*. Siglo XXI.
- Gajewska, M. (2015). Tlazolteotl, un ejemplo de la complejidad de las deidades mesoamericanas. *Ab Initio*, 11, 89–126.
- Galindo Albores, J. A., & López Méndez, L. (2019). Organización y procedimiento del sistema de justicia indígena en las comunidades de Chiapas. *REJIE Nueva época: Revista Jurídica de Investigación e Innovación Educativa*, 20, 89–110.
- Galindo Trejo, J. (1999). Alineación astronómica en la Huasteca. El caso de El Consuelo en Tamuín. *CIENCIAS*, 95, 66–71.
- Galinier, J. (1990). *La mitad del mundo. Cuerpo y cosmos en los rituales otomíes*. Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM.
- Gallardo Arias, P. (2019). Cuerpos habitados. Reflexiones sobre la corporalidad entre los otomíes orientales. *Alteridades*, 29(58), 61–72. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcsh/alteridades/2019v29n58/Gallardo>
- Gómez Martínez, A. (2017). El maíz en la cosmovisión y la ritualidad de la Huasteca. En G. Vargas Montero (Ed.), *Pensamiento antropológico y obra académica de Félix Báez-Jorge: Homenaje* (pp. 439–486). Universidad Veracruzana.
- Gómez Martínez, A., Macín Pérez, G., Cerros Chávez, J., & González Aguilar, C. D. (2024). El semillero viviente: Las milpas en el advenir indígena de la Huasteca. Pueblos indígenas: Tének (huasteco) y masewal (nahua). En Eckart Boege (Ed.), *Etnografía del patrimonio biocultural de las regiones y territorios indígenas de México. Vol. IV. Regiones bioculturales del Golfo de México* (pp. 65–178). Secretaría de Cultura, INAH.
- Gómez Rivera, M. (2011). En busca del sujeto perdido: Los pueblos indígenas bajo el signo de la privatización. En V. Chenaut, M. Gómez, H. Ortiz, & M. Sierra (Eds.), *Justicia y diversidad en América Latina. Pueblos indígenas ante la globalización* (pp. 129–152). Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social.
- González, J. E. V., Castilla, G. A. R., & Sánchez, C. S. (2011). Bioarqueología en la cuenca baja del río Pánuco. Estudio de restos óseos en Altamira, Tamaulipas. *Anales de Antropología*, 45, 51–78.
- Hammersley, M., & Atkinson, P. (1994). *Etnografía: Métodos de Investigación*. Paidós.
- Hernández Alvarado, J. (2007). *El espejo etéreo. Etnografía de la interrelación teenek sociedad-naturaleza* [Tesis de licenciatura]. Escuela Nacional de Antropología e Historia.

- Hernández Alvarado, J. B. H. (2004). Acerca de árboles, acerca de familias... La percepción teenek del medio ambiente. *Diario de Campo*, 72, Article 72.
- Hernández Cendejas, G., Ávalos Lozano, A., & Urquijo, P. (2016). El te'lom ¿una alternativa a la deforestación en La Huasteca? Análisis de un sistema agroforestal entre los teenek potosinos. En A. I. Moreno Calles, A. Casas, V. Toledo, & M. Vallejo Ramos (Eds.), *Etnoagroforestería en México* (pp. 71–91). Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, UNAM.
- Hernández Ferrer, M. (2004). Idhidi Kwitol: Niño maíz. Los niños en los rituales agrícolas de los teenek de la Huasteca potosina. En Johana Broda & Catharine Good Eshelman (Eds.), *Historia y vida ceremonial en las comunidades mesoamericanas: Los ritos agrícolas* (pp. 215–233). Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Hernández Martínez, V. (2013). Xiupajmatilistli tlen nauamej tlen uaxtekapaj tlali ipan mexkotlatokajyotl = Etnobotánica médica de los nauas de la Huasteca, México [Ph.D. Thesis, Universitat de Barcelona]. En *TDX (Tesis Doctorals en Xarxa)*. <https://www.tdx.cat/handle/10803/131995>
- Jabardo, V. (2016). La lucha por la tierra en la Huasteca Potosina (México): De peones a patronos. *Investigaciones geográficas*, 65, 153–168.
- Jabardo, V., & Padilla, L. (2016). La escasez de agua en la Huasteca Potosina (México): Conflictos locales. *Revista Universitaria de Geografía*, 25(2), 133–165.
- Johansson Keraudren, P. (2006). Erotismo y sexualidad entre los huastecos. *Arqueología mexicana*, 14(79), 58–64.
- Johansson Keraudren, P. (2012). La imagen del huasteco en el espejo de la cultura náhuatl prehispánica. *Estudios de cultura náhuatl*, 44, 65–133.
- Kirchhoff, P. (2000). Mesoamerica (Paul Kirchhoff). *Dimensión Antropológica*, 19, 15–32.
- Kroefges, P. C., & Schulze, N. (2013). El problema del tiempo en los estudios huastecos. *Indiana*, 30, 119–141.
- Lara González, J. J. (2022). Encarnar el mundo. Las mujeres en la cultura teenek en la Huasteca potosina. *Revista CS*, 38, Article 38. <https://doi.org/10.18046/recs.i38.5117>
- Latour, B. (1991). *Nunca fuimos modernos. Ensayo de antropología simétrica* (1a ed.). Siglo XXI.
- Latour, B. (2008). *Reensamblar lo social: Una introducción a la teoría del actor-red* (1a ed.). Manantial.
- Le Cour Grandmaison, R., & Frissard Martine, P. (2024). *Violento y próspero. El auge del aguacate en México y su relación con el crimen organizado*. Global Initiative Against Transnational Organized Crime. <https://globalinitiative.net/wp-content/uploads/2024/01/Romain-Le-Cour-Grandmaison-et-al-Violento-y-pro%CC%81spero-el-auge-del-aguacate-en-Mexico-y-su-relacio%CC%81n-con-el-crimen-organizado-GI-TOC-Enero-de-2024.pdf>
- Leff, E. (2019). *Ecología política: De la deconstrucción del capital a la territorialización de la vida*. Siglo XXI.
- Lévi-Strauss, C. (1964). *El pensamiento salvaje*. Fondo de Cultura Económica.

- López Austin, A. (1996). *Cuerpo humano e Ideología. Las concepciones de los antiguos nahuas*. Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM.
- López Santillán, Á., & Marín Guardado, G. (2010). Turismo, capitalismo y producción de lo exótico: Una perspectiva crítica para el estudio de la mercantilización del espacio y la cultura. *Relaciones. Estudios de historia y sociedad*, 31(123), 219–258.
- López y Rivas, G. (2014, mayo 9). *La Jornada: Silencios y complicidades sobre las Expediciones Bowman*. <https://www.jornada.com.mx/2014/05/09/opinion/019a2pol>
- Lorente Fernández, D. (2020). ¿Una o varias almas? La configuración alma-espíritus y el cuerpo como vestido entre los nahuas de Texcoco. En P. Gallardo Arias (Ed.), *Cuerpo y persona: Aportes antropológicos en México, El Salvador y Venezuela* (pp. 81–112). Instituto Nacional de Antropología e Historia, Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas.
- Mastetta Yanes, A. (2023). *Escultura y corporalidad: Un enfoque fenomenológico a la venus de Tamtoc* [Tesis de licenciatura]. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Mayorga Muñoz, V. A. (2015). *Retorno a Tlalco atl: Estudio de una peregrinación nahua en la Huasteca Potosina* [Maestría]. El Colegio de San Luis.
- Meade, J. (1942). *La Huasteca, época antigua*. Cossio.
- Medina, A. (2000). *En las cuatro esquinas, en el centro: Etnografía de la cosmovisión mesoamericana*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Merchand Rojas, M. A. (2018). Acumulación por despojo y organizaciones criminales en México. *Vínculos. Sociología, análisis y opinión*, 1(13), 13–45. <https://doi.org/10.32870/vinculos.v0i13.7472>
- Moctezuma, P. (2006). Los teenek productores de piloncillo de San José Peketzén, Tancanhuitz: La construcción de una identidad étnica en la huasteca potosina. *Relaciones. Estudios de historia y sociedad*, 27(106), 153–182.
- Morin, E. (1990). *Introducción al pensamiento complejo*. Gedisa.
- Ochoa, Á. (2000). Las aventuras de Dhipaak o dos facetas del sacrificio en la mitología de los teenek (huastecos). *Dimensión Antropológica*, 20(7), 101–123.
- Ochoa, L. (1991). Tres esculturas postclásicas del sur de la Huasteca. *Anales de Antropología*, 28(1), Article 1. <https://doi.org/10.22201/ia.24486221e.1991.1.13093>
- Ochoa, L., & Gutiérrez, G. (1996). Notas en torno a la cosmovisión y religión de los huastecos. *Anales de Antropología*, 33, 91–163. <https://doi.org/10.22201/ia.24486221e.1996.0.23533>
- OIT. (2014). *Convenio Núm. 169 de la OIT sobre Pueblos Indígenas y Tribales*. Organización Internacional del Trabajo. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/30118/Convenio169.pdf>
- Pitarch, P. (1996). *Ch'ulel: Una etnografía de las almas tzeltales*. Fondo de Cultura Económica.

- Pohlenz Córdova, J. (2013). La disputa por el patrimonio biocultural. Un acercamiento desde Mesoamérica. En M. Carámbula Pareja & L. E. Ávila Romero (Eds.), *Patrimonio biocultural, territorio y sociedades afroindoamericanas en movimiento* (1a ed., pp. 17–30). CLACSO.
- Puig, H. (1991). *Vegetación de la Huasteca (México): Estudio fitogeográfico y ecológico*. Instituto de Ecología.
- Reyes Hernández, H., Aguilar Robledo, M., Aguirre Riverra, J. R., & Trejo Vázquez, I. (2006). Cambios en la cubierta vegetal y uso del suelo en el área del proyecto Pujal-Coy, San Luis Potosí, México, 1973-2000. *Investigaciones geográficas*, 59, 26–42.
- Reyes Hernández, H., Durán Fernández, A., & Sahagún Sánchez, F. J. (2019). *Biodiversidad y conservación de ecosistemas de la Región Prioritaria para la Conservación Xilitla*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Universidad de Guadalajara.
- Ricón Huarota, R. (2016). *Presencia de Tlazoltéotl-Ixcuina en la Huasteca prehispánica*. Gobierno del Estado de Tamaulipas.
- Rivera Lozayo, E. (2013). *Etnobotánica del solar teenek en la Huasteca Potosina: Estudio de caso Tancuime, Aquismón, S.L.P.* [Licenciatura]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Robles Gil, P., & Aviña Cerecer, G. (2012). Vista de ¿De quién son los cielos? Tecnologías de manipulación pluvial y conflicto social en San Luis Potosí. *Dimensión Antropológica*, 54, 127–152.
- Rocha Valverde, C. (2018). El cuerpo femenino como territorio sagrado. Una interpretación de la ritualidad sobre la piel entre las indígenas huastecas del oriente de México. *Estudios Atacameños: arqueología y antropología surandinas*, 59, 59–78.
- Rodríguez Hernández, B., & García Contreras, R. (2022). Petición de lluvias y COVID-19. Experiencias en dos comunidades indígenas de México. *Mirada Antropológica*, 17(22), Article 22.
- Rodríguez Torres, M. A. (2023). K'ANWITS, UN ANÁLISIS INTERCULTURAL EN LA UICSLP. *INTERCYT. Interculturalidad, Ciencia y Tecnología*, 2(1), 10–24.
- Rosas Guerra, O. S. (2016). La creación del maíz en las cultural del Golfo de México: Los mito de Chicomexochitl, Dhipack y Homshuk. *Revista de Estudios Interculturales*, 4, 86–101.
- Sahlins, M. (2011). *La ilusión occidental de la naturaleza humana*. Fondo de Cultura Económica.
- Saldívar, A. (2019). El trasvase del río Pánuco a Monterrey: Un proyecto costoso e insustentable. *Red del Agua UNAM*, 1–15.
- Sandstrom, A. (2010). *El maíz es nuestra sangre: Cultura e identidad étnica en un pueblo indio azteca contemporáneo*. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, El Colegio de San Luis Potosí, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Secretaría de Cultura del Estado de San Luis Potosí.
- SEDESORE. (2022). *Programa Regional de la Huasteca Potosina 2022—2027*. Gobierno del Estado de San Luis Potosí, Secretaría de Desarrollo Social y Regional. <https://slp.gob.mx/finanzas/Documentos%20compartidos/PROGRAMA%20REGIONAL%20H>

- UASTECA%20POTOSINA%202022%20-%202027%20SEDESORE%20%2808-AGO-2022%29.pdf
- SEMARNAT. (2015). *Inventario Estatal Forestal y de Suelos—San Luis Potosí 2014*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- SEMARNAT, & CONABIO. (2014). *Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Sierra del Abra Tanchipa*. Gobierno de México. https://simec.conanp.gob.mx/pdf_libro_pm/147_libro_pm.pdf
- Stresser-Péan, G. (2001). *Tamtok, sitio arqueológico huasteco = Tamtok, site archéologique*. Centro de estudios mexicanos y centroamericanos, Colegio de San Luis A.C., Instituto de Cultura de San Luis Potosí, Instituto Nacional de Antropología e Historia. <https://cirma.org.gt/library/index.php/39013>
- Svampa, M. (2018). *Las fronteras del neoextractivismo en América Latina: Conflictos socioambientales, giro ecoterritorial y nuevas dependencias* (1a ed., Vol. 2). Calas, Universidad de Guadalajara. <https://doi.org/10.14361/9783839445266>
- Toledo, V. (2003). *Ecología, espiritualidad y conocimiento. De la sociedad de riesgo a la sociedad sustentable* (1a ed.). Universidad Iberoamericana.
- Toledo, V. (2013). El metabolismo social: Una nueva teoría socioecológica. *Relaciones Estudios de Historia y Sociedad*, 34(136), 41–71. <https://doi.org/10.24901/rehs.v34i136.163>
- Trejo, S. (1989). *Escultura huasteca de río Tamuín: Figuras masculinas*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Tribunal Electoral del Poder Judicial de la Federación. (2024). *Juicio para la protección de los derechos político-electorales del ciudadano* (No. SM-JDC-435/2024). Tribunal Electoral del Poder Judicial de la Federación. https://www.te.gob.mx/sentenciasHTML/convertir/expediente/SM-JDC-0435-2024-#_Toc172805170
- UNESCO. (2011). *¿Qué es el patrimonio cultural inmaterial?* (pp. 1–12). UNESCO Intangible Cultural Heritage. <https://ich.unesco.org/doc/src/01851-ES.pdf>
- van't Hooft, A. (2008). Chikomexochitl y el origen del maíz en la tradición oral nahua de la Huasteca. *Revista destiempos*, 15, 53–60.
- Vargas Huipe, N. D. (2013). *Construcción de un Modelo de Ordenamiento Ecológico Local Comunitario, Pokchich, San Antonio, San Luis Potosí*. [Maestría]. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Vázquez Velasco, O., & Melissa Cañas, G. (2021). *El recurso hídrico en la bolsa de valores. Implicaciones, instrumento financiero utilizado y cotización en la bolsa* [Maestría]. Universidad Iberoamericana Puebla.
- Vélez Ascencio, O. (2011). *La Jornada: El ejército de EU financió proyecto México Indígena*. La Jornada. <https://www.jornada.com.mx/2011/08/06/sociedad/038n2soc>
- Vélez, R. (2012). *El agua como asunto de seguridad nacional*. 163–173. <https://agua.org.mx/biblioteca/agua-el-oro-azul-conferencia-el-agua-como-asunto-de-seguridad-nacional/>

- Voss, A. (2012). Yohuala. Un asentamiento prehispánico en la huasteca potosina. *Ketzalcalli*, 1, 3–24.
- Warman, A. (1988). *La historia de un bastardo: Maíz y capitalismo*. Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM.
- White House. (2022). *White House Action Plan on Global Water Security* (pp. 1–16). https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/06/water-action-plan_final_formatted.pdf
- Zertuche Cobos, V. A. (2023). Los municipios por usos y costumbres de Oaxaca. Repensando la autonomía hacia el autogobierno. *Alegatos*, 114, 175–197.

CUANTIFICACIÓN DE TANINOS EN EXTRACTOS VEGETALES UTILIZADOS COMO AGENTES REDUCTORES EN LA SÍNTESIS VERDE DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA Y SU EVALUACIÓN ANTIMICROBIANA

M.C.A Ana Ketzaly Calvillo Anguiano

Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Dr. Luis Octavio Hernández Arteaga

Universidad Intercultural de San Luis Potosí

Dra. Idania De Alba Montero

Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, idanialba@uaslp.mx

Dra. Alejandra Durán Almendárez

Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Dra. Ana Laura Ruiz Castillo

Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Dr. Facundo Ruiz

Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de San Luis Potosí

RESUMEN

Se sintetizaron nanopartículas de plata (AgNPs) utilizando extractos acuosos de cinco plantas medicinales: Prodigiosa (*Brickellia Cavanillesii*), Estafiate (*Artemisia Ludoviciana*), Ajenjo (*Artemisia Absinthium*), Hierba de San Nicolás (*Piqueria Trinervia*) y Geranio (*Pelargonium Domesticum*). El objetivo fue desarrollar un protocolo ecológico y de bajo costo para la producción de AgNPs con potencial aplicación en el área biomédica. Las nanopartículas se caracterizaron mediante UV-Vis, DLS y TEM. La concentración de taninos se cuantificó con el método Folin-Denis. La actividad antimicrobiana de las AgNPs y los extractos se evaluó frente a *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Enterococcus faecalis*, utilizando el método de microdilución para determinar la concentración mínima inhibitoria (CMI). Los resultados mostraron una notable sinergia entre los extractos y las nanopartículas, siendo *Artemisia absinthium* y *Brickellia cavanillesii* las más efectivas. Este enfoque promueve la síntesis verde de nanomateriales con aplicaciones terapéuticas y antimicrobianas.

Palabras clave: Taninos, Nanopartículas de plata, síntesis verde.

Quantification of tannins in plant extracts used as reducing agents in the green synthesis of silver nanoparticles and their antimicrobial evaluation

ABSTRACT

Silver nanoparticles (AgNPs) were synthesized using aqueous extracts from five medicinal plants: Prodigiosa (*Brickellia cavanillesii*), Estafiate (*Artemisia ludoviciana*), Estafiate (*Artemisia absinthium*), Hierba de San Nicolás (*Piqueria trinervia*), and Geranium (*Pelargonium domesticum*). The objective was to develop an eco-friendly and low-cost protocol for AgNP production with potential biomedical applications. The nanoparticles were characterized by UV-Vis spectroscopy, dynamic light scattering (DLS), and transmission electron microscopy (TEM). Tannin content was quantified using the Folin-Denis method. The antimicrobial activity of the AgNPs and plant extracts was evaluated against *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, and *Enterococcus faecalis* using the broth microdilution method to determine the minimum inhibitory concentration (MIC). The results showed a significant synergistic effect between the extracts and the nanoparticles, with *Artemisia absinthium* and *Brickellia cavanillesii* being the most effective. This approach supports green synthesis of nanomaterials for therapeutic and antimicrobial applications.

Keywords: Tannins, Silver nanoparticles, green synthesis, antimicrobial activity.

1.- Introducción

En las últimas décadas, el desarrollo de nanopartículas metálicas ha cobrado gran importancia en distintas áreas científicas y tecnológicas debido a sus propiedades únicas a nivel físico, químico y biológico. Las nanopartículas de plata (AgNPs), en particular, han demostrado un notable potencial en aplicaciones biomédicas, catalíticas y antimicrobianas. No obstante, muchos de los métodos tradicionales de síntesis de estas nanopartículas utilizan reactivos tóxicos y condiciones energéticamente demandantes, lo que genera preocupaciones ambientales y de seguridad.

Como alternativa, ha surgido la síntesis verde, una metodología sustentable que emplea organismos vivos o extractos naturales, como los provenientes de plantas, para reducir y estabilizar iones metálicos. Las plantas son una fuente rica en compuestos bioactivos que pueden actuar como agentes reductores y estabilizantes durante la formación de nanopartículas. Entre estos compuestos se encuentran flavonoides, alcaloides, terpenoides, cetonas, proteínas, vitaminas y taninos (Narayanan, 2011; Nadeem, 2019).

Los taninos hidrolizables, entre ellos el ácido gálico y el ácido tánico, son compuestos polifenólicos naturales, biodegradables y no tóxicos. Se ha reportado que estos metabolitos poseen una elevada capacidad para reducir iones metálicos, además de prevenir la aglomeración de las nanopartículas al actuar como estabilizantes (Herrera, 2010). El ácido tánico, por ejemplo, está compuesto por un núcleo central de glucosa unido por enlaces éster a unidades de ácido gálico, y suele acumularse en hojas, corteza, madera y frutos, donde cumple funciones defensivas frente a herbívoros y patógenos. Aunque a pH neutro actúa como un reductor débil, puede hidrolizarse bajo condiciones ácidas o básicas, liberando glucosa y ácido gálico (Bors, 2001; Tian, 2007).

Numerosos estudios han demostrado que tanto los taninos como las nanopartículas de plata poseen actividad antimicrobiana frente a bacterias, hongos, virus y levaduras (Chung, 1998). Hatano et al. (2005) reportaron efectos antibacterianos de taninos y compuestos polifenólicos relacionados frente a *Staphylococcus aureus* resistente a la meticilina. Asimismo, Buzzini et al. (2008) demostraron un efecto sinérgico al combinar taninos hidrolizables con antibióticos, reduciendo significativamente la concentración necesaria de estos últimos.

El presente estudio tuvo como objetivo sintetizar nanopartículas de plata utilizando como reductores químicos extractos vegetales ricos en taninos mediante un enfoque de síntesis verde, así como evaluar su actividad antibacteriana in vitro. Para ello, se utilizaron cepas bacterianas ATCC: *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* y *Enterococcus faecalis*. La formación de nanopartículas fue monitoreada por espectroscopía UV-Vis. Posteriormente, se caracterizaron mediante microscopía electrónica de transmisión (TEM) para determinar su morfología, tamaño y distribución. Además, se evaluó su estabilidad coloidal mediante potencial zeta y se determinó su tamaño hidrodinámico utilizando dispersión dinámica de luz (DLS), comparando estos resultados con los obtenidos por TEM.

2.- Materiales y método

2.1 Materiales

Las plantas utilizadas se adquirieron en un mercado local de la ciudad de San Luis Potosí, México. Las especies empleadas fueron: *Brickellia cavanillesii* D.C. (Prodigiosa), *Artemisia ludoviciana* (Estafiate), *Artemisia Absinthium* (Ajenjo), *Piqueria trinervia* (Hierba de San Nicolás) y *Pelargonium domesticum* (Geranio).

El nitrato de plata (AgNO_3 , Sigma-Aldrich, grado ACS) se utilizó como precursor, y el hidróxido de amonio (NH_4OH , solución acuosa al 30 % p/p, Sigma-Aldrich, grado ACS) se empleó para ajustar el pH en la síntesis de las nanopartículas.

2.2 Preparación de los extractos acuosos.

Para la obtención de los extractos acuosos, se pesaron 10 g de materia vegetal previamente seca y molida de cada especie. Posteriormente, se hirvieron 200 mL de agua desionizada y, una vez alcanzado el punto de ebullición, se colocó la planta para preparar la infusión. La mezcla se dejó reposar durante 10 minutos y se filtró con papel filtro Whatman de 125 mm. Este procedimiento se realizó por separado para cada planta.

2.3 Síntesis química de las nanopartículas de plata.

Bajo agitación magnética, se mezclaron 10 mL de cada extracto vegetal previamente filtrado con 100 mL de una solución de AgNO_3 0.01 M. Estas mezclas se trabajaron por separado. El pH de cada solución se ajustó lentamente hasta alcanzar un valor de 10, mediante la adición de NH_4OH .

2.4 Caracterización

Las nanopartículas de plata (AgNPs) obtenidas fueron caracterizadas mediante Espectroscopía UV-Vis (Spectrometer Ocean Optics Inc.), Dispersión Dinámica de Luz (DLS) (Malvern Zetasizer Nano ZS) y Microscopía Electrónica de Transmisión (TEM) (JEOL JEM-1230).

2.5 Cepas bacterianas

Se evaluaron cuatro cepas bacterianas: dos Gram negativas (*Escherichia coli* ATCC 25922 y *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 25853) y dos Gram positivas (*Staphylococcus aureus* ATCC 29213 y *Enterococcus faecalis* ATCC 29212). Las cepas se obtuvieron del cepario de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Previamente a los ensayos, las cepas fueron reactivadas en caldo Mueller-Hinton y cultivadas en agar nutritivo durante 24 horas a 37 °C.

2.6 Actividad antimicrobiana

La actividad antimicrobiana se evaluó mediante el método de microdilución en caldo, siguiendo el estándar CLSI (NCCLS-CLSI N7 A7 Vol. 26 No. 2, 1996). Se determinaron la concentración mínima inhibitoria (CMI) y la concentración mínima bactericida (CMB). Las AgNPs fueron evaluadas en el mismo estado en el que se obtuvieron, sin modificaciones.

Para la CMI, se utilizaron placas de 96 pocillos, en las que se realizaron diluciones seriadas de las AgNPs en caldo Mueller-Hinton, con una concentración inicial de microorganismos de 10^5 UFC/mL. Después de 24 horas de incubación a 37 °C, se consideró como punto final la ausencia de turbidez en los pocillos.

La CMB se determinó sembrando en agar Mueller-Hinton los contenidos de los pocillos antes y después de la concentración límite de la CMI. Se consideró como CMB la menor concentración en la que no se observó crecimiento bacteriano en las placas tras 24 horas de incubación a 37 °C. Todas las pruebas se realizaron por triplicado.

2.7 Determinación de taninos.

La cuantificación de taninos en los extractos vegetales se realizó mediante el método colorimétrico de Folin-Denis, según lo reportado por Makkar (2003). Para ello, se preparó una solución saturada de carbonato de sodio y se construyó una curva de calibración utilizando ácido tánico como estándar. La absorbancia de las soluciones se midió a 760 nm utilizando un espectrofotómetro UV-Vis.

3.- Resultados y Discusión

3.1 Síntesis de las AgNps

Los extractos vegetales se emplearon como agentes reductores y estabilizantes en la síntesis de nanopartículas de plata. La reacción de reducción se llevó a cabo en condiciones alcalinas (pH 10–11), favoreciendo la ionización de los grupos fenólicos. Esta ionización incrementa la velocidad de la reacción redox, conduciendo a la formación de nanopartículas de morfología esférica (Martínez-Castañón et al., 2008). La oxidación de compuestos fenólicos genera estructuras quinoides y ceto-enólicas, las cuales pueden adsorberse en la superficie de las AgNPs y estabilizarlas (Wang et al., 2007).

3.2 Análisis mediante Microscopía Electrónica de Transmisión (TEM)

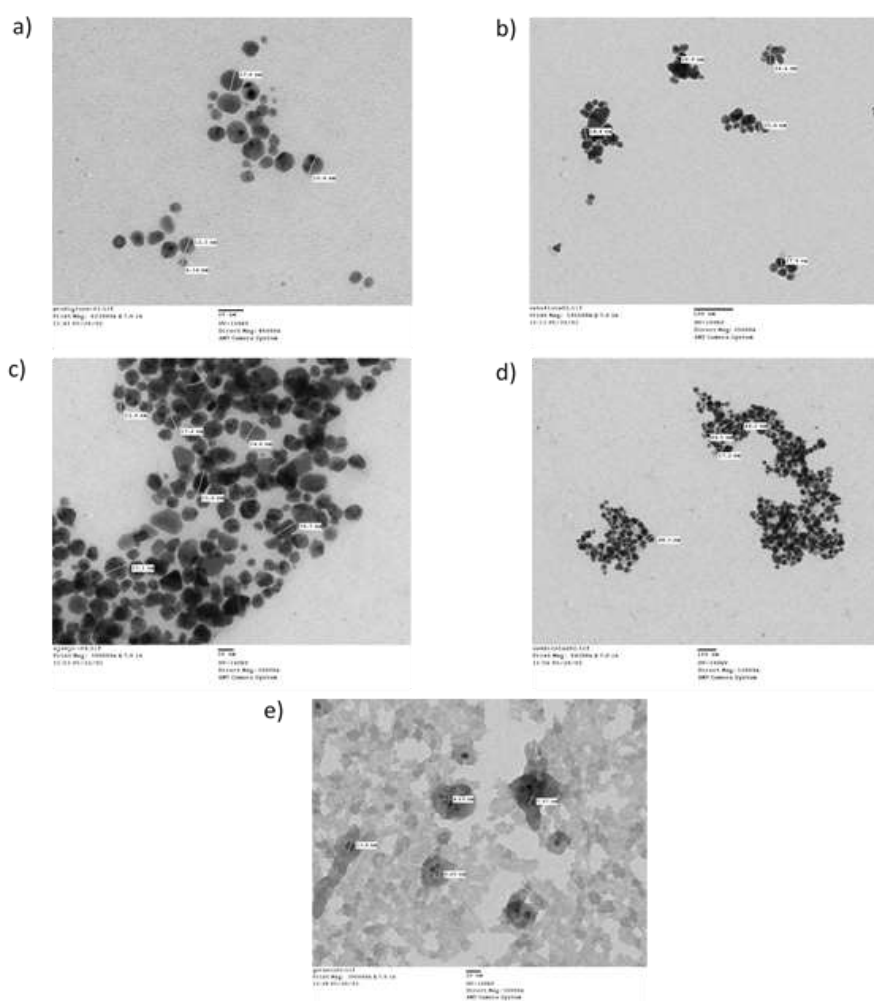
Las micrografías TEM mostraron que las nanopartículas sintetizadas presentaron morfologías predominantemente esféricas o pseudoesféricas y una distribución de tamaño relativamente estrecha. Los tamaños promedio observados fueron para Prodigiosa 6–16 nm, Estafiate 27 nm, Ajenjo 2–26 nm, Hierba de San Nicolás 2–46 nm y Geranio 9 nm, como se muestra en la Figura 1.

La similitud morfológica entre las muestras podría explicarse por la presencia de grupos funcionales comunes (como fenoles y taninos) en los extractos utilizados. No obstante, las diferencias en el tamaño sugieren que el perfil fitoquímico específico de cada planta influye en la nucleación y crecimiento de las nanopartículas.

Es importante señalar que la morfología no presentó cambios significativos entre las distintas muestras, lo que indica que el mecanismo de formación fue similar en todos los casos, probablemente controlado por compuestos polifenólicos comunes.

Fig. 1

Micrografía de Microscopía de Transmisión Electrónica, a) Prodigiosa (*Brickellia cavanillesii*), b) Estafiate (*Artemisia ludoviciana*), c) Ajenjo (*Artemisia absinthium*), d) Hierba de San Nicolás (*Piqueria trinervia*) y e) Geranio (*Pelargonium domesticum*)



3.3 *Dispersión Dinámica de Luz (DLS) y Potencial Zeta*

Los tamaños promedio determinados por DLS fueron los siguientes: Prodigiosa 54.96 nm, Estafiate 20.31 nm, Ajenjo 05.24 nm, Hierba de San Nicolás 71.10 nm y Geranio 108.9 nm.

El potencial zeta, mostrado en la Tabla 1, indicó una estabilidad coloidal aceptable. De acuerdo con la teoría DLVO, valores mayores a ± 30 mV reflejan dispersiones estables (Ji, 2010). Aunque algunas muestras mostraron valores por debajo de ese umbral, la desviación estándar sugiere que no hubo aglomeración significativa, y las dispersiones se mantuvieron suficientemente estables para el análisis.

Tabla 1.

Valores de potencial Z de cada uno de los extractos.

Planta Medicinal	Potencial Z (mV)
Prodigiosa	-27.9 ± 8.43
Estafiate	-26.6 ± 8.43
Ajenjo	-28 ± 11.1
Hierba de San Nicolás	-28.9 ± 18.5
Geranio	-32 ± 5.4

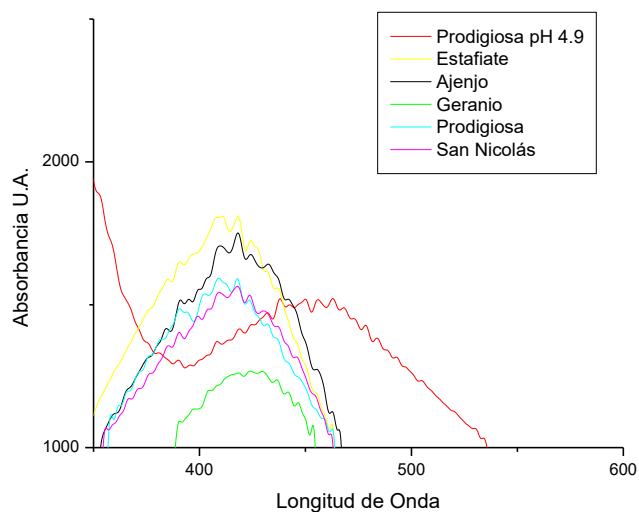
Las discrepancias que se observan entre los tamaños promedio de las nanopartículas determinadas por microscopía electrónica de transmisión (TEM) y los obtenidos mediante dispersión dinámica de luz (DLS) puede atribuirse a la naturaleza de cada técnica, DLS mide el diámetro hidrodinámico, que incluye no solo el núcleo de la nanopartícula, sino también las moléculas de solvente y los compuestos orgánicos adsorbidos en su superficie.

3.4 Análisis UV-Vis

Los espectros de absorción UV-Vis confirmaron la formación de nanopartículas de plata (AgNPs) mediante la presencia de una banda de plasmón de resonancia superficial localizada entre 420 y 430 nm, como se muestra en la Fig. 2, característica de las AgNPs bien dispersas en solución (Martínez-Castañón et al., 2005).

Figura 2.

Espectros de absorción UV-Vis de las nanopartículas de plata sintetizadas con extractos vegetales.



3.5 Actividad Antimicrobiana.

Se evaluó la actividad de los extractos y AgNPs frente a bacterias Gram negativas (*Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 25853) y Gram positivas (*Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Enterococcus faecalis* ATCC 29212). Los extractos vegetales, a las concentraciones ensayadas, no mostraron actividad antibacteriana.

Por el contrario, todas las AgNPs sintetizadas exhibieron actividad inhibitoria y bactericida significativa. Las concentraciones mínimas inhibitorias (CMI) y bactericidas (CMB) fueron menores que las de las AgNPs obtenidas con ácido gálico (13 µg/mL), lo cual sugiere un efecto sinérgico entre los compuestos bioactivos del extracto y la acción de las nanopartículas, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2.

Resultados de las pruebas antimicrobianas.

Datos / Planta	Prodigiosa	Estafiate	Ajenjo	Hierba de San Nicolás	Geranio	Prodigiosa pH 4.9
Concentración Mínima Inhibitoria Extractos						
<i>E. coli</i>	> 50 000	> 50 000	> 50 000	> 50 000	> 50 000	*
<i>S. aureus</i>	25 000 ± 0	> 50 000	> 50 000	> 50 000	> 50 000	*
<i>E. faecalis</i>	> 50 000	> 50 000	> 50 000	> 50 000	25 000 ± 0	*
<i>P. aeruginosa</i>	> 50 000	> 50 000	> 50 000	> 50 000	> 50 000	*
Concentración Mínima Inhibitoria AgNp's						
<i>E. coli</i>	3.37 ± 0	3.37 ± 0	1.67 ± 0	6.74 ± 0	3.37 ± 0	3.37 ± 0

<i>S. aureus</i>	3.37 ± 0	3.37 ± 0	3.37 ± 0	1.67 ± 0	6.74 ± 0	1.67 ± 0
<i>E. faecalis</i>	1.67 ± 0	3.37 ± 0	3.37 ± 0	3.37 ± 0	6.74 ± 0	3.37 ± 0
<i>P. aeruginosa</i>	3.37 ± 0	6.74 ± 0	3.37 ± 0	3.37 ± 0	6.74 ± 0	26.96 ± 0
Concentración Mínima Bactericida Np's						
<i>E. coli</i>	3.37 ± 0	3.37 ± 0	1.67 ± 0	6.74 ± 0	3.37 ± 0	3.37 ± 0
<i>S. aureus</i>	3.37 ± 0	3.37 ± 0	3.37 ± 0	1.67 ± 0	6.74 ± 0	1.67 ± 0
<i>E. faecalis</i>	1.67 ± 0	3.37 ± 0	3.37 ± 0	3.37 ± 0	13.48 ± 0	3.37 ± 0
<i>P. aeruginosa</i>	3.37 ± 0	6.74 ± 0	3.37 ± 0	3.37 ± 0	13.48 ± 0	26.96 ± 0

* No se encontró actividad antimicrobiana a las concentraciones utilizadas en este trabajo.

Estudios previos han propuesto múltiples mecanismos de acción para las AgNPs, entre ellos están la adherencia a la membrana bacteriana, el aumento de la permeabilidad celular, el ingreso intracelular, la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS), interferencia con la síntesis de ATP y replicación de ADN (Panacek, 2006; Marambio y Hoek, 2006, 2010; Morones et al., 2005).

Asimismo, se ha demostrado que las AgNPs de menor tamaño presentan mayor efectividad antimicrobiana (Martínez-Castañón et al., 2008), lo cual se observó en este estudio con las muestras obtenidas a partir de Ajenjo y Prodigiosa.

3.6 Estimación cuantitativa de taninos.

Los taninos fueron cuantificados mediante espectrofotometría, utilizando una curva de calibración con ácido tánico como estándar ($y = 0.03648 + 0.07567X$; $R^2 = 0.99975$; $SD = 0.00939$; $n = 5$). Los resultados se reportaron como equivalentes de ácido tánico (mg/mL), como se muestra en la Tabla 3.

Estos compuestos, por su alta capacidad para ceder electrones, probablemente desempeñaron un papel clave como agentes reductores en la síntesis de las AgNPs. Esto respalda el enfoque verde de la síntesis, al utilizar metabolitos secundarios vegetales como reactivos funcionales.

Tabla 3.

Resultados de la estimación cuantitativa de taninos.

Planta Medicinal	Concentración de taninos (mg/mL)
Prodigiosa	0.0095054
Estafiate	0.0066656
Ajenjo	0.0072801
Hierba de San Nicolás	0.0146593
Geranio	0.0119235

5.- Conclusión.

Las nanopartículas de plata sintetizadas mediante extractos vegetales mostraron morfología esférica y buena estabilidad coloidal. Las técnicas de caracterización (UV-Vis, TEM, DLS y potencial zeta) confirmaron que se trató de nanopartículas metálicas de Ag⁰.

Los resultados sugieren que los taninos presentes en los extractos fueron los principales responsables de la reducción y estabilización de las AgNPs. Además, las nanopartículas mostraron una marcada actividad antibacteriana, especialmente aquellas obtenidas con Ajenjo y Prodigiosa, lo que indica una acción sinérgica entre los fitoquímicos y las propiedades fisicoquímicas de las nanopartículas.

Este trabajo contribuye a la validación del uso de extractos vegetales nativos como agentes funcionales en síntesis de nanomateriales con potencial biomédico.

6.- Agradecimientos.

Los autores agradecen el apoyo brindado por las becas de doctorado No. 733766 y 733623, así como a la estancia posdoctoral PA-20220720004022434-2911764 por su contribución al desarrollo de este trabajo.

7.- Referencias bibliográficas.

Buzzini P, Arapitsas P, Goretti M, Branda E, Turchetti B, Pinelli P, Ieri F, Romani A (2008) Antimicrobial and antiviral activity of hydrolysable tannins. *Mini-Rev Med Chem* 8:1179–1187

- Blainiski, A., Lopes, G. C., Palazzo-de-Mello, J.C. (2013). Application and analysis of the Folin Ciocalteu method for the determination of total phenolic content from *Limonium Brasilense* L. *Molecules* 18, 6852-6855.
- Chung KT, Wong TY, Wei CI, Huang YW, Lin Y (1998) Tannins and human health: a review. *Crit Rev Food Sci Nutr* 38:421–464.
- Hatano T, Kusuda M, Inada K, Ogawa TO, Shiota S, Tsuchiya T, Yoshida T (2005) Effects of tannins and related polyphenols on methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *Phytochemistry* 66:2047–2055.
- Herrera-Becerra, R., Rius, J. L., & Zorrilla, C. (2010). Tannin biosynthesis of iron oxide nanoparticles. *Applied Physics A*, 100, 453-459.
- Huang, J., Li, Q., Sun, D., Lu, Y., Su, Y., Yang, X., ... & Chen, C. (2007). Biosynthesis of silver and gold nanoparticles by novel sundried *Cinnamomum camphoraleaf*. *Nanotechnology*, 18(10), 10510.
- Ji, Z., Jin, X., George, S., Xia T., Mengh, H., Wang, E., Suárez, H., Zhang, H., Hoe3k, E., Godwin, H., Nel, A.E., and Zink, J. I. (2010). Dispersion and stability optimization of TiO₂ nanoparticles in cell culture media. *Environmental Science and Technology*, 44 (19) 7309-7314.
- Makkar, H. P., & Makkar, H. P. (2003). Measurement of total phenolics and tannins using Folin-Ciocalteu method. *Quantification of tannins in tree and shrub foliage: A Laboratory Manual*, 49-51.
- Marambio-Jones C., Hoek E.M.V. (2010). A review of the antibacterial effects of silver nanomaterials and potential implications for human health and the environment. *J Nanopart Res.* 12 ,(5),1531-1551.
- Martínez-Castañón, G.A., Martínez, J. R., Ortega-Zarzosa, G., Ruiz, F., Sánchez-Loredo, M.G. (2005). Optical absorption of Ag particles dispersed in a SiO₂ amorphous matrix. *J Sol-Gel Sci Technol.* 36, 137-145.
- Martínez-Castañón, G.A., Niño-Martínez, N., Martínez- Gutiérrez, F. Martínez- Mendoza, J. R., Ruiz, F. (2008). Synthesis and antibacterial activity of silver nanoparticles with different sizes. *J Nanopart Res.* 10, (8), 1343-1348.
- Morones, J. R., Elechiguerra, J. L., Camancho, A., Holt, J.B., Kourt, J. B., Ramirez, J.T., Yacaman, M.J. (2005). The bactericidal effect of silver nanoparticles, *Nanotechnology* 16, 2346-2353.
- Nadeem, A., Naz, S., Sarfraz, J., Mannan, A., y Zia, M. (2019). Synthesis, characterization and biological activities of monometallic and bimetallic nanoparticles using *Mirabilis jalapa* leaf extract. *Biotechnology Reports*, 22, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2019.e00338>.
- Narayanan KB, Sakthivel N (2011) Green synthesis of biogenic metal nanoparticles by terrestrial and aquatic phototrophic and heterotrophic eukaryotes and biocompatible agents. *Adv Colloid Interface Sci* 169:59–79. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2011.08.004>
- NCCLS - CLSI (Clinical and Laboratory Standards Institute) N7 A7, 2006, 26(2).

- Pal, S. Tak, Y., Song J. (2007). "Does the antibacterial activity of silver nanoparticles depend on the shape of the nanoparticle? A study of the gram-negative bacterium *Escherichia coli*", *Appl Environ Microbiol.* 73, 6, 1712–1720.
- Panacek , A., Kvittek, L., Prucek, R., Kolar, M., Vecerova, R., Pizurova, N., Sharma, V., Nevecna, T., Zboril, R. (2006). Silver colloid nanoparticles: synthesis, characterization, and their antibacterial activity. *J Phys Chem B.* 110,16248–16253.
- Salunke, D.K., Chavan, J.K. (1989). Dietary tannins: consequences and remedies. CRC-Press, pp 84-87.
- Saxena, V., Mishra, G., Saxena, A., Vishwakarma, K. (2013). A comparative study on quantitative estimation of tannins in *terminalia chebula*, *terminalia belerica*, *terminalia arjuna* and *saraca indica* using spectrophotometer. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research.* 6, 3, 139-140.
- Shankar S. S., Ahmad A., Sastry M. (2003), Geranium Leaf Assisted Biosynthesis of Silver Nanoparticles, *Biotechnol. Prog.*, 19, 1627-1631.
- Shankar S. S., Ahmad A., Pasricha R., Sastry M. (2003), Bioreduction of chloroaurate ions by geranium leaves and its endophytic fungus yields gold nanoparticles of different shapes, *J. Mater. Chem.*, 13, 1822-1826.
- Shankar S. S., Rai A., Ahmad A., Sastry M. (2004), Rapid synthesis of Au, Ag, and bimetallic Au core-Ag shell nanoparticles using Neem (*Azadirachta indica*) leaf broth, *J. of Colloid and Interface Science*, 275, 496-502.
- Shankar S. S., Rai A., Ahmad A., Sastry M. (2005), Controlling the Optical Properties of Lemongrass Extract Synthesized Gold Nanotriangles and Potential Application in Infrared-Absorbing Optical Coating. *Chem. Mater.*, 17, 566-572.
- Song J. Y., Jang H. K., Kim B. S., (2009), Biological synthesis of gold nanoparticles using *Magnolia kobus* and *Diopyros kaki* leaf extracts, *Process Biochemistry*, 44, 1133-1138.
- Sur U. K. 2014, Biological green synthesis of gold and silver nanoparticles, *Advances in Nano Research*, Vol. 2, No. 3, 135-145.
- Wang, W., Chen, Q., Jiang, C., Yang, D., Liu, X., Xu, S. (2007). One step synthesis of biocompatible gold nanoparticles using gallic acid in the presence of poli-(N-vinyl-2-pyrrolydone). *Colloids Surf a Phisicochem. Eng. Asp.* 301, 73-79

RADIACIÓN SINCROTRÓN: UN AVANCE PARA LA INNOVACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA Y EL CULTIVO DE TEJIDOS VEGETALES

Dr. Luis Jesús Castillo-Pérez¹

Dr. René Loredo Portales²

Dr. Juan José Maldonado Miranda³

Dra. Candy Carranza Álvarez⁴

RESUMEN

La biodiversidad del planeta atraviesa una crisis sin precedentes caracterizada por la acelerada pérdida de especies vegetales en las últimas décadas. Ante esta situación, es urgente comenzar a establecer programas de conservación efectivos que aminoren dicha tendencia. La biotecnología vegetal, mediante técnicas como el cultivo de tejidos vegetales (CTV), ha contribuido significativamente al desarrollo de protocolos de micropropagación, posicionándose como una estrategia clave de conservación *ex situ*. Sin embargo, para hacer frente a la magnitud del problema, es necesario impulsar la investigación científica y el desarrollo de tecnologías avanzadas. En este contexto, las herramientas de vanguardia como la radiación sincrotrón han cobrado relevancia en el estudio y avance de la biotecnología vegetal. Esta revisión crítica presenta diversas investigaciones que integran el uso de la radiación sincrotrón, y se discuten las ventajas y desventajas de esta técnica, así como algunos de los avances que se han logrado en el campo de la biotecnología vegetal.

Synchrotron Radiation: a breakthrough for innovation in biotechnology and plant tissue culture

ABSTRACT

The planet's biodiversity is experiencing an unprecedented crisis characterized by the accelerated loss of plant species in recent decades. Given this situation, it is urgent to begin establishing effective conservation programs to slow this trend. Plant biotechnology, through techniques such as plant tissue

¹Bioquímico y Dr. en Ciencias Ambientales por la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Profesor Investigador de la Facultad de Estudios Profesionales Zona Huasteca de la UASLP. jesus.perez@uaslp.mx.

²Dr. en Ciencias Químicas por la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Profesor Investigador en la Estación Regional del Noroeste. Instituto de Geología. Universidad Nacional Autónoma de México. rloredo@geologia.unam.mx

³Dr. en Administración Pública por la Universidad Autónoma de Tamaulipas. Profesor de Tiempo Completo de la Facultad de Estudios Profesionales Zona Huasteca de la UASLP. juan.maldonado@uaslp.mx

⁴Bioquímica y Dra. en Ciencias Químicas por la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Profesora de Tiempo Completo de la Facultad de Estudios Profesionales Zona Huasteca de la UASLP. candy.carranza@uaslp.mx

culture (PTC), has significantly contributed to the development of micropropagation protocols, positioning itself as a key *ex situ* conservation strategy. However, to address the magnitude of the problem, it is necessary to promote scientific research and the development of advanced technologies. In this context, cutting-edge tools such as synchrotron radiation have gained relevance in the study and advancement of plant biotechnology. This critical review presents various investigations that integrate the use of synchrotron radiation, and discusses the advantages and disadvantages of this technique, as well as some of the advances that have been achieved in the field of plant biotechnology.

Palabras clave: sincrotrón, biotecnología, biodiversidad, conservación.

1.- Introducción

La biodiversidad del planeta enfrenta actualmente una reducción sin precedentes y muchas especies han desaparecido durante los últimos años, por lo que es necesario establecer programas de conservación que contribuyan a proteger la biodiversidad mundial (Forester *et al.*, 2022). En este contexto, la biotecnología vegetal a través del cultivo de tejidos vegetales (CTV) ha logrado contribuir de manera favorable con el establecimiento de protocolos de micropropagación *in vitro* como una técnica de conservación *ex situ* (Coelho *et al.*, 2020; Aladele *et al.*, 2022). Con el objetivo de potenciar los alcances de la biotecnología vegetal, y en general al avance científico en la mayoría de las áreas de la ciencia, el uso de radiación sincrotrón se ha vuelto una herramienta indispensable en los últimos años. En el caso específico del estudio de organismos animales y vegetales, la radiación sincrotrón permite develar los mecanismos por los cuales funciona su maquinaria bioquímica. Por ejemplo, Kato *et al.*, (2020) dilucidaron un mecanismo para el control del crecimiento de las plantas, con el cual se podrían diseñar nuevos cultivos resistentes a enfermedades, sequías o inundaciones.

Otras investigaciones biotecnológicas que han utilizado la radiación sincrotrón, son, por ejemplo, el Proyecto Genoma Humano, una colaboración académica que conjunta la biología con la física, ya que uno de sus objetivos es conocer a detalle la secuencia genómica que codifica las proteínas a partir de sus cristales (Gibbs, 2020), la aplicación de las ciencias biomédicas y la biología molecular para la comprensión de rutas bioquímicas de organismos complejos y microorganismos (Pearson y Mehrabi, 2020; Pelka, 2022), la comprensión en la composición bioquímica de biopelículas patógenas, lo cual tiene aplicaciones importantes en el diagnóstico, tratamiento y control de infecciones persistentes causadas por microorganismos para el ser humano (Cheeseman *et al.*, 2021) y el estudio de los procesos fisiológicos en plantas y animales (Boer *et al.*, 2014; Rüffer *et al.*, 2024).

En lo que respecta a la fisiología vegetal, la radiación sincrotrón ha contribuido en la actualidad a comprender el mecanismo de acción de las hormonas reguladoras del crecimiento vegetal (PGR, por sus siglas en inglés) como las auxinas, las citocininas, las giberelinas y el etileno. Estas hormonas, son ampliamente utilizadas para procesos de micropropagación de especies vegetales con fines de conservación, pero poco estudiadas a nivel intracelular y genético (Türker-Kaya y Huck, 2017; Marmioli

et al., 2022). Debido a que el CTV implica el estudio de las respuestas morfogénicas de las células vegetales, a través del uso de PGR, resulta interesante poder conocer las aplicaciones de luz sincrotrón en beneficio del desarrollo de nuevas investigaciones que aporten al conocimiento bioquímico y fisiológico de las plantas. Por ello, el objetivo de la presente investigación fue realizar un análisis cualitativo de la bibliografía para evidenciar la relación e importancia que existe entre la radiación sincrotrón y el CTV como herramienta biotecnológica en los últimos años.

3.- Metodología

Se realizó una revisión bibliográfica en la cual se utilizó un sistema de agrupación de la información denominado “clasificación por especialización” en el cual se incluyeron las bases de datos como Google académico y PubMed. Estos sitios web poseen la ventaja de ligar sus búsquedas a la mayoría de las bases de datos de documentos científicos en todo el mundo. La búsqueda se realizó sin filtros de antigüedad y se registraron las investigaciones que relacionaran la biotecnología en general, con el uso de la radiación sincrotrón. La búsqueda en estas plataformas se realizó con los términos “synchrotron radiation biotechnology, synchrotron plant tissue culture y synchrotron phytohormones”, y sus homónimos en el idioma español, ya que tampoco hubo restricción de idioma. Posterior a ello, se agrupó la información y se registraron, además de los autores y el título de la investigación, el nombre del sincrotrón en el que fue realizada la investigación y el país donde este se localiza, con el objetivo de evidenciar las regiones en el mundo en donde el uso de la radiación sincrotrón se relaciona más con la biotecnología y el CTV.

4.- Resultados

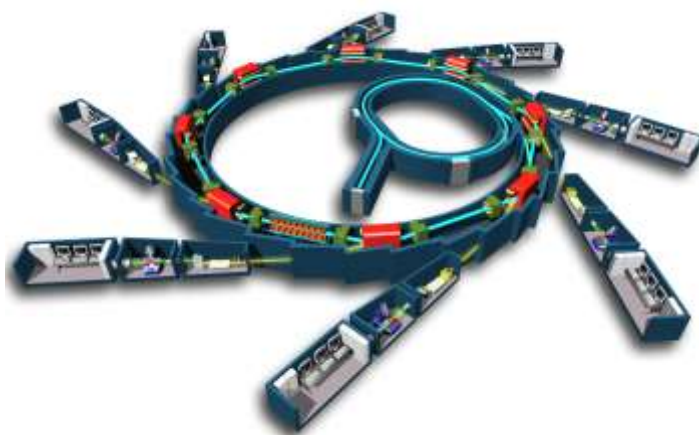
La radiación es uno de los recursos más utilizados por todas las ciencias experimentales que existen. La medicina, la física, la química y la biología son un ejemplo de las ciencias en donde se han realizado importantes avances gracias al uso de la radiación. Sin embargo, la radiación que produce un sincrotrón es mucho más intensa que la que se produce con los equipos de los laboratorios convencionales y además del espectro visible, cubre un rango continuo entre el infrarrojo y los rayos X, lo que le confiere propiedades como alta brillantez, extrema colimación y polarización, que permiten su aplicación en el estudio de la materia a nivel molecular y subatómico (Reed, 2011; Janssen *et al.*, 2023).

Un sincrotrón es un acelerador de partículas cargadas (electrones), que se desplazan a velocidades cercanas a la de la luz y que poseen energías del orden de los GeV (giga electronvoltios). La generación de esta luz se remonta a 1947, cuando un grupo de físicos teóricos intentaba mantener electrones en movimiento a una velocidad de 70 MeV. El propósito de este experimento era coordinar los electrones con distintas energías para que los más lentos recibieran un impulso adicional, mientras que los más

rápidos experimentarían una desaceleración. Como resultado de la aceleración de los electrones, durante el experimento, se producía una luz intensa que en un inicio se consideró un problema que resolver (Gutiérrez *et al.*, 2004). En síntesis, lo que hace un sincrotrón es acelerar electrones hasta velocidades muy cercanas a las de la luz e inyectarlas a un anillo de almacenamiento enorme. El interior de este anillo posee un gran vacío que alcanza presiones del orden de 10^{-10} milibares y que se encuentra rodeado por una pared de materiales muy resistentes, como el hormigón, con varias aberturas por las que sale la luz sincrotrón, la cual es dirigida a los sitios experimentales que funcionan como laboratorios y que se encuentran situados alrededor del anillo sincrotrónico (Fig. 1).

Fig. 1.

Esquema general de un sincrotrón.



Cortesía de EPSIM 3D/JF Santarelli, Synchrotron Soleil.

En lo que respecta al análisis de la información disponible, se evidenció la aplicación que tiene la radiación sincrotrón en el estudio de los procesos biotecnológicos con el registro de al menos 29 investigaciones en las cuales se empleó la radiación sincrotrón para desarrollar diversos proyectos relacionados con la biotecnología vegetal (Tabla 1). En esta sección se pudo observar que el 38% de las investigaciones se encuentran relacionadas con el estudio del comportamiento de elementos químicos, en su mayoría metales en organismos vegetales. Por otro lado, el 34.5% se relaciona con las ciencias biomédicas y su beneficio para el ser humano. Otro 24% se concentran en el estudio y análisis de procesos químico-biológicos en plantas, y solo se registró una investigación (3.5%) que se enfocó en estudiar un tema relacionado con el área de los alimentos.

Tabla 1.

Investigaciones que relacionan la biotecnología en un panorama general con el uso de radiación sincrotrón.

País de procedencia	Sincrotrón utilizado	Objetivo del estudio	Referencia
Alemania	Angströmquelle Karlsruhe Synchrotron	Investigar la acumulación de arsénico (As) en las raíces de <i>Zea mays</i> (maíz) y <i>Helianthus annuus</i> (girasol) mediante imágenes de micro-fluorescencia de rayos X (μ -XRF) con sincrotrón.	Neidhardt <i>et al.</i> 2015
	Deutsches Elektronen-Synchrotron	Analizar la organización lamelar de pigmentos en clorosomas para comprender los complejos captadores de luz en bacterias fotosintéticas verdes.	Pšenčík <i>et al.</i> , 2004
		Comprender el papel del Zn y el Cd en la defensa antiviral de <i>Noccaea caerulescens</i> infectadas con el Turnip yellow mosaic virus mediante la tomografía μ -XRF de sincrotrón.	Morina <i>et al.</i> 2023
Australia	Australian Synchrotron	Determinar la distribución espacial del As en raíces hidratadas y frescas de caupí (<i>Vigna unguiculata</i>).	Kopittke <i>et al.</i> 2012
		Determinar la absorción y la transformación del Zn en diversos tejidos del caupí (<i>Vigna unguiculata</i>) expuestos a nanopartículas de ZnO o ZnCl_2 tras su crecimiento en solución o en suelo.	Wang <i>et al.</i> 2013
		Cuantificar los cambios espaciales y temporales de múltiples elementos químicos en hojas vivas, mediante	Blamey <i>et al.</i> , 2018

microfluorescencia de rayos X en
sincrotrón (μ -XRF).

Brasil	National Synchrotron Light Laboratory	Analizar el efecto de las auxinas en la fitoextracción de Pb de suelos contaminados.	Salazar <i>et al.</i> , 2016
	Shanghai Synchrotron Radiation Facility	Demostrar la reparación de tejido óseo <i>in vivo</i> mediante la fabricación de un andamio bioactivo de nano fosfato de magnesio (nMP) compuesto de proteína de trigo.	Xia <i>et al.</i> , 2016
	National Synchrotron Radiation Research Center / Beijing Synchrotron Radiation Facility	Dilucidar la distribución y especiación del Cu en <i>Lolium multiflorum</i> , tanto en ausencia como en presencia del quelante biodegradable ácido [S,S']- etilendiamino disuccínico (EDDS).	Zhao <i>et al.</i> , 2018
China	National Synchrotron Radiation Research Center	Analizar el crecimiento y capacidad de fitorremediación de <i>Miscanthus floridulus</i> y <i>Stenoloma chusanum</i> a través de microfluorescencia de rayos X (μ -XRF) basada en sincrotrón.	Cui <i>et al.</i> , 2020
	Beijing Synchrotron Radiation Facility	Investigar los efectos de los fertilizantes de azufre (Na_2SO_4) en la translocación y biotransformación del Cu en plantas de arroz utilizando múltiples técnicas basadas en el sincrotrón.	Sun <i>et al.</i> , 2017
	Shanghai Synchrotron Radiation Facility	Investigar los cambios químicos y espaciotemporales en granos de maíz dañados incrementalmente inducidos por la infección de <i>Aspergillus flavus</i> a nivel macroscópico y microscópico.	Lu <i>et al.</i> , 2022

	Beijing Synchrotron Radiation Facility	Evaluar la fitotoxicidad del nano polietileno tereftalato (nPET) y el micro polietileno tereftalato (mPET) mediante metabolómica no dirigida con SRXRF y algoritmos de aprendizaje profundo.	Xie <i>et al.</i> , 2024
Corea del Sur	Pohang Light Source	Analizar el uso de bacterias reductoras de metales para la biorremediación de suelos impactados con contaminantes orgánicos e inorgánicos mixtos.	Lee <i>et al.</i> , 2011
España	ALBA Synchrotron	Caracterizar los principales cambios en las biomoléculas causados por la exposición a Cd y el Hg en la microalga verde modelo <i>Chlamydomonas reinhardtii</i> .	Barón <i>et al.</i> , 2021
		Determinar la estructura cristalina de la estreptavidina a partir de la difracción de múltiples longitudes de onda.	Hendricksont <i>et al.</i> , 1989
	Stanford Synchrotron Radiation Laboratory	Localizar la acumulación de Pb en tejidos de <i>Sedum alfredii</i> desarrollada en soluciones con Pb(NO ₃) ₂ .	Tian <i>et al.</i> , 2011
Estados Unidos de América		Analizar los patrones de distribución y especiación del Cu en raíces de arroz desarrolladas en 50 µM de Cu.	Lu <i>et al.</i> , 2017
	National Synchrotron Light Source	Desarrollar un nuevo enfoque para el estudio de la estructura y función de los ácidos nucleicos utilizando rayos X de radiación sincrotrón con resolución temporal.	Sclavi <i>et al.</i> , 1997
		Contribuir al proyecto para conocer el genoma humano analizando	Burley <i>et al.</i> , 1999

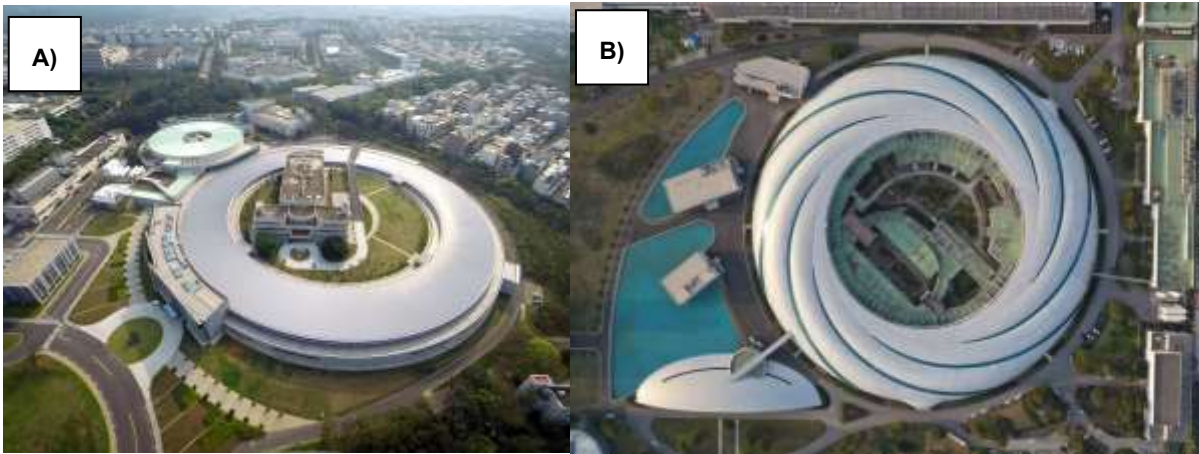
		cristalografía de proteínas mediante rayos X de radiación sincrotrón.	
Francia	European Synchrotron Radiation Facility	Contribuir en el procedimiento para la primera angiografía coronaria transvenosa humana utilizando la microscopía de rayos X con sincrotrón.	Elleau <i>et al.</i> , 2000
		Analizar el uso de la microtomografía de radiación sincrotrón para el análisis de la microarquitectura tridimensional y el grado de mineralización de muestras de biopsia de cresta ilíaca humana.	Nuzzo <i>et al.</i> , 2002
		Contribuir al estudio de la permeabilidad de la barrera hematoencefálica y del volumen sanguíneo, mediante una tomografía computarizada de radiación sincrotrón cuantitativa.	Adam <i>et al.</i> , 2005
		Comprender la estructura cristalina del receptor acoplado a proteína G adrenérgica $\beta 2$ humana.	Rasmussen <i>et al.</i> , 2007
		Analizar la transferencia de enzimas activas de carbohidratos de bacterias marinas a la microbiota intestinal japonesa.	Hehemann <i>et al.</i> , 2010
		Caracterizar la distribución de Cd y de nutrientes (en particular Cu, Fe, Mn, P, S y Zn) en el grano de trigo duro, utilizando la espectrometría de masas de acoplamiento inductivo por ablación láser y μ -XRF de sincrotrón.	Yan <i>et al.</i> , 2020

		Cuantificar la absorción de nanoplasticos y su translocación a brotes vegetales visualizando los nanoplasticos en las raíces mediante microfluorescencia de rayos X de sincrotrón (μ -XRF).	Del Real <i>et al.</i> , 2022
Japón	Spring-8	Analizar el uso de la espectroscopía de dicroísmo circular de radiación sincrotrón de proteínas para su aplicación en genómica estructural y funcional.	Miles <i>et al.</i> , 2006
Inglaterra	Diamond Light Source	Analizar la estructura proteica y la estabilidad de los sistemas proteína-nanopartícula utilizando dicroísmo circular de radiación de sincrotrón.	Laera <i>et al.</i> , 2011

De acuerdo con la información recolectada, para el estudio de la biotecnología en general, los sincrotrones de China son los más utilizados (Figura 2), seguidos de los sincrotrones localizados en Francia y Estados Unidos. Cabe resaltar que, Brasil es el único país que figura de América Latina, ya que es el único sincrotrón disponible para esta región. En este sentido, es importante comentar que durante el sexenio 2012-2018 existió la propuesta en México de crear un Sincrotrón, el cual sería instalado en el estado de Morelos. Sin embargo, al cambio de gobierno, la propuesta se vino abajo y se abandonó el proyecto (Del Río-Bello, 2018). La propuesta del sincrotrón mexicano dejó como producto el establecimiento de una asociación formada por un grupo de científicos mexicanos, que comenzó establecida como una Red Temática de Usuarios de Luz Sincrotrón (REDTULS) apoyada por el CONAHCYT. Actualmente, también existe una agrupación de usuarios potenciales de luz sincrotrón, denominada Sociedad Mexicana de Luz Sincrotrón.

Figura 2.

- A) Vista aérea del National Synchrotron Radiation Research Center. Fotografía cortesía de Chang.ms
 B) Vista aérea del Beijing Synchrotron Radiation Facility.



Fotografía cortesía de Shen chunchen/for China Daily.

Para las investigaciones que se enfocaron en estudiar especialmente procesos relacionados con la biotecnología vegetal registramos 12 trabajos (Tabla 2), quedaron excluidas las investigaciones que no mencionaban procesos enfocados en las plantas, ya que estos fueron abordados en la Tabla 1. Para esta sección, el Sincrotrón más utilizado fue el National Synchrotron Light Source ubicado en los Estados Unidos de América con un 58.33% del total de investigaciones, seguido del Brazilian Synchrotron Light Laboratory (Fig. 3). Interesantemente, con respecto a los procesos de biotecnología vegetal, el Sincrotrón de Brasil tiene una importante participación debido a que en Sudamérica la biotecnología vegetal es una herramienta útil para el desarrollo de la agricultura.

Tabla 2.

Investigaciones que relacionan de forma específica la biotecnología vegetal con el uso de la radiación sincrotrón.

País de procedencia	Sincrotrón utilizado	Objetivo del estudio	Referencia
Brasil	Brazilian Synchrotron Light Laboratory	Absorción radicular y reducción del cromo hexavalente por macrófitos acuáticos evaluadas mediante emisión de rayos X de alta resolución.	Espinoza <i>et al.</i> , 2009
		Las interacciones entre el ácido indol-3-acético (IAA) y una lectina de semillas de <i>Canavalia maritima</i> revelan una nueva	Delatorre <i>et al.</i> , 2013

función de las lectinas en la fisiología vegetal.

Canada	Canadian Light Source/ Centre Canadien de Rayonnement Synchrotron	La radiación sincrotrón arroja nueva luz sobre la investigación vegetal: El uso de potentes técnicas para estudiar la estructura y composición de las plantas.	Vijayan <i>et al.</i> , 2015
España	ALBA Synchrotron	Bases estructurales de la especificidad de unión al ADN de los factores de transcripción ARF dependientes de auxina.	Boer <i>et al.</i> , 2014
Estados Unidos de América	Lawrence Berkeley National Laboratory	Visualización de la química de la rizosfera de las leguminosas con radiación sincrotrón en el infrarrojo medio.	Raab y Martin, 2001
	Stanford Synchrotron Radiation Laboratory	Ingeniería de tolerancia e hiperacumulación de arsénico en plantas combinando la expresión de arsenato reductasa y gamma-glutamylcisteína sintetasa.	Dhankher <i>et al.</i> , 2002
		Imágenes químicas de microestructuras de tejidos vegetales dentro de la dimensión celular mediante microespectroscopia infrarroja de sincrotrón.	Yu <i>et al.</i> , 2003
	National Synchrotron Light Source	Evolución de la lignificación del xilema y regulación del transporte de hidrogeles.	Boyce <i>et al.</i> , 2004
		Microespectroscopia infrarroja por transformada de fourier con sincrotrón: Una nueva herramienta para vigilar el destino de los contaminantes orgánicos en las plantas.	Dokken <i>et al.</i> , 2005a

		Uso de la microespectroscopia infrarroja en el crecimiento y desarrollo de las plantas.	Dokken <i>et al.</i> , 2005b
		Mecanismo molecular del reconocimiento de la histona H3K4me3 por el homeodominio vegetal.	Peña <i>et al.</i> , 2006
Inglaterra	Synchrotron Radiation Source	Estudio de la fluorescencia clorofílica de Clematis madura y micropropagada mediante espectroscopia con resolución temporal.	Lees <i>et al.</i> , 1991

Fig. 3.

Vista aérea del Brazilian Synchrotron Light Laboratory, única fuente de luz sincrotrón en América Latina.



Fuente: <https://lightsources.org/lightsources-of-the-world/americas/brazilian-synchrotron-light-laboratory/>

En este sentido, es importante comentar que la Sociedad Mexicana de Luz Sincrotrón cuenta en algunos momentos con convocatorias en las cuales se apoya a estudiantes interesados en realizar alguna parte metodológica de sus investigaciones con una estancia en alguno de los sincrotrones del mundo, incluido el sincrotrón brasileño. Para ello, es necesario afiliarse como miembro estudiante de la Sociedad. Los invitamos a consultar su sitio web (<https://www.smls.mx/>) para obtener más información acerca de este y otros beneficios que se pueden adquirir al ser miembros activos de la sociedad.

En la Tabla 2 se observa que países como Inglaterra, España y Canadá también han dirigido sus esfuerzos hacia la investigación en biotecnología vegetal. Cabe destacar que el National Synchrotron Light Source, ubicado en Estados Unidos, es el sincrotrón más utilizado en el continente americano. Un análisis detallado de la distribución de la investigación en este campo revela una notable concentración en ciertos centros de radiación sincrotrón, resaltando la prominencia del mencionado laboratorio estadounidense. No obstante, también se identifican avances significativos en Brasil, donde el Brazilian Synchrotron Light Laboratory se posiciona como un actor relevante en la región. Esta distribución geográfica resalta la importancia de impulsar y aprovechar el potencial de la biotecnología vegetal en diversas regiones del mundo, especialmente en América Latina, donde su aplicación puede ser clave para el desarrollo agrícola sostenible. Asimismo, se pone de manifiesto la necesidad de fortalecer la colaboración internacional y el intercambio de conocimientos para fomentar el progreso de este campo en constante evolución.

El uso de la luz sincrotrón ofrece ventajas significativas para el análisis a nivel molecular y estructural en diversas áreas de la ciencia. Sin embargo, esta tecnología implica altos costos asociados tanto a su construcción, como a su operación y mantenimiento. La infraestructura necesaria para albergar un sincrotrón es compleja, demanda inversiones multimillonarias, personal altamente capacitado y un entorno tecnológico avanzado, lo cual representa un gran desafío para países en desarrollo y con recursos limitados. En el caso de México, estas exigencias han dificultado el establecimiento de un centro nacional de luz sincrotrón, lo que limita el acceso de la comunidad científica a esta herramienta de vanguardia. Actualmente, los investigadores mexicanos deben recurrir a instalaciones en el extranjero, lo que implica tiempos prolongados de espera, mayores costos logísticos y barreras administrativas, reduciendo así las oportunidades de aprovechar plenamente el potencial de esta tecnología para el desarrollo científico y tecnológico del país.

6.- Conclusión

En México actualmente se desarrollan diversas investigaciones sobre el cultivo de tejidos vegetales, utilizando la micropropagación como técnica para apoyar los procesos de conservación. Es de vital importancia dar a conocer las facilidades que brinda una herramienta como el Sincrotrón para la investigación de procesos fisiológicos en plantas y considerar que la utilización de este tipo de luz podría proporcionar resultados para acelerar los procesos de propagación, dilucidar procesos de protección fisiológica en plantas y comprender mecanismos vegetales que proporcionarían grandes ventajas en diversos mecanismos bioquímicos.

7.- Referencias bibliográficas

Adam, J. F., Nemoz, C., Bravin, A., Fiedler, S., Bayat, S., Monfraix, S., Berruyer, G., Charvet, A. M., Le Bas, J. F., Elleaume, H., & Estève, F. (2005). High-resolution blood–brain barrier permeability

- and blood volume imaging using quantitative synchrotron radiation computed tomography: study on an F98 rat brain glioma. *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*, 25(2), 145-153.
- Aladele, S. E., Afolayan, G., Jamaledine, Z. O., Oduoye, O. T., Bolatito, O. A., Afolayan, A. O., Olosunde, A. A., Olubiyi, M. R., Okere, A. U., Daniel, I. O., & Ubi, B. E. (2022). Biotechnological approaches for genetic resources conservation and use. In *Agricultural Biotechnology, Biodiversity and Bioresources Conservation and Utilization* (pp. 427-450). *CRC Press*.
- Barón-Solá, Á., Toledo-Basantes, M., Arana-Gandía, M., Martínez, F. G., Ortega-Villasante, C., Dučić, T., Yousef, I., & Hernández, L. E. (2021). Synchrotron Radiation-Fourier Transformed Infrared microspectroscopy (MSR-FTIR) reveals multiple metabolism alterations in microalgae induced by cadmium and mercury. *Journal of Hazardous Materials*, 419, 126502.
- Blamey, F. P. C., Paterson, D. L., Walsh, A., Afshar, N., McKenna, B. A., Cheng, M., Tang, C., Horst, W. J., Menzies, N. W., & Kopittke, P. M. (2018). Time-resolved x-ray fluorescence analysis of element distribution and concentration in living plants: an example using manganese toxicity in cowpea leaves. *Environmental and Experimental Botany*, 156, 151-160.
- Boer, D. R., Freire-Rios, A., van den Berg, W. A., Saaki, T., Manfield, I. W., Kepinski, S., López-Vidrieo, I., Franco-Zorrilla, J. M., de Vries, S. C., Solano, R., Weijers, D., & Coll, M. (2014). Structural basis for DNA binding specificity by the auxin-dependent ARF transcription factors. *Cell*, 156(3), 577-589.
- Boyce, C. K., Zwieniecki, M. A., Cody, G. D., Jacobsen, C., Wirick, S., Knoll, A. H., & Holbrook, N. M. (2004). Evolution of xylem lignification and hydrogel transport regulation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(50), 17555-17558.
- Burley, S. K., Almo, S. C., Bonanno, J. B., Capel, M., Chance, M. R., Gaasterland, T., Lin, D., Sali, A., Studier, F. W., & Swaminathan, S. (1999). Structural genomics: beyond the human genome project. *Nature genetics*, 23(2).
- Cheeseman, S., Shaw, Z. L., Vongsivut, J., Crawford, R. J., Dupont, M. F., Boyce, K. J., Gangadoo, S., Bryant, S. J., Bryant, G., Cozzolino, D., Chapman, J., Elbourne, A., & Truong, V. K. (2021). Analysis of pathogenic bacterial and yeast biofilms using the combination of synchrotron ATR-FTIR microspectroscopy and chemometric approaches. *Molecules*, 26(13), 3890.
- Coelho, N., Gonçalves, S., & Romano, A. (2020). Endemic plant species conservation: Biotechnological approaches. *Plants*, 9(3), 345.
- Cui, J., Zhao, Y., Chan, T., Zhang, L., Tsang, D. C., & Li, X. (2020). Spatial distribution and molecular speciation of copper in Indigenous plants from contaminated mine sites: implication for phytostabilization. *Journal of Hazardous Materials*, 381, 121208.
- Del Real, A. E. P., Mitrano, D. M., Castillo-Michel, H., Wazne, M., Reyes-Herrera, J., Bortel, E., Hesse, B., Villanova, J., & Sarret, G. (2022). Assessing implications of nanoplastics exposure to plants with advanced nanometrology techniques. *Journal of Hazardous Materials*, 430, 128356.
- Del Río-Bello (2018). Un asunto de estado: la construcción del primer sincrotrón en México. Consejo

de Ciencia y Tecnología del Estado de Morelos. Morelos, México.

- Delatorre, P., Silva-Filho, J. C., Rocha, B. A., Santi-Gadelha, T., da Nóbrega, R. B., Gadelha, C. A., do Nascimento, K. S., Nagano, C. S., Sampaio, A. H., & Cavada, B. S. (2013). Interactions between indole-3-acetic acid (IAA) with a lectin from *Canavalia maritima* seeds reveal a new function for lectins in plant physiology. *Biochimie*, 95(9), 1697-1703.
- Dhankher, O. P., Li, Y., Rosen, B. P., Shi, J., Salt, D., Senecoff, J. F., Sashti, N. A., & Meagher, R. B. (2002). Engineering tolerance and hyperaccumulation of arsenic in plants by combining arsenate reductase and [gamma]-glutamylcysteine synthetase expression. *Nature biotechnology*, 20(11), 1140.
- Dokken, K. M., Davis, L. C., & Marinkovic, N. S. (2005b). Use of infrared microspectroscopy in plant growth and development. *Applied Spectroscopy Reviews*, 40(4), 301-326.
- Dokken, K. M., Davis, L. C., Erickson, L. E., Castro-Diaz, S., & Marinkovic, N. S. (2005a). Synchrotron fourier transform infrared microspectroscopy: a new tool to monitor the fate of organic contaminants in plants. *Microchemical journal*, 81(1), 86-91.
- Ellelaume, H., Fiedler, S., Estève, F., Bertrand, B., Charvet, A. M., Berkvens, P., Berruyer, G., Brochard, T., Le Duc, G., Nemoz, C., Renier, M., Suortti, P., Thomlinson, W., & Le Bas, J. F. (2000). First human transvenous coronary angiography at the European Synchrotron Radiation Facility. *Physics in medicine and biology*, 45(9), L39.
- Espinoza-Quiñones, F. R., Martin, N., Stutz, G., Tirao, G., Palácio, S. M., Rizzutto, M. A., Módenes, A. N., Silva, F. G., Jr, Szymanski, N., & Kroumov, A. D. (2009). Root uptake and reduction of hexavalent chromium by aquatic macrophytes as assessed by high-resolution X-ray emission. *Water research*, 43(17), 4159-4166.
- Forester, B. R., Beever, E. A., Darst, C., Szymanski, J., & Funk, W. C. (2022). Linking evolutionary potential to extinction risk: applications and future directions. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 20(9), 507-515.
- Gibbs, R. A. (2020). The human genome project changed everything. *Nature Reviews Genetics*, 21(10), 575-576.
- Gutiérrez, A., Martín-Gago, J. Á., & Salvador, F. (2004). La luz sincrotrón: una herramienta extraordinaria para la ciencia. *Apuntes de Ciencia y Tecnología*, 12, 37-46.
- Hehemann, J. H., Correc, G., Barbeyron, T., Helbert, W., Czjzek, M., & Michel, G. (2010). Transfer of carbohydrate-active enzymes from marine bacteria to Japanese gut microbiota. *Nature*, 464(7290), 908-912.
- Hendrickson, W. A., Pähler, A., Smith, J. L., Satow, Y., Merritt, E. A., & Phizackerley, R. P. (1989). Crystal structure of core streptavidin determined from multiwavelength anomalous diffraction of synchrotron radiation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 86(7), 2190-2194.
- Janssen, S., El Shafie, R. A., Ruder, A. M., Buergy, D., Scafa, D., Giordano, F. A., Nicolay, N. H., Vogel,

- M. M. E., Combs, S. E., Fahlbusch, F. B., Rades, D. & Kaesmann, L. (2023). Mobile applications in radiation oncology—current choices and future potentials. *Strahlentherapie und Onkologie*, 199(4), 337-349.
- Kato, H., Mutte, S. K., Suzuki, H., Crespo, I., Das, S., Radoeva, T., Fontana, M., Yoshitake, Y., Hainiwa, E., van den Berg, W., Lindhoud, S., Ishizaki, K., Hohlbein, J., Borst, J. W., Boer, D. R., Nishihama, R., Kohchi, T., & Weijers, D. (2020). Design principles of a minimal auxin response system. *Nature Plants*, 6(5), 473-482.
- Kopittke, P. M., de Jonge, M. D., Menzies, N. W., Wang, P., Donner, E., McKenna, B. A., Paterson, D., Howard, D. L., & Lombi, E. (2012). Examination of the distribution of arsenic in hydrated and fresh cowpea roots using two- and three-dimensional techniques. *Plant physiology*, 159(3), 1149–1158.
- Laera, S., Ceccone, G., Rossi, F., Gilliland, D., Hussain, R., Siligardi, G., & Calzolari, L. (2011). Measuring protein structure and stability of protein–nanoparticle systems with synchrotron radiation circular dichroism. *Nano letters*, 11(10), 4480-4484.
- Lee, E. H., Kang, Y. S., & Cho, K. S. (2011). Bioremediation of diesel-contaminated soils by natural attenuation, biostimulation and bioaugmentation employing *Rhodococcus* sp. EH831. *Microbiology and Biotechnology Letters*, 39(1), 86-92.
- Lees, R. P., Evans, E. H., & Brown, R. G. (1991). A study of the chlorophyll fluorescence from mature and micropropagated Clematis by time-resolved spectroscopy. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 8(3), 307-313.
- Lu, L., Xie, R., Liu, T., Wang, H., Hou, D., Du, Y., He, Z., Yang, X., Sun, H., & Tian, S. (2017). Spatial imaging and speciation of CU in rice (*Oryza sativa* L.) roots using synchrotron-based X-ray microfluorescence and X-ray absorption spectroscopy. *Chemosphere*, 175, 356-364.
- Lu, Y., Jia, B., Yoon, S., Zhuang, H., Ni, X., Guo, B., Gold, S. E., Fountain, J. C., Glenn, A. E., Lawrence, K. C., Zhang, H., Guo, X., Zhang, F., & Wang, W. (2022). Spatio-temporal patterns of *Aspergillus flavus* infection and aflatoxin B1 biosynthesis on maize kernels probed by SWIR Hyperspectral Imaging and Synchrotron FTIR microspectroscopy. *Food Chemistry*, 382, 132340.
- Marmiroli, M., Mussi, F., Gallo, V., Gianoncelli, A., Hartley, W., & Marmiroli, N. (2022). Combination of Biochemical, Molecular, and Synchrotron-Radiation-Based Techniques to Study the Effects of Silicon in Tomato (*Solanum Lycopersicum* L.). *International Journal of Molecular Sciences*, 23(24), 15837.
- Miles, A. J., & Wallace, B. A. (2006). Synchrotron radiation circular dichroism spectroscopy of proteins and applications in structural and functional genomics. *Chemical Society Reviews*, 35(1), 39-51.
- Morina, F., Mijovilovich, A., Mishra, A., Brückner, D., Vujić, Z., Bokhari, S. N. H., Špak, J., Falkenberg, G., & Küpper, H. (2023). Cadmium and ZN hyperaccumulation provide efficient constitutive

- defense against turnip yellow mosaic virus infection in *Noccaea caerulea*. *Plant Science*, 336, 111864.
- Neidhardt, H., Kramar, U., Tang, X., Guo, H., & Norra, S. (2015). Arsenic accumulation in the roots of *Helianthus annuus* and *Zea mays* by irrigation with arsenic-rich groundwater: Insights from Synchrotron X-ray Fluorescence Imaging. *Geochemistry*, 75(2), 261-270.
- Nuzzo, S., Lafage-Proust, M. H., Martin-Badosa, E., Boivin, G., Thomas, T., Alexandre, C., & Peyrin, F. (2002). Synchrotron Radiation Microtomography Allows the Analysis of Three-Dimensional Microarchitecture and Degree of Mineralization of Human Iliac Crest Biopsy Specimens: Effects of Etidronate Treatment. *Journal of Bone and Mineral Research*, 17(8), 1372-1382.
- Pearson, A. R., & Mehrabi, P. (2020). Serial synchrotron crystallography for time-resolved structural biology. *Current Opinion in Structural Biology*, 65, 168-174.
- Pelka, J. B. (2022). Synchrotron Radiation in Biology and Medicine. *Acta Physica Polonica: A*, 114(2).
- Peña, P. V., Davrazou, F., Shi, X., Walter, K. L., Verkhusha, V. V., Gozani, O., Zhao, R., & Kutateladze, T. G. (2006). Molecular mechanism of histone H3K4me3 recognition by plant homeodomain of ING2. *Nature*, 442(7098), 100.
- Pšenčík, J., Ikonen, T. P., Laurinmäki, P., Merckel, M. C., Butcher, S. J., Serimaa, R. E., & Tuma, R. (2004). Lamellar organization of pigments in chlorosomes, the light harvesting complexes of green photosynthetic bacteria. *Biophysical journal*, 87(2), 1165-1172.
- Raab, T. K., & Martin, M. C. (2001). Visualizing rhizosphere chemistry of legumes with mid-infrared synchrotron radiation. *Planta*, 213(6), 881-887.
- Rasmussen, S. G., Choi, H. J., Rosenbaum, D. M., Kobilka, T. S., Thian, F. S., Edwards, P. C., Burghammer, M., Ratnala, V. R., Sanishvili, R., Fischetti, R. F., Schertler, G. F., Weis, W. I., & Kobilka, B. K. (2007). Crystal structure of the human [beta] 2 adrenergic G-protein-coupled receptor. *Nature*, 450(7168), 383.
- Reed, A. B. (2011). The history of radiation use in medicine. *Journal of vascular surgery*, 53(1), 3S-5S.
- Rüffer, B., Thielmann, Y., Lemke, M., Minges, A., & Groth, G. (2024). Crystallization of Ethylene Plant Hormone Receptor—Screening for Structure. *Biomolecules*, 14(3), 375.
- Salazar, M. J., Rodriguez, J. H., Cid, C. V., & Pignata, M. L. (2016). Auxin effects on Pb phytoextraction from polluted soils by *Tegetes minuta* L. and *Bidens pilosa* L.: Extractive power of their root exudates. *Journal of hazardous materials*, 311, 63-69.
- Sclavi, B., Woodson, S., Sullivan, M., Chance, M. R., & Brenowitz, M. (1997). Time-resolved synchrotron X-ray "footprinting", a new approach to the study of nucleic acid structure and function: application to protein-DNA interactions and RNA folding. *Journal of molecular biology*, 266(1), 144-159.
- Sun, L., Yang, J., Fang, H., Xu, C., Peng, C., Huang, H., Lu, L., Duan, D., Zhang, X., & Shi, J. (2017). Mechanism Study of sulfur fertilization mediating copper translocation and biotransformation in rice (*Oryza sativa* L.) plants. *Environmental Pollution*, 226, 426-434.

- Tian, S., Lu, L., Yang, X., Huang, H., Brown, P. H., Labavitch, J. M., Liao, H., & He, Z. (2011). The impact of EDTA on lead distribution and speciation in the accumulator *Sedum Alfredii* by Synchrotron X-ray investigation. *Environmental Pollution*, 159(3), 782-788.
- Türker-Kaya, S., & Huck, C. W. (2017). A Review of mid-infrared and near-infrared imaging: principles, concepts and applications in plant tissue analysis. *Molecules*, 22(1), 168.
- Vijayan, P., Willick, I. R., Lahlali, R., Karunakaran, C., & Tanino, K. K. (2015). Synchrotron radiation sheds fresh light on plant research: The use of powerful techniques to probe structure and composition of plants. *Plant and Cell Physiology*, 56(7), 1252-1263.
- Wang, P., Menzies, N. W., Lombi, E., McKenna, B. A., Johannessen, B., Glover, C. J., Kappen, P., & Kopittke, P. M. (2013). Fate of ZnO nanoparticles in soils and cowpea (*Vigna unguiculata*). *Environmental science & technology*, 47(23), 13822–13830.
- Xia, Y., Zhou, P., Wang, F., Qiu, C., Wang, P., Zhang, Y., Zhao, L., & Xu, S. (2016). Degradability, biocompatibility, and osteogenesis of biocomposite scaffolds containing nano magnesium phosphate and wheat protein both *in vitro* and *in vivo* for bone regeneration. *International journal of nanomedicine*, 11, 3435–3449.
- Xie, H., Wei, C., Wang, W., Chen, R., Cui, L., Wang, L., Chen, D., Yu, Y., Li, B., & Li, Y. F. (2024). Screening the phytotoxicity of micro/nanoplastics through non-targeted metallomics with synchrotron radiation x-ray fluorescence and deep learning: taking micro/nano polyethylene terephthalate as an example. *Journal of Hazardous Materials*, 463, 132886.
- Yan, B., Isaure, M., Mounicou, S., Castillo-Michel, H., De Nolf, W., Nguyen, C., & Cornu, J. (2020). Cadmium distribution in mature durum wheat grains using dissection, laser ablation-ICP-MS and synchrotron techniques. *Environmental Pollution*, 260, 113987.
- Yu, P., McKinnon, J. J., Christensen, C. R., Christensen, D. A., Marinkovic, N. S., & Miller, L. M. (2003). Chemical imaging of microstructures of plant tissues within cellular dimension using synchrotron infrared microspectroscopy. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(20), 6062-6067.
- Zhao, Y., Cui, J., Chan, T., Dong, J., Chen, D., & Li, X. (2018). Role of Chelant on Cu distribution and speciation in *lolium multiflorum* by synchrotron techniques. *Science of The Total Environment*, 621, 772-781.

PROTOTIPO DIGITAL DE APOYO PARA LA ENSEÑANZA DE LAS MATEMÁTICAS EN NIÑOS Y NIÑAS DE EDUCACIÓN BÁSICA

Camila Guadalupe Suárez-Sevilla¹

Samantha Lizbeth Dimas-Monsiváis²

Carlos Iván Ponce-López³

Job Martínez-Cárdenas⁴

Andrea Ávila-Salas⁵

Axel Fuentes-Camarillo⁶

Maria Lisseth Flores-Cedillo^{7*}

Ramiro Eduardo Flores-Cedillo⁸

Montserrat Arriaga-Flores⁹

^{1,2,3,4,5,6} Estudiantes del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de San Luis Potosí, Capital.

^{7*,9} Docentes del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de San Luis Potosí, Capital.

⁸ Docente del Instituto de Profesionalización del Magisterio Potosino

^{7*} Docente de la División de Ingeniería Industrial del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de San Luis Potosí, Capital. maria.flores@tecsuperiorslp.edu.mx

RESUMEN

Este trabajo se basó en un trabajo de campo etnográfico, experimental y longitudinal para conocer los efectos del empleo de un prototipo de digital como alternativa de aprendizaje de las matemáticas para niños y niñas que cursan educación primaria y tienen bajo desempeño escolar, que tienen dificultades para mantener la atención, o muestran hiperactividad; lo que no les permite concentrarse en las clases teóricas. Este prototipo se denominó “Funny Math®” y tiene como objetivo que los niños tengan una interacción con las matemáticas a través de elementos de gamificación, mejorando su percepción sobre esta disciplina encontrándole un sentido divertido y atrayendo su atención mediante colores y sonidos atractivos. Los resultados demostraron que, en general, a los niños que lo probaron les pareció entretenido y a la vez lograron aprender y reforzar ejercicios matemáticos básicos, concluyendo que las matemáticas pueden ser enseñadas mediante estrategias diferentes y empleando Tecnologías de la Información y Comunicación (TICs) desde etapas educativas iniciales, por lo que se espera desarrollar por completo la herramienta hasta generar una aplicación móvil.

Palabras clave: Prototipo digital, matemáticas, gamificación, educación básica.

Digital prototype to support teaching mathematics to children in basic education

ABSTRACT

This study was based on ethnographic, experimental, and longitudinal fieldwork to understand the effects of using a digital prototype as an alternative way to learn mathematics for primary school children who have poor academic performance, difficulty maintaining attention, or display hyperactivity, which prevents them from concentrating in classroom lectures. This prototype, called "Funny Math®," aims to engage children with mathematics through gamification elements, improving their perception of the subject by finding it fun and attracting their attention through attractive colors and sounds. The results showed that, in general, the children who tried it found it entertaining and were able to learn and reinforce basic mathematical exercises. The conclusion was that mathematics can be taught through different strategies and using Information and Communication Technologies (ICTs) from the early stages of education. Therefore, the full development of the tool is expected to result in a mobile application.

Keywords: Digital prototype, mathematics, gamification, basic education.

1.- Introducción

Las innovaciones en el apoyo matemático personalizado para estos estudiantes se centran en dos variables clave: el uso de tecnologías en el aula y su impacto en el rendimiento académico (Juanazo et al., 2025).

El bajo rendimiento escolar es multifactorial que se manifiesta en lo cognitivo, académico y conductual (Shapiro, 2011). Los niños que cursan la educación primaria no cuentan actualmente con plataformas educativas atractivas para ellos, lo cual les hace distraerse fácilmente no logrando desarrollar por completo un aprendizaje significativo, principalmente para desarrollar habilidades matemáticas específicamente en cálculos, operaciones básicas, lectura y comprensión de ejercicios (Miranda Casas et al., 2002; Salvatierra Melgar et al., 2019). Atendiendo a esta situación, se diseñó el prototipo digital denominada Funny Math® la cual está basada técnicas pedagógicas personalizadas para la enseñanza de niños y niñas que cursan los primeros grados de educación básica y que a través de juegos espera lograr un aumento en la concentración al estudiar matemáticas.

Funny Math® está diseñado mediante la integración de una interfaz fácil de utilizar y atractiva para los niños y niñas de entre 6 y 11 años para que puedan aprender y reforzar las matemáticas por medio de juegos, además de haberse considerado aspectos como la falta de concentración e hiperactividad que son características del Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) (Moreno & Valderrama, 2015) esperando captar a un mayor número de usuarios que las aplicaciones digitales existentes en la actualidad.

Funny Math® tiene un enfoque holístico involucrando a los niños y niñas en las matemáticas, mientras que fomenta la creatividad y se construyen habilidades socio-emocionales personalizando las

actividades de manera dinámica y creativa, creando una experiencia individualizada para cada alumno que le permitan aprender a su propio ritmo.

Asimismo, los desarrolladores se comprometen a contar con certificados que eviten acceder a la información y avances de los usuarios por personas ajenas a las autorizadas.

2.- Marco teórico

Las dificultades de aprendizaje impactan la adquisición y aplicación de conocimientos y habilidades académicas en áreas clave como matemáticas, lectura y escritura, lo que pueden generar la prevalencia de inseguridad, limitando la realización de actividades o tareas que pueden llegar incluso a la deserción escolar (Miranda Casas et al., 2009).

El conocimiento matemático es una de las disciplinas que permite fortalecer la capacidad de razonamiento y resolver problemas de orden lógico o heurístico permitiendo una formación básica para el desenvolvimiento cotidiano (Salvatierra Melgar et al., 2019). En esta disciplina es muy necesario adaptarse a los cambios y normalizar el uso de las herramientas digitales que conlleven al desarrollo de clases interactivas y favorezcan la enseñanza-aprendizaje (Calero-Cerna & Veramendi-Vernazza, 2023). Se ha demostrado que las estrategias basadas en el uso de las TICs estimulan las habilidades matemáticas y la resolución de problemas (Macas Calle et al., 2025).

Diversos estudios han demostrado que una de las mejores formas de aprender es a través del juego, ya que los niños aprenden haciendo lo que más les gusta que sea jugar por las emociones que les generan estas actividades (Espinales Marin et al., 2022; Miranda Casas et al., 2009), aunado a que actualmente los niños manipulan dispositivos inteligentes con facilidad. Para lograr aprendizajes significativos de las matemáticas se pueden utilizar recursos tecnológicos pero sería conveniente que los docentes diseñaran desde la planeación curricular su uso para lograr una adecuada formación de las competencias comunicativas y tecnológicas en los estudiantes (Grisales-Aguirre, 2018).

La gamificación toma como base la utilización de elementos del diseño de videojuegos en contextos educativos que no se caracterizan por ser específicamente de juego, con el fin de incentivar un proceso de aprendizaje divertido, atractivo y motivador (Gil-Quintana et al., 2020).

A raíz de la pandemia causada por el Covid-19 se generó la necesidad de contar con desarrollos tecnológicos para el ámbito educativo, pues se derivó un importante retraso de la enseñanza (Segura Lazcano et al., 2021), de la economía y en el desarrollo social (Salas-Sánchez & Peña-Rojas, 2021), pues se documentó en diversas fuentes que 7 de 10 personas que padecieron de Covid-19 sufrieron de la falta de atención o retención de la información (Cueto, 2021). Derivando en la emergencia de nuevos problemas en el aprendizaje como consecuencia de la transición a la era digital (Serna M., 2021). La demanda de desarrollar competencias digitales y ajustarse a nuevas modalidades de aprendizaje se ha vuelto esencial para afrontar los desafíos inherentes a este contexto en constante cambio.

De acuerdo con el censo de 2020 del INEGI, hay una población total de 25.2 millones de niños entre los 0 y 11 años de los cuales 13,407,199 niños en edad de educación primaria (INEGI, 2022), por lo que se consideran como un universo potencial para el uso de herramientas digitales que en el caso de Funny Math®, faciliten el aprendizaje de las matemáticas.

En la Tabla 1 se muestran diferentes tipos de aplicaciones y plataformas digitales que se emplean descargándolas desde Appstore® o Playstore® algunas tienen costo y otras son gratuitas. En cuanto se consolide el desarrollo y pruebas de Funny Math®, se espera que pueda convertirse en una aplicación útil de descarga libre desde cualquiera de las tiendas online de manera gratuita.

Tabla 1.
Comparativo de aplicaciones de matemáticas para niños en español.

Nombre de la aplicación	Descripción	Fuente
IXL®	Se adapta a los programas de estudios de preescolar hasta 6° de primaria, ofreciendo una experiencia de aprendizaje personalizada.	(IXL Ejercicios de Matemáticas, 2025)
Math Land®	Una app que ofrece juegos y actividades para aprender conceptos matemáticos básicos.	(Mathland, 2025)
Bmath®	Ofrece una variedad de ejercicios y juegos para aprender matemáticas de primaria.	(App - Bmath - Te pedirán hacer mates, 2023)
Cross Math®	Es un juego de rompecabezas matemático para niños en español que combina elementos de crucigramas y sudokus.	(SL Uptodown Technologies, 2025)
Prodigy Math Game®	Es un videojuego de tipo educativo de enseñanza de matemáticas para estudiantes de 1° a 6° grado de primaria.	(Prodigy Math Game, 2022)
Aula Itbook®	Es una plataforma digital especializada en la aplicación de nuevas tecnologías en Educación Primaria.	(Aula Itbook, 2024)

Mundo primaria®	Es un portal educativo dirigido a estudiantes de primaria diseñado para aprender, reforzar y repasar las asignaturas incluidas las matemáticas.	(Primaria, 2013)
Khan Academy Kids®	Es una aplicación de actividades interactivas, libros, videos animados y lecciones creativas para la enseñanza de las matemáticas.	(Khan Academy, 2025)
Matific®	Es una plataforma educativa para enseñar y aprender matemáticas de nivel primaria diseñado para complementar la tarea docente de manera eficaz y atractiva que permite hacer un seguimiento para cada estudiante.	(<i>Juegos y hojas de trabajo de matemáticas en línea, diseñados por expertos en matemáticas</i> , 2025)
MathQuiz®	Es una herramienta gratuita de matemáticas que ofrece ejercicios de suma, resta, multiplicación y división con diferentes modos de juego,	(<i>Math Quiz</i> , 2023)

3.- Materiales y método

La investigación realizada es experimental y longitudinal, tiene un enfoque mixto y está basada en la observación. Se seleccionó una muestra aleatoria de 40 niños y 40 niñas con bajo rendimiento escolar en la asignatura de matemáticas y que estudian los grados de 1º a 6º. grado de educación primaria en una escuela ubicada en la zona metropolitana de San Luis Potosí, S.L.P., México cuya observación y pruebas experimentales fueron autorizadas por medio de una carta de consentimiento informado por parte de los padres y bajo la supervisión de los docentes de grupo.

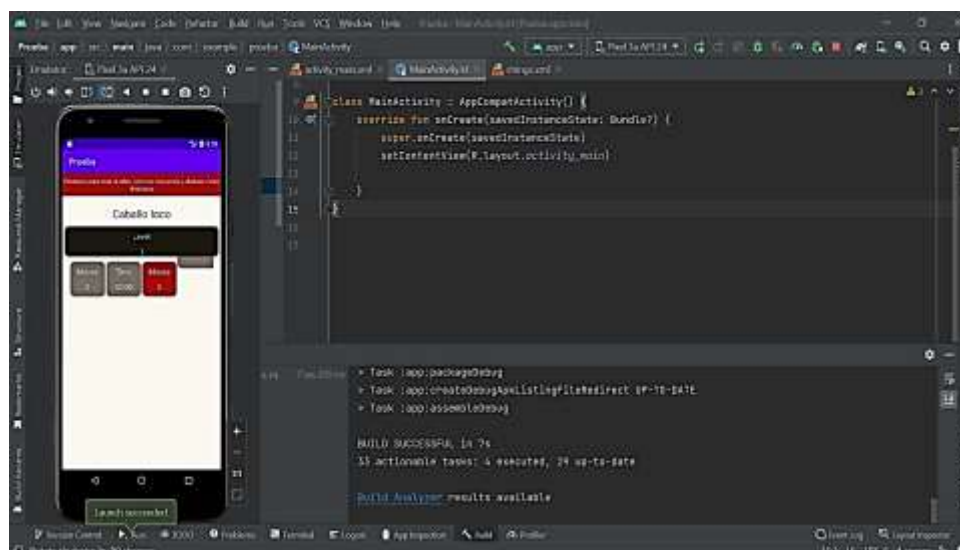
Al finalizar el estudio, se aplicó una encuesta de satisfacción a los docentes cuyos niños y niñas utilizaron el prototipo digital Funny Math®.

Diseño del prototipo

En la Ilustración 1 se observan los recursos con los que se van programando como los códigos de colores, imágenes y todos los gráficos que la aplicación muestra.

Ilustración 1.

Ejecución de la programación de Funny Math®.



El prototipo digital de Funny Math® fue diseñado tomando como guía el material didáctico de docentes. Tiene un logo con una tipografía fácil y atractiva para los niños que la utilicen, además de una imagen que pretende captar su atención y lograr una buena primera impresión (ver Ilustración 2).

Ilustración 2.

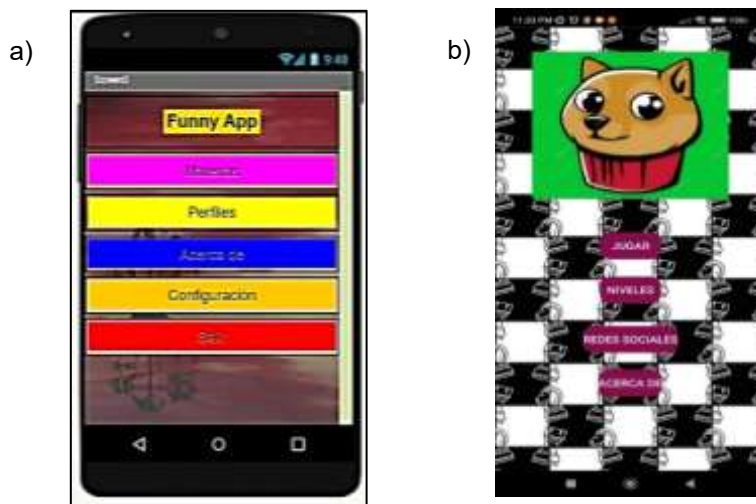
Logo de Funny Math®.



El prototipo cuenta con diferentes opciones como perfiles, acerca de la aplicación, la configuración y la opción de cerrar aplicación como se muestra en la Ilustración 3 a). En 3 b) se observa el menú de inicio desde el cual se podrá elegir entre 12 niveles, existirá una sección para poder tener contacto a través de las redes sociales Instagram®, Twitter® y Facebook®, así como un apartado de “Acerca de”, en el cual se encontrará información más detallada acerca de Funny Math®.

Ilustración 3.

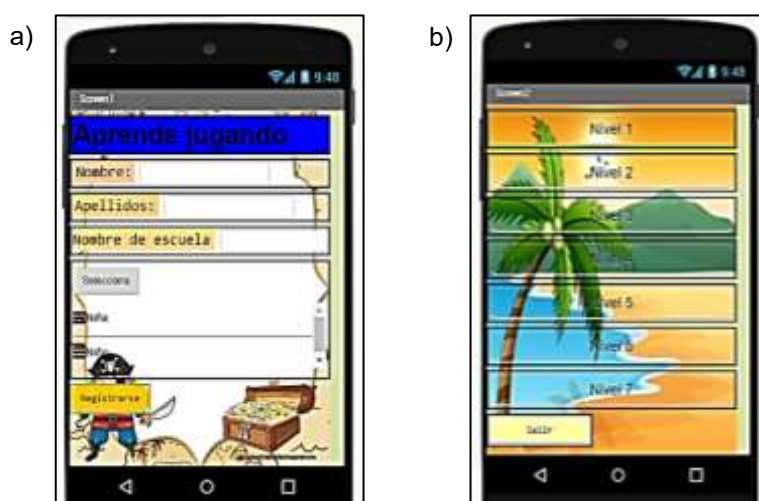
a) Apartados principales de Funny Math®, b) Menú de inicio de Funny Math®.



En la Ilustración 4 a) se puede ver el menú para el registro de Funny Math® donde se le va a pedir el nombre del niño, su género y a que institución pertenece. En 4 b) se muestra el menú para los diferentes niveles que va a tener el juego, lo que se trata de hacer es que el prototipo sea llamativo para que el niño se sienta en confianza, pero sobre todo que se divierta.

Ilustración 4.

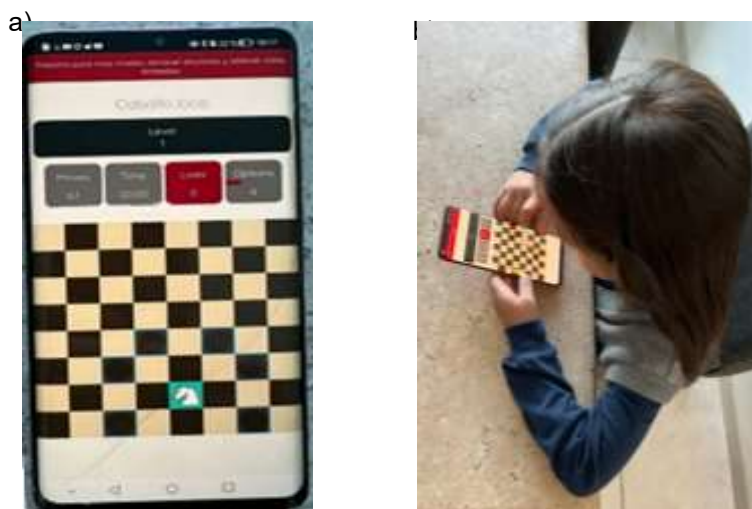
a) Apartado para el registro de usuarios, b) Niveles de juego.



El prototipo cuenta con varios juegos como memoramas, sopas de letras, hacer pares, entre otros. En la Ilustración 5 a) se muestra uno de los juegos del “caballo loco” que es desafiante y divertido para desarrollar habilidades matemáticas y de atención el cual consiste en recorrer con un caballo las 64 casillas del tablero, respetando el movimiento del caballo, y sin que se repita ninguna casilla. En 5 b) se muestra a una alumna de 2° grado de primaria que participó en el estudio jugando el “caballo loco” realizado para comprobar la eficacia de la Funny Math® y que mediante una carta de consentimiento informado de su madre autorizó su colaboración en las evaluaciones de la investigación.

Ilustración 5.

a) Tablero para el juego del “caballo loco”, b) Niña empleando el prototipo digital y jugando “caballo loco”.



Otro de los juegos se muestra en la Ilustración 6, en el que se trabajará el aprendizaje de la tabla del número 8 en donde el caballo solo se podrá mover a las casillas que sean múltiplo del 8, una vez se mueva a una casilla correcta se desbloquearán nuevas, contará con tres vidas, con tiempo y movimientos.

Ilustración 6.

Ejemplo del “juego de pares”.

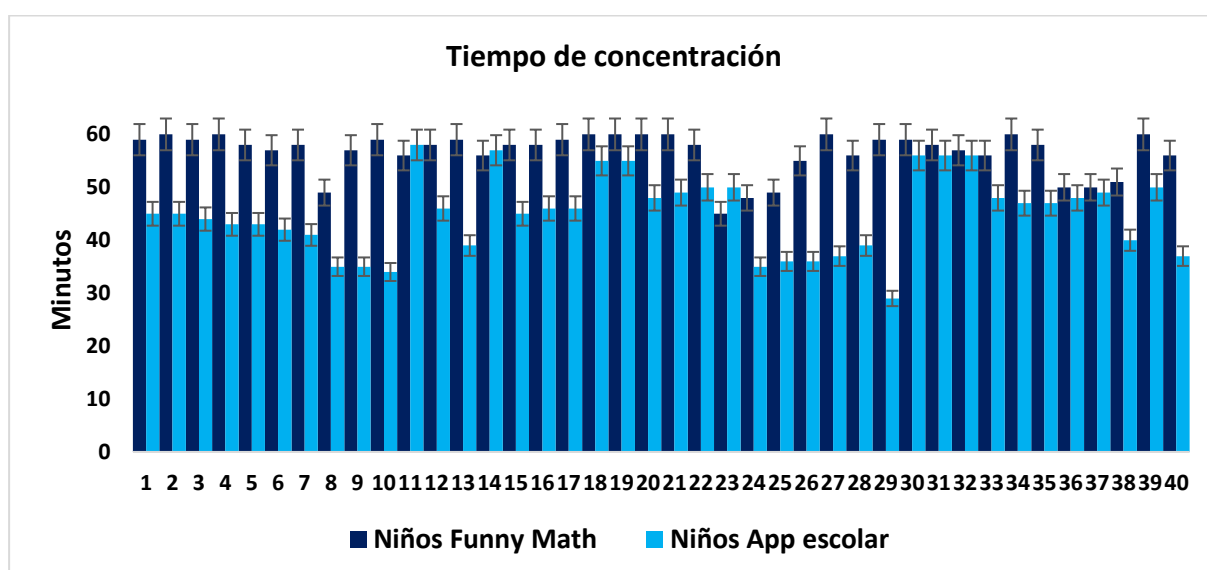


4.- Resultados

Después de haber empleado Funny Math® y una aplicación móvil educativa similar en 3 diferentes momentos del curso, se realizó un estudio comparativo sobre el tiempo de concentración basándose en un tiempo de 60 minutos encontrando que hubo un incremento del tiempo de concentración del 20 % en los niños (ver Gráfica 1) y del 18 % en las niñas (ver Gráfica 2) que emplearon Funny Math® con respecto de una aplicación móvil similar con juegos matemáticos, no encontrando diferencias significativas entre ambos géneros, no así en el tiempo en el que el prototipo digital de Funny Math® logró captar la atención de los niños y niñas mediante sus ejercicios matemáticos por medio de juegos.

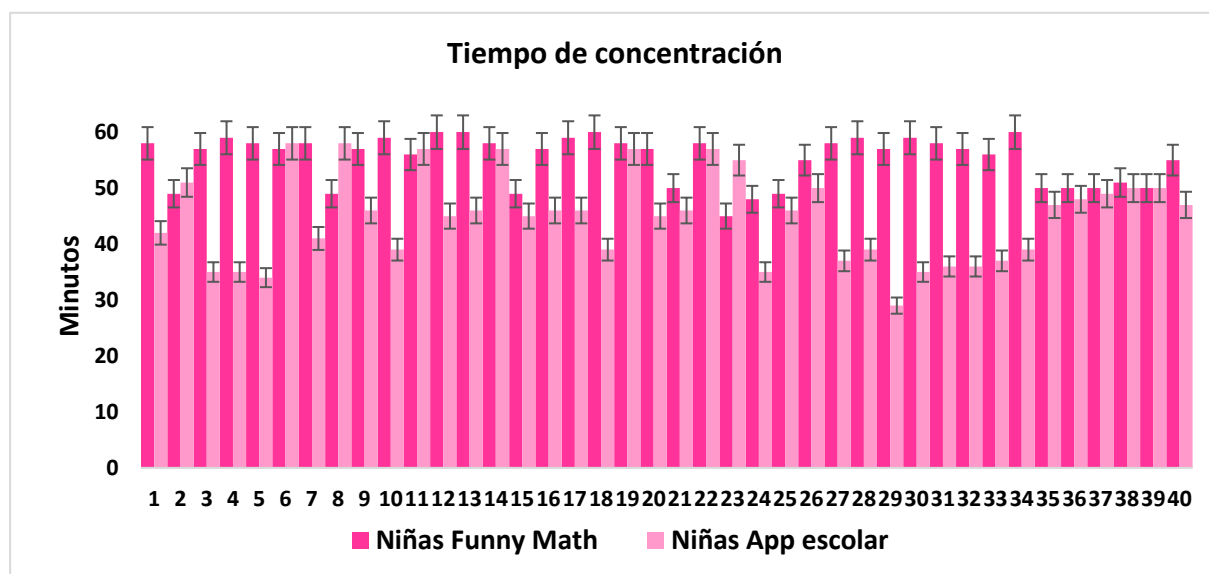
Gráfica 1.

Tiempo de concentración de niños que emplearon una aplicación móvil comercial versus Funny Math®.



Gráfica 2.

Tiempo de concentración de niñas que emplearon una aplicación móvil comercial versus Funny Math®.



Posterior al uso de Funny Math® se diseñó y aplicó una encuesta de satisfacción impresa para los 6 docentes codificados como 1°, 2°, 3°, 4°, 5° y 6° de acuerdo con el año escolar en el que imparten clase y cuyos estudiantes probaron el prototipo planteando las siguientes preguntas:

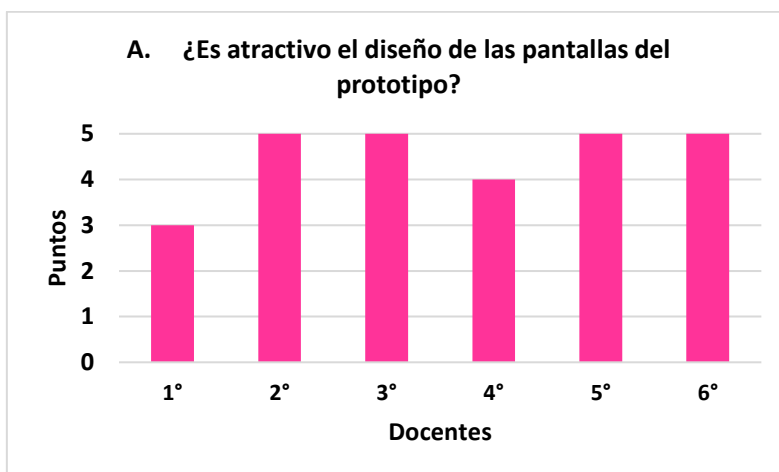
- A. ¿Es atractivo el diseño de las pantallas del prototipo?
- B. ¿Es fácil navegar entre los comandos y juegos?
- C. ¿Son adecuados los juegos para la enseñanza de las matemáticas?
- D. ¿Ha mejorado el aprendizaje de las matemáticas en los niños?
- E. ¿Recomendaría a los padres o tutores el uso de este prototipo para los niños extra clase?

Se empleó la escala Likert con los niveles de respuesta de 1: Totalmente en desacuerdo, 2: En desacuerdo, 3: Ni de acuerdo ni en desacuerdo, 4: De acuerdo, 5: Totalmente de acuerdo.

A los docentes de 2°, 3°, 5° y 6° grado estuvieron muy de acuerdo con que el diseño de las pantallas de Funny Math® resultaba atractiva para los niños y niñas. Los docentes de 1° y 4° grado, estuvieron de acuerdo en que el diseño era atractivo (ver Gráfica 3).

Gráfica 3.

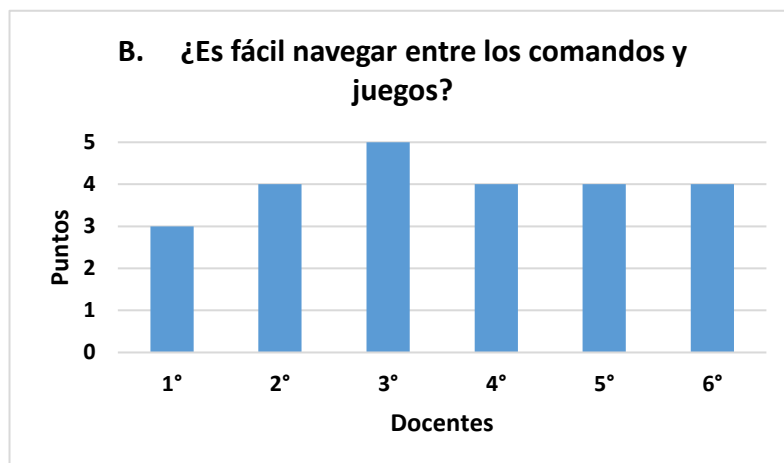
Opinión de los docentes sobre el diseño de las pantallas del prototipo de Funny Math®.



En la Gráfica 4 se muestra que los docentes de 2°, 4°, 5° y 6° grado estuvieron totalmente de acuerdo con la facilidad de navegación entre los comandos y juegos de Funny Math®. El docente de 2°. año opinó que era fácil navegar y el docente de 3° no estuvo ni acuerdo ni en desacuerdo.

Gráfica 4.

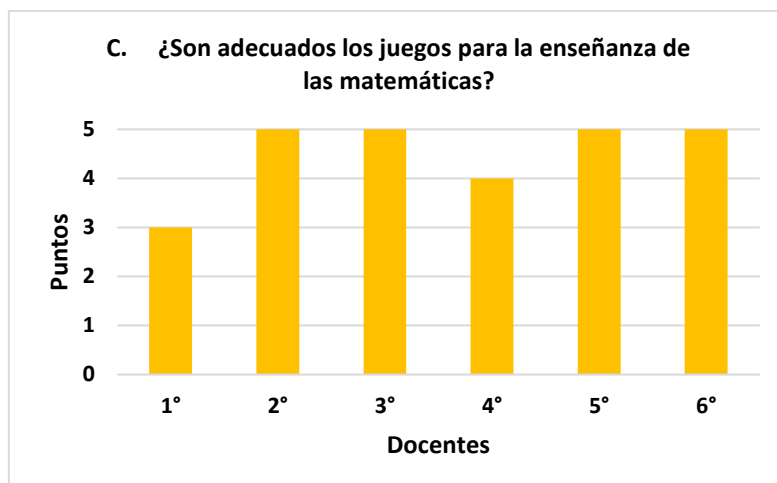
Opinión de los docentes sobre el diseño de las pantallas del prototipo de Funny Math®.



La Gráfica 5 muestra que la opinión de los docentes de 2°, 3°, 5° y 6° grado estuvieron completamente de acuerdo con que los juegos contenidos en Funny Math® eran adecuados para la enseñanza y reforzamiento del conocimiento matemático. El docente de 4°. año opinó que eran adecuados y el docente de 1° no estuvo ni acuerdo ni en desacuerdo.

Gráfica 5.

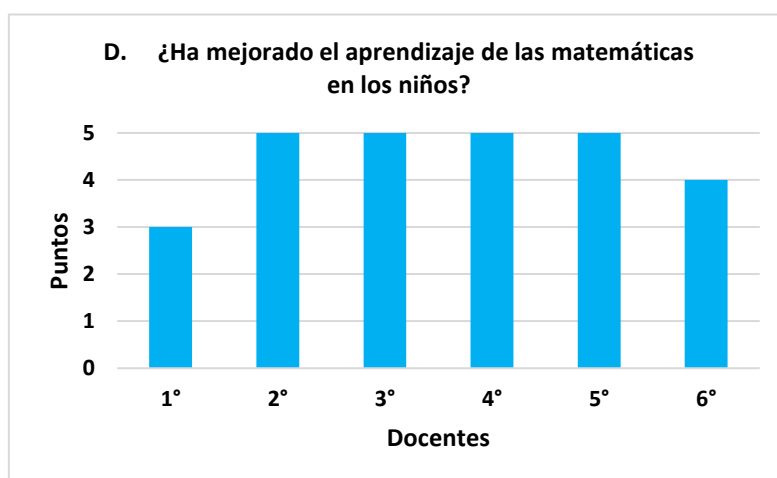
Opinión de los docentes sobre la pertinencia de los juegos de matemáticas de Funny Math®.



La opinión de los docentes de 2°, 3°, 4° y 5° grado estuvieron completamente de acuerdo con que el aprendizaje de las matemáticas ha mejorado gracias al uso de Funny Math®. El docente de 6°. año está de acuerdo en que han aprendido y el docente de 1° no estuvo ni acuerdo ni en desacuerdo, se mantuvo neutral como se puede observar en la Gráfica 6.

Gráfica 6.

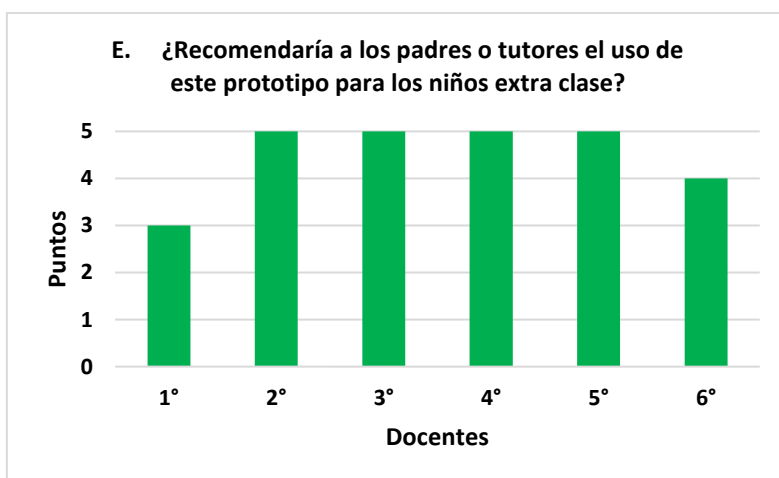
Opinión de los docentes sobre la mejoría en el aprendizaje de las matemáticas gracias al empleo de Funny Math®.



La opinión de los docentes de 2°, 3°, 4° y 5° grado están totalmente de acuerdo con recomendar el uso de Funny Math® para dar seguimiento a los ejercicios matemáticos fuera del aula. El docente de 6°. año está de acuerdo mientras que el docente de 1° no estuvo ni acuerdo ni en desacuerdo como se muestra en la Gráfica 7.

Gráfica 7.

Opinión de los docentes sobre la recomendación hacia los padres y tutores sobre el uso de los niños y niñas de Funny Math® fuera del aula.



5.- Conclusión

En el ejercicio de tiempo de concentración en el que los niños y niñas se sometieron a un tiempo de 60 minutos, se encontró que hubo un incremento en el tiempo de concentración del 20 % en los niños y del 18 % en las niñas cuando emplearon Funny Math® al compararse con una aplicación móvil con juegos matemáticos similares.

De manera general, el prototipo tuvo aceptación de acuerdo con los resultados de la encuesta de satisfacción aplicada a los docentes demostrando que están de acuerdo o totalmente de acuerdo en diseño y la facilidad de navegación, así como los juegos contenidos, mismos que lograron mejorar el

aprendizaje de las matemáticas. Para el 1er. año se deben de revisar los juegos y comandos para alcanzar una satisfacción total y sobre todo lograr el aprendizaje matemático.

Se demostró la importancia y potencial que pueden llegar a tener las aplicaciones tecnológicas en niños y niñas siempre y cuando cuenten con una forma de estudio que les llame la atención y sean asesoradas por expertos en pedagogía.

Una ventaja adicional del uso de las TIC's es que se hace posible dar seguimiento a los ejercicios y juegos desde casa para reforzar los conocimientos matemáticos pudiendo involucrarse los padres o tutores en el acompañamiento.

Gracias a la prueba experimental, es posible confirmar que mediante ejercicios de gamificación se logra la concentración y el aprendizaje de las matemáticas de manera dinámica a través de juegos, eliminando el paradigma de que las matemáticas son difíciles o aburridas, por lo que es importante diseñar estrategias para emplear tecnologías en el uso de las matemáticas desde las planeaciones curriculares para transformar los métodos tradiciones de enseñanza de esta área.

Se pretende seguir mejorando la herramienta digital de Funny Math® hasta llegar a desarrollarla como una aplicación móvil que sea posible descargar desde las tiendas de aplicaciones App de manera gratuita y con actualizaciones mensuales e incluso incorporar otro tipo de ejercicios que sirvan como apoyo para otras asignaturas, que sean atractivas y personalizadas a las edades y tendencias de los niños y niñas de los diferentes grados de educación primaria que es desde donde se asientan las bases educativas.

8.- Referencias bibliográficas

- App—Bmath—Te pedirán hacer mates.* (2023). <https://www.bmath.app/app-2/>
- Aula Itbook. (2024). *Ejercicios de Primaria de Lengua, Matemáticas, Inglés y Valencia.* Aula Itbook. <https://aulaitbook.com/>
- Calero-Cerna, J. I., & Veramendi-Vernazza, R. T. (2023). El uso de las Tic en las matemáticas. Una revisión sistemática de la literatura. *RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 13(26), Article 26. <https://doi.org/10.23913/ride.v13i26.1512>
- Cueto, J. C. (2021). Qué es el cerebro pandémico y cómo nos afecta en el día a día. *BBC News Mundo*. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-57805499>
- Espinales Marin, J. V., Muñoz Pérez, R., & Garcés Acosta, J. P. (2022). Gamificación en la enseñanza de las matemáticas en niños con trastornos por déficit de atención e hiperactividad. *Conciencia Digital*, 5(4). <https://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/ConcienciaDigital/issue/view/165>

- Gil-Quintana, J., Prieto Jurado, E., Gil-Quintana, J., & Prieto Jurado, E. (2020). La realidad de la gamificación en educación primaria. Estudio multicaso de centros educativos españoles. *Perfiles educativos*, 42(168), 107-123. <https://doi.org/10.22201/iisue.24486167e.2020.168.59173>
- Grisales-Aguirre, A. M. (2018). Uso de recursos TIC en la enseñanza de las matemáticas: Retos y perspectivas*. *Entramado*, 14(2), 198-214.
- INEGI. (2022). *Estadísticas a propósito del día del niño* (pp. 1-5).
- IXL | *Ejercicios de Matemáticas*. (2025). IXL Learning. <https://la.ixl.com>
- Juanazo, L. H. V., Larrea, K. T. C., Minga, E. E. C., Vásquez, K. L. G., & Ramos, N. J. V. (2025). Innovaciones en Apoyo Matemático Personalizado para Estudiantes con TDAH: Innovations in Personalized Math Support for Students with ADHD. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 6(1), Article 1. <https://doi.org/10.56712/latam.v6i1.3485>
- Khan Academy. (2025). *Khan Academy*. <https://es.khanacademy.org/kids>
- Macas Calle, M. K., Vivanco Molina, M. S., Correa Cruz, D. C., Villota Albarracín, C. M., & Betancourt Campoverde, V. E. (2025). Innovación Didáctica con TIC en el Aprendizaje de Matemáticas: Estrategias Interactivas para Potenciar el Pensamiento Lógico y la Resolución de Problemas. *Revista Científica de Salud y Desarrollo Humano*, 6(2), Article 2. <https://doi.org/10.61368/r.s.d.h.v6i2.625>
- Math Quiz*. (2023). <https://math-quiz-play-win.softonic.com/android>
- Mathland*. (2025). Mathland. <https://mathland.cl/>
- Matific*. (2025). <https://www.matific.com/mx/es-mx/home/>
- Miranda Casas, A., Meliá de Anda, A., & Marco Taverner, R. (2009). *Habilidades matemáticas y funcionamiento ejecutivo de niños con trastorno por déficit de atención con hiperactividad y dificultades del aprendizaje de las matemáticas*.
- Miranda Casas, A., Soriano Ferrer, M., & García Castellar, R. (2002). Optimización del proceso de enseñanza/aprendizaje en estudiantes con trastorno por déficit de atención con hiperactividad (TDAH). *Edupsykhé. Revista de Psicología y Educación*, 1(2). <https://doi.org/10.57087/edupsykhe.v1i2.3730>
- Moreno, J., & Valderrama, V. (2015). Aprendizaje Basado en Juegos Digitales en Niños con TDAH: Un Estudio de Caso en la Enseñanza de Estadística para Estudiantes de Cuarto Grado en Colombia. *Revista Brasileira de Educação Especial*, 21(1), 143-158. <https://doi.org/10.1590/S1413-65382115000100010>
- Primaria, M. (2013). *Mundo Primaria* ®—*El Portal Educativo para aprender jugando*. Mundo Primaria. <https://www.mundoprimaria.com/>
- Prodigy Math Game*. (2022). <https://prodigy-math-game.softonic.com/>
- Salas-Sánchez, K. F., & Peña-Rojas, J. R. (2021). El verdadero impacto de la pandemia por COVID-19 en la población más joven con trastornos psiquiátricos preexistentes. *Undefined*.

<https://www.semanticscholar.org/paper/El-verdadero-impacto-de-la-pandemia-por-COVID-19-en-Salas-S%C3%A1nchez-Pe%C3%B1a-Rojas/4dbf42f6b3680489c5c0dd31bbf28dfa58216705>

- Salvatierra Melgar, Á., Gallarday Morales, S. A., Ocaña-Fernández, Y., & Palacios Garay de Rodríguez, J. P. (2019). Caracterización de las habilidades del razonamiento matemático en niños con TDAH. *Propósitos y Representaciones*, 7(1), 165-184. <https://doi.org/10.20511/pyr2019.v7n1.273>
- Segura Lazcano, G. A., Vilchis Torres, I., Segura Lazcano, G. A., & Vilchis Torres, I. (2021). Sociedad escolar y pandemia en México; la educación en línea: De refugio temporal a definitivo. *Apertura (Guadalajara, Jal.)*, 13(2), 142-157. <https://doi.org/10.32870/ap.v13n2.2006>
- Serna M., E. (2021). *Revolución en la formación y la capacitación para el siglo XXI Vol I. (ed. 4)* (4.^a ed., Vol. 1). Instituto Antioqueño de Investigación. <https://zenodo.org/records/5708704>
- Shapiro, B. (2011). Bajo rendimiento escolar: Una perspectiva desde el desarrollo del sistema nervioso. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 22(2), 218-225. [https://doi.org/10.1016/S0716-8640\(11\)70416-3](https://doi.org/10.1016/S0716-8640(11)70416-3)
- SL Uptodown Technologies. (2025). *Cross Math*. Uptodown. <https://cross-math.uptodown.com/android>

INCLUSIÓN EDUCATIVA DE ESTUDIANTES CON NECESIDADES EDUCATIVAS ESPECIALES (NEE) EN CONTEXTOS INTERCULTURALES: UN ESTUDIO DE CASO EN TAMAZUNCHALE, SAN LUIS POTOSÍ

Angélica Velázquez Hernández

Universidad Intercultural de San Luis Potosí Campus Tamazunchale

RESUMEN:

Brindar una educación inclusiva, donde exista igualdad para nuestros alumnos con alguna Necesidad Educativa Especial (NEE), en un nivel superior, se torna cada vez más prioritario y en contraste difícil, por la falta de plataformas integrales educativas que brinden un acompañamiento justo e igualitario, y que además contribuya a la calidad de vida de los jóvenes con alguna NEE. La presente investigación tiene como objetivo Elaborar un plan estratégico de inclusión, que permita brindar un acompañamiento educativo integral a los estudiantes que presenten alguna NEE y fortalecer su ingreso, permanencia y egreso en la Universidad Intercultural de San Luis Potosí Campus Tamazunchale (UISLPTMZ)., se basa en el método cualitativo, con un paradigma socio crítico con enfoque de investigación acción participativa, donde se implementa la intervención en sus cuatro fases, diagnostico, desarrollo, aplicación y evaluación.

Palabras Claves: estrategias de inclusión educativa, educación inclusiva, necesidades educativas especiales, igualdad educativa.

Educational inclusion of students with Special Educational Needs (SEN) in intercultural contexts: A case study in Tamazunchale, San Luis Potosí

ABSTRACT:

Providing inclusive education, where equality exists for students with Special Educational Needs (SEN), at a higher education level, is increasingly becoming a priority. However, it also presents challenges due to the lack of comprehensive educational platforms that offer fair and equitable support, while also contributing to the quality of life of young people with SEN. The objective of this research is to develop a strategic inclusion plan that provides comprehensive educational support to students with SEN, strengthening their access, retention, and graduation at the Universidad Intercultural de San Luis Potosí, Campus Tamazunchale. This study is based on a qualitative methodology with a socio-critical paradigm

and a participatory action research approach. The intervention is implemented in four phases: diagnosis, development, application, and evaluation.

Keywords: educational inclusion strategies, inclusive education, special educational needs, educational equality.

1.- Introducción

De acuerdo a los resultados obtenidos en la encuesta Avances de la agenda 2030: La Ruta hacia el desarrollo sostenible de las IES. Surge la pregunta de investigación ¿Cómo fortalecer la inclusión educativa durante el ingreso, permanencia y egreso de los estudiantes que presentan alguna Necesidad Educativa Especial en la Universidad Intercultural de San Luis Potosí Campus Tamazunchale?, para dar respuesta al cuestionamiento, se genera una investigación acción participativa con un enfoque cualitativo, basada en el paradigma socio crítico, donde el objetivo principal es generar estrategias de inclusión, que permitan fortalecer el quehacer docente y se logren resultados significativos en los estudiantes con NEE, mediante estrategias educativas contextuales.

La investigación es relevante en el contexto actual de la inclusión educativa para las y los estudiantes con NEE y su estrecha vinculación con las demandas y desafíos presentes en la profesión pedagógica y de atención en centros educativos. Los hallazgos y conclusiones tienen el potencial de informar y enriquecer las prácticas profesionales en este campo de estudios. Las actividades realizadas, como el diagnóstico en los Estudiantes que presentan NEE, padres de familia, Administrativos y directivos, generación del análisis de resultados, propuesta del plan estratégico, implementación de actividades de sensibilización, estudio de casos, actividades extracurriculares, conferencias, etc., son de gran importancia en el entorno profesional, ya que proporcionan una base sólida para abordar los desafíos actuales en tema de inclusión para las y los Estudiantes con NEE. Estas actividades realizadas durante la investigación representan un aporte significativo a las y los Estudiantes con NEE, ya que permiten disminuir la exclusión, crean conciencia en los involucrados y además permite Educar desde diferentes miradas y desde diversos contextos, donde la educación inclusiva sea la base para la formación universitaria.

2.- Marco teórico

Fundamentación teórica de la inclusión educativa.

La implementación de estrategias de educación inclusiva no solo busca garantizar el acceso equitativo a la educación, sino que también desempeña un papel crucial en la retención de estudiantes, particularmente aquellos con Necesidades Educativas Especiales (NEE). Según Cruz Vadillo e Iturbide Fernández (2023), la integración de prácticas inclusivas fomenta un ambiente de justicia social en el aula, lo que contribuye al sentido de pertenencia de los estudiantes. Además, Yupanqui Concha et al.

(2014) enfatizan que una formación profesional que integre la inclusión favorece el desarrollo de competencias en los docentes para atender las diversas necesidades de los alumnos, reduciendo así las brechas de aprendizaje. Estrategias pedagógicas orientadas a la participación activa y al fortalecimiento de vínculos sociales, como las propuestas por Figueroa Ángel et al. (2017), permiten que los estudiantes se sientan valorados y apoyados, incrementando su motivación para continuar su trayectoria académica. Por último, abordar las barreras estructurales señaladas por Zhizhko (2020) y crear indicadores inclusivos, como sugiere González (2014), asegura que las instituciones educativas no solo prevengan la deserción, sino que también promuevan la permanencia y el éxito académico en todos los niveles educativos.

Legislación y Derechos de las personas con Discapacidad.

La ley general de educación en el capítulo III, Art. 3 16, apartado VII, menciona que la educación será inclusiva, al tomar en cuenta las diversas capacidades, circunstancias, necesidades, estilos y ritmos de aprendizaje de los educandos, y así eliminar las distintas barreras al aprendizaje y a la participación, para lo cual adoptará medidas en favor de la accesibilidad y los ajustes razonables; en su apartado VIII. La educación será intercultural, al promover la convivencia armónica entre personas y comunidades sobre la base del respeto a sus diferentes concepciones, opiniones, tradiciones, costumbres y modos de vida y del reconocimiento de sus derechos, en un marco de inclusión social.

En el capítulo IV artículo 47 menciona, Las autoridades educativas, en el ámbito de sus competencias, establecerán políticas para fomentar la inclusión, continuidad y egreso oportuno de estudiantes inscritos en educación superior, poniendo énfasis en los jóvenes, y determinarán medidas que amplíen el ingreso y permanencia a toda aquella persona que, en los términos que señale la ley en la materia, decida cursar este tipo de estudios, tales como el establecimiento de mecanismos de apoyo académico y económico que responda a las necesidades de la población estudiantil. Las instituciones podrán incluir, además, opciones de formación continua y actualización para responder a las necesidades de la transformación del conocimiento y cambio tecnológico. (Ley General de Educación, s/f).

Con la finalidad de reglamentar las condiciones en las que el Estado deberá promover, proteger y asegurar los derechos y libertades fundamentales de quienes tienen algún tipo de discapacidad, se creó la Ley General para la Inclusión de las Personas con Discapacidad (LGIPD) (30 de mayo de 2011), la cual sustituyó a la Ley General de las Personas con Discapacidad del 10 de junio de 2005. Los principios que deben regir las políticas en este sentido son: equidad, justicia e igualdad de oportunidades; la participación e inclusión plenas y efectivas en la sociedad; la igualdad entre mujeres y hombres con discapacidad, y la transversalidad, por mencionar algunos.

Entre los derechos de las personas con discapacidad se consideran los siguientes: a la salud y asistencia social; trabajo y empleo; educación; accesibilidad y vivienda; transporte público y comunicaciones; desarrollo social; deporte, recreación, cultura y turismo; acceso a la justicia; libertad

de expresión y opinión; así como acceso a la información. Respecto de la educación, destaca que se deberá impulsar la inclusión de las personas con discapacidad en todos los niveles del sistema nacional promoviendo acciones que eviten la discriminación y favorezcan la igualdad de condiciones de accesibilidad a las instalaciones educativas; que proporcionen apoyos didácticos, materiales y técnicos y cuenten con personal docente capacitado (LGIPD, art. 12, fracción II). Asimismo, se plantea establecer un programa nacional de becas educativas y de capacitación en todos los niveles educativos (LGIPD, fracción VIII). (Ley General para la Inclusión de las Personas con Discapacidad, s/f)

Políticas públicas y agenda 2030

En la actualidad las Universidades Interculturales del país, toman un gran papel en temas de inclusión educativa desde sus inicios se ha luchado por una educación igualitaria, sin embargo en tiempos actuales se han tornado aún más visibles, aunque la brecha es amplia, existen actualizaciones temas de derechos y de erogaciones a los artículos constitucionales que fortalecen aún más el tema, tal es el caso de la (La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe, 2030) para el Desarrollo Sostenible, aprobada en septiembre de 2015 por la Asamblea General de las Naciones Unidas, establece una visión transformadora hacia la sostenibilidad económica, social y ambiental de los 193 Estados Miembros que la suscribieron y será la guía de referencia para el trabajo de la institución en pos de esta visión durante los próximos 15 años.

Dentro de los objetivos que enmarca la agenda 2030, se encuentra en el objetivo número 4.- Garantizar una educación inclusiva y equitativa de calidad y promover oportunidades de aprendizaje permanente para todos. (La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe, 2030)

3.- Materiales y método

La investigación cualitativa con el paradigma, socio-critico, se consideró pertinente ya que busca sensibilizar a los actores involucrados para transformar la realidad de las y los alumnos que poseen alguna Necesidad Educativa Especial, y que requieren ser atendidos, incluidos y acompañados durante su ingreso permanencia y egreso en la Universidad Intercultural de San Luis potosí, Campus Tamazunchale.

La investigación tiene como objetivo: Fortalecer la inclusión educativa durante su ingreso, permanencia y egreso a las y los estudiantes que presenten alguna Necesidad Educativa Especial, mediante un plan estratégico en la Universidad Intercultural de San Luis Potosí Campus Tamazunchale.

En esta investigación se utiliza el modelo Kemmis, apoyándose en el modelo de Lewin, ya que se elabora un modelo de investigación acción para aplicarlo a la enseñanza. El proceso se organiza sobre dos ejes: uno estratégico, constituido por la acción y la reflexión; y otro organizativo, constituido por la planificación y la observación. Ambas dimensiones están en continua interacción de manera que se establece una dinámica que contribuye a resolver los problemas y a comprender las prácticas que

tienen lugar en la vida cotidiana de la escuela, misma que se aplica en sus 4 fases, planificación, acción, observación y reflexión.

La investigación se realizó con una población de 189 estudiantes, 12 docentes, 11 administrativos y padres de familia. De esta población, se seleccionó una muestra por conveniencia. Los criterios para esta selección incluyeron específicamente a los alumnos que presenten alguna Necesidad Educativa Especial (NEE). (ver tabla 1)

Tabla 1

Selección de la muestra

<i>POBLACION</i>	<i>MUESTRA</i>	<i>DESCRIPCION</i>
<i>189 alumnos</i>	se seleccionó una muestra por conveniencia de 5 alumnos.	NEE que presentan. 1.-Visual/ Lenguaje 2.- Autismo 3.- Síndrome de Torne 4.- Visual 5.-Neurologico/Aprendizaje
<i>Docentes 12</i>	4 Docentes de la UICSLPTMZ	Se seleccionaron solo a 4 docentes quienes tienen más interacción con los alumnos con NEE.
<i>Administrativos 11</i>	2 Administrativos	Área Académica y Escolar.
<i>Padres de familia 10</i>	2 Padres de Familia	2 Papás de los alumnos que presentan NEE.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez seleccionada la muestra, la investigación se llevó a cabo en sus cuatro etapas definidas.

DIAGNOSTICO Fase 1

Para abordar la problemática de la UICSLPTMZ, se inició con un análisis contextual exhaustivo para delimitar el alcance de la investigación. Se decidió enfocar el estudio de manera directa en los estudiantes que presentan alguna Necesidad Educativa Especial (NEE).

En el proceso de diseño de los instrumentos de investigación, se utilizó Microsoft Word para su elaboración inicial. Posteriormente, se aplicó una prueba piloto para validar su pertinencia y asegurar su eficacia. Finalmente, los instrumentos fueron sometidos a la autorización de un asesor externo a la investigación, lo que garantizó su objetividad y rigor metodológico (ver tabla 2).

Tabla 2.

Tabla de selección de técnicas e instrumentos

<i>TECNICA DE RECOGIDA DE DATOS</i>	<i>INSTRUMENTO</i>
<i>Entrevista</i>	Guía de entrevista
<i>Observación</i>	Guía de observación (chek list) Rubrica
<i>Encuesta</i>	Cuestionario de preguntas abiertas o estructurado.

Fuente: Elaboración propia.

Tras la aplicación del diagnóstico a los actores involucrados (estudiantes, docentes, administrativos y padres de familia), se obtuvieron los siguientes hallazgos iniciales que revelan la percepción actual sobre la inclusión de alumnos con Necesidades Educativas Especiales (NEE) en la Universidad Intercultural de San Luis Potosí, Campus Tamazunchale.

Hallazgos Específicos: La Voz de los Alumnos con Necesidades Educativas Especiales (NEE).

Los hallazgos del diagnóstico revelaron perspectivas cruciales directamente de los alumnos con Necesidades Educativas Especiales (NEE) en la Universidad Intercultural de San Luis Potosí (UICSLP), Campus Tamazunchale. Sus experiencias previas y sus expectativas actuales pintan un cuadro claro de la urgencia de una intervención socio-crítica:

Historial de Discriminación: Muchos de estos estudiantes llegan a la UICSLPTMZ con el sentir de haber sido discriminados en sus escuelas superiores previas debido a sus NEE. Esta experiencia pasada ha dejado una marca significativa.

Aislamiento y Falta de Participación: Como consecuencia directa de la exclusión experimentada, los alumnos con NEE a menudo muestran aislamiento y una notoria falta de participación en las actividades académicas y sociales.

Origen Indígena: Es importante destacar que muchos de estos estudiantes provienen de comunidades indígenas. Esta característica añade una capa de complejidad, sugiriendo la intersección de la discapacidad con factores culturales y socioeconómicos que puede volverlos más vulnerables.

Búsqueda de Empatía y Aceptación: Su mayor expectativa al ingresar a la UICSLPTMZ es encontrar un ambiente de empatía, aceptación e inclusión. Buscan un espacio donde su condición no sea una barrera, sino que se comprenda y valore.

Necesidad de Apoyo Continuo: Los alumnos esperan ser apoyados y acompañados activamente durante toda su permanencia en la Universidad. Esto implica un seguimiento constante durante su formación.

Evaluación Justa y Desarrollo de Habilidades: Anhelan ser tomados en cuenta por igual, sin que la forma de evaluación docente limite sus capacidades. Por el contrario, esperan que los métodos de enseñanza y evaluación les permitan fortalecer las habilidades y destrezas que ya poseen.

Inclusión en Actividades Extracurriculares: Finalmente, hay un fuerte deseo de ser incluidos en actividades extracurriculares. Esto subraya la importancia no solo de la inclusión académica, sino también de la integración social y el desarrollo integral fuera del aula.

Estos hallazgos permiten encaminar estrategias que transformen su entorno para convertirse en un verdadero refugio de inclusión y apoyo para estos estudiantes, reconociendo y abordando tanto sus vulnerabilidades como sus potenciales.

Hallazgos Específicos: La Perspectiva de los Docentes

Los resultados del diagnóstico docente, permite fortalecer las estrategias inclusivas desde las realidades pedagógicas, académicas y extracurriculares que el docente implementa.

Falta de Experiencia, pero Gran Interés: Un punto clave es que los docentes, en su mayoría, desconocen cómo generar estrategias de inclusión de manera efectiva. Esto se debe a que, para muchos, la inclusión de estudiantes con NEE es un "tema nuevo" en su práctica. Sin embargo, lo más significativo es que muestran un total interés y disposición para contribuir a cerrar esta brecha de inclusión.

Ausencia de Formación Pedagógica Especializada: Es importante señalar que ninguno de los docentes entrevistados cuenta con un perfil pedagógico formal, ni con una especialidad en atención a personas con NEE dentro del aula. A pesar de esta falta de formación específica, reiteran su disposición a aprender y aplicar nuevas metodologías.

Compromiso con la Inclusión en el Aula: Los docentes expresaron su intención de implementar actividades enfocadas en la inclusión y el trato igualitario de todos los alumnos en sus clases. Esto demuestra un reconocimiento de la necesidad de adaptar sus prácticas.

Esfuerzos en Planeación y Evaluación: Se comprometieron a fortalecer la integración, inclusión y permanencia de los alumnos con NEE, incluso redoblando esfuerzos en sus planeaciones didácticas y evaluaciones parciales. Esto sugiere una voluntad de revisar y ajustar sus métodos de enseñanza para ser más inclusivos.

Fortalecimiento de Talentos y Asesoría: Los docentes buscarán fortalecer los talentos de los alumnos con NEE, brindando más asesoría en aquellas áreas donde identifiquen oportunidades para su desarrollo.

Promoción de Actividades Extracurriculares: Finalmente, los docentes se comprometieron a trabajar en actividades extracurriculares para fortalecer la vinculación, convivencia, empatía e inclusión con toda la comunidad universitaria. Esto subraya la importancia que le dan no solo a la integración académica, sino también a lo social y emocional.

Estos hallazgos revelan que, a pesar de las limitaciones en formación especializada, existe una base sólida de buena voluntad y compromiso por parte de los docentes.

El Rol de los padres de familia en la investigación.

El aporte que generan los padres de familia en esta investigación y sus expectativas, genera un acercamiento de sus realidades y facilita la elaboración de estrategias encaminadas en atender dichas necesidades.

Búsqueda de Acompañamiento y Participación Activa: Los padres expresaron un deseo profundo de que la Universidad brinde acompañamiento constante a sus hijos. Más allá de eso, buscan que exista una apertura real para que ellos, como padres, puedan acompañar activamente desde sus propias trincheras en la formación de sus hijos. Esto implica no solo ser informados, sino poder participar y colaborar en el proceso educativo.

Dignidad, Igualdad y No Discriminación: Una expectativa fundamental es que la UICSLPTMZ trate a sus hijos con dignidad, de manera igualitaria y sin ningún tipo de discriminación. Dada la historia de discriminación que muchos de estos alumnos han enfrentado, la Universidad representa una oportunidad para revertir esas experiencias negativas.

Apoyo para la Vida Adulta y Fortalecimiento de Habilidades: Para los padres, la Universidad es vista como el "último eslabón" educativo que preparará a sus hijos para la vida adulta. Por ello, esperan que la UICSLPTMZ proporcione el apoyo necesario y se enfoque en fortalecer las habilidades de sus hijos, asegurando que adquieran las competencias esenciales para su autonomía y desarrollo futuro.

ESTRATEGIAS EDUCATIVAS Fase 2

Una vez completado el diagnóstico, se diseñaron e implementaron estrategias específicas para fortalecer la inclusión educativa de personas con Necesidades Educativas Especiales (NEE). Estas

estrategias se desarrollan a lo largo de todo el ciclo escolar y cuentan con la participación activa de todos los actores de la comunidad educativa.

1. Sensibilización a través de talleres, pláticas, conferencias, a los alumnos y docentes, administrativos.
2. Presentación del taller de inclusión para alumnos de nuevo ingreso como parte de la integración escolar.
3. Acercamiento con los padres de familia de los alumnos con NEE.
4. Acompañamiento con tutorías.
5. Actividades Extracurriculares, que fortalezcan la convivencia y aprendizajes significativos.
6. Aprendizajes significativos a través de proyectos con impacto social e inclusión educativa, desarrollada por los propios alumnos con NEE, y que además se busque la difusión del mismo hacia el exterior.
7. Proyectos de vinculación comunitaria con la comunidad, mediante generación de proyectos, donde se incluya a todos por igual.
8. Fomento a actividades, culturales, deportivas, sociales, donde los alumnos participen sin ver sus condiciones sino más bien, destacar sus habilidades y fortalecer sus aprendizajes.
9. Docentes se involucren en trazar rutas de mejora escolar y académica a través de comités de evaluación interna donde se mida la inclusión de los alumnos en todas sus formas.
10. Promover la investigación y participación en expo ciencia y actividades que convoque el CONAHCYT y COPOCYT, donde se presenten proyectos de impacto social.

INTERVENCION Fase 3

Como parte fundamental de la Estrategia 1 del plan de intervención (ver figura 1), se implementó un taller de sensibilización dirigido a todo el personal docente y administrativo. Este taller es un pilar clave para fomentar un ambiente de inclusión y aceptación en la institución.

Figura 1.

Taller de sensibilización a docentes.



Fuente: Elaboración propia

Como componente esencial de la Estrategia 2 del plan de intervención (ver figura 2), se implementa un taller de inclusión al inicio de cada ciclo escolar. Este taller está diseñado específicamente para los alumnos de primer semestre, buscando sentar las bases para un ambiente Universitario Intercultural de aceptación y respeto mutuo desde su llegada.

Figura 2.

Taller de inclusión a nuevo ingreso.



Fuente: Elaboración propia

Una estrategia clave implementada en la institución es el fomento de proyectos tecnológicos desarrollados por alumnos con Necesidades Educativas Especiales (NEE), con el apoyo de sus maestros. Estos proyectos tienen como objetivo principal disminuir problemas sociales.

Un ejemplo notable es el proyecto "Lenguaje de Señas", iniciado este año. Liderado por un estudiante con sordera, el equipo ha desarrollado una plataforma innovadora que facilita el aprendizaje de la comunicación en lenguaje de señas. Este proyecto no solo ha sido presentado en escuelas rurales de comunidades (ver figura 3) y en las Semanas de Ciencia y Tecnología de la institución, sino que también

ha recibido acreditaciones a nivel local, estatal y nacional en Expo Ciencias. Además, los alumnos tuvieron la oportunidad de presentar su trabajo en el proyecto ADA (ver figura 4), lo que demuestra el alcance y el impacto de su iniciativa.

Figura 3.

Participación de proyecto Lenguaje de Señas en la Semana de Ciencia y Tecnología (Elaboración propia)



Fuente: Elaboración propia

Figuran 4.

Participación en difusión de proyectos en actividades COPOCYT-ADA.



Fuente: Elaboración propia

Dentro de las actividades extracurriculares inclusivas, destaca la celebración del Xantolo. Esta festividad ofrece a todos los alumnos la oportunidad no solo de participar activamente, sino también de

compartir las tradiciones y la forma en que se lleva a cabo esta importante celebración en sus comunidades de origen (ver figura 5), fomentando así la diversidad y el intercambio cultural.

Figuran 5.

Participación de toda la comunidad Universitaria en la Celebración de Xantolo.



Fuente: Elaboración propia

Una de las estrategias de intervención implementadas fue el rescate de usos y costumbres en las comunidades. A través de esta iniciativa, algunas alumnas tuvieron la oportunidad de exponer platillos ancestrales mediante demostraciones y la elaboración de recetarios. Esta actividad no solo forma parte de las actividades inclusivas de aprendizajes significativos, sino que también permite compartir y valorar el patrimonio cultural de sus comunidades (ver figura 6).

Figura 6.

Rescate de usos y costumbres



Fuente: Elaboración propia.

Se llevaron a cabo diversas actividades, incluyendo talleres, conferencias, conversatorios y foros, con el objetivo primordial de sensibilizar a los estudiantes universitarios en temas de inclusión. Estas

iniciativas buscan activamente fomentar una educación igualitaria y no discriminatoria dentro de la comunidad estudiantil (ver figura 7).

Figura 7.

Foros académicos organizados por los alumnos y docentes



Fuente: Elaboración propia

4.- Resultados

Sensibilización Docente: Un Pilar del Plan Estratégico de Inclusión

Como parte integral del plan estratégico de inclusión, se llevó a cabo un taller de sensibilización dirigido al equipo docente. Durante este taller, se abordó la forma más efectiva de atender a los alumnos con Necesidades Educativas Especiales (NEE). A través de la resolución de casos prácticos, se buscó fomentar la empatía entre los docentes. El objetivo principal era capacitar a cada profesor para que pudiera generar estrategias de aprendizaje personalizadas, tomando en cuenta las necesidades específicas de sus alumnos con NEE.

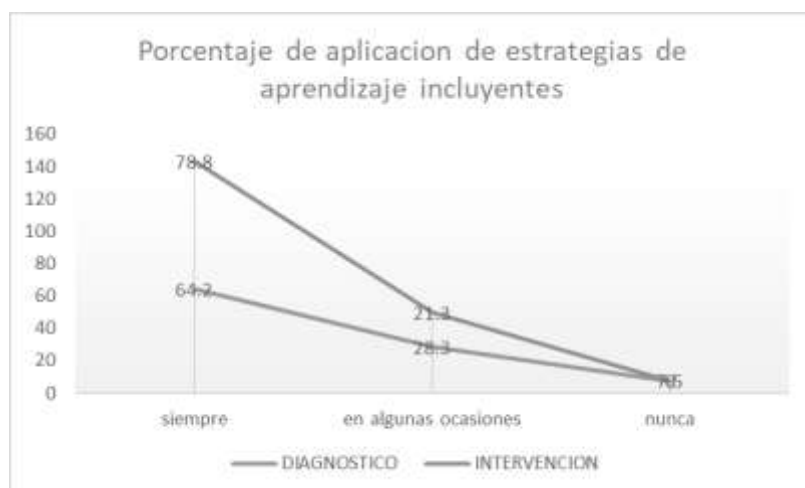
En la gráfica 1, se observan, los resultados que los alumnos emiten en el reactivo 6 .- Consideras que dentro de clase ¿los maestros generan estrategias de aprendizaje tomando en cuenta tu necesidad educativa especial?, del cuestionario que se les aplico en el diagnóstico y después de la intervención, donde el 64 % de los alumnos contesto que el docente siempre genera estrategias de aprendizaje tomando en cuenta la NEE del alumno y un 7.5 nunca las genera, después de la intervención, el resultado es de un 78.8% donde el alumno expresa que el docente siempre genera estrategias de aprendizaje tomando en cuenta la NEE siempre y 0% que nunca, por lo que podemos deducir según lo que el estudiante indica, se logró un 14.8 % del cambio de actitud en el docente (ver grafica 1).

Como parte de las acciones de intervención, se abordaron específicamente las formas de evaluación docente para alumnos con Necesidades Educativas Especiales (NEE). El objetivo primordial de estas

directrices era asegurar la permanencia de los estudiantes en la institución, adaptando los métodos evaluativos para apoyar su éxito continuo.

Grafica 1.

Estrategias de integración y acompañamiento docente.

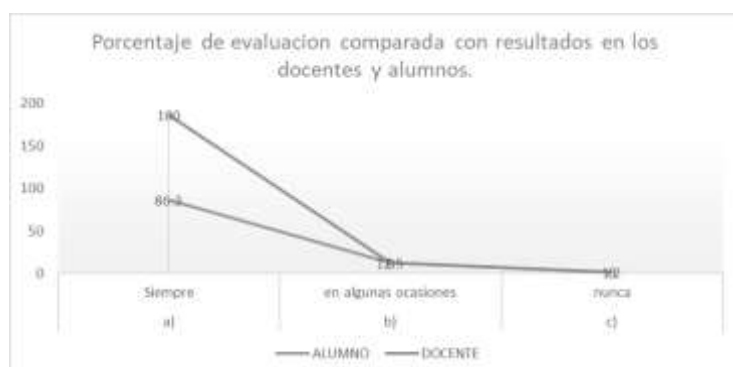


Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 2 se muestra el porcentaje de las respuestas que emiten los alumnos en comparativa con los docentes después de la intervención, tomando en cuenta el reactivo 7.- ¿La forma de evaluar del docente ha sido la adecuada de acuerdo a tu Necesidad Educativa Especial? De la encuesta, donde los resultados contrastados son los siguientes; un 86.3% los alumnos concluyen que el docente siempre evalúa de acuerdo a la NEE, y un 12.5 % menciona que en algunas ocasiones considera la NEE para evaluar, sin embargo, el 100% de los docentes comentan que siempre consideran la NEE de sus alumnos para aplicar su evaluación, estamos hablando de un 13% de desviación del resultado (ver grafica 2).

Grafica 2.

Resultado de alumnos en comparativa docente.



Fuente: Elaboración propia

Clima escolar positivo e inclusivo.

Los resultados indican un clima escolar positivo donde los alumnos se motivan gracias a un ambiente de aceptación y plena inclusión. La participación en actividades académicas y culturales refuerza lazos de compañerismo y empatía, creando una comunidad donde la discriminación está ausente, y todos se sienten valorados.

La inclusión activa en las actividades dentro y fuera del aula ha generado un ambiente de seguridad que impulsa a los alumnos a participar sin temor al rechazo. Esta confianza se traduce directamente en mejores calificaciones y resultados académicos sobresalientes en su formación profesional.

La institución ha transformado la experiencia de los estudiantes que, debido a su origen y NEE, solían sentirse aislados. Ahora, con actividades de sensibilización y el respaldo docente, estos alumnos se sienten valorados y tratados con equidad.

La UICSLPTMZ es percibida como un espacio de empatía, aceptación e inclusión, donde el apoyo y acompañamiento constante son fundamentales. Este entorno no solo les asegura ser considerados por igual, sino que la metodología de evaluación de los profesores, más atenta e inclusiva, les permite potenciar sus capacidades, habilidades y destrezas.

Las actividades extracurriculares que han desarrollado con sus docentes, como son los proyectos de vinculación comunitaria, les ha permitido aprender más y convivir con su grupo donde fortalecen sus habilidades.

Padres de Familia: Apoyo Integral y Seguimiento Eficaz

Los padres de familia valoran el acompañamiento integral que la UICSLPTMZ brinda a sus hijos. Expresan que la institución les permite dar un seguimiento cercano a la educación de sus hijos, destacando la atención oportuna y eficiente que reciben en las áreas administrativas para consultar cualquier estatus, ya sea académico, escolar o administrativo.

Asimismo, los padres notan un cambio positivo en la actitud de sus hijos. Llegan a casa contentos y motivados, lo cual atribuyen al trato digno, igualitario y sin discriminación que experimentan en la escuela. Esta positiva experiencia ha llevado a que sus hijos realicen sus trabajos académicos con gran entusiasmo, muestren una mayor participación en diversas actividades y, lo más importante, hayan mejorado notoriamente sus calificaciones.

El impacto de la inclusión en el Rol Docente.

La sensibilización en inclusión ha transformado la práctica docente, permitiendo a los maestros generar estrategias inclusivas efectivas en el aula. Saber que están contribuyendo a una parte crucial de la

población estudiantil y que marcan una diferencia tangible en la vida de sus alumnos los motiva a seguir construyendo una escuela más inclusiva.

Aun sin una especialización formal en inclusión, los docentes lograron desarrollar e implementar planes de trabajo inclusivos en sus materias, obteniendo resultados de aprendizaje significativos y favorables. La creación de actividades inclusivas, tanto dentro como fuera del aula, fortaleció la participación de los estudiantes con Necesidades Educativas Especiales (NEE), lo que se tradujo en resultados académicos y sociales altamente satisfactorios.

Los docentes encontraron que las evaluaciones fueron más sencillas de aplicar, gracias a la integración de actividades inclusivas en sus planeaciones semestrales. Esto se reflejó en una mayor seguridad y participación por parte de los alumnos con NEE, quienes mejoraron notoriamente sus calificaciones. El enfoque en fortalecer los talentos de estos estudiantes, ofreciendo asesorías personalizadas en sus áreas de oportunidad, generó un sentimiento de empatía y acompañamiento en su proceso de aprendizaje.

Además, se implementaron actividades extracurriculares que fomentaron la vinculación, convivencia, empatía e inclusión con toda la comunidad universitaria, como visitas a otras instituciones. Estas experiencias permitieron a los estudiantes compartir, trabajar en equipo y participar activamente, enriqueciendo su desarrollo integral.

5.- Discusión

Todas las investigaciones que se realizan en el tema de inclusión educativa y en específico en las personas que tienen necesidades educativas especiales (NEE), permiten revalorizar el tema y analizar desde diversas miradas los contextos y las formas de aterrizar el tema en nuestros estudiantes.

La investigación de La inclusión en las y los estudiantes que presentan alguna Necesidad Educativa Especial (NEE) en la Universidad Intercultural de San Luis Potosí Campus Tamazunchale, podemos compararla con estudios previos que permitieron construir la metodología de investigación y sobre todo las estrategias del plan de acción en comparativa.

La educación inclusiva en la prosocialidad desde una perspectiva de la diversidad.

Tal es el caso de la investigación que se llevó a cabo en Colombia con una investigación “La educación inclusiva en la prosocialidad desde una perspectiva de la diversidad”, donde el autor a través de la pregunta de investigación ¿cuál es la influencia de la prosocialidad a partir de una perspectiva de la diversidad en la educación inclusiva? Busca identificar las diferentes reflexiones por parte de los niños y las niñas acerca de la prosocialidad y su influencia en la educación inclusiva en una institución educativa de la ciudad de Pereira Colombia.

Donde al final de su investigación el autor propone lo siguiente:

Es importante que la educación inclusiva busque brindar experiencias para todos desde el reconocimiento de las necesidades de cada sujeto, realizando ajustes que permitan la accesibilidad y la eliminación de barreras del contexto. Por ello, es imperioso reconocer los objetivos de la educación inclusiva y las conductas pro sociales que le dan vida.

El anterior análisis permitió, revisar y comparara el estudio que se pretendía en un inicio y las formas de poder dar respuesta a la pregunta de investigación, con lo anterior se resaltó y rescato el echo del estudio de la NEE, como sujeto único y particular en el sentido de que cada caso es especial y como tal debe de ser tratado.

Este modo de organizar la escuela constituye un gran reto, dado que la mejor manera de fomentar cualquier conducta es vivenciarla; así, la tarea principal de la escuela desde la perspectiva de la diversidad es lograr que la cooperación y la participación sean lugares comunes en el quehacer diario en la escuela, colocándolos en un primer lugar en el actuar institucional. Esta nueva visión educativa que postula la educación inclusiva tiene como propósito generar ciudadanos más prosociales e interesados por el otro, además, supone diversos modelos y estrategias pedagógicos. Ahora bien, la responsabilidad de la enseñanza no es exclusiva de la escuela, más bien es un compromiso compartido por todas las instituciones sociales. (Maya et al., 2023)

Listos o no.

Otro caso particular (Gittins & Fabian, 2012), realizaron una investigación con enfoque cualitativo, donde su objetivo fue identificar los factores que sirvieron para facilitar las transiciones exitosas, donde se utilizó la técnica de recogida de datos con la entrevista semi-estructurada, donde participo un joven de 19 años con NEE, y expertos en el tema de transición universidad- trabajo. Los resultados de la investigación fue identificar 6 factores que afectan la transición, estos son la comunicación efectiva, las relaciones saludables, el bienestar emocional, la pertenencia/participación, los procesos de aprendizaje, así como los recursos/financiamiento (factores externos).

En este contexto, es crucial reconocer la importancia de implementar estrategias inclusivas en el acompañamiento del estudiante durante su proceso de egreso. Esto no solo facilita su transición, sino que también es fundamental para posicionarlo exitosamente en el ámbito laboral o en iniciativas de emprendimiento.

Necesidades educativas especiales, elementos para una propuesta de inclusión educativa a través de la investigación acción participativa. el caso de la escuela México.

(Molina Olavarría, 2015), desarrollaron una investigación con enfoque cualitativo, con un modelo de investigación acción participativa, donde su objetivo fue describir un proceso de elaboración, ejecución y desarrollo de una propuesta de inclusión educativa, para la comunidad escolar de la Escuela México en la ciudad de Valdivia, la investigación se realizaron cuatro fases fundamentales durante el transcurso

de la indagación, las que corresponden al diagnóstico, diseño de planificaciones inclusivas, aplicación de actividades inclusivas y, finalmente, la evaluación del proceso.

Después de analizar diversas investigaciones sobre inclusión, queda claro que cada caso presenta particularidades únicas. Es fundamental comprender que, si bien existen principios generales, el éxito de las estrategias de inclusión radica en un análisis profundo de los contextos específicos donde se implementan. Solo así se puede asegurar que estas iniciativas tengan un impacto significativo y duradero en la vida de los estudiantes con Necesidades Educativas Especiales (NEE).

En la investigación realizada, y de acuerdo a la hipótesis acción formulada *“La implementación de un plan estratégico de inclusión, a Docentes, Administrativos y Alumnos, fortalecerá el ingreso, permanencia y egreso en los estudiantes que presentan alguna Necesidad Educativa Especial en la Universidad Intercultural de San Luis Potosí Campus Tama zúnc hale.”* los resultados fueron favorables por mencionar algunos:

1. Empatía e inclusión en la comunidad Universitaria.
2. Actividades inclusivas anexadas en la planeación docente.
3. Aprendizajes significativos en los alumnos con NEE.
4. Mayor participación de los alumnos.

A los largo de la investigación se encontraron diversas formas de poder contribuir a la inclusión educativa para los estudiantes con alguna NEE, por lo que se considera que para extender la investigación actual sobre el tema, es importante investigar e implementar una investigación sobre las metodologías educativas enfocadas en cada situación específica de las NEE, en colaboración con expertos en el tema, con el fin de que los docentes generen sus planes de trabajo de manera más específica e inclusiva.

Cabe señalar la investigación puede ampliarse y explorar nuevas áreas de investigación, tal es el caso del trabajo de implementación de tecnología en el tema inclusivo, mediante el diseño de plataformas donde exista una comunicación eficaz con los estudiantes que posean alguna NEE.

La metodología utilizada para el desarrollo de la investigación fue de gran utilidad, sin embargo y de acuerdo a la experiencia adquirida, considero que la manera más práctica de buscar solución a situaciones de inclusión sobre todo en el tema investigado de las NEE, es importante primeramente indagar el propio contexto de los alumnos, antes de entrar en materia de resolución del problema, porque es ahí donde se encuentra la mayor parte de las respuestas, tal es el caso de la trayectoria vivida de los padres y del alumno con NEE. De acuerdo a lo anterior, nos dará la pauta específica para poder empezar a desarrollar la investigación de una forma más clara, más precisas, y que será la base principal para poder generar también el marco teórico que sustenta nuestra investigación.

Dentro de la investigación, es importante destacar que para poder favorecer a la investigación y que esta sea mucho más integral, se considera la colaboración de otras disciplinas, como en el caso de implementar la tecnología en temas de inclusión, contar con un experto en el área, implementación futura del tema legal en cuestiones de discriminación etc.

Como trabajo adicional y derivado de la investigación, actualmente en la UICSLPTMZ, se trabaja con una plataforma interactiva, donde un alumnos con NEE, es quien trabaja con el desarrollo del lenguaje de señas y un grupo de alumnos junto con su asesor, generan el diseño, la programación para poder contribuir al apoyo inclusivo no solo de su compañero que lo presenta, sino a toda la población con la misma condición, el desarrollo se encuentra en la primera etapa, y ya han realizado demostración e interacción con alumnos de primaria y de la propia universidad, además de difundir su trabajo en la radio, cabe señalar que todos colaboran de manera muy activa y comprometida, y sobre todo con mucho entusiasmo, por el impacto y la aceptación que ha traído su proyecto.

6.- Conclusión

Los resultados de esta investigación evidencian que la implementación de estrategias inclusivas es fundamental para garantizar el ingreso, permanencia y egreso exitoso de estudiantes con Necesidades Educativas Especiales (NEE) en contextos rurales como el de la Universidad Intercultural de San Luis Potosí, Campus Tamazunchale. Estas acciones no solo mejoraron el desempeño académico de los estudiantes con NEE, sino que también fortalecieron su sentido de pertenencia, autoestima y participación activa en la vida universitaria, demostrando que la inclusión tiene un impacto directo en la retención estudiantil.

Aunque los docentes participantes no contaban con formación especializada en temas de inclusión, su disposición y empatía lograron avances significativos. La sensibilización del personal y la generación de actividades didácticas adaptadas permitieron eliminar barreras al aprendizaje y crear ambientes más equitativos y accesibles. Este hecho subraya la importancia de ofrecer formación continua en temas de inclusión educativa, así como de fomentar el compromiso institucional para apoyar estas iniciativas.

Las actividades extracurriculares, como talleres, proyectos comunitarios y eventos culturales, resultaron ser un componente esencial para la integración de los estudiantes con NEE. Estas actividades no solo promovieron la convivencia y empatía en toda la comunidad universitaria, sino que también reforzaron aprendizajes significativos, ayudando a que los estudiantes desarrollaran sus habilidades sociales y académicas. Este enfoque integral permitió a los estudiantes sentirse valorados, aceptados y apoyados durante su trayectoria educativa.

Desde una perspectiva global, los resultados de este proyecto contribuyen al cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 4: Educación de Calidad, al garantizar una educación inclusiva y equitativa y promover oportunidades de aprendizaje permanente. Estas acciones demuestran que es

posible avanzar hacia una educación más justa y equitativa incluso en contextos de limitaciones estructurales.

Finalmente, es necesario dar continuidad a estas estrategias, institucionalizarlas y complementarlas con mejoras en infraestructura, capacitación docente permanente y la creación de programas de transición escuela-trabajo. Asimismo, se recomienda expandir estas prácticas hacia otros contextos educativos, rurales y urbanos, fomentando la investigación y el desarrollo de herramientas tecnológicas inclusivas que respalden el aprendizaje de estudiantes con NEE. La educación inclusiva no solo representa un derecho, sino también un pilar para construir sociedades más equitativas y con mayores oportunidades para todos.

7.- Referencias bibliográficas

- Cruz Vadillo, R., & Iturbide Fernández, P. (2023). Educación inclusiva y educación especial en México: dilemas, relaciones y articulaciones. *Revista de Investigación Educativa de la REDIECH*, 14. Recuperado de https://www.rediech.org/ojs/2017/index.php/ie_rie_rediech/article/view/1617
- Figueroa Ángel, M. X., Gutiérrez de Piñeres Botero, C., & Velázquez León, J. (2017). Estrategias de inclusión en contextos escolares. *Revista Interamericana de Investigación, Educación y Pedagogía*, 13(1), 13–30. Recuperado de https://scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-99982017000100013&script=sci_arttext
- González, D. (2014). Evaluación masiva y espectacularización mediática del resultado: De cómo mentir con estadísticas y fabricar el fracaso escolar. *Pedagogía y Saberes*, 41, 63–74. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/1735/173544961010.pdf>
- La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Una oportunidad para América Latina y el Caribe. (2030). Recuperado de <https://www.cepal.org/es/temas/agenda-2030-desarrollo-sostenible>
- Ley General de Educación. (s/f). Recuperado de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGE.pdf>
- Ley General para la Inclusión de las Personas con Discapacidad. (s/f). Recuperado de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGIPD.pdf>
- Yupanqui Concha, A., Aranda Farías, C. A., Vásquez Oyarzun, C. A., & Verdugo Huenuman, W. A. (2014). Educación inclusiva y discapacidad: Su incorporación en la formación profesional de la educación superior. *Revista de Educación Superior*, 43(171), 93–115. Recuperado de <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-educacion-superior-216-articulo-educacion-inclusiva-discapacidad-su-incorporacion-S0185276015000345>
- Zhizhko, E. A. (2020). Inclusión de los niños con capacidades diferentes en escuelas regulares en México: propósitos y realidad. *Andamios*, 17(43), 249–270. Recuperado de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-00632020000200249&script=sci_arttext

- Maya, A. H., Montoya Martínez, M. D., Valencia López, Á. M., Calzada Londoño, G. A., Maya, A. H., Montoya Martínez, M. D., Valencia López, Á. M., & Calzada Londoño, G. A. (2023). La educación inclusiva en la prosocialidad desde una perspectiva de la diversidad. *Revista Guillermo de Ockham*, 21(1), 79-96. <https://doi.org/10.21500/22563202.5467>
- Molina Olavarría, Y. (2015). Necesidades educativas especiales, elementos para una propuesta de inclusión educativa a través de la investigación acción participativa: El caso de la Escuela México. *Estudios pedagógicos (Valdivia)*, 41(ESPECIAL), 147-167. <https://doi.org/10.4067/S0718-07052015000300010>
- Gittins, P., & Fabian, H. (2012). LISTO O NO. *Ajayu Órgano de Difusión Científica del Departamento de Psicología UCBSP*, 10(2), 222-251.

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE UN INOCULANTE DE MICORRIZAS EN EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE PEPINO (*Cucumis sativus* L.) EN CONDICIONES DE INVERNADERO

Ing. Bruno Alejandro Olvera Martínez

Dr. José Luis Rodríguez Chávez

Centro Universitario, CEICKOR, México

Dra. Dalia Elizabeth Miranda-Castilleja

Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro, México

Dra. Rocío Crystabel López González

rcl.gonzalez27@gmail.com

Tecnológico Nacional de México/ IT de Ciudad Valles

RESUMEN

El uso de inoculantes microbianos en la agricultura protegida ha mostrado avances limitados, en gran parte debido a las variaciones en sus efectos, influenciados por el tipo de cultivo y las condiciones ambientales. El objetivo de este estudio fue evaluar el impacto de un consorcio de micorrizas en el desarrollo y rendimiento del pepino (*Cucumis sativus* L.). Se implementó un diseño experimental en bloques al azar en un sistema hidropónico en invernadero, aplicando dos dosis de inoculante (3 g/planta y 2 g/planta) y se midieron parámetros fenológicos y de rendimiento. Los resultados mostraron que hubo una colonización en raíces por las micorrizas, sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en comparación con el grupo control, lo que sugiere que, bajo las condiciones experimentales, el consorcio de micorrizas no generó mejoras notables en el crecimiento del pepino.

Evaluation of the effect of a mycorrhizal inoculant on the growth and yield of cucumber (*Cucumis sativus* L.) Crop under greenhouse conditions

ABSTRACT

The use of microbial inoculants in protected agriculture has shown limited progress, largely due to variations in their effects, influenced by crop type and environmental conditions. The objective of this study was to evaluate the impact of a mycorrhizal consortium on the development and yield of cucumber (*Cucumis sativus* L.). A randomized block experimental design was implemented in a hydroponic greenhouse system, applying two doses of inoculant (3 g/plant and 2 g/plant), and phenological and yield parameters were measured. The results showed root colonization by the mycorrhizas; however, no significant differences were found compared to the control group,

suggesting that under the experimental conditions, the mycorrhizal consortium did not produce notable improvements in cucumber growth.

Palabras clave: Biofertilización, Micorrizas, *Cucumis sativus*, Agricultura Protegida.

1.- Introducción

Los bioinoculantes son reconocidos como componentes clave en el manejo integrado de la nutrición y sanidad de las plantas, contribuyendo a cultivos más sostenibles y con mejores rendimientos (Kumari *et al.*, 2022). Estos inoculantes ofrecen múltiples beneficios, incluyendo la promoción del crecimiento vegetal, una mayor captación y aprovechamiento de nutrientes, así como la prevención de enfermedades (Shahwar *et al.*, 2023). Sin embargo, su aplicación presenta desafíos, ya que los efectos de los bioinoculantes pueden variar significativamente según el tipo de cultivo y las condiciones climáticas y edafológicas de la región. Como resultado, un mismo bioinoculante puede generar diferencias en rendimientos, calidad postcosecha y optimización de recursos. Esta variabilidad ha llevado a cierta resistencia por parte de los agricultores a implementar bioinoculantes, ya que a menudo no cumplen con las expectativas prometidas y sus beneficios no son inmediatos (Orozco-Mosqueda *et al.*, 2021). En contraste, los agroquímicos ofrecen una aplicación más uniforme y resultados rápidos (Omar *et al.*, 2022).

Entre los bioinoculantes, aquellos basados en hongos micorrícicos son especialmente útiles en la agricultura protegida, ya que establecen una simbiosis con las raíces de las plantas, lo que permite una mayor absorción de nutrientes (Zhu *et al.*, 2022). En el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.), se ha demostrado que la inoculación con micorrizas mejora el crecimiento vegetativo y el rendimiento (Ali *et al.*, 2019). Sin embargo, en Querétaro, no se ha evaluado la eficiencia de las micorrizas en el cultivo de pepino bajo las condiciones edafológicas del centro del estado.

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es evaluar el efecto de un consorcio comercial de micorrizas durante el desarrollo del cultivo de pepino en invernadero y analizar su impacto en el rendimiento. Esto se llevará a cabo mediante la medición de variables de crecimiento, tales como el diámetro del tallo, la altura de la planta, la longitud de las hojas, el número de hojas, y las dimensiones del fruto, además de confirmar la colonización de las micorrizas en las raíces del pepino.

2.- Marco teórico

El pepino (*C. sativus* L.) se considera uno de los cultivos hortícolas más importantes de todo el mundo, El cual se entre los cinco cultivos hortícolas más importantes (Taha *et al.*, 2020), y representa el 0.014% del comercio mundial total. El cultivo del pepino generó durante el 2023, una derrama económica superior a los \$342 millones de pesos con la producción y comercialización de 32 mil 895 toneladas

generadas en los campos agrícolas (SIAP, 2023). México es el quinto productor mundial, con 826,485 toneladas, contribuyendo con el 1.4% del volumen total mundial en el 2020 (SIAP, 2020).

La producción bajo invernadero ha crecido significativamente, ocupando el pepino el 10% de la superficie total cultivada en México (Abarca *et al.*, 2021), destacándose Sinaloa como el mayor productor con el 33.5%, seguido por Sonora y Michoacán con el 23.7% y 9.6% respectivamente (Abarca *et al.*, 2021). El desarrollo de una agricultura sostenible exige reducir el uso de agroquímicos y reemplazarlos por alternativas más ecológicas, eficientes y económicas. En este contexto, se promueve el uso de biofertilizantes debido a la importancia de las comunidades microbianas del suelo y sus funciones beneficiosas para la productividad agrícola, además de ser una opción económicamente viable frente a los agroquímicos (Beltrán-Pineda y Bernal-Figueroa, 2022). Estos biofertilizantes actúan como estimulantes en el desarrollo de cultivos, promoviendo el crecimiento de las plantas (Kumari *et al.*, 2022). Sin embargo, los factores biogénicos y abiógenos del suelo o sustratos que afectan la efectividad y supervivencia de los inoculantes microbianos en campo aún no se comprenden completamente (Papin *et al.*, 2024).

La biofertilización del suelo con hongos, especialmente los hongos micorrícicos arbusculares (HMA), mejora la asimilación de nutrientes y ofrece una alternativa a la fertilización química, debido a que forman una simbiosis con diversas especies vegetales, aumentando su crecimiento al mejorar la absorción de macronutrientes como P, N, S y K, y reduciendo la asimilación de Na. También promueven la síntesis de compuestos como prolina y glicina, reguladores de crecimiento, y protegen las plantas del estrés por deshidratación y oxidación (Hashem *et al.*, 2018).

Investigaciones en el cultivo de pepino han evaluado consorcios de hongos micorrícicos arbusculares para incrementar el rendimiento y mejorar el crecimiento. Habibzadeh (2015) encontró que las plántulas de pepino inoculadas con un consorcio de micorrizas (*Glomus mosseae* y *Glomus intraradices*) presentaron mayor asimilación de fósforo foliar, así como un aumento en el peso fresco y seco de raíces, y en la longitud y volumen del fruto, en comparación con el control. Por otro lado, Ali y colaboradores (2019), en un estudio en pepino, encontraron que al inocular el hongo micorrícico *Glomus versiforme* L., obtuvieron plantas con mejor desarrollo y mejoraron la calidad de los frutos. Esto sugiere que los inoculantes micorrícicos pueden servir como biofertilizantes para producir plántulas más robustas y reducir el uso de fertilizantes fosfatados.

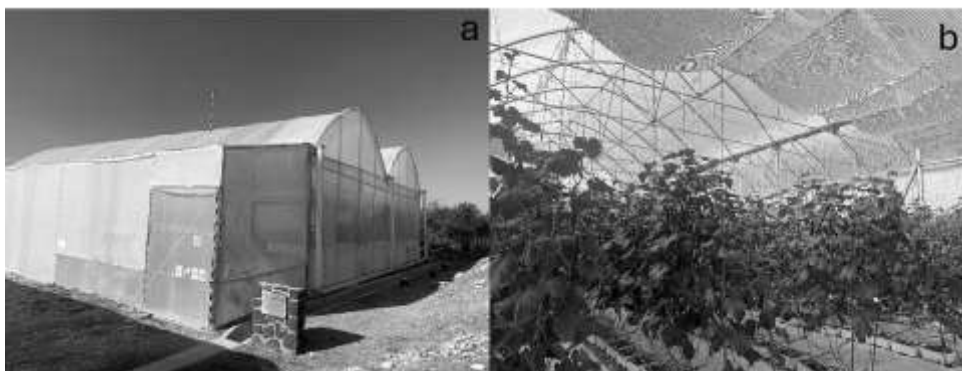
3.- Materiales y método

Ubicación y período de estudio

El experimento se realizó en las instalaciones de CEICKOR en un invernadero tipo gótico multitúnel de media-baja tecnología de 480m² con sistema de riego automático, durante el ciclo de febrero a mayo de 2022 (Fig. 1).

Figura 1.

a) Exterior del invernadero donde se realizó el experimento y b) cultivo de pepino en estudio en condiciones de hidroponía (b).



Semillas y sustrato

Se utilizaron semillas de pepino americano variedad Part 552 (lot 44053ZZZ10), con un porcentaje de germinación mínimo de 90% y pureza del 99.9%, comercializadas por Lark seeds international (California, EE. UU.). Se utilizó como sustrato fibra de coco (GALUKU International Pty Ltd., Sidney, Australia), en una combinación de 70% de fibra de coco y 30% polvo de coco, en macetas hidropónicas.

Inoculante

El inoculante comercial utilizado fue un consorcio de los géneros *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Scutellospora*, *Glomus* y *Gigaspora*. en presentación granulada y a una concentración de 45000 propágulos/gr infectivos. Se utilizaron 2 dosis de aplicación recomendadas en la ficha técnica para el producto (20 y 40 Kg/Ha respectivamente), dos veces por mes durante los tres meses del ciclo de cultivo.

Diseño experimental

Se empleó un diseño experimental en bloques al azar, con dos tratamientos: el Tratamiento 1 consistió en una dosis media de 2 g/planta, y el Tratamiento 2 en una dosis alta de 3 g/planta. Cada maceta (dimensiones de 45 cm de largo, 30 cm de ancho y 15 cm de alto) incluyó 4 plantas como unidades experimentales, con 10 macetas por tratamiento y control negativo (sin aplicación de inoculante), lo que resultó en un total de 40 unidades experimentales por tratamiento.

Manejo del cultivo

Durante el establecimiento del cultivo, se preparó una solución nutritiva básica con una conductividad de 1.89 mS/cm y pH entre 5.5 y 6. A lo largo del cultivo, los zarcillos y brotes fueron eliminados manualmente, y las plantas se sostuvieron con anillos y rafia. A partir de la quinta semana, se retiraron

las hojas basales cada dos semanas, manteniendo 12-15 hojas por planta. La cosecha inició en la cuarta semana de medición, realizándose una o dos veces por semana, recolectando frutos de más de 20 cm de largo y con diámetro mayor a 4 cm.

Medición de variables

La altura de la planta se midió semanalmente con cinta métrica desde la base del tallo hasta la parte apical, marcando el punto de medición previo para registrar el crecimiento semanal. El diámetro del tallo se midió utilizando un calibrador, justo por debajo del punto de crecimiento, de manera horizontal. El largo de las hojas se midió con cinta métrica, se midió la tercera hoja desde el punto de crecimiento hacia abajo, desde la unión del pecíolo hasta el ápice de la hoja.

Para el largo de los frutos, en cada cosecha (tres cosechas: semana 4, 5 y 6 del cultivo), se tomaron tres muestras de cada tratamiento para medir, desde la parte basal hasta la apical, utilizando una cinta métrica. Para el ancho de los frutos, se midió el diámetro en la parte central de cada fruto con un calibrador. El rendimiento por maceta se evaluó registrando los frutos cosechados de cada maceta, con el fin de obtener el rendimiento promedio por maceta por tratamiento.

Determinación de la colonización de las micorrizas en raíz

Para determinar la colonización de micorrizas en las raíces de pepino, se utilizaron dos segmentos de raíz por maceta. Estos se limpiaron, aclararon con KOH al 10%, enjuagaron y luego trataron con HCl al 10%. Posteriormente, se tiñeron con azul de tripano al 0.05% y se enjuagaron con lactoglicerol al 50% para eliminar el exceso de colorante, permitiendo observar la colonización micorrícica.

Análisis estadísticos

El análisis de datos se llevó a cabo mediante un análisis de varianza y comparación de medias con la prueba de Tukey. Los datos fueron procesados con el software R Studio, versión 4.0.2.

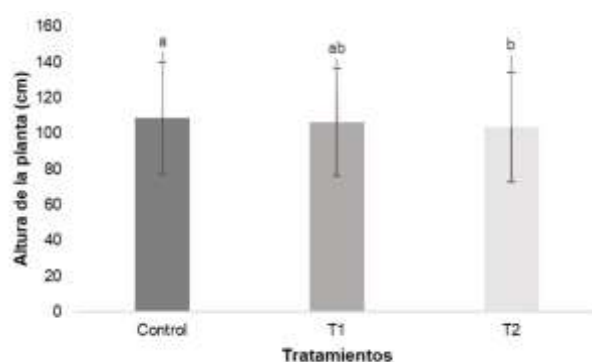
4.- Resultados

Fenología de la planta

Los resultados obtenidos para las variables de la fenología evaluados mostraron que, en cuanto a la altura de la planta, el análisis de varianza (ANOVA) reveló diferencias estadísticas significativas, donde el control presentó los valores más altos (106.34 ± 62.55 cm) en comparación con el tratamiento 1 (T1: 108.53 ± 60.63 cm) y tratamiento 2 (T2: 103.51 ± 61.05 cm) (Fig. 2).

Figura 2.

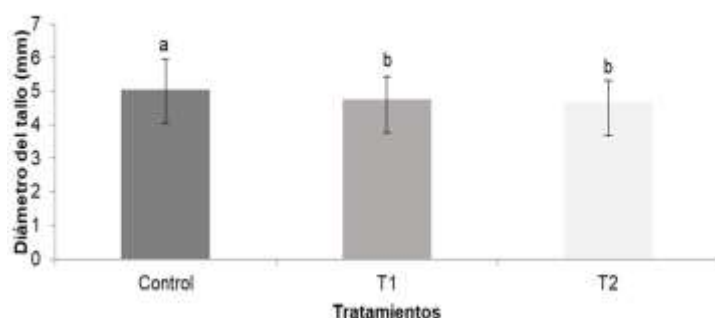
Análisis de medias (prueba de Tukey) entre tratamientos y control en la variable de altura de la planta.



De manera similar, en el diámetro del tallo, el control también mostró valores superiores (5.04 ± 0.92 cm) frente al T1 (4.76 ± 0.68 cm) y T2 (4.67 ± 0.64 cm) (Fig. 3).

Figura 3.

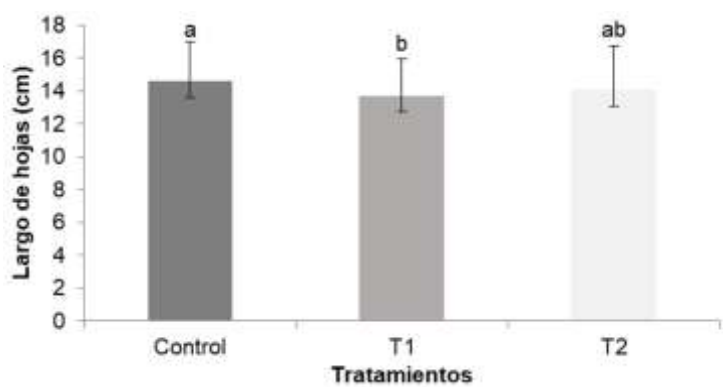
Análisis de medias (prueba de Tukey) entre tratamientos y control en la variable de diámetro del tallo.



En el largo de la hoja, el análisis confirmó que el control obtuvo los mayores valores promedio (14.61 ± 2.38 cm) en comparación con T1 (13.72 ± 2.25 cm) y T2 (14.10 ± 2.62 cm), destacando además un crecimiento lineal en las tres condiciones evaluadas (Fig. 4).

Figura 4.

Análisis de medias (prueba de Tukey) entre tratamientos y control en la variable de largo de la hoja.



Calidad y rendimiento del fruto

El análisis de las variables relacionadas con el fruto y el rendimiento no evidenció diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Para el largo del fruto, el ANOVA y la comparación de medias con la prueba de Tukey no reveló diferencias estadísticamente relevantes entre el control (23.24 ± 2.31 cm), T1 (23.48 ± 1.81 cm) y T2 (23.67 ± 1.68 cm). De manera similar, en el ancho del fruto, el ANOVA indicó ausencia de significancia, con promedios prácticamente iguales para el control (4.67 ± 0.55 cm), T1 (4.67 ± 0.61 cm) y T2 (4.80 ± 0.66 cm). En cuanto al rendimiento por maceta, los datos tampoco mostraron diferencias estadísticas, con valores promedio de 1.48 ± 0.71 kg para el control, 1.37 ± 0.80 kg para T1 y 1.24 ± 0.86 kg para T2.

Tabla 1.

Tabla de resultados de análisis ANOVA sobre las variables de calidad y rendimiento del fruto.

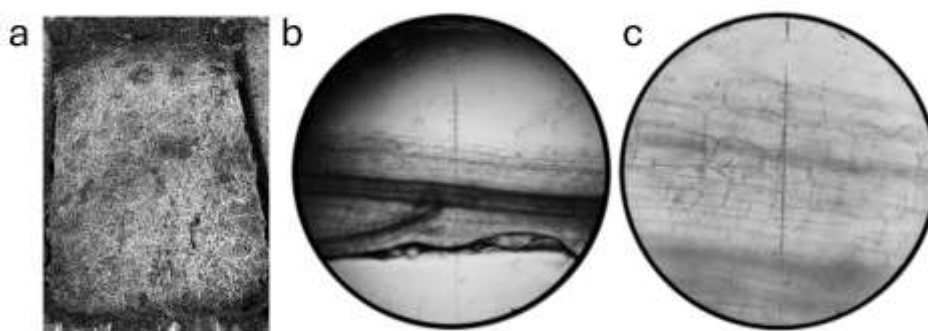
Variable		gl	Suma de cuadrados	Media cuadrática	F	P
Largo del fruto	Tratamiento	2	1.940	0.968	0.255	0.776
	Residuales	60	228.210	3.804		
Ancho del fruto	Tratamiento	2	0.224	0.112	0.305	0.738
	Residuales	60	22.016	0.367		
Rendimiento por maceta	Tratamiento	2	1.350	0.673	1.058	0.350
	Residuales	137	87.130	0.636		

Colonización de micorrizas

La tinción de raíces de pepino permitió observar la colonización por HMA en los tratamientos inoculados con el inoculante, mientras que en el control no se detectó dicha colonización (Fig. 5).

Figura 5.

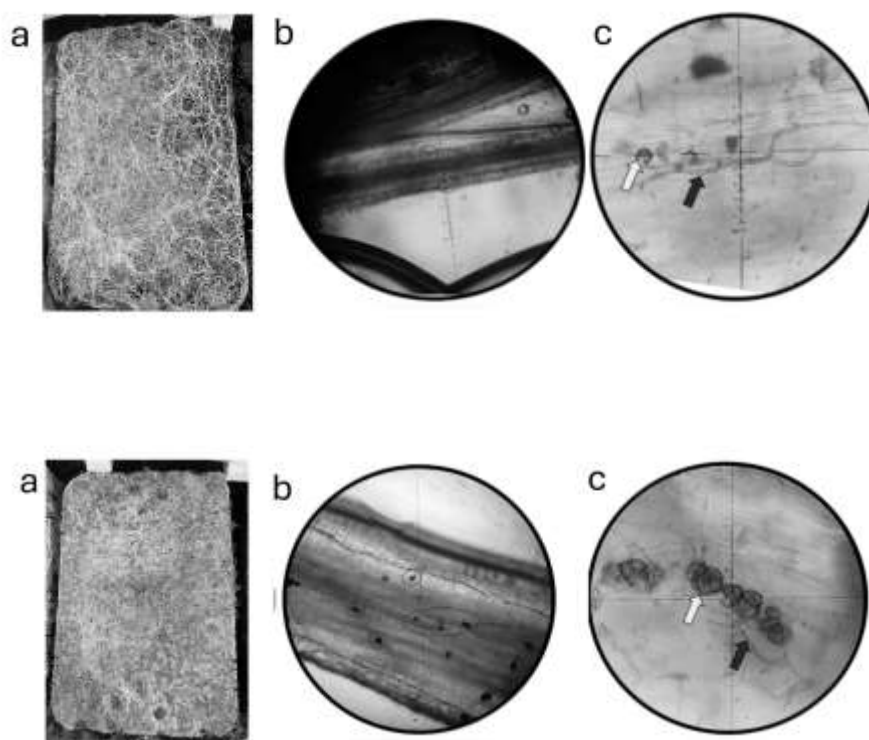
a) Sustrato de fibra de coco con el crecimiento de raíces al final de cultivo del control. b) micrografías de raíces del control con aumentado a 10X, y c) micrografías de las raíces del tratamiento control en un aumento de 40X.



Las imágenes de microscopia muestran la formación de arbuscúlos y micelio dentro de las raíces de pepino en los tratamientos 1 y 2 (Fig. 6 y 7). Aunque no se realizó una cuantificación, visualmente se notó mayor cantidad de arbuscúlos en las tinciones observadas al microscopio (Fig. 5-7). También se observó que la generación de raíces fue visualmente mayor en el sustrato de los tratamientos 1 y 2 en comparación con el control (Fig. 5-7).

Figura 6.

a) Sustrato de fibra de coco con el crecimiento de raíces al final de cultivo del tratamiento 1. b) micrografías de raíces con aumentado a 10X, los óvalos indican la presencia de los HMA en la raíz y c) micrografías de las raíces en un aumento de 40X; la flecha blanca indica la presencia de arbuscúlos y la flecha negra señala la formación del micelio dentro de las raíces.



5.- Discusión

La simbiosis entre los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y las raíces de las plantas es ampliamente reconocida por sus beneficios en el crecimiento vegetal, incluyendo mejoras en el diámetro del tallo, el número de hojas, la altura de los brotes y la longitud de las raíces, tal como lo reportaron Habibzadeh *et al.* (2015) y Ali *et al.* (2019). Sin embargo, en este estudio, la inoculación con HMA, incluso en dosis altas, no mostró un efecto significativo en la mejora del crecimiento de las plantas de pepino (*C. sativus*). Estos resultados contrastan con los descritos por Chen *et al.* (2017), quienes observaron incrementos significativos en el crecimiento y el peso seco al inocular plantas de pepino con HMA.

Una posible explicación para estos resultados es el estrés que puede generarse en las plantas debido a una densidad excesiva de colonización de HMA, como lo sugiere Garrido *et al.* (2010), cuyos datos demostraron que el efecto benéfico que tienen las HMA en la planta *Datura stramonium* L. podría reducirse cuando la alta densidad de colonización altera el equilibrio entre los costo-beneficio de la asociación simbiótica entre las plantas y los HMA. Este fenómeno podría explicar por qué el tratamiento con dosis simple (T1) presentó un mejor desarrollo que el tratamiento con dosis doble (T2). Además, en el presente experimento, las condiciones nutricionales e hídricas se mantuvieron óptimas durante todo el ciclo del cultivo, eliminando posibles factores de estrés que hubieran favorecido una relación más beneficiosa entre los HMA y las plantas. Esto concuerda con lo reportado por Begum *et al.* (2022),

quienes señalaron que los HMA son más efectivos en la mejora de la absorción de nutrientes en condiciones de estrés. Asimismo, en términos de parámetros de cosecha y calidad de los frutos, no se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos y el control, lo que respalda la hipótesis de que la fertilización óptima disminuye el efecto benéfico de los HMA.

Finalmente, aunque se demostró que las HMA lograron establecer una relación simbiótica con las raíces de las plantas tratadas con el inoculante, esto parece haber generado un efecto negativo en el desarrollo del cultivo, como también lo describe Garrido *et al.* (2010). Estos resultados resaltan la importancia de ajustar cuidadosamente la dosis de inoculantes micorrízicos y las condiciones del cultivo para maximizar sus beneficios.

6.- Conclusión

Los resultados obtenidos en las plantas de pepino variedad Part 552 cultivadas en hidroponía en invernadero e inoculadas con un inoculante de HMA indican que la aplicación de dicho consorcio comercial, en dos dosis, no produjo diferencias estadísticamente significativas en parámetros como la altura de la planta, diámetro del tallo, largo de hojas, ni en rendimiento, largo y ancho de los frutos. Sin embargo, se observó una mayor colonización de las raíces en los tratamientos con el inoculante. Lo que subraya la importancia de realizar investigaciones adicionales para adaptar las condiciones de manejo y nutricionales que optimicen el uso de los inoculantes microbianos en sistemas de cultivo específicos como la hidroponía en invernaderos. En particular, para futuras experimentos se considera: 1) Realizar aplicaciones del producto a base de micorrizas desde el trasplante de la planta para aumentar la efectividad de la colonización, 2) inocular el producto de micorrizas en las mismas dosis utilizadas en este experimento para *C. sativus* en invernadero, pero con condiciones de baja fertilización química y finalmente 3) cuantificar la biomasa a diferentes etapas fenológicas para confirmar las posibles diferencias estadísticas a lo largo del ciclo del cultivo.

7.- Agradecimientos

Agradecemos al Centro Universitario Ceickor por su generosa colaboración al proporcionar el espacio y el material necesario para llevar a cabo este trabajo de investigación.

8.- Referencias bibliográficas

- Abarca, O. R., Martínez, J. H., y Razo, F. D. J. G. (2021). Análisis económico del pepino persa en condiciones de invernadero en Guerrero y Estado de México, 2020. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 48, 678-689.
- Ali, A., Ghani, M. I., Ding, H., Fan, Y., Cheng, Z., y Iqbal, M. (2019). Co-amended synergistic interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and the organic substrate-induced cucumber yield and

- fruit quality associated with the regulation of the am-fungal community structure under anthropogenic cultivated soil. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(7), 1539. doi:10.3390/ijms20071539
- Begum, N., Wang, L., Ahmad, H., Akhtar, K., Roy, R., Khan, M. I., y Zhao, T. (2022). Co-inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and the plant growth-promoting rhizobacteria improve growth and photosynthesis in tobacco under drought stress by up-regulating antioxidant and mineral nutrition metabolism. *Microbial ecology*, 1-18. <https://doi.org/10.1007/s00248-021-01815-7>
- Beltrán-Pineda, M. E., y Bernal-Figueroa, A. A. (2022). Biofertilizantes: alternativa biotecnológica para los agroecosistemas. *Revista Mitis*, 12(1). DOI: 10.21789/22561498.1771
- Chen, S., Jin, W., Liu, A., Zhang, S., Liu, D., Wang, F., Lin, X., y He, C. (2013). Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) increase growth and secondary metabolism in cucumber subjected to low temperature stress. *Scientia Horticulturae*, 160, 222-229. DOI: 10.1016/j.scienta.2013.05.039
- Garrido, E., Bennett, A. E., Fornoni, J. y Strauss, S. Y. (2010). The dark side of the mycorrhiza. *Plant Signaling & Behavior*, 5 (8), 1019-1021. DOI: 10.4161/psb.5.8.12292
- Habibzadeh, Y. (2015). The effects of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus levels on dry matter production and root traits in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *African Journal of Environmental Science and Technology*, 9(2), 65-70. DOI: 10.5897/AJEST2014.1691
- Hashem, A., Alqarawi, A. A., Radhakrishnan, R., Al-Arjani, A. B. F., Aldehaish, H. A., Egamberdieva, D., y Abd_Allah, E. F. (2018). Arbuscular mycorrhizal fungi regulate the oxidative system, hormones and ionic equilibrium to trigger salt stress tolerance in *Cucumis sativus* L. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25(6), 1102-1114. DOI: 10.1016/j.sjbs.2018.03.009
- Kumari, M., Swarupa, P., Kesari, K. K., y Kumar, A. (2022). Microbial inoculants as plant biostimulants: A review on risk status. *Life*, 13(1), 12. <https://doi.org/10.3390/life13010012>
- López, E. J., Ortega, S. G., López, M. A. H., León, J. J., Puente, E. O. R., y Amador, B. M. (2015). Producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) en función de la densidad de plantación en condiciones de invernadero. *European Scientific Journal*, 11(24).
- Omar, A. F., Abdelmageed, A. H., Al-Turki, A., Abdelhameid, N. M., Sayyed, R. Z., y Rehan, M. (2022). Exploring the plant growth-promotion of four *Streptomyces* strains from rhizosphere soil to enhance cucumber growth and yield. *Plants*, 11(23), 3316. <https://doi.org/10.3390/plants11233316>
- Orozco-Mosqueda, M. D. C., Flores, A., Rojas-Sánchez, B., Urtis-Flores, C. A., Morales-Cedeño, L. R., Valencia-Marin, M. F., y Santoyo, G. (2021). Plant growth-promoting bacteria as bioinoculants: attributes and challenges for sustainable crop improvement. *Agronomy*, 11(6), 1167. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061167>
- Papin, M., Philippot, L., Breuil, M. C., Bru, D., Dreux-Zigha, A., Mounier, A., y Spor, A. (2024). Survival of a microbial inoculant in soil after recurrent inoculations. *Scientific Reports*, 14(1), 4177. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-54069-x>

- Shahwar, D., Mushtaq, Z., Mushtaq, H., Alqarawi, A. A., Park, Y., Alshahrani, T. S., y Faizan, S. (2023). Role of microbial inoculants as bio fertilizers for improving crop productivity: A review. *Heliyon*, 9(6). DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e16134
- SIAP. (2020). Pepino. Panorama agroalimentario 2020. [En línea]. Recuperado de https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2020/Atlas-Agroalimentario-2020.
- SIAP. (2023). Generó cultivo de pepino derrama económica superior a los \$342 MDP en 2023. [En línea]. Recuperado de <https://www.gob.mx/agricultura/bajacalifornia/articulos/genero-cultivo-de-pepino-derrama-economica-superior-a-los-342-mdp-en-2023-en-la-zona-costa-de-bc>
- Singh, J. S., Koushal, S., Kumar, A., Vimal, S. R., y Gupta, V. K. (2016). Book review: microbial inoculants in sustainable agricultural productivity-Vol. II: functional application. *Frontiers in Microbiology*, 7, 2105. DOI: 10.3389/fmicb.2016.02105
- Spagnoletti, F. N., di Pardo, A. F., Gómez, N. E. T., y Chiocchio, V. M. (2013). Las micorrizas arbusculares y Rhizobium: una simbiosis dual de interés. *Revista Argentina de Microbiología*, 45(2), 131-132.
- Suhail, F. M. (2013). Effect of mycorrhizal fungi inoculation and seaweed extract spray on some growth characters and yield of cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Journal of Genetic and Environmental Resources Conservation*, 1(3), 209-214.
- Taha, N., Abdalla, N., Bayoumi, Y., y El-Ramady, H. (2020). Management of greenhouse cucumber production under arid environments: A Review. *Environment, Biodiversity and Soil Security*, 4(2020), 123-136. DOI: 10.21608/jenvbs.2020.30729.1097
- Tüfenkçi, Ş., Demir, S., Şensoy, S., Ünsal, H., Durak, E. D., Erdinc, C., Biçer, S., y Ekinci, A. (2012). The effects of arbuscular mycorrhizal fungi on the seedling growth of four hybrid cucumber (*Cucumis sativus* L.) cultivars. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 36(3), 317-327. DOI: 10.3906/tar-1012-1608
- Zhu, B., Gao, T., Zhang, D., Ding, K., Li, C., y Ma, F. (2022). Functions of arbuscular mycorrhizal fungi in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, 303, 111219. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111219>