



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®



Congreso Internacional de Investigación
Academia Journals CDMX 2023
*Ciencia, Tecnología y Educación al
Alcance de Todos*

NOVIEMBRE 30 Y DICIEMBRE 01, 2023

TECNOLOGÍA Y EDUCACIÓN AL ALCANCE DE TODOS EN LAS CIENCIAS NATURALES - CDMX 2023

TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN DEL CONGRESO
INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN ACADEMIA
JOURNALS CDMX 2023

Ciencia, Tecnología y Educación al Alcance de Todos

ELIBRO CON ISBN ONLINE 979-8-89020-050-1

**CONGRESO
ACADEMIA JOURNALS
CDMX 2023**

Título del Libro Electrónico: *Tecnología y Educación al Alcance de Todos en las Ciencias Naturales - CDMX 2023*

ISBN 979-8-89020-050-1 online*

Este libro electrónico (e-book) contiene la colección de los trabajos de investigación presentados en el área de *matemáticas y ciencias naturales* en el Congreso Internacional de Investigación Academia Journals CDMX 2023, *Ciencia, Tecnología y Educación al Alcance de Todos*, que fuera co-organizado los días 30 de noviembre y 01 de diciembre de 2023 por Academia Journals, PYSEIP, *Productos y Servicios Estratégicos para Investigación y Posgrado*, y el Instituto Tecnológico de Iztapalapa.

POLÍTICA DE COPYRIGHT

Con el fin de maximizar el valor para los autores de sus publicaciones en AJ, se observan la políticas de copyright aquí descritas. Academia Journals protegerá los intereses de los autores y de las instituciones donde ellos laboran. Como requisito para publicar en AJ, todos los autores y la institución donde ellos laboran transfieren a AJ cualquier derecho de copyright que tengan en su artículo. El copyright se transmite cuando el artículo es aceptado para su publicación. La asignación de copyright es nula y terminada en caso de que el artículo no sea aceptado para publicación. Para corresponder a la transferencia de los derechos de autor, AJ cede a los autores y a las instituciones donde ellos laboran el permiso y derecho de hacer copias del artículo publicado y utilizarlo para fines académicos. El autor retiene siempre los derechos de patentes descritas en el artículo. Después de que el artículo haya sido aceptado para su publicación en AJ, y dado que el copyright ha sido ya transferido, cualquier cambio o revisión al material debe hacerse solamente con la autorización de AJ.

CONSEJO ACADÉMICO

Dr. Rafael Moras (San Antonio, EEUU)
MA Ani Alegre (Austin, EEUU)
Dr. Ángel Esparza (Houston, EEUU)
Lic. David Moras (San Antonio)
MC Constantino Moras Sánchez (Orizaba, México)
Dr. Eloy Mendoza Machain (Morelia, México)
Dr. Pedro López Eiroá (CDMX, México)
Dr. Víctor Mendoza (Puebla, México)
Dr. Albino Rodríguez Díaz (Tepic, México)
Vicerrector Dante Agatón (Morelia, México)

DISEÑO Y PUBLICIDAD

contacto@academiajournals.com

COMENTARIOS Y SUGERENCIAS

contacto@academiajournals.com
+1 (210) 415-3353
3760 E. Evans
San Antonio TX 78259 USA
www.academiajournals.com

*El ISBN fue asignado a este libro por la Agencia de ISBN en Estados Unidos. Los números de copyright tienen validez mundial. Para comprobar la validez de un ISBN, favor de visitar la página bookwire.com.



Paper	Título	Autores	Primer Autor	Página
CDX144	Pronóstico Maderable de un Bosque Ejidal del Suroeste del Estado de Durango	Dr. Manuel Antonio Díaz Vásquez Dr. Pedro Antonio Domínguez Calleros Dr. Jesús Alejandro Soto Cervantes	Díaz Vásquez	1
CDX094	Evaluación de la Tecnología de Plasma para la Síntesis de Hidrogeles	MC. Ana Jazmín Montes Hernández Dra. Rosa Idalia Narro Céspedes Dra. María Cristina Ibarra Alonso Dra. Adalí Oliva Castañeda Facio Dr. Francisco José González González	Montes Hernández	8
CDX010	Estudios de Estabilidad en Arcilla de Lito	Tania Daniela Mora García Dr. Adrián Sosa Domínguez M. en C. María del Rocio Arvizu Torres I.Q. Edith Valle Moya M. en C. Francisco Javier Martínez Ríos	Mora García	13
CDX106	Diseño y Caracterización de un Sensor de Glucosa en Fibra Óptica Plástica	Ing. Alfredo Murrieta Loyde Mtra. Yeraldyn Guzmán Castro Dra. Mónica Trejo Durán Dr. Eduardo Cabal Yépez Dr. Igor Guryev Dra. Ruth Ivonne Mata Chávez	Murrieta Loyde	20
CDX341	La Importancia de la Economía Agrícola en Los Reyes de Juárez: Un Análisis Integral del Sector y su Impacto	Dra. Alma Delia Neponuceno Crisóstomo MIQ. José Muñoz Flores Eduardo Zarate Gómez Arlette Robles Abad Daniela Ledo Bautista Ana Karen Ramírez Reynoso Carlos Krissel Sánchez Domínguez	Neponuceno Crisóstomo	26
CDX347	El Uso Sostenible del Maguey en Puebla	Dra. Alma Delia Neponuceno Crisostomo Alfredo Alejandro Guzmán Becerra Karime Martínez Cid Emmanuel Romero Sánchez Ricardo Tapia Maceda María Guadalupe Zayas García Juan Diego Rosas González	Neponuceno Crisostomo	33

Paper	Título	Autores	Primer Autor	Página
CDX218	Estudio de la Calidad del Nopal (Opuntia ficus-indica) Sometido al Proceso de Escaldado y Almacenamiento a Temperaturas de Refrigeración	Gisela Ortiz Yescas Pérez Aguirre Carlos Alfonso Alejandro Morales Peñaloza Adriana Cortazar Martínez Arturo Torres Mendoza José Alfredo Pescador Rojas Aldo Christiaan Jardínez Vera Jaime Alioscha Cuervo Parra Martín Peralta Gil	Ortiz Yescas	39
CDX030	Estudios de homogeneidad en arcilla de litio	Luis Daniel Quiroz Garduño Dr. Adrián Sosa Domínguez M. en C. María del Rocío Arvizu Torres M. en C. Francisco Javier Martínez Ríos I.Q. Edith Valle Moya	Quiroz Garduño	45
CDX168	Didáctica de la Escuela Holística para Mejorar el Rezago con Fracciones: Estudio de Caso de Alumnos del ITIZ	María del Socorro Rivera Casales Nadia Gil Ruiz José Nino Hernández Magdaleno	Rivera Casales	51
CDX349	Macroinvertebrados como Indicadores Bióticos para Determinar la Calidad del Agua en un Segmento del Río Huehuetlán, Puebla, México	Est. Noemi Tlalpa Domínguez Est. Jocelyn Karina García Popoca M. en C. Hugo Rodolfo Molina Arroyo Dra. María Concepción López Téllez Dr. Ángel Alonso Romero López Est. Carlos Montiel Flores	Tlalpa Domínguez	59
CDX352	Evaluación del Volumen y Tipo de Agua que Permitan la Adecuada Germinación y Crecimiento Radicular en Semillas de la Lechuga (Lactuca sativa) en Ensayos a 120hr	Estudiante Nathaniel Usón Hernández Estudiante Denisse Orozco Gutiérrez M. en C. Hugo Rodolfo Molina Arroyo Dra. María Concepción López Téllez Dr. Ángel Alonso Romero López Biol. Emiliano Vázquez García	Usón Hernández	65
CDX034	Aplicación de Tecnología Inmersiva para Fomentar el Interés en Astronomía en Educación Básica: UNAM-Observatorio Astronómico Nacional en San Pedro Mártir	M. en C. Iván Zavala Ibarra M. en I. Erica Esther Lugo Ibarra M. en I. Gerardo Sierra Díaz	Zavala Ibarra	71

Pronóstico Maderable de un Bosque Ejidal del Suroeste del Estado de Durango

Dr. Manuel Antonio Díaz-Vásquez¹, Dr. Pedro Antonio Domínguez-Calleros^{2*}, Dr. Jesús Alejandro Soto Cervantes³

Resumen--Los modelos de crecimiento y producción facilitan la estimación de la productividad de los ecosistemas forestales, lo que contribuye en la economía de las comunidades y en la conservación de la biodiversidad que son la fuente de los servicios ambientales que brindan los bosques. El objetivo del presente trabajo fue generar un modelo de producción para *Pinus cooperi*, este se desarrolló en Ejido El Brillante en el municipio de Pueblo Nuevo, Dgo. Se utilizaron los datos de 790 árboles provenientes de 10 parcelas permanentes de investigación. Se obtuvo un modelo de producción utilizando la función de distribuciones diamétricas Weibull. Los resultados más importantes al utilizar el modelo para pronosticar fueron: el número de árboles (527 ha^{-1}), área basal ($27.91 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) y volumen ($355.41 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$). Se concluye que el modelo de producción, utilizando la función de distribución Weibull para las categorías diamétricas, representa una valiosa herramienta de simulación, que permite una mejor planeación en el manejo forestal aplicado a esta especie de pino, que es una de las más importantes (económicamente) en los bosques del área de estudio.

Palabras clave: Distribuciones diamétricas, estimación del volumen, modelos biométricos.

Introducción

En México la comercialización de especies forestales, especialmente coníferas, tiene una importancia económica muy notable, tanto en el mercado de diversos productos. La mayoría de las masas forestales pueden producir un gran número de árboles con las características ideales para madera aserrada, pulpa para celulosa y papel y otros productos, sin que se le hagan intervenciones silvícolas; sin embargo, es necesario inducir el crecimiento en los árboles más deseables para incrementar la productividad. Por lo tanto, se requieren herramientas silvícolas que nos permitan tomar mejores decisiones en el manejo forestal, como es la ordenación de bosques con el fin de garantizar una continua producción de bienes y servicios. Pronosticar el crecimiento forestal facilita la estimación de la productividad de estos ecosistemas y el aprovechamiento de una especie en función de la calidad de sitio y del tratamiento silvícola. Con ello se obtienen datos prácticos sobre el crecimiento característico promedio y es factible hacer una estimación rápida y poco costosa del volumen que puede extraerse, a través del desarrollo de modelos de predicción más flexibles. El Brillante es uno de los ejidos forestales más representativos del suroeste de Durango, la actividad de mayor importancia es la maderable en sus distintas etapas de aprovechamiento y transformación. Entre las especies arbóreas de mayor importancia económica con que cuenta el ejido, destaca *Pinus cooperi*, dada su gran abundancia y su buena calidad de madera. Los objetivos de este trabajo fueron la generación de un modelo de crecimiento y producción para *Pinus cooperi*, a partir de ecuaciones dasométricas y basado en la función de distribuciones diamétricas Weibull.

Referencias bibliográficas

Monárrez-González y Ramírez-Maldonado, (2003) y Gadow et al., (2008) señalan que el estado de una masa forestal depende, en gran medida, de los tratamientos silvícolas aplicados y está definido principalmente, por los factores del sitio y por la estructura y densidad de la población. (O'Hara, 2002; Santiago-García et al., 2014 y Tres, 2014) destacan la predicción del crecimiento y el rendimiento de las masas forestales como un requisito fundamental para planificar su manejo a cualquier nivel y mencionan que los responsables del manejo de bosques deben contar con herramientas cuantitativas silvícolas que les permitan conducir satisfactoriamente la evolución de un rodal hacia cierta estructura meta. Para lo anterior, se requiere de modelos de predicción, que proporcionen información para evaluar los efectos y resultados de varias opciones en las rotaciones de los aclareos (Gorgoso y Rojo, 2009). Los sistemas de producción que proveen estimaciones del volumen maderable por clase diamétrica, estos son una herramienta de

¹ Profesor investigador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Juárez del Estado de Durango, México. mdiaz@ujed.mx

² Profesor investigador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Juárez del Estado de Durango, México. *Autor de correspondencia pdomingc@hotmail.com

³ Profesor investigador del Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de El Salto, Durango. alejandro.soto@ujed.mx

alto valor para la planificación del manejo forestal (Santiago-García et al., 2014), entre estas, la distribución Weibull ha sido utilizada con éxito para predecir el volumen (Gorgoso y Rojo, 2009; Návar-Cháidez, 2009).

Metodología

Área de estudio

El Ejido Forestal El Brillante, se localiza en la Sierra Madre Occidental dentro del municipio de Pueblo Nuevo, al suroeste del Estado de Durango; (González et al., 2013). El relieve es algo variado, encontrándose numerosas mesetas, una gran cantidad de cerros y algunas abruptas quebradas, La altitud oscila entre los 2,000 y 2,900 m.s.n.m. El clima es: Semifrío húmedo con lluvias en verano C (E) (m) y templado subhúmedo con lluvias en verano C (w) (INEGI, 2015). La temperatura media anual es de 14 °C; precipitación promedio entre 700 y 1300 mm. (González-Elizondo et al., 2007). El tipo de vegetación que corresponde a bosques de coníferas, mezclado algunas veces con latifoliadas, las especies de mayor importancia son: *Pinus cooperi*, *P. durangensis* Martínez, *P. teocote* Schlecht. y *Cham.* y *Quercus sideroxila* (Díaz-Vásquez, et. al., 2018).

Procedimiento

Se realizó un muestreo, para obtener la información proveniente de 790 árboles de 10 parcelas permanentes de investigación (2 500 m²) distribuidas en puntos estratégicos dentro de la superficie del ejido, cubriendo todo el rango de alturas y diámetros de la especie. Los datos se recabaron en el año 2014, estos fueron: Número de árboles mayores de 7.5 cm de diámetro, diámetro con corteza (cm) y altura total (m). A partir de esta información se derivaron las ecuaciones de área basal, altura, distribución diamétrica volumen con las cuales se integró el modelo para pronosticar el volumen maderable, siguiendo el procedimiento siguiente:

Cálculos dasométricos

Número de árboles por hectárea: se determinó en función de los árboles registrados ($D_n \geq 7.5$ cm) en cada parcela empleando la ecuación sugerida por Corral-Rivas et al. (2006) que se menciona enseguida.

$$N = \frac{10000 \times n}{S} \quad [1]$$

N = densidad en árboles por hectárea. S (m²)= superficie de la parcela, n = número de árboles de la parcela.

Área basal por hectárea: Con la suma de las áreas basales individuales se obtuvo el área basal por parcela y posteriormente se calculó el área basal ha⁻¹ (Corral- Rivas et al., 2014):

$$AB = \frac{\pi}{4} \cdot \sum_{i=1}^n d_i^2 \cdot \frac{10000}{S} \quad [2]$$

AB = área basal (m² ha⁻¹), d_i = diámetro normal en m de cada árbol y S = superficie en proyección horizontal de la parcela en m².

Diámetro medio. Se calculó a partir de los diámetros de todos los árboles registrados en las parcelas, según la siguiente expresión (Corral-Rivas et al., 2014):

$$d_m = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad [3]$$

d_m = diámetro medio en cm, d_i = diámetro normal del árbol i en cm, y n = número de árboles por parcela.

Altura media. media aritmética de las alturas de los árboles registrados en cada parcela (Corral-Rivas et al., 2014):

$$H_m = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n} \quad [4]$$

H_m = altura media, h_i = altura total del árbol i , m y n = número de árboles registrados en la parcela.

Volumen promedio por árbol. Para este cálculo se utilizó la ecuación de (Romahn y Ramírez, 2006):

$$V = shf \quad [5]$$

V = volumen de los árboles individuales (m^3), s = área basal (m^2), h =altura (m), f = coeficiente mórfico= (0.06)

Ecuaciones para Generar el modelo.

Para integrar el modelo de predicción se derivaron una serie de ecuaciones utilizando métodos de regresión, la distribución Weibull y otras ecuaciones mismas que se describen a continuación:

Número de árboles por categoría diamétrica: Se utilizó la ecuación que involucra la fdp (Aguirre, 1987):

$$N_i = fdp(N) \quad [6]$$

N_i = número de árboles por hectárea de la categoría diamétrica, fdp = probabilidad de distribución de la categoría diamétrica. N = número de árboles por ha^{-1} de la parcela.

Área basal por hectárea de las categorías diamétricas, para esto se usó la ecuación (Romahn y Ramírez, 2006):

$$AB = 0.7854(D_i)^2 (N)/10000 \quad [7]$$

AB = área basal ($m^2 ha^{-1}$), D_i = diámetro medio de la categoría. N = número de árboles por ha^{-1} de la categoría.

Diámetro medio de la categoría. Se calculó la media de los diámetros de los árboles de cada clase diamétrica, se utilizó nuevamente la ecuación [3].

Altura media. Con las alturas individuales, se derivó una ecuación de regresión para estimar la altura de los árboles de cada clase diamétrica, con el fin de calcular el volumen promedio de cada clase. La ecuación que se utilizó fue la polinómica (Romahn y Ramírez, 2010):

$$H = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2 \quad [8]$$

H = Altura estimada, B_0, B_1, B_2 = Estimadores de regresión, D =Diámetro medio

Volumen de cada clase diamétrica: Se obtuvo una ecuación mediante regresión, con los volúmenes y diámetros medios individuales de los árboles para calcular el volumen. Se probaron varios modelos y el elegido fue:

$$\ln V = \beta_0 + \beta_1 \ln D \quad [9]$$

V = Volumen maderable estimado, B_0, B_1 = Estimadores de regresión, D =Diámetro medio

Modelo para distribución diamétrica. Se aplicó un modelo que predice la distribución de diámetros basado en la función de distribución Weibull, utilizando la siguiente ecuación (Smalley y Bailey, 1974):

$$P_i = \exp\left[-\left(\frac{L_i-a}{b}\right)^c\right] - \exp\left[-\left(\frac{U_i-a}{b}\right)^c\right] \quad [10]$$

P_i = Proporción de arbolado en la i , ésima categoría diamétrica. L_i = Límite inferior de la i , ésima categoría diamétrica, U_i = Límite superior de la i , ésima categoría, a = Parámetro de localización, b = Parámetro de escala y c = Parámetro de forma.

Los parámetros se obtubieron por máxima verosimilitud o cuadrados mínimos (Condés y Martínez-Mill, 2005; Hernández, 2012).

Modelo para estimar la producción. Se obtuvieron los requerimientos para elaborar un modelo de crecimiento y producción, para esto se utilizaron las ecuaciones 3, 6, 7, 8, 9 y 10 descritas anteriormente. Para ejemplificar el desempeño del modelo se eligió la parcela número 5, la cual representa una densidad media que algunos autores definen como Densidad Normal (Corvalán y Hernández, 2006).

Resultados

Los valores de los datos dasométricos obtenidos para cada una de las parcelas se presentan en el Cuadro 1. Como

puede observarse los valores de densidad (N), tienen un amplio rango de variación. Puede apreciarse que las parcelas 5, 6 y 9 tienen el mayor número de árboles por ha⁻¹, mientras que en las parcelas 2, 3 y 7 se presentan los valores más bajos. Esto, se debió, seguramente a la ubicación de las parcelas y a las diferentes calidades de estación que intuyen directamente en el número de individuos presentes en el sitio (Daniel et al., 1982).

Las parcelas con valores más altos de área basal fueron la 5, 6 y 4 mientras que las parcelas con valores menores son: la 3, 7 y 2 (Cuadro 1).

Parcela	Densidad (N) (árboles ha ⁻¹)	AB (m ² ha ⁻¹)	D (m)	H (m)	Volumen (m ³ ha ⁻¹)
1	96	7.84	0.31	19.38	101.19
2	44	3.00	0.28	17.26	33.86
3	28	0.58	0.15	11.60	4.92
4	192	18.42	0.32	18.71	255.30
5	528	26.69	0.22	17.56	353.87
6	1108	22.81	0.16	10.92	173.98
7	16	1.10	0.26	16.74	16.56
8	336	14.46	0.18	14.11	231.18
9	740	12.26	0.13	10.28	94.17
10	216	13.65	0.23	15.33	212.32

Cuadro 1. Valores dasométricos de las parcelas.

Dónde: (N)=número de árboles ha⁻¹, AB=área basal (m² ha⁻¹), D=diámetro medio (m), H = altura (m).

La ecuación elegida para hacer predicciones de la altura fue la 8, dado que mostró mejores resultados según su coeficiente de determinación (R²)=0.815 y error estándar=2.67090827. y sus valores son: $\beta_0=1.317$, $\beta_1=0.785$ y $\beta_2=-0.0054$.

La estimación del volumen se originó de la ecuación 9, sus valores son: $\beta_0=-9.54421356$, $\beta_1=2.74680381$, $R^2=0.97692972$, Error estándar= 0.21959805. Con este modelo logarítmico para la estimación del volumen, se logró obtener un buen ajuste a pesar de ser simple, ya que solo involucra la variable diámetro.

Los valores de la distribución Weibull (distribución diamétrica) obtenidos en el presente trabajo para los parámetros fueron: $a=3.75$, $b=22.09$ y $c=1.67$. Mismos que fueron utilizados en el modelo de producción junto con las ecuaciones de altura y de volumen (cuadro 2).

Cat.	Clase diam. (cm)	FDP	NA/ha.	NA a	AB	D (cm)	Alt. (m)	Vol/Arb	Vol/Cat
1	(7.5, 12.5]	0.2101	111	111	0.87	10	8.63	0.04	4.43
2	(12.6, 17.5]	0.1735	92	202	1.62	15	11.88	0.12	11.15
3	(17.6, 22.5]	0.1663	88	290	2.76	20	14.86	0.27	23.56
4	(22.6, 27.5]	0.1406	74	365	3.64	25	17.56	0.50	36.77
5	(27.6, 32.5]	0.1082	57	422	4.04	30	20.00	0.82	46.69
6	(32.6, 37.5]	0.0771	41	462	3.91	35	22.16	1.25	50.78
7	(37.6, 42.5]	0.0513	27	489	3.40	40	24.05	1.80	48.77
8	(42.6, 47.5]	0.0321	17	506	2.70	45	25.68	2.49	42.20
9	(47.6, 52.5]	0.0190	10	516	1.97	50	27.03	3.32	33.37
10	(52.6, 57.5]	0.0107	6	522	1.34	55	28.11	4.32	24.36
11	(57.6, 62.5]	0.0057	3	525	0.85	60	28.91	5.49	16.54
12	(62.6, 67.5]	0.0029	1.5	527	0.51	65	29.45	6.83	10.51
13	(67.6, 72.5]	0.0014	0.7	527	0.29	70	29.71	8.38	6.28
	Total	0.9988	527		27.91				355.41

Cuadro 2. Ejemplo del modelo de crecimiento y producción para *Pinus cooperi*

Cat =Número de la clase diamétrica, FDP=Probabilidad por categoría diamétrica (aplicación de la FDP), NA=Número de árboles por hectárea por clase, NAa=Frecuencia acumulada del número de árboles por hectárea por clase. AB=Área basal (m² ha⁻¹) por clase, D=Valor del punto medio de la categoría diamétrica, Alt=Altura media de los árboles dominantes y codominantes, Vol/Arb=Volumen por árbol (m³), Vol/Cat=Volumen por

categoría diamétrica ($m^3 ha^{-1}$).

Se puede observar que los valores obtenidos, área basal y volumen son similares a los obtenidos a partir de los valores de árboles individuales que se muestran en el (Cuadro 1), que representa la parcela permanente de investigación correspondiente, con la ventaja de que es posible, además, conocer los valores de dasométricos de cada categoría diamétrica utilizando la función de distribución Weibull.

Análisis

Una de las variables dasométricas más representativas de un sitio forestal es la altura de los árboles, la cual junto con el diámetro nos permite calcular el área basal y el volumen del arbolado, además permiten generar ecuaciones para integrar modelos de crecimiento y producción. (Bravo et al., 2002). El alto valor en el coeficiente de determinación y el bajo valor en el error estándar de la ecuación de la altura que aquí se presenta, no obstante, de que solo considera al diámetro como variable independiente, permiten señalarla como la mejor entre otras ecuaciones que incluyen más variables (Alonso et al., 1999; Dorado et al., 2005).

A pesar de que en el modelo logarítmico para la estimación del volumen de este reporte solo se involucra a la variable diámetro, se obtuvieron resultados similares a otros trabajos con modelos más sofisticados que incluyen las variables diámetro, altura y área basal, e incluso volumen, como los de Carrillo-Anzures et al. (2004); Salas et al. (2005); Cruz-Leyva et al. (2010) y Montes de Oca et al. (2008).

La Figura 1 muestra el número de árboles y el volumen en función del diámetro de la parcela 5. Esto se logró una vez estimado el número de árboles utilizando la distribución Weibull. Se puede apreciar una distribución inversamente proporcional, a medida que aumenta el diámetro, disminuye el número de árboles (2a). En el caso del volumen (2b) se observa una distribución normal, en la que los árboles de las categorías diamétricas medianas son las que aportan el mayor volumen, mientras que las categorías menores y mayores el volumen es menor, lo anterior se debe principalmente al número de árboles y a sus dimensiones.

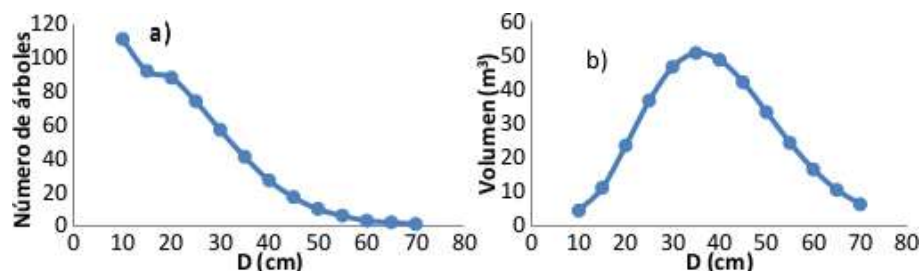


Figura 1. Relación del número de árboles y el volumen en función del diámetro.

En el caso del modelo de distribución diamétrica basado en la función Weibull, los valores de los parámetros fueron: $a=3.75$, $b=22.09$ y $c=1.67$. Dichos valores son similares a los obtenidos por Nívar- Cháidez (2009), quien obtuvo valores de $a=3.99$, $b=19.62$ y $c=1.34$ para los parámetros de la Weibull en la región de El Salto Durango. Este investigador empleó dos metodologías: el método de momentos y el de ecuaciones empíricas. Mientras que Hernández (2012), obtuvo también resultados similares con un modelo de tres parámetros mediante el método de cuadrados mínimos para *Pinus arizonica*. Sin embargo, nuestros resultados son diferentes de los presentados por Gorgoso y Rojo (2009) quienes utilizaron la función Weibull de dos parámetros para distribuciones diamétricas de *Pinus pinaster* en la región de Asturias empleando el método de máxima verosimilitud.

Respecto al modelo de producción que aquí se presenta, el cálculo del volumen está en función del número de árboles estimado, la probabilidad de distribución de las categorías diamétricas y el diámetro medio de cada categoría; diferente a otros trabajos como el de Aguirre (2013), quien aplicó una metodología en la que se considera como variables el número de árboles por ha^{-1} y la altura de los árboles. Por su parte autores como Sánchez et al. (2003), calculan el volumen utilizando variables como edad, altura, número de árboles, diámetro y área basal, para *Pinus radiata* D. Don en Galicia, obteniendo tablas de producción más complejas donde además incluye los aclareos. Un trabajo similar al presente, es el de Santiago-García et al. (2014), en el que incorpora variables como el diámetro, la altura, la edad y el número de árboles por categoría diamétrica basado en la función de densidad de probabilidad Weibull, para hacer predicciones del rendimiento maderable y recomienda el uso de este sistema al compararlo con el de

distribución libre basado en percentiles, por ser más sencillo de usar.

Cabe mencionar que con el modelo aquí presentado, es posible generar tablas con los volúmenes por hectárea para diferentes rodales, al cambiar las variables que se están utilizando para realizar los cálculos como: El número de árboles por hectárea, altura de los árboles y una edad de los árboles dominantes para lograr múltiples combinaciones y obtener así otras tablas tal como lo señalan Santiago-García et al. (2014).

Conclusiones

En la ecuación para predecir altura se eligió un modelo polinómico con un $r^2=0.15$ y un error estándar de 2.67, el cual considera como única variable independiente el diámetro, resultó mejor que otros dos que se probaron. Así mismo, la ecuación logarítmica elegida para estimar el volumen tuvo un buen ajuste, tal como lo indican su R^2 y sus otros estimadores. Por lo que es posible hacer buenas estimaciones del volumen.

El modelo de distribución Weibull aplicado a la distribución de las categorías diamétricas de *Pinus cooperi*, es apropiado y puede ser incorporado al modelo de producción que aquí se propone.

El modelo de crecimiento y producción que aquí se plantea, representa una valiosa herramienta de predicción para los técnicos encargados del manejo forestal del ejido El Brillante aplicado a la especie de *Pinus cooperi*.

Este tipo de modelos contribuyen al manejo sustentable de los recursos forestales, lo cual repercute en la economía de las personas y la conservación y mejora de los servicios ambientales.

Referencias

- Aguirre, C.O.A. 2013. Modelización del crecimiento de *Pinus teocote* Schltdl. et Cham. en el noreste de México. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 4(17): 28-41.
- Aguirre, B.C. 1987. Planteamientos generales del manejo integral de los recursos forestales en El Salto Durango. Uaf N° 6 El Salto Dgo. pp.38.
- Alonso, G.V.; Álvarez-González, G.J. y Soalleiro, R.R. 1999. Elaboración de un modelo de crecimiento dinámico para rodales regulares de "*Pinus pinaster* Ait" en Galicia. Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales 8(2):319-334.
- Bravo, F.; Del Río, M.; Pando, V.; San Martín, R.; Montero, G.; Ordoñez, C. y Cañellas, I. 2002. El diseño de las parcelas del Inventario Forestal Nacional y la estimación de variables dasométricas. El Inventario Forestal Nacional, Elemento Clave para la Gestión Forestal Sostenible, 19-35.
- Carrillo-Anzures, F.; Acosta-Mireles, M. y Tenorio-Galindo, G. 2004. Tabla de volumen para *Pinus patula* Schl. et Cham. en el estado de Hidalgo. Folleto Técnico Núm. 2. INIFAP-SAGARPA. 16 p.
- Condés, R.S. y Martínez-Mill, J. 2005. DOMO: Una aplicación Informática para el diseño de inventarios forestales. Cuad. Soc. Esp. Cienc. For. 19:57-61.
- Corral-Rivas, J.J.; Bretado, V.J.; Fernández, S.F. y Aguirre, C.C. 2006. Propuesta Metodológica para el Establecimiento de un Programa de Monitoreo del Manejo Forestal en Bosques Certificados. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Juárez del Estado de Durango.
- Corral-Rivas, J.; Bretado, V.J. y López, C.J. 2014. Análisis de la estructura y composición del sistema permanente de monitoreo forestal del predio particular "Las Bayas" de la UJED, mpio. de Pueblo Nuevo, Durango. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Juárez del Estado de Durango. pp. 35.
- Corvalán, P. y Hernández, J. 2006. Densidad del rodal. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Departamento de Manejo de Recursos Forestales, Cátedra de Dasometría.
- Cruz-Leyva, I.A.; Valdez-Lazalde, J.R.; Ángeles-Pérez, G. y De Los Santos-Posadas, H.M. 2010. Modelación espacial de área basal y volumen de madera en bosques manejados de *Pinus patula* y *P. teocote* en el ejido Atopixco, Hidalgo. Madera y bosques 16(3):75-97.
- Daniel, T.W.; Helms, J.A. y Baker, F.S. 1982. Principios de silvicultura (Vol. 492). México: McGraw-Hill. 492 p.
- Dorado, F.C.; Diéguez-Aranda, U.; Anta M.B. y González, A.J.G. 2005. Relación altura-diámetro generalizada para masas de *Pinus sylvestris* L. procedentes de repoblación en el noroeste de España. Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales 14(2):229-241.
- Díaz-Vásquez, M. A., Velázquez, J. L. B., Herrera, S. L. T., & Domínguez Calleros, P. A. 2018. Indicadores Ecológicos en el ejido El Brillante, Pueblo Nuevo Durango. Foresta Veracruzana, 20(2), 1-7.
- Gadow, K.V.; alboreca, A.R.; González, J.A. y Soalleiro, R.R. 2008. Ensayos de crecimiento. Parcelas permanentes, temporales y de intervalo. Forest Systems 8(3):299-310.
- González, E.G.F.; Díaz, D.A.; Loera, H.M.; Herrera, M.B.G. y Bretado, M.G.M. 2013. La percepción del clima organizacional en el personal de producción de un ejido forestal en México. Revista global de negocios 1(2):81-90.
- González-Elizondo, M.S.; González-Elizondo, M. y Márquez, L.M.A. 2007. Vegetación y Ecorregiones de Durango. Plaza y Valdés, S.A. de C.V. México, D.F. 219 p.
- Gorgoso, V.J.J. y Rojo, A.A. 2009. Ajuste de la función Weibull a distribuciones diamétricas de masas de pino pinaster en Asturias. In: 5° Congreso Forestal Español.
- Hernández, S.J. 2012. Efecto del manejo forestal en la diversidad, composición y estructura de un bosque de *Pinus arizonica* Engelm. en el ejido El Largo, Chihuahua, México, Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N.L. Méx. 115 p.
- INEGI. 2015. Anuario estadístico y geográfico de Durango. http://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF_Docs/ DGO_ANUARIO_PDF15.pdf. Consultado 11 de agosto de 2106.

- Monárrez-González, J.C. y Ramírez-Maldonado H. 2003. Predicción del rendimiento en masas de densidad excesiva de *Pinus durangensis* Mtz. en el estado de Durango. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 9(1):45-56.
- Montes De Oca, C.E.; Corral, R.S. y Nájera, L.J.A. 2008. Ajuste de ecuaciones de volumen en *Pinus durangensis* en la comunidad Las Flechas, Durango, México. InterSedes 9(17):173-180.
- Návar-Cháidez, J. y González-Elizondo, S. 2009. Diversidad, estructura y productividad de bosques templados de Durango, México. Polibotánica 27:71-87.
- Návar-Cháidez, J. 2009. Estimaciones empíricas de parámetros de la distribución Weibull en bosques nativos del norte de México. Revista Forestal Latinoamericana 24(2):51-68.
- O'hara, K.L. 2002. historical development of uneven-aged silviculture in North America. Forestry 75:339-346.
- Romahn, D.L.V. y Ramírez, M.H. 2006. Dendrometría. Universidad Autónoma de Chapingo. México, 295 p.
- Romahn, De La V, C.F. y Ramírez, M.H. 2010. Dendrometría. Universidad Autónoma de Chapingo. México, DF. 312 p.
- Salas, C.; Nieto, L. E Irisarri, A. 2005. Modelos de volumen para *Pinus pinaster* Ait. en la Comarca del Baixo Miño, Galicia, España. Quebracho 12:11-22.
- sánchez, f.; rodríguez, r.; rojo, a.; álvarez, j.g.; lópez, c. y gorgoso, c.j.f. 2003. Crecimiento y tablas de producción de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. Forest Systems 12(2):65-83.
- Santiago-García, W.; de los Santos-Posadas H.M.; Ángeles-Pérez, G.; Corral-Rivas, J.J.; Valdez-Lazalde, J.R. y David, h. 2014. Predicción del rendimiento maderable de *Pinus patula* Schl. et Cham. a través de modelos de distribución diamétrica. Agrociencia 48(1): 87-101.
- Smalley, G.W. and Bailey, R.L. 1974. Yield tables and stand structure for loblolly pine plantations in Tennessee, Alabama, and Georgia highlands. Res. Pap. SO-96. New Orleans, LA: US Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 81 p., 96.
- Tres, P.I. 2014. Influencia de las claras forestales en el crecimiento y estructura de un rodal de pino silvestre en el Pirineo navarro. Tesis. Universidad Pública Navarra, España. 72 p.

Evaluación de la Tecnología de Plasma para la Síntesis de Hidrogeles

MC Ana Jazmín Montes Hernández¹, Dra. Rosa Idalia Narro Céspedes²,
Dra. María Cristina Ibarra Alonso³, Dra. Adalí Oliva Castañeda Facio⁴, Dr. Francisco José González González⁵

Resumen— La búsqueda de nuevas alternativas para el desarrollo de biomateriales poliméricos aún continúa siendo un desafío, por este motivo se ha investigado a la tecnología de plasma para la creación de biomateriales poliméricos dirigidos hacia la terapia actuales. Uno de los biomateriales candidatos reconocidos en el área biomédica son los hidrogeles. En los últimos años, se han estudiado ampliamente a los hidrogeles por las atractivas propiedades que estos presentan, tales como: estructura blanda, flexibilidad, y por la similitud al tejido humano, así como también la capacidad de hinchamiento en el medio acuoso para llevar a cabo la liberación del fármaco de forma controlada. En este trabajo se presenta la revisión bibliográfica y el análisis de las investigaciones realizadas sobre hidrogeles poliméricos asistidos con tecnología de plasma, destacando la relevancia de las investigaciones al usar tecnología de plasma como alternativa para la síntesis de hidrogeles.

Palabras clave— alternativa, hidrogeles poliméricos, tecnología de plasma.

Introducción

Una problemática de los métodos tradicionales en la síntesis de biomateriales es la liberación del compuesto deseado, esto ha propiciado la búsqueda de alternativas para mejorar las propiedades de los biomateriales, de esta manera poder ser dirigidos de forma íntegra y eficiente al lugar deseado.

Un hidrogel es un polímero tridimensional de estructura reticulada capaz de absorber elevadas cantidades de agua, algunos hidrogeles pueden ser biocompatibles y presentar biodegradabilidad.

En ese sentido, los hidrogeles se consideran como candidatos prometedores para la liberación de compuestos debido a las características y propiedades que presentan (estructura blanda reticulada y flexible, capaces de absorber elevadas cantidades de agua). Con este fin, se busca construir hidrogeles con la capacidad de albergar compuestos que satisfagan las necesidades del humano, por esta razón, los hidrogeles son altamente atractivos para usarse como portadores de compuestos.

Sin embargo, el llevar a cabo la síntesis de hidrogeles donde la liberación del compuesto contenido pueda ser dirigido de forma segura y eficiente a lugares específicos, aún sigue siendo un gran desafío. En este sentido, en los últimos años, se han generado múltiples investigaciones sobre alternativas para mejorar las propiedades de los hidrogeles.

Una de las alternativas, es el uso de la tecnología de plasma. Esta técnica se caracteriza por ser económica, de fácil manipulación y por no generar sustancias tóxicas, lo que lo convierte en una técnica segura y respetuosa con el medio ambiente, siguiendo los principios de la química verde.

La tecnología de plasma mejorar las propiedades de los materiales de acuerdo con las necesidades específicas de los usuarios mediante la modificación superficial de los materiales en cuestión, por medio de la manipulación del entrecruzamiento del hidrogel mejorando entre otras cosas las propiedades de adhesión de la superficie llegando a producir especies reactivas de oxígeno y nitrógeno (RONS) en cortos periodos de tiempo y dotando a los hidrogeles de múltiples características.

En virtud de lo anterior, la tecnología del plasma se perfila como una herramienta potencial para mejorar a los materiales, mediante la creación de rutas eficaces basadas en la modificación de superficies.

En particular, ha despertado el interés en aplicaciones biomédicas, que involucran materiales con exigencias particulares en términos de propiedades fisicoquímicas, biocompatibilidad y biodegradabilidad y no tóxicas propiedades que por lo general no se encuentran en estado natural.

¹ La Dra. Rosa Idalia Narro Céspedes Profesora del departamento de Polímeros en la Universidad Autónoma de Coahuila, México. rinarro@uadec.edu.mx (autor corresponsal)

² La MC. Ana Jazmín Montes Hernández estudiante del doctorado CYTEMA en la Universidad Autónoma de Coahuila, México. a_montes@uadec.edu.mx

³ La Dra. María Cristina Ibarra Alonso del programa de investigadores por México del CONAHCYT y profesora del departamento de cerámicos y energía en la Universidad Autónoma de Coahuila, México. ibarra.cristina@uadec.edu.mx

⁴ Dra. Adalí Oliva Castañeda Facio Profesora del departamento de Polímeros en la Universidad Autónoma de Coahuila, México. adalí.castaneda@uadec.edu.mx

⁵ Dr. Francisco José González González Profesor del departamento de Polímeros en la Universidad Autónoma de Coahuila, México. fgonzalezgonzalez@uadec.edu.mx

El objetivo de este trabajo es revisar la perspectiva histórica que han presentado los hidrogeles como portadores de compuestos enfocados en el área biomédica asistidos con tecnología de plasma y dar a conocer la evolución de estos.

Descripción del método

El objetivo de este trabajo es revisar la perspectiva histórica que han presentado los hidrogeles como portadores de compuestos asistidos con tecnología de plasma y dar a conocer la evolución de estos. El proceso de recolección de información para este trabajo fue totalmente documental, las fuentes secundarias usadas fueron las bibliografías que sustentan el tema.

Tecnología de plasma

El término "plasma" fue adoptado en 1929 por Langmuir, que definió al plasma como un gas parcial o totalmente ionizado que engloba una variada de partículas incluyendo electrones, átomos y moléculas que interactúan en un estado ionizado (Okyere et al., 2022).

Comúnmente los plasmas se subdividen en dos categorías: los plasmas térmicos (con equilibrio termodinámico o de alta temperatura), y los plasmas fríos (plasmas no térmicos, de baja temperatura). En los plasmas térmicos, la temperatura de todas las especies presentes (electrones, iones, neutros y especies excitadas) es uniforme, mientras que en los plasmas fríos se caracteriza por la falta de equilibrio termodinámico, donde la temperatura de los electrones es notablemente superior a la de las especies más pesadas, como los iones y especies neutras.

Existen múltiples aplicaciones de la tecnología de plasma, como es la polimerización, modificación de la superficie, corte soldadura, fabricación de semiconductores, esterilización de instrumental médico, grabado e iluminación entre otros (Guzmán Núñez, 2020).

Plasma Frío (CP)

El CP se origina mediante una descarga eléctrica en un gas. La generación de un campo eléctrico intenso en un gas neutro propicia la ionización parcial del gas, lo que genera partículas cargadas que son aceleradas en el campo eléctrico aplicado. Los electrones, dada su masa, experimentan un incremento notable en su energía, alcanzando temperaturas elevadas en el rango de 263.15°C, en contraste con los iones más pesados, que intercambian su energía eficientemente a través de colisiones con el gas circundante.

Entre los electrones de alta energía y las moléculas neutras generadas en las coaliciones, se originan radicales (átomos, moléculas o iones) que desempeñan un papel fundamental en la actividad química del plasma. Gracias a la baja temperatura del gas, la tecnología de plasma se perfila como una opción viable para la modificación superficial de materiales sensibles al calor, tales como los biopolímeros (hidrogeles) (Reyna Martínez y col, 2021).

La singularidad de estos plasmas radica la capacidad de generar una amplia variedad de especies reactivas altamente energéticas, capaces de activar procesos físicos y químicos (Gordillo Vázquez, 2008 y Tanarro, 2010). Actualmente, el plasma frío se utiliza predominantemente en aplicaciones relacionadas con materiales y diversas formas de innovación en el ámbito biomédico (Gaur et al., 2023).

Tecnología de plasma, una alternativa para la síntesis de hidrogeles

La necesidad del uso de hidrogeles para la liberación de un determinado compuesto surgió a partir de los problemas asociados con la liberación de un determinado compuesto, es decir, la poca efectividad que estos presentan han ocasionado que los tratamientos sean ineficaces y/o tóxicos. Por esa razón, surgió la necesidad de buscar alternativas para diseñar y desarrollar hidrogeles, encontrando en la tecnología de plasma una alternativa para mejorar las propiedades de estos. (Langer & Peppas, 2003 y Fenton et al., 2018)

Los métodos existentes para llevar a cabo la síntesis de hidrogeles son: la polimerización por injerto, vía radicales libres o en presencia de un agente polimerizable entrecruzante (Soto & Oliva, 2012). En este contexto, la tecnología de plasma se perfila como una alternativa para dotar a los hidrogeles de múltiples propiedades. Esta técnica permite la modificación superficial, mejorando las propiedades mecánicas y físicas, al producir especies reactivas en periodos cortos de tiempo a bajos costos, por este motivo la tecnología de plasma tiene la ventaja de ser amigable con el ambiente. (Martínez Martínez, 2016 y Singh et al., 2019).

Resultados

Durante la revisión bibliográfica se encontraron diversos estudios que demuestran que la tecnología de plasma es una alternativa que mejora las propiedades físicas y mecánicas de los hidrogeles dotándolos de diferentes características. Esto se logra mediante la modificación superficial del hidrogel llegando a ser biodegradable, no tóxico y capaz de lograr el efecto deseado.

En Tabla 1 se hace un resumen de las investigaciones realizadas sobre los hidrogeles asistidas con tecnología de plasma enfocados al área biomédica con la finalidad de comparar los diferentes tipos de hidrogeles obtenidos con ayuda de la tecnología de plasma, así como los resultados obtenidos.

Año	Plasma	Hidrogel	Resultados
2016	Atmosférico	Alginato, quitosano (reticulante: genipina y glicerofosfato) Gelatina (reticulante: fenipina y EDC-NHS))	Los hidrogeles obtenidos fueron biocompatibles y mostraron ligera citotoxicidad en células cancerígenas de osteosarcoma (SAOS-2) (Gutiérrez Martín, 2016)
2019	Jet plasma (kINPen y He)	Alginato	Obtuvieron hidrogeles biocompatibles capaces de liberar RONS (Labay et al., 2019)
2021	Atmosférico	Quitosano: diferentes concentraciones de ácido acético glacial	Mejoraron las propiedades biológicas al modificar superficialmente al hidrogel de quitosano (Cuéllar-Gaona et al., 2021)
2021	Helio	Preparado con agua desionizada pre tratada	Los hidrogeles activados lo aplicaron de forma tópica obteniendo la reducción de linfocitos T CD8 a pacientes con vitiligo (Zhai et al., 2021)
2023	Atmosférico	Gelatina/ alginato	El hidrogel que sintetizaron presentó crecimiento óseo (Solé-Martí et al., 2023)
2023	Atmosférico	Hidroxietilcelulosa (HEC) carbómero 940 (carbómero) copolímero de taurato de acriloldimetilamonio (AVC)	Obtuvieron efectos antimicrobianos, el hidrogel de AVC mantuvo mejor actividad antimicrobiana por 14 días (Chen et al., 2023)

Tabla 1. Hidrogeles asistidos con tecnología de plasma.

Las investigaciones presentadas en el Tabla 1 muestran a la tecnología de plasma con una herramienta útil para la síntesis de hidrogeles, pudiéndose apreciar que la mayoría de las investigaciones presentadas muestran a la tecnología de plasma atmosférico como el plasma de preferencia para ser usado en este tipo de síntesis, esto es por su versatilidad, la fácil manipulación y por su bajo costo, por otro, lado se pueden sintetizar una diversidad de hidrogeles con diferentes componentes, así como el uso de reticulante para evitar reacciones que puedan interferir en su síntesis.

Con lo anteriormente mencionado se demuestra que existe evidencia científica de que el uso de la tecnología de plasma favorece al proceso de síntesis de hidrogeles para ser usados en el área biomédica. En cada una de las investigaciones realizadas presentes en esta investigación se puede apreciar que los resultados obtenidos fueron positivos, es decir, que los hidrogeles asistidos con tecnología mejoraron las propiedades de los hidrogeles presentando resultados favorables en la terapia de interés.

Cabe mencionar que, durante la búsqueda bibliográfica se encontraron investigaciones donde sintetizaron hidrogeles para ser usados como soporte de fármacos asistidos con tecnología de plasma. En la Tabla 2 muestra el resumen de las investigaciones de hidrogeles usados como soporte de fármacos asistidos con tecnología de plasma.

Año	Plasma	Hidrogel	Fármaco	Resultados
2019	Barrera dieléctrica (DBD) usando Ar, NH ₃ puro y una mezcla de ambos	Alcohol polivinílico (PVA) carboximetilcelulosa (CMC) Reticulante: ortosilicato de tetraetilo	Ibuprofeno	Los hidrogeles mostraron biodegradabilidad, y fueron candidatos a usarse en la administración de fármacos orales (Das et al., 2019)
2019	Ar, O ₂ y una mezcla de ambas	Goma carboximetil guar Quitosano (CMGG/CS) Reticulante: ortosilicato de tetraetilo	Diclofenaco	Los hidrogeles mostraron biodegradabilidad, hemocompatibilidad, y características para eliminar bacterias de E.coli (Dalei et al., 2019)
2021	Ar, He y N ₂	Quitosano y alcohol polivinílico (CMCS/PVA)	5-fluoracilo	Se obtuvieron hidrogeles biodegradables. El hidrogel tratado con plasma de Ar mostró hemocompatibilidad, quimio sensibilidad y biodegradabilidad (Dalei et al., 2021)
2023	Atmosférico	Poliacrilato de sodio (PAA), combinado con polialcohol vinílico crioreticulado (PVA)	Gentamicina	El hidrogel obtenido mostro liberación efectiva de la gentamicina (Gaur et al., 2023)

Tabla 2. Hidrogeles usados como soporte de fármacos asistidos con tecnología de plasma

En la Tabla 2 se aprecia de forma favorable el uso de la tecnología de plasma en el proceso de liberación. Es importante mencionar que el campo biomédico no solo se centra en la creación de hidrogeles dirigidos a terapias contra el cáncer, crecimiento óseo, en eliminar la actividad antimicrobiana como se presenta en la Tabla 1, también explora en el ámbito farmacéutico al usar a los hidrogeles como soporte de fármacos.

Mediante la revisión bibliográfica se dio un panorama actual de las investigaciones realizadas en el campo biomédico al usar hidrogeles como portadores de fármacos asistidos con tecnología de plasma y, en definitiva, el llegar al diseño de hidrogeles enfocados en la liberación de fármacos de forma controlada, segura y eficiente aún continúa.

Conclusiones

Teniendo como base la revisión presentada, se concluye que la tecnología de plasma es una herramienta apropiada, altamente útil, versátil eficiente y limpia capaz de manipular las propiedades superficiales de los hidrogeles de acuerdo a las necesidades del usuario llegándolos a dotar de atractivas propiedades como biodegradabilidad, biocompatibilidad y que estos no sean tóxicos. Además, esta tecnología se puede adaptarse fácilmente a otros métodos de síntesis, entre otras muchas otras aplicaciones.

Limitaciones

Las limitaciones que se han identificado al usar la tecnología de plasma está dado por los factores que influye durante el proceso (frecuencia, tipo de gas, material, tiempo de tratamiento, intensidad del campo eléctrico). En respuesta han estas limitaciones, los avances recientes en la tecnología del plasma ha impulsado un mayor esfuerzo investigativo con el propósito de explorar una amplia gama de aplicaciones en los campos de la ciencia y la ingeniería.

Referencias

- Chen, J., Wang, Z., Sun, J., Zhou, R., Guo, L., Zhang, H., Liu, D., Rong, M., & Ostrikov, K. Plasma-Activated Hydrogels for Microbial Disinfection. *Advanced Science*, 10(14), 2023.
- Cuéllar-Gaona, C. G., Ibarra-Alonso, M. C., Sáenz-Galindo, A., Téllez-Rosas, M. M., & Narro-Céspedes, R. I. Obtención de hidrogeles de quitosano/*Rosmarinus officinalis* modificados con plasma. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías Del ICBI*, 9(Especial2), 86–89, 2021.
- Dalei, G., Das, S., & Das, S. P. Non-thermal plasma assisted surface nano-textured carboxymethyl guar gum/chitosan hydrogels for biomedical applications. *RSC Advances*, 9(3), 1705–1716, 2019.
- Dalei, G., Das, S., Jena, S. R., Nayak, J., Samanta, L., & Das, S. P. Improved Chemosensitization Activity of Carboxymethyl Chitosan/PVA Hydrogels by Plasma Surface Modification. *Journal of Polymers and the Environment*, 29(5), 1663–1679, 2021.
- Das, S. P., Dalei, G., Sahoo, S., & Das, S. Cold atmospheric plasma surface nanoengineered carboxymethyl cellulose hydrogels as oral ibuprofen carriers. *SN Applied Sciences*, 1(11), 2019.
- Gaur, N., Patenall, B. L., Ghimire, B., Thet, N. T., Gardiner, J. E., Le Doare, K. E., Ramage, G., Short, B., Heylen, R. A., Williams, C., Short, R. D., & Jenkins, T. A. Cold Atmospheric Plasma-Activated Composite Hydrogel for an Enhanced and On-Demand Delivery of Antimicrobials. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 15(16), 19989–19996, 2023.
- Gutiérrez Martín María. Tratamiento de hidrogeles biocompatibles mediante plasma a presión atmosférica, universidad politécnica de cataluña (upc), departamento de biomateriales, biomecánica e ingeniería de tejidos, 2016.
- Gordillo Vázquez, F. Plasmas fríos. *Investigación y Ciencia*, 381, 70–79, 2008.
- Guzmán Núñez Ediberto. Desarrollo de nanocompuestos a base de ABS (Acrilonitrilo- Butadieno-Estireno) reforzados con nanocristales de celulosa modificados por plasma, 2020.
- Labay, C., Hamouda, I., Tampieri, F., Ginebra, M. P., & Canal, C. Production of reactive species in alginate hydrogels for cold atmospheric plasma-based therapies. *Scientific Reports*, 9(1), 2019.
- Langer, R., & Peppas, N. A. *Advances in Biomaterials, Drug Delivery, and Bionanotechnology*, Vol. 49, No. 12 2003.
- Martínez Martínez María Teresa. Desarrollo y aplicaciones de hidrogeles, Departamento de Farmacia y Tecnología Farmacéutica y Parasitología, 7 de Diciembre del 2016.
- Okyere, A. Y., Rajendran, S., & Annor, G. A. Cold plasma technologies: Their effect on starch properties and industrial scale-up for starch modification. In *Current Research in Food Science*. (Vol. 5, pp. 451–463). Elsevier B.V, 2002.
- Reyna-Martínez, R., Deniss, M. C., & Díaz-Blanco, I. Breve panorama sobre el estado actual de la tecnología de plasma frío como herramienta para el desarrollo de energías renovables: solar, eólica y biomasa Brief overview of the current state of cold plasma technology as a tool for the development of renewable energies: solar, wind and biomass *Área: Biología y Química*, 2021.
- Singh, S., Prakash, C., Wang, H., Yu, X. feng, & Ramakrishna, S. Plasma treatment of polyether-ether-ketone: A means of obtaining desirable biomedical characteristics. In *European Polymer Journal* (Vol. 118), 2019.
- Solé-Martí, X., Labay, C., Raymond, Y., Franch, J., Benitez, R., Ginebra, M. P., & Canal, C. Ceramic-hydrogel composite as carrier for cold-plasma reactive-species: Safety and osteogenic capacity in vivo. *Plasma Processes and Polymers*, 20(1). 2023.
- Soto, D., & Oliva, H. Métodos para preparar hidrogeles químicos y físicos basados en almidón: una revisión methods for preparation of chemical and physical hydrogels based on starch. a review. *Rev. LatinAm. Metal. Mat.*, 32(2), 154–175, 2012.
- Tanarro Isabel. Plasmas fríos moleculares en el Universo y en el laboratorio, *Real sociedad española de física*, 2010.
- Zhai, S., Xu, M., Li, Q., Guo, K., Chen, H., Kong, M. G., & Xia, Y. Successful Treatment of Vitiligo with Cold Atmospheric Plasma-Activated Hydrogel. *Journal of Investigative Dermatology*, 141(11), 2021.

Estudios de Estabilidad en Arcilla de litio

Tania Daniela Mora García¹, Dr. Adrián Sosa Domínguez², M. en C. María del Rocio Arvizu Torres³,
I.Q. Edith Valle Moya⁴, M. en C. Francisco Javier Martínez Ríos⁵

Resumen—La estabilidad es una propiedad que define las condiciones específicas para determinar la vida útil de los materiales de referencia certificados (MRC), asegura la confiabilidad de los valores e incertidumbres asociadas. En este estudio se realizó la evaluación de la estabilidad de la fracción de masa de litio en un material de referencia de arcilla de litio, empleando un estudio isócrono (estabilidad a corto plazo), influenciado por los efectos del almacenamiento y transporte a diferentes temperaturas (20, 40 y 50) °C durante un tiempo determinado de 6 semanas, así como, la contribución de la incertidumbre asociada a la estabilidad con base a los modelos matemáticos de estudio de regresión lineal (método clásico) y el de predicción por el modelo de regresión lineal, empleando el método de calibración externa mediante la técnica analítica de Espectrometría de Absorción Atómica con Atomización con Flama (EAA-F). La evaluación de la estabilidad se realizó con base a lo establecido en la ISO-Guía 35:2017, donde se demostró la estabilidad de la fracción de masa de litio en la arcilla de litio a las tres temperaturas de estudio.

Palabra clave—Material de Referencia Certificado (MRC), Litio (Li), Arcilla, Estabilidad, Incertidumbre.

Introducción

Actualmente no existen a nivel nacional e internacional materiales de referencia certificados (MRC) en arcilla de litio, para realizar mediciones de litio confiables y trazables al Sistema Internacional (SI) de unidades, por lo cual es necesario disponer de referencias para satisfacer las necesidades de México en materia de minería y sus actividades que implican el uso de litio para favorecer la economía del país, derivado de sus usos múltiples y beneficios asociados en la exploración, explotación y manejo del mineral de litio.

El desarrollo y certificación de materiales de referencia (MR) implica dar cumplimiento a los requerimientos técnicos y de producción en los MR de acuerdo con la Norma ISO 17043:2016 que establece los requisitos generales para la competencia de los productores de MR. Uno de los requisitos que debe cumplir un MRC es la evaluación y seguimiento de la estabilidad, que es una propiedad que define las condiciones específicas para determinar la vida útil de los MRC, asegura la confiabilidad de los valores e incertidumbres asociadas. La estabilidad es la capacidad de un MR, cuando se almacena bajo condiciones especificadas, para mantener un valor de una propiedad declarado dentro de los límites especificados por un periodo de tiempo determinado (ISO 17043:2016). Por lo que la importancia de la evaluación de las propiedades certificadas de un MR, radica en que las propiedades pueden cambiar con el tiempo por una variedad de razones, en diferentes grados y a diferentes velocidades, es por ello, la necesidad de evaluar los efectos de las condiciones de almacenamiento y transporte a las que son sometidos los MR que pueden interferir en sus propiedades y así poder definir las mejores condiciones para asegurar su estabilidad y uso previsto (Guía ISO 35:2017).

La importancia de evaluar la estabilidad de litio en el MR de arcilla de litio, así como, su incertidumbre asociada radica en someter el MR a condiciones críticas de temperatura como lo especifica la 17043:2016, para determinar las mejores condiciones de temperatura para su almacenamiento y transporte, con la finalidad de disponer de un MRC de litio en arcilla en el país con trazabilidad al Sistema Internacional (SI) de unidades.

Objetivo

Evaluar la estabilidad de litio (Li) en el MRC de arcilla de litio, empleando un estudio de estabilidad isócrono (estabilidad a corto plazo), influenciado por los efectos del almacenamiento y transporte a diferentes temperaturas, así

¹Tania Daniela Mora García es estudiante de la Licenciatura Ingeniería Química en Materiales en la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), Querétaro. tmora06@alumnos.uaq.mx

² Dr. Adrián Sosa Domínguez es coordinador de la Licenciatura Ingeniería Química en Materiales en la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), Querétaro. adrian.sosa@uaq.mx

³ M. en C. María del Rocio Arvizu Torres es coordinador científico de la Dirección de Análisis Inorgánico del Centro Nacional de Metrología (CENAM), Querétaro. marvizu@cenam.mx

⁴ I.Q. Edith Valle Moya es coordinador científico de la Dirección de Análisis Inorgánico del Centro Nacional de Metrología (CENAM), Querétaro. evalle@cenam.mx

⁵ M. en C. Francisco Javier Martínez Ríos es metrólogo B de la Dirección de Análisis Inorgánico del Centro Nacional de Metrología (CENAM), Querétaro. fmartine@cenam.mx

como, estimar la incertidumbre asociada a la estabilidad a corto y largo plazo, con base a los modelos matemáticos de estudio de regresión lineal (método clásico) y el de predicción por el modelo de regresión lineal, respectivamente.

Metodología

Reactivos, material de laboratorio, materiales de referencia e instrumentación

Reactivos: Ácido nítrico (HNO_3) grado reactivo, ácido bórico (H_3BO_3) grado analítico, peróxido de hidrógeno (H_2O_2) al 30 %, ácido fluorhídrico (HF), ácido clorhídrico (HCl) grado reactivo, agua destilada ($18.2 \text{ m}\Omega$ de resistividad).

Material de laboratorio: Pesafiltros con número de catálogo (24/12), desecadores.

Material de referencia certificado (MRC) empleado como calibrador: SRM-3129a lote 100714 Lithium (Li) Standard Solution de origen National Institute for Standards and Technology (NIST), EUA.

Instrumentos: Balanza electrónica, marca Sartorius, modelo MSA225S, alcance máximo de 200 g y resolución de 0.01 mg, sistema de digestión de reacción acelerada asistida por microondas (MW), con vasos de alta presión, CEM, modelo Mars 6, espectrómetro de absorción atómica con atomización con flama (EAA-F) AA-800, PerkinElmer, hornos de calentamiento.

Limpieza de material

Se realizó la limpieza de material con una disolución de HNO_3 al 2 % en fracción de volumen y empleando enjuagues con agua destilada ($18.2 \text{ m}\Omega$ de resistividad). Posteriormente el material se secó en campana de flujo laminar con filtro HEPA ISO Clase 5.

Estudio de estabilidad isócrono

Las muestras de arcilla de litio se sometieron a tres temperaturas de estudio (20, 40 y 50) °C, para la temperatura de 20 °C se empleó un desecador y para las temperaturas de (40 y 50) °C se utilizaron hornos de calentamiento verificados a la temperatura deseada. Se seleccionó una unidad empleando un muestreo aleatorio del lote del MR de arcilla de litio y se pesó una masa de aproximadamente 0.2 g de muestra de arcilla sobre pesafiltros. Se colocaron 18 pesafiltros con muestra dentro de cada temperatura de análisis y al transcurso de una semana se sacaron tres pesafiltros de cada temperatura y se colocaron dentro de un desecador, posteriormente se realizó esta actividad hasta retirar los últimos pesafiltros completando 6 semanas de análisis (Diagrama1).

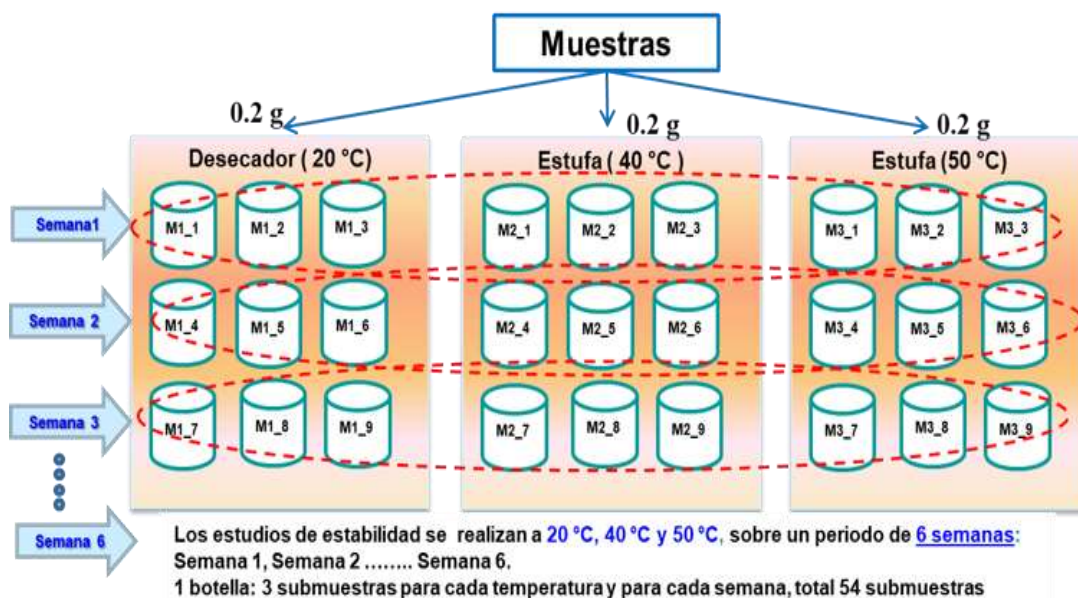


Diagrama 1. Diseño experimental.

Digestión ácida de muestras

Al finalizar el estudio de someter las muestras a las deferentes temperaturas, se llevó a cabo la digestión ácida de todas las muestras empleando la digestión de reacción acelerada asistida por microondas, colocando una masa de aproximadamente 0.1 g de muestra sobre vasos de alta presión y se adicionaron los siguientes ácidos: 6 mL HNO_3 ,

3 mL de HCl y 2 mL de HF. Posteriormente las muestras fueron sometidas a digestión bajo las condiciones instrumentales establecidas (Cuadro 1). Se aplicó un proceso de predigestión a las muestras, seguido de las etapas del método de digestión (1 - 3). Una vez que se concluyó la etapa de digestión 3, las muestras se dejaron enfriar durante toda una noche y al día siguiente se liberó lentamente la presión que contenía cada vaso dentro de una campana de extracción. Posteriormente se abrieron los vasos de digestión, se les adicionaron 2 mL de H₂O₂ y 2 mL de HNO₃ concentrado para oxidar la matriz de la muestra y continuar con la digestión, y se dejaron en reposo toda una noche. Al día siguiente se aplicaron las etapas de digestión (4 - 6).

Etapas	Tiempo de rampa (min)	Temperatura (°C)	Tiempo de permanencia (min)	Presión (psi)
Predigestión	20	150	50	250
1	15	160	20	200
2	20	170	45	250
3	25	190	35	300
4	15	160	20	200
5	20	170	45	250
6	25	190	35	300

Cuadro 1. Método de digestión ácida en sistema cerrado de reacción acelerada asistida por microondas.

Al término de la digestión ácida las muestras se llevaron a evaporación de ácidos, colocando las muestras en vasos de precipitado de polipropileno de 125 mL, se adicionó 1 mL de H₃BO₃ al 4.5 % para neutralizar excesos de HF y se sometieron a calentamiento sobre placas de calentamiento a una temperatura de 80 °C, hasta llegar a un volumen aproximado de 5 mL. Finalmente, las muestras se aforaron a 30 g con agua destilada (18.2 mΩ de resistividad) y se preparó una dilución tomando 5.33 g de alícuota y aforando a 20 g con disolución de HNO₃ al 2 % en fracción de volumen para su posterior análisis de la fracción de masa de litio (Li).

Medición de litio

La medición de litio (Li) se realizó empleando el método de calibración externa mediante la técnica analítica de Espectrometría de Absorción Atómica con Atomización con Flama (EAA-F), a una longitud de onda de 670.8 nm. Se preparó una curva de calibración contemplando seis disoluciones a diferentes fracciones de masa de litio $w(\text{Li})$ partiendo del SRM-3129a, la medición consistió en medir la curva de calibración y posteriormente las muestras de manera aleatoria con base a una secuencia de medición, incluyendo la medición del punto intermedio de la curva de calibración en mediciones sucesivas por bloques de muestras con base a la secuencia de medición con la intención de aplicar el factor de corrección de deriva (f_{cd}) instrumental. El modelo matemático para determinar la fracción de masa de litio $w(\text{Li})$ presente en la arcilla de litio, es como se indica en la Ecuación 1:

$$w(\text{Li}, x) = [w(\text{Li}) - w_{\text{bco}}] \cdot \frac{w(\text{Li})_{\text{MRC,med}}}{w(\text{Li})_{\text{MRC,prep}}} \cdot \frac{m_{\text{af1}}}{m_x} \cdot \frac{m_{\text{af2}}}{m_{\text{al}}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

w_{bco} = Fracción de masa de Li en la muestra blanco, mg/kg

$w(\text{Li}) - w_{\text{bco}}$ = Fracción de masa de Li en la muestra obtenida en la curva de calibración, mg/kg

$w(\text{Li})_{\text{MRC,med}}$ = Fracción de masa de Li del MRC medida, mg/kg

$w(\text{Li})_{\text{MRC,prep}}$ = Fracción de masa de Li del MRC preparada, mg/kg

m_x = Masa de arcilla de litio, g

m_{af1} = Masa de aforo de primera dilución, g

m_{al} = Masa de alícuota en la segunda dilución, g

m_{af2} = Masa de aforo de segunda dilución, g

Estimación de incertidumbre de la estabilidad del modelo de regresión lineal (método clásico)

La estimación de la incertidumbre asociada a la estabilidad, se determinó con base a los modelos matemáticos de estudio de regresión lineal y predicción por el modelo de regresión lineal. Para el modelo de regresión lineal se realizó un análisis de varianza ANOVA del comportamiento lineal de los valores promedio de la fracción de masa de las

muestras de arcilla de litio $w(\text{Li}, x)$, estableciendo el criterio de la Ecuación 2 y estimando la incertidumbre como lo indica la Ecuación 3.

$$t_{b_1} = \frac{|b_1|}{s(b_1)} \quad \text{y} \quad t_{95, n-2} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

b_1 = Pendiente del modelo de regresión lineal

$s(b_1)$ = Desviación estándar de la pendiente del modelo de regresión lineal

t = t -Student con un 95 % de confianza ($n-2$)

$$u_{\text{Estabilidad}} = s_{b_1} \cdot t \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

$s(b_1)$ = Desviación estándar de la pendiente del modelo de regresión lineal

t = Tiempo de estudio (seis semanas)

Estimación de incertidumbre de la estabilidad de predicción por el modelo de regresión lineal

Para el estudio de predicción por el modelo de regresión lineal se determinan los límites superior e inferior del comportamiento lineal de los valores promedio de la fracción de masa de litio de las muestras de arcilla de litio $w(\text{Li}, x)$ al (90 y 95) % de confiabilidad (Ecuación 4) y se estima el tiempo en donde se observa un cambio significativo de la fracción de masa de las muestras de arcilla de litio $w(\text{Li}, x)$ (t_{shelf}), donde se observa el cruce de dichos intervalos (Ecuación 5). La incertidumbre se determina aplicando la diferencia de las fracciones de masa obtenida del modelo de regresión lineal del comportamiento de las muestras y el límite estimado del 90 % de confiabilidad, al tiempo estimado donde se observó un cambio significativo de la fracción de masa de las muestras de arcilla de litio $w(\text{Li}, x)$.

$$\hat{y} \pm t_{95, n-2} \cdot s \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(\hat{x} - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$t_{shelf} = (t_{s, upr}, t_{s, lwr}) \quad \text{Ecuación 5}$$

Resultados

En el Cuadro 2, se muestra la curva de calibración obtenida para emplearse en cálculo de la fracción de masa de litio en las muestras de arcilla de litio $w(\text{Li}, x)$, a una longitud de onda de 670.8 nm. Las muestras de arcilla de litio se midieron en dos secuencias de medición aleatorias el mismo día, obteniendo una curva de calibración para cada medición (Gráfico 1 y 2). De manera gráfica, se muestran los resultados de la fracción de masa de litio para todas las muestras de ambas mediciones (Gráfico 3).

ID	S(Li)
Bco curva	0.00012
MR-1	0.682
MR-2	1.124
MR-3	1.575
MR-4	2.021
MR-5	2.467
MR-6	2.916

Cuadro 2. Curva de calibración $w(\text{Li})$.

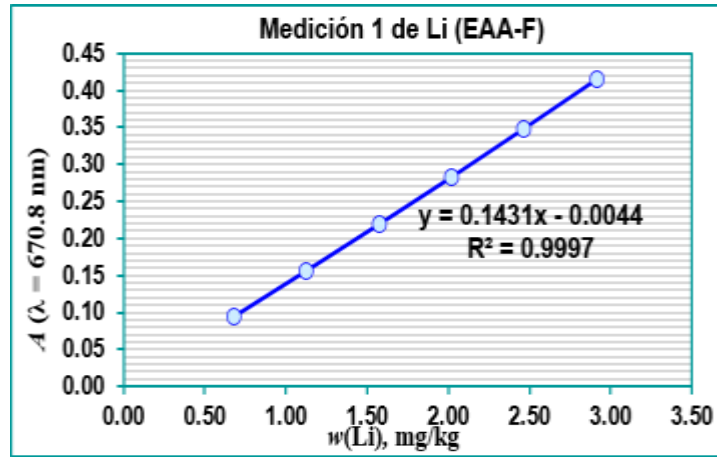


Gráfico 1. Curva de calibración $w(\text{Li})$, primera secuencia de medición.

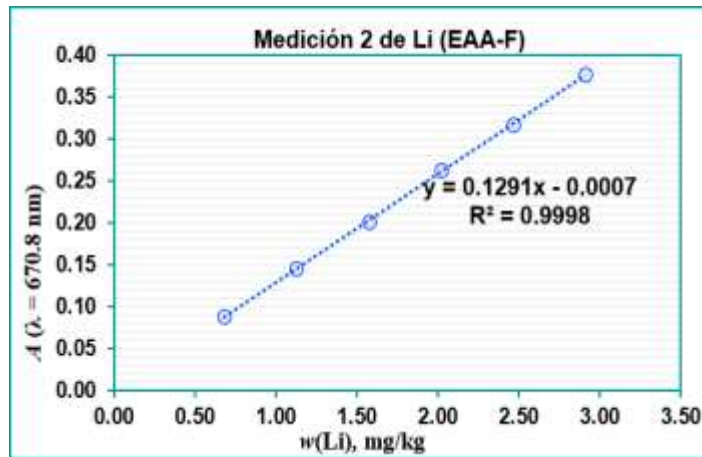


Gráfico 2. Curva de calibración $w(\text{Li})$, segunda secuencia de medición.

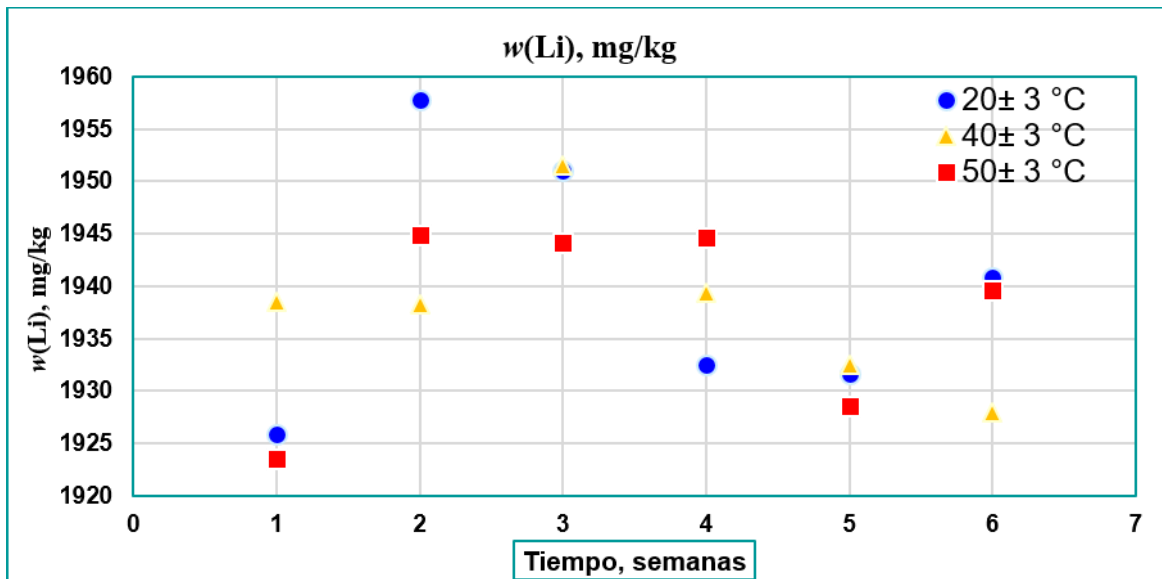


Gráfico 3. Resultados de medición $w(\text{Li}, x)$ en las muestras de arcilla de litio.

Los resultados de la evaluación de la incertidumbre asociada a la estabilidad para las tres temperaturas de estudio se muestran en el Cuadro 3.

Condiciones		Temperatura °C		
		20 ± 3	40 ± 3	50 ± 3
Regresión lineal (método clásico)	$u(x_{ls})$, mg/kg	19.73	10.66	14.70
	Tiempo de estudio	6 semanas	6 semanas	6 semanas
Predicción por el método de regresión lineal	$u(x_{ls})$, mg/kg	10.68	4.77	7.91
	Tiempo de estudio	18.5 semanas	4 semanas	16 semanas

Cuadro 3. Incertidumbre asociada a la estabilidad de litio.

Se observa que a la temperatura del intervalo de (20 ± 3) °C, le corresponde el tiempo de predicción mayor (18.5 semanas), empleando el estudio de predicción por el método de regresión lineal (Gráfico 4).

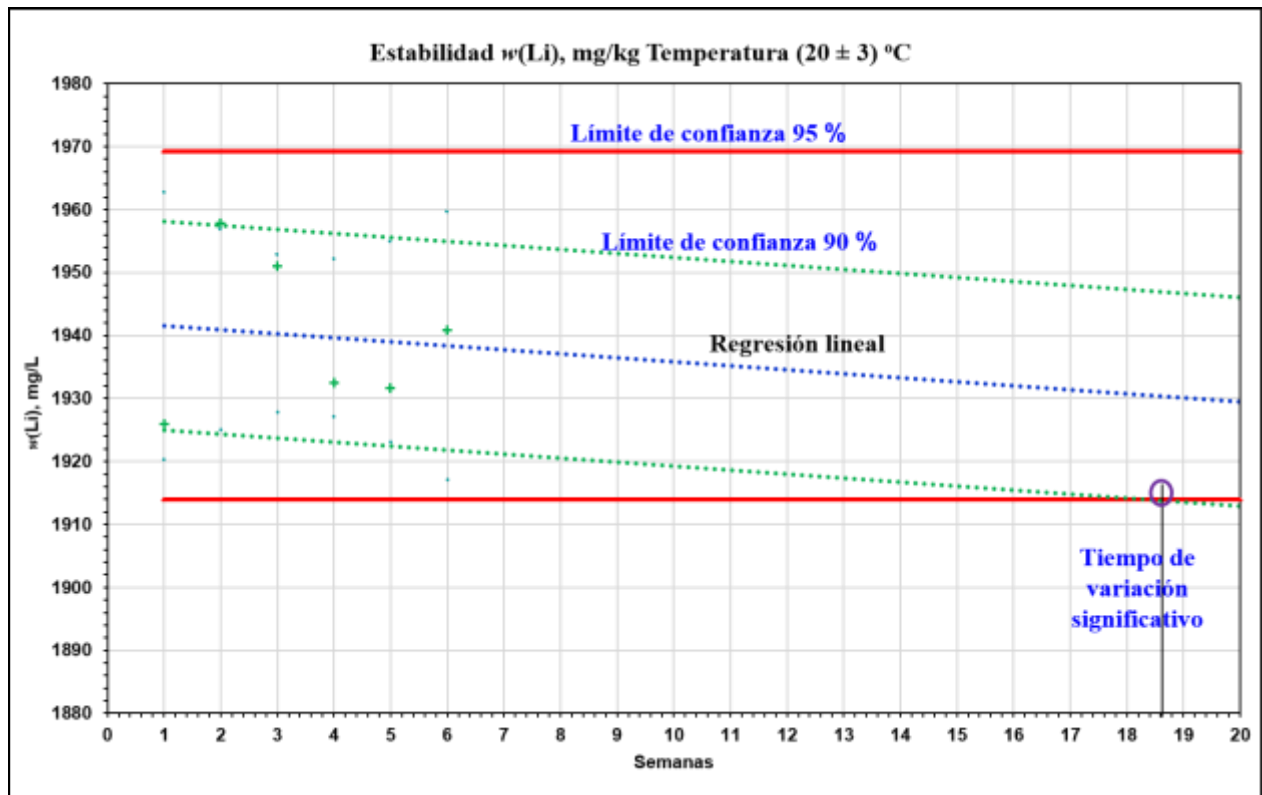


Gráfico 4. Predicción por el modelo de regresión lineal a (20± 3) °C.

Conclusiones

A través del estudio isócrono se pudo predecir la estabilidad de la fracción de masa de litio a corto plazo, y a través de este estudio se logró predecir la estabilidad a largo plazo, empleando el estudio de predicción por el método de regresión lineal.

El estudio de estabilidad de las muestras de arcilla de litio, determinaron que la fracción de masa de litio $w(\text{Li}, x)$ es estable a las tres temperaturas de análisis (20, 40 y 50) °C, sin embargo, se observa que el intervalo de temperatura de (20 ± 3) °C, es el recomendable para ser empleado en las condiciones de transporte del MR. Es importante dar seguimiento a los estudios de estabilidad en el intervalo de (20 ± 3) °C para poder ampliar el tiempo de vida útil del MR.

El valor de la estimación de la incertidumbre asociada a la estabilidad se determinó por ambos modelos: modelo de regresión lineal (clásico) y predicción por el modelo de regresión lineal, lo que indica que los dos modelos son adecuados para ser empleados en la determinación de la incertidumbre de la estabilidad de los MR, la implementación de cualquiera de los modelos matemáticos dependerá del objeto de estudio.

Agradecimientos

La ejecución de este proyecto se realizó bajo el convenio de colaboración de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ) y el Centro Nacional de Metrología (CENAM). Un especial agradecimiento a las personas que participaron en la realización de este proyecto: Dr. Adrián Sosa Domínguez, Dra. Rosalba Hernández Leos, Tania Daniela Mora García, Dra. Melina Pérez Urquiza, I.Q. Judith Velina Lara Manzano I.Q. en A. Pedro Ramírez Cruz, I.Q. Francisco Segoviano Regalado, M. en C. María del Rocío Arvizu Torres, I.Q. Edith Valle Moya y M. en C. Francisco Javier Martínez Ríos.

Referencias

- Norma ISO 17043:2016 Requisitos generales para la competencia de los productores de materiales de referencia.
Norma ISO-Guía 35:2017 Materiales de referencia- Guía para la caracterización y evaluación de la homogeneidad y estabilidad.
Müller E.I, Mesko M.F, Morales D.P, Korn M.G, Flores E.M. (2014). Wet Digestion Using Microwave Heating. En E.M. de Morales Flores (Ed), Microwave-Assisted Sample Preparation for Trace Element Analysis (pp. 1- 400). Elsevier.
Garitta J.A, Fialho L.L, Oliveira G.S, De Maria, R.M, Pirola C, Ferreira A.G, Nóbrega J.A. (2021). Microwave-Assisted Acid Digestion: Evaluation of Reaction Vessel Design and Performance. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 32(4), 702-711.
Agencia de Protección al Ambiente de Estados Unidos (EPA). (1996). 3052 Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices.

Diseño y Caracterización de un Sensor de Glucosa en Fibra Óptica Plástica

Ing. Alfredo Murrieta Loyde¹, Mtra. Yeraldyn Guzmán Castro²,
Dra. Mónica Trejo Durán³, Dr. Eduardo Cabal Yépez⁴, Dr. Igor Guryev⁵, Dra. Ruth Ivonne Mata Chávez⁶

Resumen— En este trabajo se presentan el diseño y caracterización de un sensor de concentración de glucosa en agua destilada, usando un acoplador de fibra óptica plástica PMMA de 1mm de diámetro de 1X2 puertos y un factor de acoplamiento de 50:50 así como luz láser modulada por polarización a 632nm. Un polarizador modula la luz de entrada al acoplador y se mide la intensidad de salida con un fotodetector de luz roja. Se obtiene una señal de salida atenuado en función del grado de polarización que se atenúa cada vez más que se agrega una diferencia de 5 gramos de glucosa en una solución acuosa destilada. Los resultados muestran que el dispositivo de plástico es sensible a la concentración del soluto de manera casi lineal y se puede mejorar de acuerdo con las observaciones de los resultados.

Palabras clave— Sensor, Modulación, Polarización, Intensidad, Sensibilidad.

Introducción

Los acopladores de fibra óptica plástica (FOP) pueden usarse como sensores en ciertas aplicaciones en las cuales las características de la fibra óptica plástica resistan estar expuestas a las variables físicas que se necesiten medir, en longitudes cortas (<100m) y con dispositivos simples, económicos y que funcionen con luz visible. Los sensores de fibra óptica (SFO), en general, se basan en las características de la propagación de estas guías de onda para medir diversos parámetros físicos como temperatura, curvatura, presión, entre otros tantos, necesarios en procesos industriales, así como en la industria alimenticia, entre otros [1]. Los SFO se pueden dividir en tres categorías como modulados en intensidad, modulados en fase y modulados en longitud de onda. Los SFO de intensidad modulada se utilizan en una gran variedad de aplicaciones por su baja complejidad, bajo costo y por ser sencillos de fabricar [2]. Los sensores basados en modulación de intensidad funcionan con pérdidas inducidas intrínseca o extrínsecamente. Por esto, son de interés, para grupos de investigación y tecnología, en aplicaciones de bajo recurso, en ambientes de temperaturas intermedias a altas y con fuentes de luz visible como leds [3].

Las FOP ofrecen otras ventajas como la flexibilidad y la fácil manipulación en comparación con algunas fibras ópticas de vidrio [4]. Las FOP pueden no tener las mismas características de alta transmisión como sus contrapartes de vidrio, pero su funcionamiento es suficiente para medir concentración de soluto. Actualmente se fabrican acopladores de FOP de 1mm de diámetro con puertos 1X2, 2x2, 1X3, 4X4 con diferentes factores de acoplamiento como 50:50, 80:20, 90:10, cuyo funcionamiento es similar al de los acopladores de fibra óptica de vidrio [5]. Los acopladores FOP se utilizan en diversas aplicaciones como sensores de viscosidad [6], así como para la detección del índice de refracción del NaCl en un rango de temperatura manejable para este tipo de fibras que va desde los 13 °C a los 58 °C [7].

En este trabajo se presenta un sensor de acoplador FOP de 1X2 puertos y un factor de acoplamiento de 50:50, de 1mm de diámetro, con núcleo PMMA, diseño simple, de bajo costo, y cómodo para medir la concentración de soluto (agua destilada con azúcar). La luz láser se modula cambiando la polarización con la finalidad de observar la sensibilidad de la polarización a la variable física y observar dicho fenómeno como cambios en la intensidad de salida del acoplador.

¹ Ing. Alfredo Murrieta Loyde es Estudiante de Maestría en Ing. Electrónica Aplicada en la Universidad de Guanajuato, México.
a.murrieta.loyde@ugto.mx (autor correspondiente)

² Mtra. Yeraldyn Guzmán Castro es Estudiante de Doctorado en Ciencias de la Ingeniería en la Universidad de Guanajuato, México.
y.guzmancastro@ugto.mx

³ Dra. Mónica Trejo Durán es Profesora Investigadora del Departamento de Estudios Multidisciplinarios, Universidad de Guanajuato, México.
mtrejo@ugto.mx

⁴ Dr. Eduardo Cabal Yépez es Profesor Investigador del Departamento de Estudios Multidisciplinarios, Universidad de Guanajuato, México.
educabal@ugto.mx

⁵ Dr. Igor Guryev es Profesor Investigador del Departamento de Estudios Multidisciplinarios, Universidad de Guanajuato, México.
guryev@ugto.mx

⁶ Dra. Ruth Ivonne Mata Chávez es Profesor Investigador del Departamento de Estudios Multidisciplinarios, Universidad de Guanajuato, México.
ruth@ugto.mx

Metodología

a) Caracterización del acoplador de fibra óptica plástica (FOP) 1X2 y 50:50.

Inicialmente se hizo la caracterización del acoplador se realizó sin pulir las puntas P1 y P2, con el objetivo de conocer el estado de estas y en base al resultado proceder a pulir usando lija muy suave, el esquema utilizado se muestra en la figura 1. Las condiciones iniciales del experimento fueron las siguientes:

- 1) Distancia del láser He-Ne al objetivo 2.5cm.
- 2) Distancia del objetivo al polarizador: 5mm.
- 3) Distancia del polarizador a la fibra 1.2mm.



Figura 1. Esquema experimental usado en la caracterización del acoplador de FOP.

b) Análisis de la polarización de la fuente de luz láser.

En la figura 2 tenemos el arreglo utilizado para obtener el tipo de polarización del láser, de acuerdo con la ley de Malus: que se basa en la intensidad (I) de la luz del láser polarizada con una intensidad inicial I_0 , cuando pasa a través de un polarizador, en dependencia con el ángulo de giro de este.

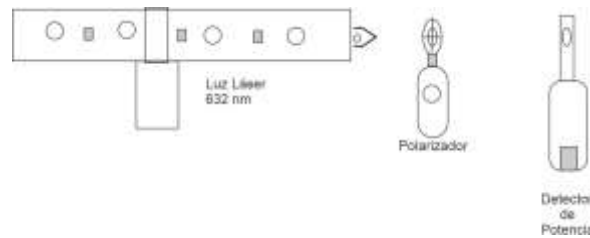


Figura 2. Esquema experimental usado para la Polarización de un láser a 632nm.

c) Mediciones de las variaciones de soluto.

La figura 3 muestra el esquema experimental completo usado para modular por medio de polarización la luz láser y detectar cambios en la intensidad de salida del acoplador al cambiar la concentración de glucosa en agua destilada.

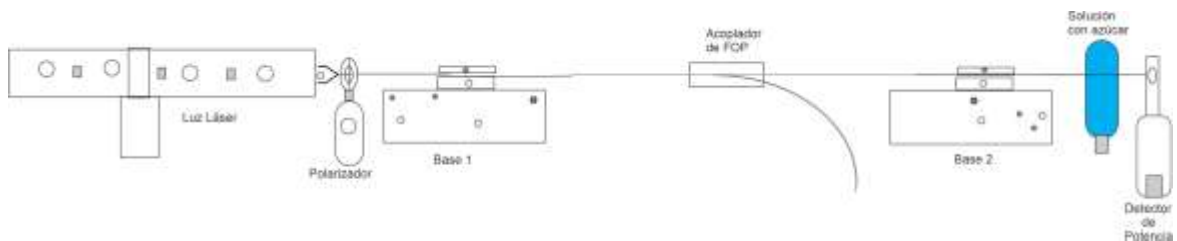


Figura 3. Esquema experimental para la medición de la intensidad con la FOP en la mezcla de agua destilada con glucosa.

Resultados

Caracterización del acoplador de fibra óptica plástica.

Se encontró una potencia de 1.510mW en el puerto P1 y en el extremo P2 se midió 1.902 mW de potencia cuando en el puerto de entrada Pin se introdujo una potencia de 30mW a un objetivo de microscopio y un polarizador, que es la que emite la fuente de luz láser de He-Ne a 632nm.

Polarización de la fuente de luz láser.

La polarización de la fuente de luz láser tiene la característica de ser lineal. Esto se comprobó analizando los datos de potencia obtenidos al variar el ángulo del polarizador. En el cuadro 1 se muestran las diferentes intensidades medidas con el arreglo de la figura 2.

Grados °	Potencia en Watts [W]
0	0.001792
10	0.000983
20	0.000423
30	0.0000821
40	0.00001711
50	0.0002697
60	0.000795
70	0.001498
80	0.0023
90	0.00313
100	0.00381
110	0.00439
120	0.0048
130	0.005
140	0.0048
150	0.00439
160	0.0034
170	0.00261
180	0.001803

Cuadro 1. Cambios en la intensidad de la luz en función al cambio de ángulo del polarizador.

Los datos mostrados se graficaron como una función de la potencia con los grados de polarización, cuya grafica muestra una curva senoidal que describe una polarización lineal del láser de He-Ne de 632nm.

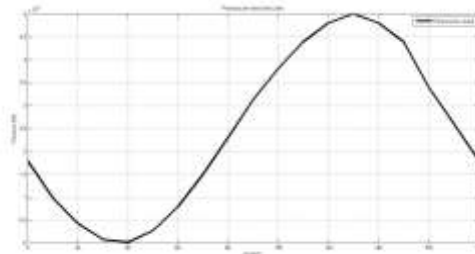


Figura 4. Grafica de la Polarización P(grados) de la luz láser de He-Ne (632nm).

Las pruebas realizadas con el arreglo mostrado en la figura 3 arrojaron diferentes mediciones de la potencia en watts [W] en la FOP desbastada que se encuentra dentro de 60 ml de agua destilada mezclada con diferentes cantidades de azúcar al variar el ángulo del polarizador. Los datos obtenidos se muestran en el cuadro 2.

GRADOS °	0gr de azúcar W	5gr de azúcar W	10gr de azúcar W	15gr de azúcar W	20gr de azúcar W	25gr de azúcar W	30gr de azúcar W	35gr de azúcar W
0	0.000075	0.0000649	0.0000617	0.0000603	0.00006	0.000055	0.0000541	0.0000501
10	0.00001425	0.00001188	0.00001354	0.00001334	0.00001332	0.00001296	0.00001123	0.00001033
20	0.00001953	0.00001751	0.00001634	0.00001507	0.00001428	0.00001382	0.00001253	0.00001088
30	0.0000747	0.0000729	0.0000772	0.0000712	0.0000703	0.0000702	0.0000592	0.000059
40	0.00008	0.000128	0.0001209	0.000099	0.0000815	0.000079	0.0000691	0.000067
50	0.000316	0.000312	0.00032	0.00032	0.000307	0.000307	0.000121	0.000111
60	0.000433	0.00042	0.000368	0.000344	0.00034	0.000322	0.000322	0.00032
70	0.000581	0.000495	0.00044	0.000395	0.000394	0.000363	0.000362	0.000345
80	0.000617	0.000575	0.00051	0.000469	0.000465	0.000428	0.000407	0.000357
90	0.000662	0.000632	0.000581	0.000541	0.00051	0.000476	0.000442	0.000394
100	0.00072	0.000693	0.000637	0.00059	0.000568	0.000524	0.000488	0.00042
110	0.000732	0.000715	0.000691	0.000642	0.000608	0.00058	0.000517	0.000447
120	0.000749	0.000729	0.000716	0.00066	0.000635	0.000626	0.000537	0.000458
130	0.00075	0.000733	0.000722	0.000674	0.000651	0.00065	0.000557	0.000462
140	0.000729	0.000723	0.000714	0.00067	0.000655	0.000654	0.000553	0.000451
150	0.00071	0.000698	0.000688	0.00066	0.00064	0.000639	0.000545	0.00044
160	0.00066	0.000664	0.00065	0.000636	0.000625	0.000623	0.000533	0.000175
170	0.0001451	0.0001609	0.0001593	0.000159	0.0001533	0.00015	0.0001278	0.000122
180	0.000134	0.000118	0.000105	0.0001001	0.0000951	0.0000941	0.000086	0.0000819

Cuadro 2. Medición de la intensidad del sensor FOP al variar la cantidad de glucosa en el soluto.

Graficando los datos del cuadro 2 se observa que la fibra óptica plástica (FOP) con desbaste cubierta con el agua destilada presenta cambios en la intensidad de la luz láser al mezclarlo con cantidades variables de glucosa, cuya grafica se muestra en la figura 5.

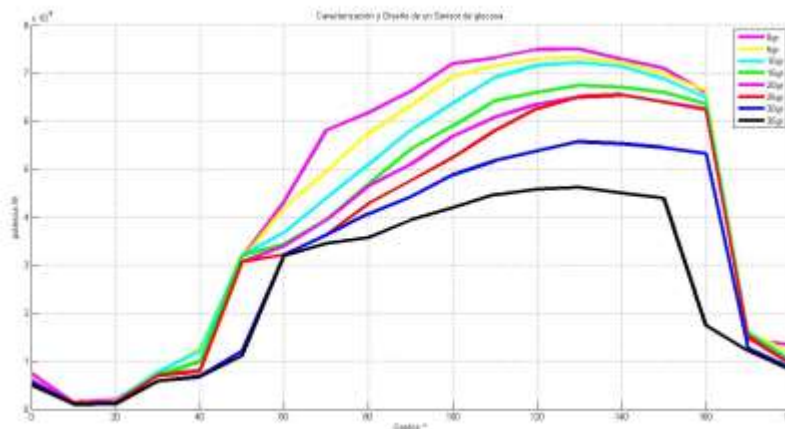


Figura 5. FOP con desbaste bajo la solución en diferentes concentraciones de glucosa.

Para obtener la sensibilidad del sensor de glucosa en fibra óptica plástica se realizó a diferentes ángulos del polarizador que fue de 80° a 140°, obteniéndose los datos de intensidad (Watts) variantes en el rango de grados mencionado anteriormente. Los datos se muestran en el cuadro 3.

Concentración de azúcar (gr)	Intensidad (W) 80°	Intensidad (W) 100°	Intensidad (W) 120°	Intensidad (W) 140°	Intensidad (W) 160°
0	0.000617	0.00072	0.000749	0.000729	0.000666
5	0.000575	0.000693	0.000729	0.000723	0.000664
10	0.00051	0.000637	0.000716	0.000714	0.00065
15	0.000469	0.00059	0.00066	0.00067	0.000636
20	0.000465	0.000568	0.000635	0.000655	0.000625
25	0.000428	0.000524	0.000626	0.000654	0.000623
30	0.000407	0.000488	0.000537	0.000553	0.000533
35	0.000357	0.00042	0.000458	0.000451	0.000175

Cuadro 3. Datos para obtener la sensibilidad del sensor de glucosa en FOP.

Se graficaron los datos del cuadro 3 para observar el comportamiento de la sensibilidad del sensor de glucosa, la sensibilidad se muestra en la figura 6.

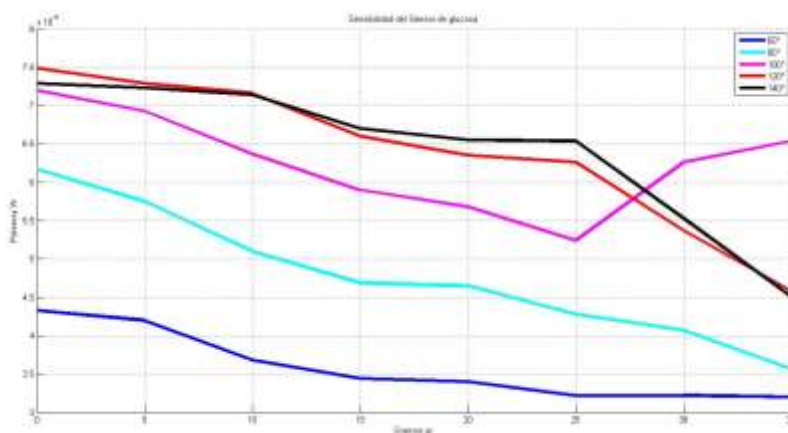


Figura 6. Sensibilidad del sensor de glucosa.

El diseño y caracterización del sensor de glucosa en fibra óptica plástica (FOP) presentó una sensibilidad de 5.6μW/gr en un rango del polarizador de 60 a 140 grados. Para modelar el sensor de glucosa en fibra óptica plástica se obtuvo la siguiente función.

$$y = (-4.4e - 10)x^4 + (3.1e - 08)x^3 - (5.8e10 - 07)x^2 + (2.8e - 06)x + 0.00044$$

Conclusiones

Las bajas potencias que se observan a la salida del acoplador se deben a las pérdidas que se inducen por acoplamiento y alineación a un objetivo de microscopio, así como la atenuación que se produce por el cambio de la polarización y los dispositivos por los que se propaga la luz en el esquema experimental. Los cambios en la concentración del soluto son de 5 gramos por medición, suficiente para detectar atenuación en la amplitud de la señal analizada. Se observa el cambio de la luz modulada inicialmente de una onda senoidal de la figura 4 a una función con menor amplitud y cambio de fase de aproximadamente 20 grados. Con esto se concluye que la polarización de la luz es sensible a los cambios de la concentración del soluto en agua destilada. La contribución de este trabajo es el

uso de una FOP para detectar concentración de soluto al modular la fuente de luz por medio de la polarización usando luz visible.

El estudio preliminar puede mejorarse variando la cantidad de azúcar inicial para caracterizar cantidades de azúcar en sustancias líquidas, los cuales se estén monitoreando para producir alimentos saludables o químicos dentro de especificaciones que sean factibles de consumo humano y animal. Además, los resultados muestran que, si se utilizan FOPs de menores diámetros, se tendrían dispositivos más sensibles a sustancias disueltas y la cuantificación de ciertos solutos en soluciones acuosas. Sin embargo, la limitante en este punto es la fabricación de acopladores con FOPs de diámetros menores a 1mm y fuentes de luz diferentes disponibles a 632nm, y que existan de forma comercial para que no encarezcan el sensor. Esto se prevé como trabajo a futuro para el equipo de trabajo y sus colaboradores.

Referencias

- [1] Pendão, C., & Silva, I. (2022). *Optical fiber sensors and sensing networks: overview of the main principles and applications*. *Sensors*, 22(19), 7554.
- [2] Li, M., He, B., Zhao, X., Xie, J., Yao, W., & Xu, G. (2021). *A wearable fiber-optic sensor for monitoring human elbow and wrist joint motion*. *Advanced Robotics*, 35(7), 400-412.
- [3] Kumar, V., Raghuvanshi, S. K., & Kumar, S. (2022). *Advances in nanocomposite thin-film-based optical fiber sensors for environmental health monitoring-a review*. *IEEE Sensors Journal*.
- [4] Vavrinsky, E., Esfahani, N. E., Hausner, M., Kuzma, A., Rezo, V., Donoval, M., & Kosnacova, H. (2022). *The current state of optical sensors in medical wearables*. *Biosensors*, 12(4), 217.
- [5] Keiser, G., & Keiser, G. (2021). *Fiber optic communication networks* (pp. 507-575). Springer Singapore.
- [6] Suhanoro M. & Yulianti I. (2021). *Back scattering method based plastic optical fiber coupler viscosity sensors*. *Journal of Physics: Conference Series*. 1918 (022014). IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/1918/2/022014.
- [7] Sudarsono, S., Yudoyono, G., Prajitno, G. et al. *Detección de salinidad en el proceso de calentamiento de agua de mar mediante el uso de un acoplador direccional de la fibra óptica plástica multimodo con un espejo plano como reflector*. *J Opt* **49**, 48–52 (2020). <https://doi.org/10.1007/s12596-020-00592-9>.

Notas Biográficas

El Ing. Alfredo Murrieta Loyde actualmente está por terminar sus estudios de posgrado en la Maestría en Ingeniería Electrónica Aplicada, en la Universidad de Guanajuato con el trabajo de tesis "Sensor de Presión de Fibra Óptica Plástica con un Interferómetro de Sagnac".

La Mtra. Yeraldyn Guzmán Castro estudiante del Doctorado de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad de Guanajuato. Su maestría en Ingeniería le permite apoyar en el laboratorio de Dispositivos y sensores de Fibra Óptica y su tesis de maestría es del área de Dispositivos de Fibra Óptica.

La Dra. Mónica Trejo Duran es profesora de tiempo completo de la Universidad de Guanajuato. Se especializa en el área de materiales y fotónica y cuenta con más de 135 artículos publicados.

El Dr. Eduardo Cabal Yépez es profesor investigador de la Universidad de Guanajuato. Es el autor de más de 135 artículos científicos y colabora con los diferentes investigadores de fotónica y Sensores de Fibras Ópticas en el comité académico de Instrumentación y Procesamiento Digital.

El Dr. Igor Guryev es profesor investigador de la Universidad de Guanajuato. Es el autor de más de 100 artículos científicos y colabora con los diferentes investigadores de fotónica y fibras ópticas como colaborador del comité académico Óptica y Electrónica del departamento de Estudios Multidisciplinarios de la Universidad de Guanajuato.

La Dra. Ruth Ivonne Mata Chávez es profesora de la Universidad de Guanajuato. Se especializa en Dispositivos y Sensores de Fibras Ópticas. Perteneció al Comité Académico de Instrumentación y Procesamiento Digital y a la fecha es autora y coautora de 75 artículos y trabajos científicos.

Apéndice

1. ¿Qué tanto es adecuado pulir los extremos del acoplador de la fibra óptica plástica?
2. ¿Cuál es la polarización del láser He-Ne?
3. ¿La polarización de la luz puede funcionar para modular la fuente?
4. ¿Funciona la fibra óptica plástica de 1mm de diámetro para hacer un sensor de soluto?
5. ¿Es la sensibilidad lineal?

La Importancia de la Economía Agrícola en Los Reyes de Juárez: *Un Análisis Integral del Sector y su Impacto*

The Importance of the Agricultural Economy in Los Reyes de Juárez: A Comprehensive Analysis of the Sector and its Impact

¹Dra. Alma Delia Neponuceno Crisostomo, ²MIQ. José Muñoz Flores. ³Eduardo Zarate Gómez, ⁴Arlette Robles Abad, ⁵Daniela Ledo Bautista, ⁶Ana Karen Ramírez Reynoso, ⁷Carlos Krissel Sánchez Domínguez.

Resumen— Este estudio de investigación tiene como objetivo analizar un comparativo de los años 2021 y 2022 en cuanto a su comportamiento económico, como su producción, comercio exterior, ventas, distribución, inversión extranjera e ingresos trimestrales. Lo que incluye examinar la productividad y sostenibilidad de la practicas agrícolas de la zona. El resultado de este proporciona una base de acontecimientos económicos para decisiones políticas y estrategias de desarrollo para su incremento en los siguientes años. Esta investigación de tipo mixta combina un análisis cuantitativo con métodos cualitativos. El resultado muestra que este sector es significativo en el municipio de Los Reyes de Juárez contribuyendo de manera importante en la economía de los pobladores, y aunque el año 2022 hay crecimientos notables, de igual manera, hay descensos preocupantes, distinto al año 2021 siendo la pandemia un factor que dio impacto a este año, sin embargo, fue más estable durante todo el año.

Palabras clave— Comportamiento económico, Producción, Comercio exterior, Ventas, Distribución

Introducción

Agregar una introducción o fusionar la justificación, objetivos, hipótesis y marco teórico

Justificación

Explorar la economía agrícola del municipio de Los Reyes de Juárez es vital para entender los retos y oportunidades que enfrenta el municipio en un panorama económico cambiante. Este estudio busca proporcionar una base de conocimiento para informar decisiones políticas y estrategias de desarrollo económico sostenible de otros municipios o regiones semejantes.

Objetivos

El objetivo principal es analizar el comportamiento económico del sector agrícola de Los Reyes de Juárez durante los años 2021 y 2022, evaluando su contribución a nivel nacional e Internacional; conociendo su producción, destinos comerciales, ventas internacionales e ingresos trimestrales, el resultado de este análisis es reconocer la presencia activa que tiene el municipio en la aportación económica local, así como en otros países y dar enfoque a estrategias que no lleven a un estancamiento productivo.

¹Dra. Investigación Educativa P.I Tiempo Completo Licenciatura de Administración de Empresas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, alma.neponuceno@correo.buap.mx

²Docente/Investigador, Complejo Regional Centro, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, munoz.jose@correo.buap.mx. <https://orcid.org/0000-0002-7115-968X>

³Estudiante en Lic. Administración de Empresas Nivel Superior, Complejo Regional Centro, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, eduardo.zaratego@alumno.buap.mx

⁴Estudiante en Lic. Administración de Empresas Nivel Superior, Complejo Regional Centro, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, arlette.robles@alumno.buap.mx

⁵Estudiante en Lic. Administración de Empresas Nivel Superior, Complejo Regional Centro, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, daniela.ledo@alumno.buap.mx

⁶Estudiante en Lic. Administración de Empresas Nivel Superior, Complejo Regional Centro, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, ana.ramirezre@alumno.buap.mx

⁷Estudiante en Lic. Administración de empresas Nivel Superior, Complejo Regional Centro, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, carlos.sanchezdo@alumno.buap.mx

¹Dra. Investigación Educativa P.I Tiempo Completo Licenciatura de Administración de Empresas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, alma.neponuceno@correo.buap.mx

Hipótesis

Se plantea que mientras la agricultura sigue siendo un pilar crucial en la economía de Los Reyes de Juárez, su potencial completo está siendo limitado por el desconocimiento de las cifras que el gobierno municipal tiene, las prácticas tradicionales, falta de acceso a tecnologías avanzadas y vulnerabilidades a fluctuaciones del mercado por lo que este comparativo de los años 2021 y 2022, podemos plantear estrategias para el crecimiento de la economía regional, y poder deducir un aproximado de los resultados del 2023.

Marco Teórico

La economía internacional se caracteriza por la interconexión de los mercados y la circulación de bienes, servicios, capitales y tecnología a nivel global. En este contexto, el sector productivo agrícola desempeña un papel crucial, ya que no solo contribuye al abastecimiento de alimentos a nivel local, sino que también participa en las dinámicas del comercio internacional. El municipio de Los Reyes de Juárez, ubicado en la parte central del estado de Puebla, con colindancias al norte con Tepeaca, al sur con Cuapiaxtla de Madero, al este con San Salvador Huixcolotla y Acatzingo (Auditoría Superior del Estado de Puebla, s.f.). Este análisis teórico expone las variables económicas que el municipio compara en relación con el comercio exterior.

Metodología

Adoptando un análisis cuantitativo para obtener una comprensión integral del funcionamiento de la economía agrícola internacional, en la que de acuerdo con una comparación de datos obtenidos de registros y páginas oficiales, informes gubernamentales y estadísticas locales que serán esquematizados en cinco gráficas distintas seguido de un análisis detallado de las cifras expuestas.

Análisis de datos y Resultados

El resultado de este estudio demuestra el impacto económico agrícola de municipio de los Reyes de Juárez y alrededores de los siguientes aspectos como son: comportamiento económico de producción, destinos comerciales, inversión extranjera y la evolución trimestral de remesas en un comparativo de los años anteriores 2021 y 2022 de datos recabados de páginas oficiales y de gobierno, dando mayor veracidad a los datos y análisis que se llevaran a cabo.

Producción

De acuerdo a información de la Secretaría de Economía de México, en una investigación referente a las ventas de personas morales pertenecientes al municipio de los Reyes de Juárez existe una variedad de hortaliza, siendo coles, repollos, coliflores, apio, cilantro y productos del género brassica los de mayor producción con el **54%**, seguido de otras verduras frescas o refrigeradas con el **13%**, tomates frescos o refrigerados **10%**, cebollas, chayotes, ajos, porros y otras hortalizas **9%**, la cosecha de zanahorias, nabos, apionabos, betabel o remolacha y raíces comestibles similares frescas o refrigeradas **6%**, otros productos vegetales no expresados y hortalizas de vainas (frijoles, habas, ejote) frescas o refrigeradas **4%**, y con un porcentaje nulo la producción de pepinos, pepinillos refrigerados o frescos en el año 2021.

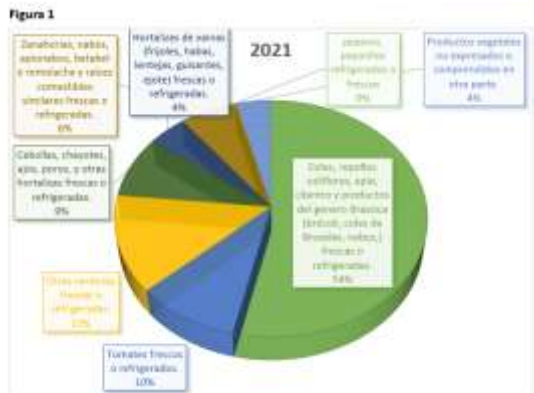


Figura 1. Producción de hortalizas y productos vegetales registradas en el 2021, en el municipio de Los Reyes de Juárez. Los Reyes de Juárez: Economía, empleo, equidad, calidad de vida, educación, salud y seguridad pública | Data México. (s.f.). Data México. <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/os-reyes-de-juarez?fdiTimeSelector=Year&fdiYearSelector=2022>

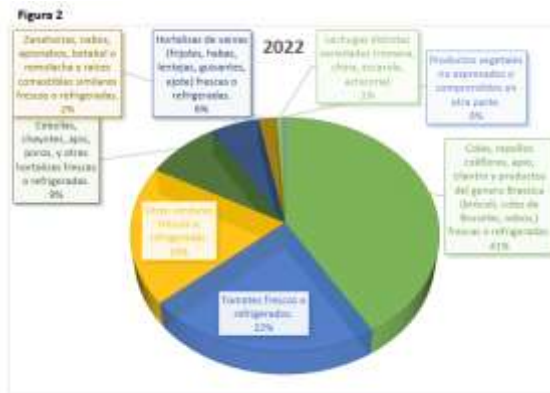


Figura 2. Producción de hortalizas y productos vegetales registradas en año 2022, en el municipio de Los Reyes de Juárez. Los Reyes de Juárez: Economía, empleo, equidad, calidad de vida, educación, salud y seguridad pública | Data México. (s.f.). Data México. <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/os-reyes-de-juarez?fdiTimeSelector=Year&fdiYearSelector=2022>

En el año 2022 [figura 2] coles, coliflores, cilantro, brócoli y productos del género Brassica siguen siendo las hortalizas de mayor producción con el **41%** hubo una disminución del 13% al total del año anterior, pero los tomates frescos o refrigerados tienen elevación al **22%**, en cuanto a la variedad de otras verduras refrigeradas o frescas pasan del 13% a **19%**, la producción de zanahoria, nabos, remolacha y otros de raíces comestibles tienen una baja al **2%**, la producción de otros productos vegetales se convierte a **0%**, después de que en el 2021 concluyo con el 4%, cebollas, chayotes, ajos, porros y otras hortalizas frescas o refrigeradas conservan **9%**, las hortalizas de vainas (frijoles, lentejas, ejote) frescas o refrigeradas ascienden a **6%**, finalmente la producción de lechugas en distintas variedades frescas o refrigeradas se integran en este año con un porcentaje pequeño del 1% pero sin duda importante para productores de la misma. (Data México, s. f.)

Destinos Comerciales

Los principales receptores de las hortalizas y verduras producidas en el municipio, es el país estadounidense con el **95%** y Canadá el resto, tan solo en el 2021.

En el año 2022 Canadá aumenta su participación al **12%** y Estados Unidos disminuye a un **88%**. El tratado comercial (TLCAN) Tratado de Libre Comercio de América del Norte entre los países mencionados y México que en vigor en 1994 y que tuvo un impacto claro en las importaciones y exportaciones mexicanas aportando un impulso para los comerciantes y productores del municipio. (Data México, s. f.)

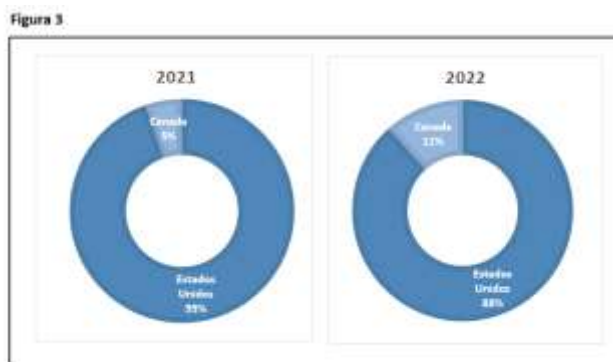


Figura 3. Principales destinos comerciales Estado Unidos y Canadá, años 2021 y 2022. Los Reyes de Juárez, Puebla. Los Reyes de Juárez: Economía, empleo, equidad, calidad de vida, educación, salud y seguridad pública | Data México. (s.f.-b). Data México. [https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/qeo/los-reyes-de-juarez#:~:text=En%202021,%20los%20campos%20de,de%20la%20alimentación%20\(14\)](https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/qeo/los-reyes-de-juarez#:~:text=En%202021,%20los%20campos%20de,de%20la%20alimentación%20(14))

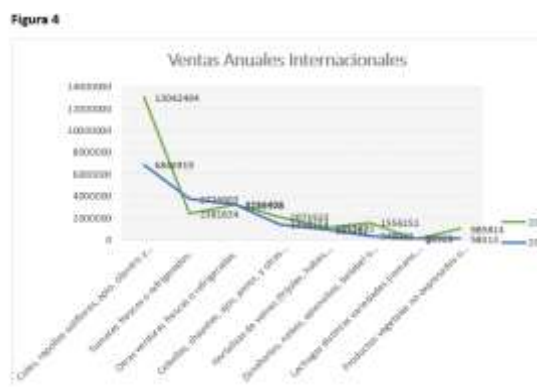


Figura 4. Esta gráfica representa las ventas anuales totales, a los países de Estados Unidos y Canadá, que el municipio de Los Reyes de Juárez produjo en los años 2021 y 2022. Los Reyes de Juárez: Economía, empleo, equidad, calidad de vida, educación, salud y seguridad pública | Data México. (s.f.). Data México. <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/qeo/qs-reyes-de-juarez?fdiTimeSelector=Year&fdiYearSelector=2022>

Ventas totales Internacionales

De acuerdo a la figura 4 presentada, se expone la venta internacional más alta de hortalizas de coles, repollos, coliflores, apios, cilantro y otros productos del género Brassica con un total de **\$13,042,494 US**, otras verduras frescas o refrigeradas con **\$3,236,403 US**, Tomates frescos o refrigerados **\$2,381,634 US**, cebollas, chayotes, ajos, poros y otras hortalizas frescas o refrigerados **\$2,071,522 US**, la venta de zanahorias, nabos, apionabos, betabel y raíces comestibles similares con **\$1,556,151**. Las hortalizas de vainas (frijoles, habas, guisantes, ejotes) frescos o refrigeradas **\$1,053,973** y con **\$985,814** la venta de productos vegetales no expresados o comprendidos en otra parte, estos datos con referente al año 2021. Las ventas registradas en el 2022 representada en la línea color azul, presentan una disminución en la ventas de casi el 50% con un total de **\$6,846,919 US**, la venta de tomates fresco o refrigerados asciende a **\$3,726,903 US**, otras verduras en su forma refrigeradas o frescas **\$3,185,978 US**, Cebollas, chayotes, ajos, poros otras hortalizas tienen una ligera disminución a **\$1,408,154 US**, Hortalizas de vainas (frijoles, lentejas, guisantes, ejote) frescas o refrigeradas **\$913,202**, Zanahorias, nabos, apionabos, remolacha y raíces comestibles similares registran una importante caída a **\$348,023**, productos vegetales no expresados en otra parte obtiene solo una venta de **\$58,313**, y por último la venta de lechugas en sus distintas variedades (romana, china, escarola, achicoria) de **\$98,928**. (Data México, s. f.)

Figura 5

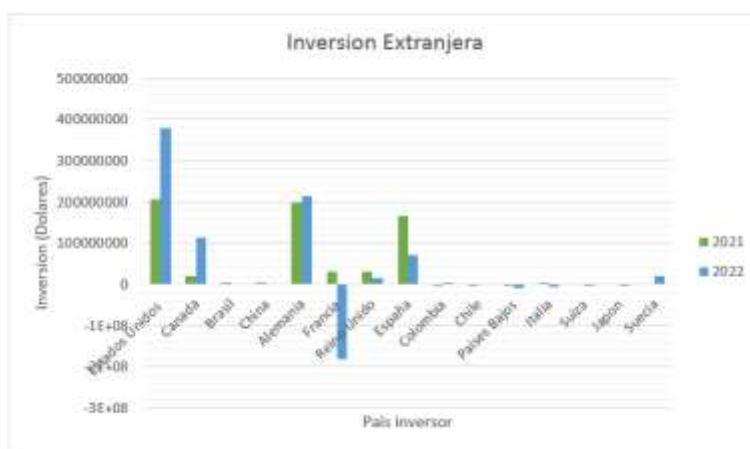


Figura 5. Inversión extranjera (dólares) en los años 2021 y 2022 al municipio de Los Reyes de Juárez (Estados Unidos, Canadá, Brasil, China, África, Alemania, Francia, Reino Unido, España, Chile, Países Bajos, Italia, Suecia, Japón). Los Reyes de Juárez: Economía, empleo, equidad, calidad de vida, educación, salud y seguridad pública | Data México. (s.f.-b). Data México. [https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/los-reyes-de-juarez#:~:text=En%202021,%20los%20campos%20de,de%20la%20alimentaci%C3%B3n%20\(14\)](https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/los-reyes-de-juarez#:~:text=En%202021,%20los%20campos%20de,de%20la%20alimentaci%C3%B3n%20(14))

Inversión extranjera

En el año 2022 [figura 5] el municipio de los reyes de Juárez obtuvo una inversión extranjera anual perteneciente del principal país inversor Estados Unidos un total \$378931701.66US y demás países como Canadá \$113131767.2US, Alemania \$214523300.17US, España con \$71314582.8US, Suecia \$20115598.67US, Reino Unido \$15929303.16 US, Colombia \$2125726.9 US, Países bajos \$-7780262.9 US, Japón \$-622934.5 US, Italia \$-5803434.8 US, Suiza \$-4121089.45US, Francia \$-182105712.8US,

Durante el año 2021 [figura 5], a pesar de no contar con una inversión alta, se muestra equitativa por parte de la mayoría de los países, siendo Estados Unidos \$205341476.44US, Alemania \$196896286.0 US, España \$166941284.17US, Francia \$30699258.80, Reino Unido \$31906314.8US, Italia \$2291220.18US, Brasil \$3433717.9US, China \$2865287.06US, Canadá \$21002817.1US, Países Bajos \$-213849.15US, Chile \$-

564823.38US, Colombia \$-1089318.03US. De acuerdo con los datos los principales países portadores de inversión al municipio son: Estados Unidos, Canadá, Alemania, Francia, España, y Reino Unido. (*Data México*, s. f.)

Distribución Trimestral de Remesas

El grafico [figura 6] presenta la evolución Trimestral del ingreso de remesas en los años 2021 y 2022 que el municipio presenta. En el primer trimestre del año 2021 se registra un ingreso de US **\$53,989K**, con aumento en el segundo trimestre a **US\$99,206K**, y un impresionante auge en el tercer trimestre del año de **US \$169,485K**, y nuevamente en el cuarto trimestre con **US\$96,989K**. A tan solo los primeros meses del 2022 los ingresos por remesas tienen un aumento a **US\$162,284** siendo su registro más alto del año, en su segundo trimestre se mantiene con el **US\$158,496K**, no es hasta el tercer trimestre, que la caída de más del 90% es sorprendente e inexplicable, cerrando su último y cuarto trimestre con **US\$13,608K** de dólares. (*Data México*, s. f.)

Comparando esto, asumimos que a pesar de las afectaciones inmediatas que originó la pandemia del COVID-19 por la disminución en el ingreso de remesas, se muestra un comportamiento estable durante todo el año 2021, resultado de las cifras presentadas durante los primeros meses del 2022, en el que después disminuye notoriamente.

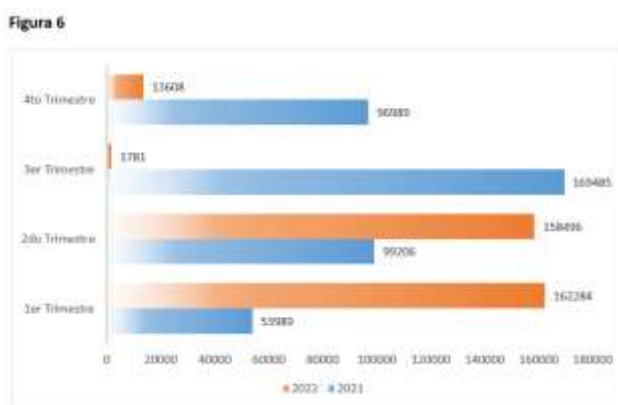


Figura 6. Comparativo de la evolución trimestral de ingreso de remesas que el municipio de Los Reyes de Juárez registro. Los Reyes de Juárez: Economía, empleo, equidad, calidad de vida, educación, salud y seguridad pública | Data México. (s.f.-b). Data México. [https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/los-reyes-de-juarez#:~:text=En%202021.%20los%20campos%20de.%20la%20alimentación%20\(14\)](https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/los-reyes-de-juarez#:~:text=En%202021.%20los%20campos%20de.%20la%20alimentación%20(14))

Conclusiones y Recomendaciones

Los resultados del estudio revelan que el sector agrícola es significativo en el municipio, contribuyendo de manera importante a la economía local. A pesar de crecimientos notables en 2022, también se registraron descensos preocupantes. Entre los hallazgos clave, se destacan:

- En 2021, la producción de hortalizas de coles, coliflores, cilantro, brócoli y productos del género Brassica representó el 54% del total, mientras que, en 2022, a pesar de que estas hortalizas siguieron siendo las de mayor venta, los tomates frescos o refrigerados tuvieron un aumento del 12%, alcanzando el 19% de la producción.
- Canadá aumentó su participación en las importaciones del municipio al 12% en 2022, mientras que Estados Unidos disminuyó al 88%.
- En 2022, el municipio obtuvo una inversión extranjera anual superior a los 300 millones de dólares, principalmente de Estados Unidos y otros países como Canadá, Alemania y España.
- Se registró una caída significativa en las remesas durante los últimos dos trimestres de 2022, afectando la economía local.

Se resalta la continua importancia de la agricultura para la economía de Los Reyes de Juárez. Se recomienda una mayor inversión en tecnología agrícola, políticas que fomenten la diversificación de cultivos, y estrategias que fortalezcan la cadena de suministro agrícola para maximizar el potencial económico del sector y mejorar la calidad de vida en el municipio.

Referencias

Data México. (s. f.). [economia.gob.mx](https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/los-reyes-de-juarez#:~:text=Las%20principales%20ventas%20internacionales%20de,Refrigeradas%20(US%243.19M).). Recuperado 1 de noviembre de 2023, de [https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/los-reyes-de-juarez#:~:text=Las%20principales%20ventas%20internacionales%20de,Refrigeradas%20\(US%243.19M\)](https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/los-reyes-de-juarez#:~:text=Las%20principales%20ventas%20internacionales%20de,Refrigeradas%20(US%243.19M).).

INEGI. (2022, 8 diciembre). [inegi.org.mx](https://www.inegi.org.mx/app/buscador/default.html?q=LOS+REYES+DE+JUAREZ%2C+PUEBLA). Recuperado 1 de noviembre de 2023, de <https://www.inegi.org.mx/app/buscador/default.html?q=LOS+REYES+DE+JUAREZ%2C+PUEBLA>

El Uso Sostenible del Maguey en Puebla

The sustainable use of Maguey In Puebla

Dra. Alma Delia Neponuceno Crisóstomo¹, Dr. Alfredo Alejandro Guzmán Becerra², Karime Martínez Cid³, Emmanuel Romero Sánchez⁴, Ricardo Tapia Maceda⁵, María Guadalupe Zayas García⁶, Juan Diego Rosas González⁷,

Resumen: La sostenibilidad del maguey en el Estado de Puebla, México, considerando su valor cultural y económico, así como los problemas ambientales y sociales relacionados con su explotación. Se destaca la urgencia de implementar prácticas sostenibles debido a la sobreexplotación que amenaza la biodiversidad local y la viabilidad a largo plazo de los magueyales. Los objetivos incluyen conservar los magueyales, diversificar la economía rural, mejorar las prácticas agrícolas y fortalecer las comunidades a través de la educación sobre sostenibilidad. Se busca reducir la erosión del suelo, incrementar los ingresos sostenibles y el cumplimiento de estándares ambientales. Destacando prácticas agrícolas sostenibles y la gestión comunitaria en la producción y uso del maguey. La adaptabilidad del maguey y su diversidad geográfica ofrecen oportunidades para diversificar productos, lo que podría aumentar la resiliencia económica y reducir la contaminación. Se enfatiza la importancia de mejorar las variedades de maguey y adoptar prácticas agronómicas sostenibles para garantizar su sostenibilidad y promover el bienestar económico y social de las comunidades locales.

Palabras Clave: Sostenibilidad, Maguey, Pulque, Cultivo, Biodiversidad.

Abstrac: The sustainability of agave in the State of Puebla, Mexico, considering its cultural and economic value, as well as the environmental and social issues related to its exploitation, is discussed in this text. The urgency of implementing sustainable practices is emphasized due to overexploitation threatening local biodiversity and the long-term viability of agave fields. Objectives include conserving agave fields, diversifying the rural economy, improving agricultural practices, and strengthening communities through sustainability education. The aim is to reduce soil erosion, increase sustainable income, and adhere to environmental standards, highlighting sustainable agricultural practices and community management in agave production and use. The adaptability of agave to different environments and its geographic diversity offer opportunities to diversify products, potentially enhancing economic resilience and reducing pollution. The importance of improving agave varieties and adopting sustainable agronomic practices is emphasized to ensure sustainability and promote the economic and social well-being of local communities.

Keywords: Sustainability, Agave, Pulque, Cultivation, Biodiversity

Introducción

En la actualidad, el maguey (*Agave Salmiana*) es una planta de gran importancia en diversas regiones de América Latina debido a su versatilidad y utilidad en la producción de alimentos, bebidas y fibras, entre otros productos. El Maguey pulquero (*Agave Salmiana*) es una planta nativa de México con una larga historia de uso cultural y económico. El pulque es una bebida fermentada de la savia del maguey, es refrescante y nutritiva, que contiene vitaminas, minerales y carbohidratos; y es parte muy importante de la cultura mexicana. (Sánchez García, Martínez Flores, & Martínez García, 2020, p. 2). Sin embargo, su explotación no siempre se lleva a cabo de manera sostenible, lo que plantea un desafío significativo desde el punto de vista ambiental y social. Uno de los principales problemas radica en la sobreexplotación de los magueyales para la producción de pulque y otras bebidas alcohólicas, lo que ha llevado a la degradación de ecosistemas y la pérdida de biodiversidad en algunas áreas. Además, la falta de prácticas sostenibles en la cosecha y manejo de las plantas puede tener un impacto negativo en las comunidades rurales que dependen de ellas para su subsistencia. La creciente demanda de productos derivados del maguey plantea desafíos adicionales en términos de garantizar la disponibilidad a largo plazo de esta planta y sus beneficios económicos para las comunidades locales en el estado de Puebla. Por lo tanto, es necesario abordar este problema de manera integral, desarrollando prácticas sostenibles de cultivo, cosecha y procesamiento del maguey (*Agave Salmiana*) que protejan los recursos naturales, promuevan la conservación de la biodiversidad y aseguren un beneficio equitativo para las comunidades

¹Dra. Investigación Educativa P.I Tiempo Completo Licenciatura de Administración de Empresas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, alma.neponuceno@correo.buap.mx

²Docente/Investigador, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Complejo Regional Centro. alfredo.guzmanb@correo.buap.mx. ORCID: 0000-0002-1074-1924

³ Estudiante de, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Complejo Regional Centro. karime.martinez@alumno.buap.mx

⁴ Estudiante de, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Complejo Regional Centro. emmanuel.romerosa@alumno.buap.mx

⁵ Estudiante de, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Complejo Regional Centro. ricardo.tapia@alumno.buap.mx

⁶ Estudiante de, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Complejo Regional Centro. maria.zayasgar@alumno.buap.mx

⁷ Estudiante de, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Complejo Regional Centro. juan.rosasgo@alumno.buap.mx

involucradas. Aunque el acceso al maguey puede considerarse una ventaja, se observan desafíos y problemas específicos que requieren atención; la sobreexplotación y agotamiento de recursos, a medida que la demanda de productos derivados del maguey (Agave Salmiana), como el pulque o las fibras, aumenta, existe el riesgo de que las comunidades dentro del estado de Puebla exploten en exceso este recurso sin un manejo adecuado, lo que podría llevar al agotamiento de los magueyales locales y su biodiversidad asociada. Prácticas no sostenibles, las técnicas de cosecha, cultivo y procesamiento del maguey en las comunidades pueden no ser sostenibles desde el punto de vista ambiental y social, lo que podría tener efectos adversos en los ecosistemas locales y en la calidad de vida de los habitantes. Esto también podría llevar a la vulnerabilidad de las comunidades ante una red de contaminación que provoque fluctuaciones desfavorables en los precios del mercado, afectando la producción. Es crucial tomar en cuenta cómo se utiliza y gestiona el recurso del maguey (Agave Salmiana), teniendo en cuenta la necesidad de preservarlo, promover prácticas sostenibles y diversificar la economía local para garantizar un futuro próspero y equitativo.

Desarrollo

El factor sostenible en la utilización del maguey (Agave Salmiana) es esencial para conservar los recursos naturales en el estado de Puebla. El maguey crece lentamente y es vulnerable a la sobreexplotación, por lo que adoptar prácticas sostenibles garantiza su manejo responsable y regeneración natural, preservando recursos y biodiversidad a largo plazo. Esto incluye la protección de los ecosistemas locales de los magueyales, beneficios económicos sostenibles, cumplimiento de regulaciones ambientales y requisitos legales, y mejora la reputación de los productores en los mercados. En resumen, la sostenibilidad en la utilización del maguey no solo protege el medio ambiente, sino que también beneficia económicamente a las comunidades que dependen de este recurso. El uso sostenible del Maguey (Agave Salmiana) en Puebla tiene un impacto positivo en la reducción de la contaminación ambiental. La adopción de prácticas sostenibles en la producción y uso del maguey contribuye a la conservación de la biodiversidad, la mitigación del cambio climático y prácticas agrícolas más amigables con el entorno. Esto se traduce en la reducción de la contaminación del suelo, agua y aire a través de técnicas agrícolas responsables y gestión adecuada de aguas residuales. Además, genera ingresos sostenibles para las comunidades, ofreciendo alternativas a actividades económicas contaminantes. La gestión sostenible del maguey empodera a las comunidades para proteger el medio ambiente y promover la conciencia ambiental y social, transformando positivamente el entorno y contribuyendo a un futuro más saludable y próspero. El maguey pulquero (Agave salmiana) se cultiva principalmente en las zonas montañosas del estado de Puebla, a altitudes que van desde los 1,500 hasta los 3,000 metros sobre el nivel del mar. Estas zonas se caracterizan por su clima semiárido, con temperaturas que oscilan entre los 15 y los 25 grados Celsius (SADER).

Según (INEGI) las principales comunidades productoras de maguey pulquero en Puebla son:

- Chignahuapan: Este municipio es el principal productor de maguey pulquero en Puebla, con una superficie sembrada de aproximadamente 1,500 hectáreas.
- Xicotepec de Juárez: Este municipio también es un importante productor de maguey pulquero, con una superficie sembrada de aproximadamente 1,000 hectáreas.
- Teziutlán: Este municipio cuenta con una superficie sembrada de aproximadamente 500 hectáreas de maguey pulquero.
- Tlatlauquitepec: Este municipio cuenta con una superficie sembrada de aproximadamente 400 hectáreas de maguey pulquero.
- Naupan: Este municipio cuenta con una superficie sembrada de aproximadamente 300 hectáreas de maguey pulquero.
-

Otras comunidades productoras de maguey pulquero en Puebla son: Pahuatlán, Zacapoaxtla, Cuetzalan del Progreso, Huehuetla, Ahuazotepec, Ixcaquixtla, Tehuacán. El cultivo del maguey pulquero es una actividad importante para la economía de estas comunidades. El pulque es una bebida tradicional mexicana que se elabora a partir del jugo del maguey pulquero. El mezcal, por su parte, es una bebida alcohólica que se elabora a partir de la fermentación del jugo del maguey pulquero. La superficie sembrada de maguey en Puebla en 2023 es de aproximadamente 3,280 hectáreas, de las cuales el 80% se destina a la producción de pulque y el 20% a la producción de mezcal. En cuanto a la cantidad de productores de maguey, se estima que existen alrededor de 5,000 productores, de los cuales el 70% se dedica a la producción de pulque y el 30% a la producción de mezcal. Sin embargo, es importante mencionar que estas cifras son aproximadas, ya que no existe un registro oficial de la producción de maguey en Puebla (UAP). Las hojas se disponen en forma de roseta, y son largas, estrechas y puntiagudas. Las flores se agrupan en inflorescencias en forma de espiga

(Cortés, s.f). Los magueyes son plantas resistentes que pueden crecer en una amplia gama de condiciones ambientales. Sin embargo, hay algunos requisitos de crecimiento que deben tenerse en cuenta para su cultivo.

- Suelo: Los magueyes prefieren suelos bien drenados, con un pH neutro o ligeramente alcalino.
- Luz: Los magueyes necesitan mucha luz solar para crecer adecuadamente.
- Agua: Los magueyes son plantas resistentes a la sequía, pero necesitan riego regular durante su crecimiento.
- Temperatura: Los magueyes toleran una amplia gama de temperaturas, pero prefieren climas cálidos.

El maguey pasa por varias etapas en su ciclo de vida: plántula, crecimiento y madurez. Se reproduce mediante flores que son polinizadas por insectos o el viento, y luego produce frutos cuyas semillas son dispersadas por diferentes medios. Después de la reproducción, el maguey muere, liberando nutrientes al suelo y contribuyendo a la regeneración del ecosistema. La longevidad varía según la especie, con algunas viviendo hasta 300 años. Los magueyes desempeñan un papel vital en la naturaleza, contribuyendo a la restauración del suelo y proporcionando hábitats para diversas formas de vida (SAGARPA, s.f). Los magueyes en Puebla desempeñan un papel crucial en la biodiversidad local al ofrecer refugio y alimento a diversos animales, incluyendo insectos, aves, reptiles y mamíferos. Estos proporcionan protección contra las inclemencias del clima y depredadores, sirviendo como sitios de anidación para aves y escondites para insectos. La selección de variedades de maguey pulquero comienza identificando zonas adecuadas con clima semiárido y suelos permeables. Las variedades autóctonas son ideales debido a su adaptación y resistencia a plagas. El suelo debe estar preparado y las plantas se distancian de 2 a 3 metros para permitir su crecimiento. Guía sobre cómo seleccionar, plantar y cuidar los magueyales de manera sostenible, incluyendo la elección de variedades autóctonas y la conservación de la diversidad genética. El cultivo del maguey enfrenta problemas comunes, como plagas (gusano blanco, gusano cogollero, ácaro rojo, trips) y enfermedades (roya, antracnosis, Fusarium). Para abordar estos problemas, se utilizan estrategias de control biológico y métodos orgánicos. Estas prácticas sostenibles reducen la contaminación ambiental, son seguras para la salud y son eficientes en el control de plagas y enfermedades en el cultivo de maguey (Sánchez, 2022). Los magueyeros son ecosistemas valiosos que ofrecen alimentos, bebidas y fibras, además de proteger el suelo y el agua. Sin embargo, enfrentan amenazas como la erosión, degradación del suelo y escasez de agua. Para abordar estos problemas, se pueden aplicar diversas técnicas:

- Prevención de la erosión: Se pueden usar barreras vivas, árboles y cultivo en curvas de nivel para detener la erosión causada por el viento y el agua.
- Mejoramiento de la calidad del suelo: Aplicar abonos orgánicos, rotar cultivos y evitar la erosión contribuye a enriquecer el suelo y mantener su fertilidad.
- Conservación de los recursos hídricos: Practicar un riego eficiente, aprovechar el agua de lluvia y plantar árboles ayuda a preservar el agua en los magueyeros.
- Estas técnicas son clave para proteger los magueyeros y asegurar su sostenibilidad a largo plazo.

El maguey (*Agave Salmiana*) o mejor conocido como maguey pulquero es una planta que contiene una gran cantidad de beneficios los cuales pueden ayudar a la naturaleza como el biocombustible “Hay que rescatar y desarrollar la producción de agave pulquero, considerando que Puebla es el centro de origen de dos grandes cultivos de Mesoamérica, el maíz y el agave pulquero desde hace 10,000 años, ambos en la región de Tehuacán y ambos han dado sustento al hombre”, aseguró Humberto Ordóñez (Notimex, 2017). Las pencas pueden aprovecharse secas para combustible, como si fuera leña o carbón, y la hoja como forraje. La fibra que contienen las pencas también puede convertirse en harina para galletas o tortillas o bien para la obtención de hilos que sirven en el armado de costales y cordeles, entre otro. El maguey pulquero (*Agave salmiana*) se produce principalmente en los estados de Hidalgo, Tlaxcala, Estado de México y Puebla. En 2022 la producción de maguey pulquero a nivel nacional fue de 8,757.99 hectáreas sembradas y 4,294.20 cosechadas con una producción de 186,108.08 miles de toneladas, de los cuales, Hidalgo participó con 4,814.70 hectáreas sembradas y 1,322.70 hectáreas cosechadas y una producción de 107,052.08 miles de toneladas lo que representa un 54.97 por ciento a nivel nacional (SIAP, 2023). Dentro de los principales usos que permanecen a la fecha son: el mixiote, como forraje para ganado, fibras textiles, siendo uno de los principales la elaboración de la tradicional bebida de los dioses, el pulque.

Conjunto de productos que se desprenden de las múltiples propiedades del maguey los cuales son: Gusano de maguey (blanco y rojo), Productos elaborados con ixtle, Pulque, Curados. En la actualidad, los productores de pulque de Puebla siguen aplicando diferentes tipos de gestión comunitaria. Por ejemplo, asociaciones de productores de pulque que trabajan para promover lo como una bebida tradicional mexicana algunas de esas asociaciones son:

- **Desarrollos del Altiplano:** Esta asociación agrupa a 300 productores de pulque en Zacatlán de las Manzanas, Puebla, los cuales producen 300,000 litros de pulque al año, 40% de los cuales se exportan a Estados Unidos. La asociación trabaja desde 1998 en el desarrollo de marcas para posicionar al sector. (Sánchez García, 2022, p. 4)
- **Organización de Productores de Maguey y Pulque de Santa María Atzompa:** Esta organización agrupa a 100 productores de pulque en Santa María Atzompa, Puebla, una comunidad con una larga tradición pulquera. La organización trabaja para promover el pulque como una bebida cultural y gastronómica. (Sánchez García, 2022, p. 4)
- **Asociación de Productores de Maguey y Pulque de la Sierra Norte de Puebla:** Esta organización agrupa a 50 productores de pulque en la Sierra Norte de Puebla, una región con una gran diversidad de magueyes. La organización trabaja para promover el pulque como una bebida saludable y sostenible. (Sánchez García, 2022, p. 4)

En México, existen diversos programas que apoyan el sembrío y el apoyo al maguey. Estos programas son promovidos por el gobierno federal, estatal, y municipal, así como por organizaciones privadas. Algunos programas son:

- **Programa Nacional Forestal (PRONAFOR):** Este programa promueve la conservación y el aprovechamiento sustentable de los bosques y selvas de México. El PRONAFOR ofrece diversos apoyos para el cultivo del maguey, incluyendo la distribución de plantas de maguey, la capacitación en técnicas de cultivo.
- **Programa de Fomento a la Industria del Mezcal (PROFOMEZ):** Este programa promueve el desarrollo de la industria del mezcal en México. El PROFOMEZ ofrece diversos apoyos para el cultivo del maguey, incluyendo la asistencia técnica, la capacitación. (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020)
- **Programa de Desarrollo Rural (PRODER):** Este programa promueve el desarrollo rural sustentable en México. El PRODER ofrece diversos apoyos para el cultivo del maguey, incluyendo la asistencia técnica, la capacitación, y el apoyo financiero para la producción.

Las comunidades rurales que cultivan maguey pulquero están involucradas en la toma de decisiones sobre el cultivo, lo que les permite adaptarlo a sus necesidades y prioridades. Esto ayuda a garantizar que el cultivo sea sostenible y beneficie a la comunidad. Además, las comunidades rurales conservan y aplican el conocimiento tradicional sobre el cultivo del maguey pulquero, que ha sido transmitido de generación en generación. Este conocimiento es esencial para garantizar que el cultivo sea sostenible y productivo (Pérez García, 2021, p. 3).

Resultados

Según datos del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), en el estado de Puebla existen 10 municipios que practican el cultivo de maguey, con una superficie total de 846,628 hectáreas. De esta superficie, 79,300 hectáreas, es decir el 9.37%, se destinan al cultivo de maguey.

Municipio	Superficie total (ha)	Superficie de maguey (ha)	Porcentaje de maguey
Izúcar de Matamoros	222,923	13,500	6.07%
Chignahuapan	122,565	9,000	7.38%
Tehuacán	104,700	7,500	7.17%
Calpan	102,200	6,500	6.33%
Cuetzalan del Progreso	68,480	5,000	7.33%
Tlatlauquitepec	67,220	4,500	6.64%
San Martín Texmelucan	59,980	4,000	6.70%
Acateno	56,860	3,500	6.13%
Xicotepetec	12,400	8,200	66.7%
Teziutlán	10,200	6,100	59.4%
Tlatlauquitepec	8,100	4,900	60.5%
Naupan	6,000	3,600	60.0%

Zacatlán	5,000	3,000	60.0%
----------	-------	-------	-------

Tabla 1. Principales municipios productores de Maguey Pulquero en el Estado de Puebla.

El municipio con mayor superficie de maguey es Izúcar de Matamoros, con 13,500 hectáreas, seguido de Chignahuapan, con 9,000 hectáreas. Los municipios de Cuetzalan del Progreso, Tlatlauquitepec y San Martín Texmelucan se encuentran entre los municipios con mayor porcentaje de superficie dedicada al cultivo de maguey, con un porcentaje superior al 6%. La información de esta tabla se basa en datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). La superficie total se refiere a la superficie total de cada comunidad, mientras que la superficie con maguey se refiere a la superficie dedicada al cultivo de maguey pulquero. El porcentaje se calcula dividiendo la superficie con maguey entre la superficie total y multiplicando por 100. Como se puede observar, el cultivo de maguey pulquero es una actividad importante en estas comunidades de Puebla. En promedio, la mitad de las comunidades utilizan el 57,3% de su superficie total para el cultivo de maguey. El cultivo de maguey en distintas regiones del estado de Puebla, México. Los datos incluyen la superficie total de cada zona, la superficie dedicada al cultivo de maguey, y el porcentaje de esta superficie respecto al total.

Para los municipios, se resalta que:

- El municipio con la mayor superficie de maguey es Izúcar de Matamoros (13,500 ha), seguido de Chignahuapan (9,000 ha).
- Los municipios de Cuetzalan del Progreso, Tlatlauquitepec y San Martín Texmelucan tienen más del 6% de su superficie dedicada al cultivo de maguey.
- Xicotepec tiene una gran superficie de maguey pulquero (12,400 ha de 8,200 ha), con un porcentaje del 67.7%.
- Superficie Total y Cultivo de Maguey en Zacatlán: La superficie total de Zacatlán es de 5,000 hectáreas (ha). De esta superficie (3,000 ha) es decir, el (60.0%), se dedica al cultivo de maguey pulquero.

Análisis

1. Importancia del Maguey: El maguey es un cultivo significativo en Puebla, con un uso extensivo de la tierra en ambos municipios y comunidades. Es especialmente prominente en Zacatlán, Chignahuapan y Xicotepec entre las comunidades.
2. Diversidad Geográfica: Existe una distribución geográfica diversa en el cultivo de maguey, lo que sugiere adaptaciones locales y posiblemente variedades diferentes de maguey.
3. Economía y Cultura: El alto porcentaje de terrenos dedicados al maguey en algunas áreas indica su importancia económica y cultural.
4. Las últimas 5 comunidades listadas dedican más del 50% de su superficie al cultivo de maguey.
5. De los 10 municipios mencionados, la superficie total es de 846, 628 ha, de las cuales 79,300 ha (9.37%) se dedican al cultivo de maguey.
6. Otras comunidades como Xicotepec y Teziutlán también tienen más de la mitad de su superficie dedicada al maguey (66.7% y 59.4% respectivamente).
7. Los 10 municipios mencionados en el documento representan aproximadamente el 24.42% de la superficie total del estado de Puebla.

Conclusiones

El análisis de los datos sobre el cultivo de maguey en el estado de Puebla, México, revela varias dimensiones significativas de este cultivo en el ámbito regional. Primero, la extensa dedicación de tierras al maguey, especialmente en comunidades como Zacatlán, Chignahuapan y Xicotepec, subraya no solo su importancia económica sino también su papel en la identidad y tradiciones locales. Este cultivo no es simplemente una actividad agrícola, sino un elemento integral de la cultura y la economía regional, probablemente vinculado a tradiciones como la producción de pulque y otros productos derivados del maguey. La diversidad geográfica en el cultivo del maguey sugiere la presencia de diferentes prácticas y variedades adaptadas a las condiciones locales. Esto implica una rica diversidad biológica y cultural que merece atención tanto para su conservación como para su estudio. La adaptabilidad del maguey a diferentes condiciones ambientales y su valor en varias comunidades lo convierten en un recurso agrícola vital, especialmente en

contextos de cambio climático y desafíos ambientales. Aunque el maguey es conocido principalmente por su uso en la producción de pulque, existe un potencial significativo para diversificar los productos derivados de esta planta. Esto podría incluir la producción de alimentos, fibras, y bioenergía. Hay un campo considerable para la investigación en mejoras agronómicas, prácticas de cultivo sostenible, y desarrollo de variedades de maguey más resistentes y productivas. Esto podría incluir la adaptación al cambio climático, la mejora en la eficiencia del uso del agua, y la conservación de suelos. Derivando en resultados beneficiosos para los principales productores de Maguey (*Agave Salmiana*), dónde existen áreas de oportunidad en la implementación de las prácticas sostenibles en los municipios del Estado de Puebla.

Referencias:

- Autores, V. (2023, 23 mayo). Maguey Pulquero, materia prima para la industria alimentaria. Grupo Milenio. <https://www.milenio.com/opinion/varios-autores/ciencia-tecnologia/maguey-pulquero-materia-prima-industria-alimentaria>
- Cortés, C. (s. f.). «El maguey: una planta milenaria».
- De la Cruz, M. (s. f.). El maguey y sus productos.
- Gutiérrez, M. (2022). «Los diferentes tipos de gestión comunitaria y su aplicación al maguey pulquero en Puebla». Pulquería: Revista Mexicana de la Cultura del Pulque". <https://manufactura.mx/industria/2013/10/30/industrias-moribundas-el-pulque>
- Hernández Xolocotzi, F. J. (2005). El maguey: historia, cultivo y aprovechamiento. México: Fondo de Cultura Económica.
- INEGI. (s. f.). Población de productores de maguey en México. <https://www.inegi.org.mx/>.
- Investigadores UAP. (s. f.). «Cultivo del maguey pulquero en Puebla.» Investigadores UNAM. (2016). «Valor nutricional y medicinal del pulque». Journal of Negative and No Positive Results.
- Jiménez, R. F., Jiménez, I. F., Moreno, R. R., & Alamilla, M. Á. V. (2017). Productos derivados del Maguey alternativa de crecimiento en Atotonilco de Tula y Tetepango Hidalgo. Tepexi boletín científico de la escuela superior tepeji del río. <https://doi.org/10.29057/estr.v4i8.2386> <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/tepeji/n8/a15.html>
- Macías García, J. L. (2014). Maguey pulquero: cultivo, aprovechamiento y conservación. México: Universidad Autónoma Chapingo. Macías García, J. L., & González Pérez, J. (2016). La diversidad genética de los magueyes. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Notimex. (2017, 24 diciembre). Maguey Pulquero, el otro 'oro verde' de México. Manufactura. <https://manufactura.mx/industria/2017/02/03/maguey-pulquero-el-otro-oro-verde>
- Pérez, M. (2021). La resiliencia comunitaria en el cultivo del maguey pulquero en la región de Cholula, Puebla". Revista Mexicana de sociología.
- SADER. (s. f.). Superficie sembrada y la producción de maguey en México. <https://www.gob.mx/agricultura>.
- SAGARPA. (s. f.). «Cultivo de maguey pulquero». www.gob.mx.
- Sánchez, J., & Martínez, J. (2020). «El pulque: una bebida ancestral con potencial para el desarrollo rural sustentable». Geografía Agrícola. Sánchez, J. (2022). «El maguey pulquero en el estado de Puebla: una visión desde la agroecología». Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.

Estudio de la Calidad del Nopal (*Opuntia ficus-indica*) Sometido al Proceso de Escaldado y Almacenamiento a Temperaturas de Refrigeración

Gisela Ortíz Yescas¹, Carlos Alfonso Pérez Aguirre²,
Alejandro Morales Peñaloza³, Arturo Torres Mendoza⁴, Adriana Cortázar Martínez⁵, José Alfredo Pescador Rojas⁶,
Aldo Christiaan Jardínez Vera⁷, Jaime Alioscha Cuervo Parra⁸ y Martin Peralta Gil⁹

Resumen— El nopal es una planta originaria de América, difundida a África, Asia, Europa y Oceanía. Perteneció a la familia Cactaceae, caracterizado por hojas con espinas (cladodios), protegidas por una gruesa cutícula cubierta de cera cuya función es disminuir la pérdida de agua. Existen 10 ó 12 especies utilizadas para producción de nopal verdura (brotes tiernos), fruta (tunas), forraje o para producción de grana de cochinilla y obtener colorante. Según la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Hidalgo ocupa el décimo lugar en producción del nopal a nivel nacional representando una ventaja ya que genera ingresos al comercializarlo. Sin embargo, dentro de los principales problemas que se presenta en la conservación es la aparición de colores pardos debido a la acción enzimática de la enzima polifenoloxidasas, lo que impacta en la calidad del producto final por lo que, el presente se enfoca en usar el método de escaldado como método inhibitorio de la enzima y evitar la aparición de colores pardos en el producto final el cual será almacenado a bajas temperaturas.

Palabras clave—Nopal, Bajas temperaturas, conservación, calidad, escaldado.

I. INTRODUCCIÓN

El nopal es una planta originaria de América, pero se ha difundido hasta África, Asia, Europa y Oceanía. Perteneció a la familia Cactaceae y se caracteriza por sus hojas con espinas que se conocen como cladodios (“nopalitos”), las cuales se encuentran protegidos por una gruesa cutícula cubierta de cera cuya función es disminuir la pérdida de agua (Flores-Valdez, 2003). Dentro del género *Opuntia*, hay solo 10 ó 12 especies utilizadas por el hombre para la producción de nopal verdura (brotes tiernos), fruta (tunas), forraje o para la producción de grana de cochinilla para la obtención de colorante (Saenz-Hernández, 2006). De acuerdo a la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2006).

Entre los cambios fisiológicos ligados con la calidad de frutos se encuentran su apariencia, color, olor y sabor, tamaño, forma, textura, entre otros (Albi y Gutiérrez, 1991). Por otro lado, las bajas temperaturas, para ser preciso, la refrigeración, es uno de los métodos más empleados para alargar la vida útil tanto de frutas frescas como de vegetales ya que retardan los procesos metabólicos y controla los cambios postcosecha en la respiración y maduración. Cabe mencionar que los daños fisiológicos se pueden presentar en cualquier punto de la cadena postcosecha cuando los productos son sometidos al proceso de refrigeración (Morris 1982). Estos daños afectan a diversos vegetales, entre ellos la piña, chirimolla el nopal, entre otros (Paull 1990). Los daños por frío en vegetales más comunes son las lesiones superficiales como el picado, escaldado, áreas quemadas, la exudación del tejido, la decoloración interna y disfunciones de algunos procesos fisiológicos tales como inhibición del desarrollo, falta de maduración aceleración de la senescencia; los cuales repercuten negativamente en la calidad final del producto (Lyons y Breidenbach, 1990).

¹ Gisela Ortíz Yescas es Profesor Investigador de la Escuela Superior de Apan dependiente de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. yescas@gmail.com (autor corresponsal)

² Carlos Alfonso Pérez Aguirre alumno de Ingeniería en tecnología del Frío de la Escuela Superior de Apan, dependiente de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México pe449157@uaeh.edu.mx

³ Alejandro Morales Peñaloza, es Profesor Investigador de la Escuela Superior de Apan, dependiente de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. amorales@uaeh.edu.mx

⁴ Arturo Torres Mendoza, es Profesor Investigador de la Escuela Superior de Apan, dependiente de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. atorres@uaeh.edu.mx

⁵ Adriana Cortázar Martínez es Profesor Investigador de la Escuela Superior de Apan, dependiente de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. acortazar@uaeh.edu.mx

⁶ José Alfredo Pescador Rojas es Profesor Investigador de la Escuela Superior de Apan, dependiente de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. josealfredo_pescador@uaeh.edu.mx

⁷ Aldo Christiaan Jardínez Vera es Profesor Investigador de la Escuela Superior de Apan, dependiente de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. aldo_jardinez@uaeh.edu.mx

⁸ Jaime Alioscha Cuervo Parra es Profesor Investigador de la Escuela Superior de Apan, dependiente de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. alioscha@uaeh.edu.mx

⁹ Martin Peralta Gil es Profesor Investigador de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. martin_peralta10391@uaeh.edu.mx

El nopal, es una hortaliza especial en la dieta mexicana y su consumo se ha recomendado como coadyuvante en enfermedades como diabetes e hipertensión arterial. En la actualidad, la presentación de mayor aceptación en el mercado nacional es la del producto troceado y empacado en bolsas de polietileno; algunas veces almacenadas bajo refrigeración y otras, a temperatura ambiente (Robles-Ozuna, 19979). La vida de anaquel del producto es muy corta debido a tres reacciones de deterioro que ocurren de manera paralela y muy acelerada: a) el rápido cambio del color verde natural a un verde oscuro muy desagradable a la vista y que es producto de reacciones enzimáticas, de las cuales la enzima responsable es la polifenoloxidasas b) el drenado de mucílago, y c) el rápido crecimiento de microorganismos (bacterias, hongos y levaduras) cuya actividad produce mal sabor y olor convirtiendo al producto en un vehículo potencial de intoxicaciones alimentarias (Rodríguez-Félix y Soto, 1992). Generalmente estos mecanismos presentan un efecto sinérgico que acelera el deterioro general del producto.

Uno de los métodos más utilizados para mantener la calidad de frutas y verduras durante periodos prolongados de almacenamiento es el congelado (Fennema, 1989). La calidad de los vegetales congelados es similar a los productos en fresco, además de ser seguros para la salud (Sahagian y Douglas, 1996; Cano, 1996). Uno de los procedimientos que puede aplicarse a los procesos como ha sido el congelado, es el escaldado, el cual consiste en un tratamiento térmico por poco tiempo aplicado a vegetales. Con la aplicación de calor, se logra bajar la carga bacteriana e inactivar las enzimas que causan el deterioro de estos productos (Williams y col., 1986). Específicamente en el caso de la inactivación enzimática, el escaldado debe ser tal que se inactive la enzima responsable del deterioro y se mantenga la calidad del producto (Whitaker, 1991).

Después del desespinado o troceado del nopal se llega a presentar un cambio de color que deriva de las acciones enzimáticas en el vegetal que resultan de un conjunto complejo de reacciones. La primera de ellas, cuando el sustrato presente es un mono fenol, en su transformación en di fenol. La segunda, la transformación del di fenol en quinona. En el caso de la tirosina (mono fenol) se forma primeramente la dopa (di fenol) y luego la dopa quinona (quinona). Se han empleado diferentes técnicas para extender la vida de anaquel, entre ellos la refrigeración, el envasado en atmósferas modificadas, usos de aditivos químicos y cubiertas comestibles. (Ozorio Córdova, 2010). Por otro lado, en el nopal también se ha observado el daño por frío, el cual se manifiesta con un posible cambio de color y resequedad, el cual de igual manera puede estar ligado al contenido enzimático y ejercerse mediante una reacción de sinergia entre las enzimas y las bajas temperaturas, estos cambios impactan directamente sobre la calidad del producto. La vida de anaquel del nopal oscila entre uno y dos días a temperatura ambiente y 4 días en refrigeración convencional. Los principales problemas que limitan la vida de anaquel son las reacciones de deterioro cuando el nopal es cortado (Apodaca, 2016). El objetivo del presente trabajo fue estudiar el efecto del proceso de escaldado del nopal verdura y el impacto de éste sobre la calidad del producto observando el cambio de color originado por el pardeamiento enzimático durante el almacenamiento refrigerado, y así verificar si el proceso de escaldado inactiva a la polifenoloxidasas que es la responsable del cambio de color en el producto. Para el desarrollo del presente proyecto se plantea la metodología que aparece en la siguiente sección.

II. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

A. *Material biológico*

El nopal se obtuvo en el mercado local donde agricultores de la zona se dedican a la comercialización en el municipio de Apan, Hidalgo, México.

Los nopales fueron comprados desespinaados, condiciones en los que normalmente es adquirido por las amas de casa para llevarlo a casa y posteriormente preparar sus alimentos. La razón por la que fueron adquiridos de esa manera es para analizar toda la logística del procesamiento hasta antes de someterlo a los tratamientos que se plantearon.

Para estudiar el efecto del escaldado sobre el cambio de color en el nopal almacenado en refrigeración, se llevaron a cabo dos tratamientos por duplicado:

a) Escaldado sin aditivos (tratamiento control) para analizar el efecto del tratamiento sobre la calidad en el producto final.

Para evaluar la calidad sobre el nivel del cambio del color en el producto final se llevaron a cabo tratamientos con inmersión en una solución de ácido cítrico y ácido ascórbico al 1% (aditivo) y el otro tratamiento, fue escaldado a una temperatura de $70^{\circ}\text{C}\pm 2$ durante 30 segundos. En el primero de ellos, las muestras fueron introducidas en la solución de aditivo durante dos minutos. Mientras que en el segundo tratamiento las muestras solamente fueron escaldadas. Se realizaron los tratamientos por duplicados

Posteriormente las muestras fueron colocadas en un recipiente con hielo de tal manera de alcanzar una temperatura de 2°C. Todas las muestras fueron colocadas en bolsas de plástico eliminando en la medida de lo posible todo el aire contenida en ellas. Las muestras fueron colocadas en el refrigerador y mantenidas a una temperatura de 4°C±2.

De forma periódica fueron revisadas las muestras para evaluar visualmente el cambio de color y demás características como aroma y textura, así como la presencia de zonas de pardeamiento en las diferentes muestras.

Cabe mencionar que el pardeamiento enzimático en nopal, *Opuntia ficus-indica* se ocasiona por la activación de la enzima PPO al ser cortado el cladodio y entrar en contacto con el aire que contiene oxígeno, es entonces cuando se presenta la reacción de oxidación y, por consiguiente, el cambio del color en el producto. El escaldado se propuso con la finalidad de proponer las condiciones para inactivar la enzima polifenoloxidasas. Las muestras, durante todo el periodo de refrigeración fueron constantemente evaluadas.

B. Preparación de las muestras

Las muestras puestas en bolsas de plástico refrigeradas perfectamente cerradas y con el mínimo de aire presente en su interior fueron almacenadas en refrigeración y constantemente revisadas para evaluar el cambio de características organolépticas. Las codificaciones usadas en su evaluación quedaron establecidas como se muestra en la Tabla 1. Donde se especifica detalladamente cada uno de los atributos que se observaron como parámetros de calidad en el nopal.

Apreciación de atributos evaluados en nopal almacenado.			
Olor	Color	Apariencia	Consistencia
<ul style="list-style-type: none"> • Presencia de olor desagradable. • Presencia de olor aceptable pero no marcado. • Presencia de olor característico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida total del color en comparación al nopal recién cortado. • Cambio de color sin afección severa. • Color característico sin cambio mínimo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Presencia marcada de oxidación o cambios físicos desagradables. • Cambios físicos leves sin afección alguna. • Apariencia libre de oxidación, parecido a nopal recién cortado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Totalmente blanda o bastante dura. • Textura firme con ligera flacidez. • Textura similar a nopal recién cortado.

Tabla 1. Niveles de evaluación en cada uno de los atributos determinantes en la calidad del nopal refrigerado.

Análisis de características físicas.

Las muestras fueron revisadas periódicamente diariamente durante siete días, periodo en el cual estaban almacenadas a 4 °C±2. Las muestras fueron pesadas y la pérdida de peso del producto fue de 1% en todo el periodo de tiempo que se mantuvieron las muestras en observación.

Color

En los tratamientos realizados las muestras sumergidas tanto en ácido cítrico como en ácido ascórbico al ser analizadas marcaron un ligero cambio de color respecto de la muestra control en la cual el pardeamiento observado fue ligeramente mayor. En la figura 1, se logra apreciar una fotografía de las muestras que fueron sometidas a refrigeración durante un periodo de siete días. La marcada con el inciso a) se representa a la muestra control mientras que el inciso b) es la que corresponde a la que fue inmersa en una solución de ácido cítrico y ascórbico,

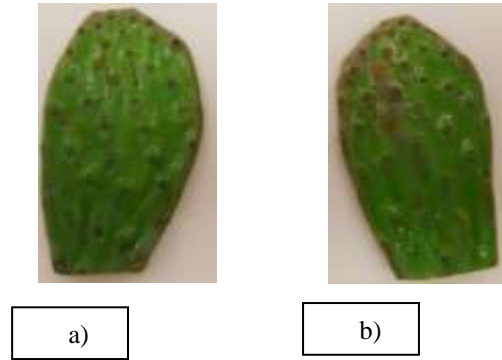


Figura 1. Nivel de pardeamiento enzimático en a) muestra control y en b) muestra sometida a inmersión en solución de ácido cítrico y ácido ascórbico al 1%.

Olor, apariencia y textura

En los tratamientos estudiados (inmersión en solución ácido cítrico-ascórbico 1%) estudiados se encontró que en todas las muestras existe un índice oxidativo observable a simple vista como se aprecia en la Figura 2, donde se muestran fotografías de los tratamientos por duplicado en solución al 1% de ácido cítrico-ascórbico, así como la muestra control que igualmente fue escaldada, pero sin la adición de la solución mencionada. Se puede observar que en ambos casos existe una apariencia como de cocción y nivel de pardeamiento observables a temperatura de 4 °C.

En algunos ejemplares se llegó a observar un aspecto como de quemaduras, lo cual pudo haberse debido al manejo de la temperatura en el proceso de escaldado, en algunas partes se llega a observar una ligera mancha como la de la parte superior en algunos ejemplares quedando el resto del producto en buenas condiciones y con sus propiedades organolépticas aceptables. En este momento se está probando el mismo método con diferente tiempo e implementando un método para mayor eficacia; probándolos en diferentes temperaturas junto con la muestra control.



Figura 2. Muestras de nopal sometidos al proceso de escaldado e inmersión en solución de ácido cítrico-ácido ascórbico al 1%.

En la figura 3, se aprecia la muestra control que solamente fue escaldada sin ser sometida a aditivo alguno, solamente se escaldó con fines de inactivación de la enzima polifenoloxidasasa y visualizar el impacto que tiene la solución de aditivos respecto del cambio de color y otros atributos durante el proceso de refrigeración.



Figura 3. Muestra control de nopal sometido al proceso de escaldado y posterior refrigeración a 4°C.

En la figura 4, se puede observar cómo se comporta organolépticamente la muestra control la cual igualmente fue almacenada a bajas temperaturas durante un periodo de siete días. En la apariencia del producto se muestra viscosa, que igual es un área de oportunidad en la cual se debe trabajar, esta característica fue observada en casi todos los casos, lo cual se debe a la secreción característica del nopal, sin embargo, se está trabajando sobre la inclusión de un aditivo, así como la evaluación adecuada de éste en el producto para contrarrestar dicha apariencia, ya que comercializar un producto con esa presentación podría no ser agradable para el consumidor.



Figura 4. Nopal (sin aditivo añadido) escaldado y almacenado a 4°C.

Del nivel de afectaciones sobre las características de aroma, no se observó cambio desagradable en el producto tanto en el tratamiento por inmersión en la solución, como en la muestra control.

Por otro lado, respecto de la textura, casi todas las muestras y tratamientos experimentaron un cambio de textura hasta alcanzar un cierto nivel de flacidez respecto del nopal fresco, sin embargo, sería interesante evaluar este atributo sensorial mediante un panel de jueces o incluso un texturómetro, importantes instrumentos para contar con información más confiable al realizar las conclusiones sobre la calidad del producto final.

Con respecto a las demás características físicas observadas en el producto se consideran aceptables, sin embargo, sí se requiere realizar una medición mediante un instrumento con mayor precisión.

C. Resumen de resultados

Los resultados marcan que el proceso de escaldado en los diferentes tratamientos para frenar el pardeamiento enzimático en el nopal se minimizan con el proceso de escaldado, sin embargo, se requiere un estudio más exhaustivo sobre otras concentraciones de aditivos y condiciones de temperatura para analizar más detalladamente el impacto sobre la calidad final del producto.

Conclusiones

La calidad del nopal basado en el análisis de sus propiedades organolépticas analizado, el cual fue escaldado y conservado a bajas temperaturas y sometido a inmersión en soluciones de ácido cítrico y ascórbico (1%), no marcaron una diferencia respecto de la muestra control, ya que el cambio de color verde en ambos tratamientos no se observan con efecto marcado, por otro lado, la calidad en nopal en las condiciones de temperatura y concentración de ácido ascórbico y ácido cítrico usados no impactan directamente sobre el color, olor, textura del producto. Sin embargo, si se logró determinar que la calidad visual del nopal verdura sometido a los tratamientos mencionados se vio afectado ligeramente respecto de las muestras en su estado fresco sin tratamiento alguno por lo que haría falta considerar un intervalo mayor o menor de concentración de aditivos en relación a la cantidad de muestra, así como considerar intervalos diferentes de tiempo y temperatura de escaldado de tal manera que impacten positivamente en la calidad del producto final.

D. Recomendaciones

Se recomienda evaluar diferentes concentraciones de los aditivos que contrarrestan el nivel de pardeamiento en el producto durante un periodo de tiempo mayor y en un intervalo diferente de temperatura para analizar el comportamiento del desarrollo enzimático y así poder garantizar el nivel de agrado del consumidor en las propiedades organolépticas en el producto final. Además, es importante señalar que tanto el tiempo como la temperatura de

escaldado se deben optimizar en base a los principales atributos de calidad, ya que si se busca inactivar totalmente la enzima polifenoloxidasas se puede obtener un sobreescaldado que provocaría pérdida de textura, color, valor nutricional entre otras características.

III. REFERENCIAS

- Albi, M.A; Gutiérrez, F. 1991. Parámetros para evaluar el estado de maduración y la calidad de frutos y hortalizas en "El etileno en la maduración y postrecolección de frutos y hortalizas". España.
- Fennema O. (1989). The Frozen food Industry: Key to Competitiveness, Technical Innovations in Freezing and Refrigeration of Fruits Vegetables (D.S. Reid, ed.) International Institute of Refrigeration. Paris. P:1.
- Flores-Valdez, C. A (2003). Importancia del Nopal. In Nopalitos y tunas, C.A. Flores.
- Lyons, J.M; Breidenbach. (1990). Relations of chilling stress to respiration. In "Chilling injury in Horticultural Crops" C.Y. Wang, ed, CRC. Press Boca Raton FIMorris, L. L. (1982). Chilling injury of horticultural crops: An overview. Hortscience 17 (2).
- Paull, R.E. (1990). "Chilling injury of crops of tropical and subtropical origin" In C.Y. Wang (ed). Chilling injury of horticultural crops. CRC. Press. Boca Raton Fla.
- Rodríguez-Félix, A. y Soto, V.H. (1992). Quality changes of diced nopal during storage in polyethylene bags. 3rd. Annual Texas Prickly Pear Council. Proceedings. July 24- 25. Kingsville, Texas. 22-25
- Robles-ozuna, L.E. Goycoolea, F. M., Silveira, M.I, Montoya B, L.C. (2007). Uso del quitosano durante el escaldado del nopal (*Opuntia Ficus Indica*) y efecto sobre su calidad. Revista Mexicana de Ingeniería Química Vol. 6, No.2 (2007) 193-201.
- Sahagian E.M y Douglas.Goff H. (1996). Fundamentals Aspects of Freezing Process. En: Freezing Effects on Food Quality. (Jeremiah L.E Ed.). Marcel Dekker Inc. New York. NY USA. 1-50.
- Whitaker JR. (1991). Enzymes: monitors of food stability and quality. Trends in Food Science & Technology 94-97.
- Williams, C, Miang, H.L, Chen, A.O, Pangborn, R.M. y Whitaker J.R. (1986). Blanching of Vegetables for Freezing Wich Indicator Enzyme to Choose. Food Technology 40 (6), 130-140.

Estudios de Homogeneidad en Arcilla de litio

Luis Daniel Quiroz Garduño¹, Dr. Adrián Sosa Domínguez², M. en C. Maria del Rocio Arvizu Torres³,
M. en C. Francisco Javier Martínez Ríos⁴, I.Q. Edith Valle Moya⁵

Resumen—La homogeneidad es una propiedad que define las condiciones específicas para determinar la calidad metrológica de los materiales de referencia certificados (MRC), asegura la confiabilidad de los valores e incertidumbres asociadas. En este estudio se realizó la evaluación de la homogeneidad en un material de referencia de litio en arcilla de litio para tres diferentes masas de muestra (0.05, 0.10 y 0.25) g y la estimación de incertidumbre debida a la homogeneidad, realizando una digestión ácida de la muestra de arcilla en sistema cerrado asistido por horno de microondas y la medición de Litio empleando el método de calibración externa mediante la técnica analítica de Espectrometría de Absorción Atómica con Atomización con Flama (EAA-F). La evaluación de la homogeneidad se realizó con base a la ISO-Guía 35:2017 Materiales de referencia- Guía para la caracterización y evaluación de la homogeneidad y estabilidad (equivalente a la NMX-CH-165-IMNC-2008), empleando el método estadístico de análisis de varianza de una vía, para las masas de (0.10 y 0.25) g, no se encontró una diferencia significativa entre botellas, ni dentro de las mismas, por lo anterior se realizó la estimación de la incertidumbre de la homogeneidad del material a un 95 % confianza.

Palabra clave—Material de Referencia Certificado (MRC), Litio (Li), Arcilla, Homogeneidad, Incertidumbre.

Introducción

La importancia de las mediciones químicas de litio es parte esencial para promover el desarrollo económico de la actividad minera, por lo cual es necesario disponer de referencia metrológicas para satisfacer las necesidades de México en materia de minería y sus actividades que implican el uso de litio, derivado de sus usos múltiples y beneficios asociados en la exploración, explotación y manejo del mineral de litio. Es por ello, la necesidad de contar con un material de referencia certificado (MRC) de litio con trazabilidad al Sistema Internacional (SI) de unidades.

El desarrollo y certificación de materiales de referencia (MR) implica dar cumplimiento a los requerimientos técnicos y de producción en los MR de acuerdo con la Norma ISO 17043:2016 que establece los requisitos generales para la competencia de los productores de MR. Uno de los requisitos que debe cumplir un MRC es la evaluación de la homogeneidad, que es una propiedad que define las condiciones específicas para determinar la vida útil de los MRC, asegura la confiabilidad de los valores e incertidumbres asociadas. La homogeneidad puede referirse a la variación del valor de una propiedad entre unidades separadas del material o a la variación dentro de cada unidad. Para llevar a cabo un estudio de homogeneidad, se elige un subconjunto de unidades (10 a 30) del lote mediante un esquema de muestreo aleatorio estratificado, se miden los valores de propiedad para cada unidad mediante un procedimiento de medición repetible y los resultados se evalúan mediante métodos estadísticos apropiados para obtener información sobre, la variabilidad entre unidades y la variabilidad dentro de la unidad del material (Guía ISO 35:2017).

La importancia de evaluar la homogeneidad de litio en el MR de arcilla de litio, así como, su incertidumbre asociada radica en evaluar tres masas diferentes del MR, para determinar la cantidad de muestra mínima necesaria para asegurar resultados reproducibles de la fracción de masa de litio, con la finalidad de disponer de un MRC de litio en arcilla en el país con trazabilidad al Sistema Internacional (SI) de unidades.

Objetivo

Estimar la contribución de incertidumbre debida a la homogeneidad de Li en arcilla de litio, empleando la técnica analítica Espectrometría de Absorción Atómica con Atomización con Flama (EAA-F), para tres masas de muestra (0.05, 0.10 y 0.25) g.

¹Luis Daniel Quiroz Garduño es estudiante de la Licenciatura Ingeniería Química en Materiales en la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), Querétaro. lquiroz21@alumnos.uaq.mx

²Dr. Adrián Sosa Domínguez es coordinador de la Licenciatura Ingeniería Química en Materiales en la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), Querétaro. adrian.sosa@uaq.mx

³M. en C. Maria del Rocio Arvizu Torres es coordinador científico de la Dirección de Análisis Inorgánico del Centro Nacional de Metrología (CENAM), Querétaro. marvizu@cenam.mx

⁴M. en C. Francisco Javier Martínez Ríos es metrólogo B de la Dirección de Análisis Inorgánico del Centro Nacional de Metrología (CENAM), Querétaro. fmartine@cenam.mx

⁵I.Q. Edith Valle Moya es coordinador científico de la Dirección de Análisis Inorgánico del Centro Nacional de Metrología (CENAM), Querétaro. evalle@cenam.mx

Metodología

Reactivos, material de laboratorio, materiales de referencia e instrumentación

Reactivos: Ácido nítrico (HNO_3) grado reactivo, ácido bórico (H_3BO_3) grado analítico, peróxido de hidrógeno (H_2O_2) al 30 %, ácido fluorhídrico (HF), ácido clorhídrico (HCl) grado reactivo, agua destilada (18.2 m Ω de resistividad).

Material de referencia certificado (MRC) empleado como calibrador: SRM-3129a lote 100714 Lithium (Li) Standard Solution de origen National Institute for Standards and Technology (NIST), EUA.

Instrumentos: Balanza electrónica, marca Sartorius, modelo AT400, alcance máximo de 200 g y resolución de 1 mg, sistema de digestión de reacción acelerada asistida por microondas (MW), con vasos de alta presión, CEM, modelo Mars 6, Mars X y Mars Xpress, espectrómetro de absorción atómica con atomización con flama (EAA-F), modelo AA-800, marca PerkinElmer.

Limpieza de material

Se realizó la limpieza de vasos de precipitados de teflón PFA, vasos de digestión de alta presión XP-1500, material de polietileno con una disolución de HNO_3 al 20 %, empleando enjuagues con agua destilada (18.2 m Ω de resistividad). Posteriormente el material se secó en campana de flujo laminar con filtro HEPA ISO Clase 5.

Estudio de homogeneidad

Se realizó un muestreo aleatorio estratificado de un total de 256 unidades del lote del MR de arcilla de litio, seleccionando diez unidades. De cada una de las unidades se tomaron dos submuestras, pesando diferentes masas (0.05, 0.10 y 0.25) g (Diagrama 1).

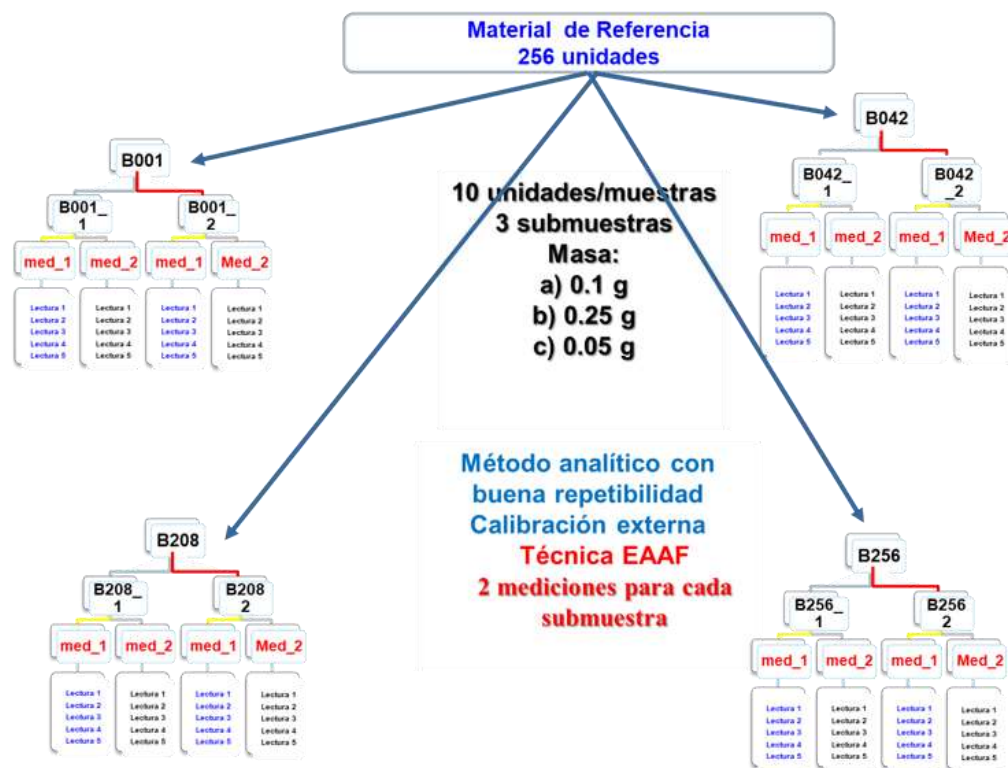


Diagrama 1. Diseño experimental.

Digestión ácida de muestras

Se realizó la digestión ácida de todas las muestras empleando la digestión de reacción acelerada asistida por microondas, empleando vasos de teflón XP-1500 y se adicionaron los siguientes ácidos: 6 mL HNO_3 , 3 mL de HCl y 2 mL de HF. Posteriormente las muestras fueron sometidas a digestión bajo las condiciones instrumentales establecidas (Cuadro 1). Se aplicó un proceso de predigestión a las muestras, seguido de las etapas del método de digestión (1 - 3). Una vez que se concluyó la etapa de digestión 3, las muestras se dejaron enfriar durante toda una noche y al día siguiente se liberó lentamente la presión que contenía cada vaso dentro de una campana de extracción. Posteriormente

se abrieron los vasos de digestión y se les adicionaron 2 mL de H₂O₂ para oxidar la matriz de la muestra. Al día siguiente se aplicaron las etapas de digestión (4 - 6).

Etapa	Tiempo de rampa (min)	Temperatura (°C)	Tiempo de permanencia (min)	Presión (psi)
Predigestión	20	150	50	250
1	15	160	20	200
2	20	170	45	250
3	25	190	35	300
4	15	160	20	200
5	20	170	45	250
6	25	190	35	300

Cuadro 1. Método de digestión ácida en sistema cerrado de reacción acelerada asistida por microondas.

Al término de la digestión ácida, las muestras fueron transferidas a vasos de precipitado de teflón de 125 mL, se adicionó 1 mL de H₃BO₃ al 4.5 % para neutralizar excesos de HF y se sometieron a calentamiento sobre placas de calentamiento a una temperatura de 180 °C, hasta llegar a un volumen aproximado de 5 mL. Finalmente, las muestras se aforaron a 30 g con agua destilada (18.2 mΩ de resistividad), posteriormente se preparó una dilución tomando 5.3 g de alícuota de la muestra digerida y se llevó a una masa de aforo de 20 g con disolución de HNO₃ al 2 % en fracción de volumen para su posterior análisis de la fracción de masa de litio $w(\text{Li}, x)$.

Medición de litio

La medición de litio (Li) se realizó empleando el método de calibración externa mediante la técnica analítica de Espectrometría de Absorción Atómica con Atomización con Flama (EAA-F), a una longitud de onda de $\lambda = 670.8$ nm. Se preparó una curva de calibración contemplando seis disoluciones a diferentes fracciones de masa de litio $w(\text{Li}, x)$ partiendo del SRM-3129a, la medición consistió en medir la curva de calibración y posteriormente las muestras de manera aleatoria con base a una secuencia de medición, incluyendo la medición del punto intermedio de la curva de calibración en mediciones sucesivas por bloques de muestras con base a la secuencia de medición, con la intención de aplicar el factor de corrección de deriva (f_{cd}) instrumental. El modelo matemático para determinar la fracción de masa de litio $w(\text{Li}, x)$ presente en la arcilla de litio, es como se indica en la Ecuación 1:

$$w(\text{Li}, x) = [w(\text{Li}) - w_{\text{bco}}] \cdot \frac{w(\text{Li})_{\text{MRC, med}}}{w(\text{Li})_{\text{MRC, prep}}} \cdot \frac{m_{\text{af1}}}{m_x} \cdot \frac{m_{\text{af2}}}{m_{\text{al}}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

$w(\text{Li}, x)$	Fracción de masa de Li en arcilla de litio, mg/kg
$w(\text{Li}) - w_{\text{bco}}$	Fracción de masa de Li en la muestra de curva de calibración, mg/kg
m_x	Masa de arcilla de litio, g
m_{af1}	Masa de aforo de primera dilución, g
m_{al}	Masa de alícuota en la segunda dilución, g
m_{af2}	Masa de aforo de segunda dilución, g
$w(\text{Li})_{\text{MRC, med}}$	Fracción de masa de litio del MRC medida, mg/kg
$w(\text{Li})_{\text{MRC, prep}}$	Fracción de masa de litio del MRC preparada, mg/kg

Estimación de incertidumbre de la homogeneidad

La estimación de la incertidumbre asociada a la homogeneidad se determinó mediante un análisis de varianza (ANOVA) de una vía del conjunto de valores promedio de la fracción de masa de litio en las muestras $w(\text{Li}, x)$, estableciendo el criterio de $F_{\text{calculado}} < F_{\text{critico}}$ y estimando la incertidumbre como lo indica la Ecuación 2 y 3, cuando existe repetibilidad en el método de medición y Ecuación 4 cuando el método tiene repetibilidad limitada.

$$s_{bb}^2 = \max \left(\frac{M_{\text{entre}} - M_{\text{dentro}}}{n_0} \right) \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

S_{bb} Desviación estándar entre unidades
 M_{entre} Cuadrado medio entre botellas
 M_{dentro} Cuadrado medio dentro de botellas
 n_0 Número de réplicas

$$S^2_{bb} = u^2_{bb} \tag{Ecuación 3}$$

Donde:

S_{bb} Desviación estándar entre unidades
 u_{bb} Incertidumbre entre unidades

$$u'_{entre} = \sqrt{\frac{M_{dentro}}{n_0}} * \sqrt[4]{\frac{2}{v_{Mdentro}}} \tag{Ecuación 4}$$

Donde:

u_{entre} Incertidumbre entre unidades
 M_{dentro} Cuadrado medio dentro botellas
 $v_{Mdentro}$ Grados de libertad dentro de botellas
 n_0 Número de réplicas

Resultados

En el cuadro 2 se presenta la fracción de masa de Li de cada una de las disoluciones empleadas en la curva de calibración, en el Gráfico 1 se muestra la curva de calibración empleada en el cálculo de la fracción de masa de litio en las muestras de arcilla de litio $w(\text{Li}, x)$, $\lambda = 670.8 \text{ nm}$.

Identificación	$w(\text{Li}), \text{mg/kg}$
Bco curva	0.000
1	0.60
2	1.01
3	1.41
4	1.81
5	2.22
6	2.62

Cuadro 2. Curva de calibración $w(\text{Li})$

Las muestras de arcilla de litio para cada masa (0.05, 0.1 y 0.25) g se midieron en tres diferentes días, debido al proceso de preparación de muestras, se preparó una curva de calibración para cada día de medición, empleando el mismo intervalo de fracción de masa para Li, todas las submuestras de cada masa de la muestra fueron medidas en la misma secuencia de medición (Gráfico 2).

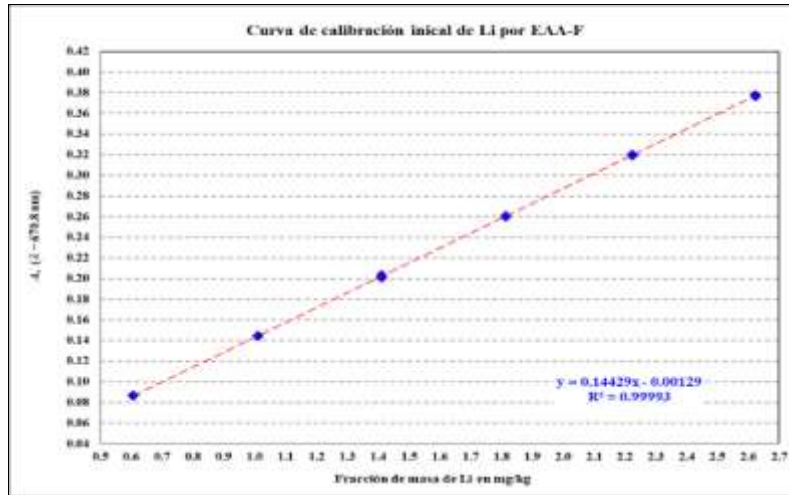


Gráfico 1. Curva de calibración $w(\text{Li})$.

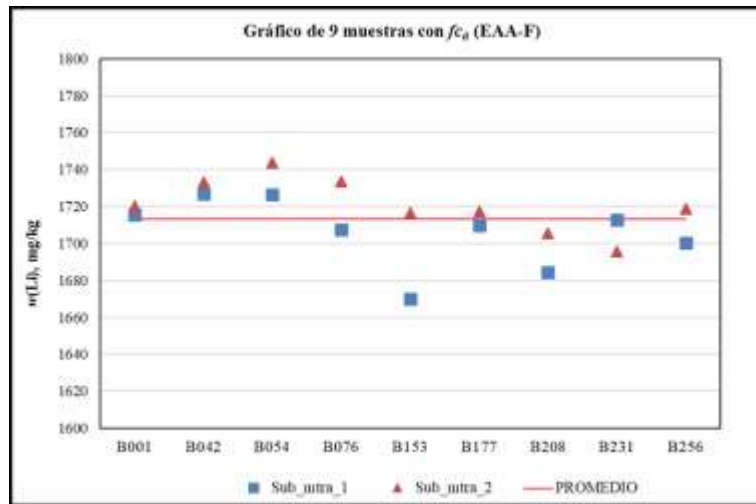


Gráfico 2. Resultados de medición $w(\text{Li}, x)$ en las muestras de arcilla de litio empleando una masa de 0.10 g

El análisis de varianza ANOVA de una vía fue aplicado para los valores de la fracción de masa de litio en las muestras $w(\text{Li}, x)$, para las tres diferentes masas de (0.10 y 0.25) g.

En el Cuadro 3 se presenta el análisis de varianza ANOVA de una vía para los resultados de la homogeneidad empleando una masa de las muestras de arcilla de litio de 0.10 g

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	3332	8	417	1.72	0.21877	3.23
Dentro de los grupos	2185	9	243			
Total	5517	17				

Cuadro 3. Valores del análisis de varianza ANOVA de una vía fue aplicado para incertidumbre de la homogeneidad en las muestras de arcilla de litio.

De la misma manera se realizó el análisis de varianza ANOVA de una vía fue aplicado para los resultados de la fracción de masa de Li obtenidos para las muestras donde se aplicó una masa de (0.25 y 0.05) g.

Para las muestras donde se empleó una masa de (0.25 y 0.1) g se demostró que $F_{\text{calculado}} < F_{\text{critico}}$ (Cuadro 4), por lo que se determina que no hay diferencias significativas estadísticamente entre botellas, ni dentro de las mismas, por lo que se confirmó la homogeneidad del lote. Para la masa de muestra de 0.05 se demostró que $F_{\text{calculado}} > F_{\text{critico}}$ por lo anterior se determina que no es homogéneo empleando ese tamaño de muestra.

Para la estimación de incertidumbre de los resultados de la fracción de masa de Li, obtenidos para las muestras donde se aplicó una masa de (0.25 y 0.10) g, se empleó la ecuación 4 para el método tiene repetibilidad limitada. En el Cuadro 4 se presentan los valores de la incertidumbre.

Masa de muestra (g)	$F_{\text{calculado}}$	F_{critico}	Conclusión	Incertidumbre (mg/kg)
0.05	4.49	3.50	No homogéneo	-
0.10	1.72	3.23	Homogéneo	7.6
0.25	0.48	3.50	Homogéneo	130

Cuadro 4. Valores de incertidumbre de la homogeneidad en las muestras de arcilla de litio.

Conclusiones

El estudio de homogeneidad de las muestras de arcilla de litio, empleando una masa de 0.05 g, determinaron que la fracción de masa de litio $w(\text{Li}, x)$ no es homogénea empleando ese tamaño de muestra.

Para el estudio de homogeneidad de las muestras de arcilla de litio, determinaron que la fracción de masa de litio $w(\text{Li}, x)$ es homogénea para las masas de (0.10 y 0.25) g, por lo que, es recomendable emplear cantidades de masas de muestras mínima de 0.10 g para asegurar resultados reproducibles de la fracción de masa de litio en el material de referencia certificado de arcilla de litio.

Para la estimación de incertidumbre de los resultados de la fracción de masa de Li, obtenidos para el tamaño de muestra de 0.25 g, empleando la estimación de incertidumbre para el método tiene repetibilidad limitada se obtuvo un valor mayor de incertidumbre al compararlo con el valor de la incertidumbre empleando un tamaño de muestra de 0.10 g.

Agradecimientos

La ejecución de este proyecto se realizó bajo el convenio de colaboración de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ) y el Centro Nacional de Metrología (CENAM). Un especial agradecimiento a las personas que participaron en la realización de este proyecto: Dr. Adrián Sosa Domínguez, Dra. Rosalba Hernández Leos, Luis Daniel Quiroz Garduño, Dra. Melina Pérez Urquiza, I.Q. Judith Velina Lara Manzano I.Q. en A. Pedro Ramírez Cruz, I.Q. Francisco Segoviano Regalado, M. en C. Maria del Rocio Arvizu Torres, I.Q. Edith Valle Moya y M. en C. Francisco Javier Martínez Ríos.

Referencias

- Norma ISO 17043:2016 Requisitos generales para la competencia de los productores de materiales de referencia.
Norma ISO-Guía 35:2017 Materiales de referencia- Guía para la caracterización y evaluación de la homogeneidad y estabilidad.
Müller E.I, Mesko M.F, Morales D.P, Korn M.G, Flores E.M. (2014). Wet Digestion Using Microwave Heating. En E.M. de Morales Flores (Ed), Microwave-Assisted Sample Preparation for Trace Element Analysis (pp. 1- 400). Elsevier.
Garitta J.A, Fialho L.L, Oliveira G.S, De Maria, R.M, Pirola C, Ferreira A.G, Nóbrega J.A. (2021). Microwave-Assisted Acid Digestion: Evaluation of Reaction Vessel Design and Performance. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 32(4), 702-711.
Agencia de Protección al Ambiente de Estados Unidos (EPA). (1996). 3052 Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrice.

Didáctica de la Escuela Holística para Mejorar el Rezago con Fracciones: Estudio de Caso de Alumnos del ITIZ

Didactics of the Holistic School, to Improve the Lag with Fractions: Case Study of Itiz Students

Dra. María del Socorro Rivera Casales¹, Dra. Nadia Gil Ruiz², M en C. José Nino Hernández Magdaleno³

Resumen: Este estudio se sitúa en el nivel superior con base en el problema de rezago que presentan los estudiantes de nuevo ingreso en operaciones con fracciones. El objetivo es disminuir el rezago en el aprendizaje, plantear una didáctica de la escuela holística estableciendo estrategias didácticas para el aprendizaje colaborativo, favoreciendo la disminución del rezago existente en operaciones con fracciones en los estudiantes del ITIZ en el curso propedéutico de matemáticas, fortalecer valores y trabajo en equipo. La pregunta de investigación es: ¿Cuáles es la metodología adecuada para plantear una didáctica de la escuela holística, favoreciendo la disminución del rezago existente en operaciones con fracciones en los estudiantes del ITIZ en el curso propedéutico de matemáticas? Es un estudio de enfoque cualitativo, con un diseño de investigación no experimental transversal, donde se obtiene datos en un momento específico; delimitando por cortes de tiempo, la metodología de la investigación tiene tres etapas; diagnóstica, diseño y acción. Los resultados obtenidos: el diagnóstico proporciona evidencias de la saturación de contenidos 43 temas para darlos en 45 horas en condiciones ideales, el resultado del cuestionario diagnóstico, el 66% no supieron resolver la fracción, en la etapa de diseño se elaboran las notas de clase como material de apoyo y las estrategias didácticas holísticas, en la etapa de acción, se aplicó el cuestionario después de la estrategia didáctica, los resultados obtenidos en el estudio de caso son: el 66% resolvió correctamente el ejercicio y el 10% no lo resolvió como se esperaba.

Palabras clave: didáctica, escuela holística, rezago, aprendizaje colaborativo.

Summary: This study is located at the higher level based on the lag problem presented by new students in operations with fractions. The objective is to reduce the lag in learning, propose a didactic of the holistic school establishing didactic strategies for collaborative learning, favoring the reduction of the existing lag in operations with fractions in ITIZ students in the propaedeutic course of mathematics, strengthening values and teamwork. The research question is: What is the appropriate methodology to propose a didactics of the holistic school, favoring the reduction of the existing lag in operations with fractions in the students of the ITIZ in the propaedeutic course of mathematics? It is a qualitative study, with a cross-sectional non-experimental research design, where data are obtained at a specific time; Delimited by time cuts, the research methodology has three stages; Diagnosis, design and action. The results obtained: the diagnosis provides evidence of the saturation of contents 43 topics to give them in 45 hours in ideal conditions, the result of the diagnostic questionnaire, 66% did not know how to solve the fraction, in the design stage the class notes are elaborated as support material and the holistic didactic strategies, in the action stage, the questionnaire was applied after the didactic strategy, the results obtained in the case study are: 66% solved the exercise correctly and 10% did not solve it as expected.

Keywords: didactics, holistic school, lag, collaborative learning.

1. INTRODUCCIÓN

El problema de investigación reside en el rezago que presentan los alumnos de nuevo ingreso en operaciones con fracciones. La actual investigación tiene por objetivo plantear una didáctica de la escuela holística estableciendo una metodología mediada por notas de clase como material didáctico, estrategias didácticas para lograr aprendizajes colaborativos, para mejorar los cálculos con fracciones en un estudio de caso de alumnos del ITIZ (Instituto Tecnológico de Iztapalapa).

La hipótesis de la investigación supone plantear una didáctica de la escuela holística para lograr aprendizajes colaborativos, favoreciendo la disminución del rezago existente en operaciones con fracciones en los estudiantes del ITIZ en el curso propedéutico de matemáticas, fortalecer valores y trabajo en equipo.

¹ Maestra en Ciencias, especialidad matemática educativa (Cinvestav, IPN), Doctorado en Ciencias de la Educación (COLPOS), Estudiante de Posdoctorado en Educación (CESE), ha escrito siete libros científicos y 20 artículos en revistas indexadas, labora (ENP UNAM, TECNAM). <https://orcid.org/0000-0001-7696-2271>

² Maestra y Doctora en Ciencias, especialidad matemática educativa (Cinvestav, IPN). Experta Universitaria en Administración de la Educación por la Universidad a Distancia de España. Posdoctorado en Gobernanza por la OEI y la Universidad de Alcalá de Henares, labora en Centro de Estudios Superiores en Educación. <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0003-3383-7897>

³ Maestro en Administración por ITT, Especialidad en Gestión Educativa por la Universidad Anáhuac, Cuenta con 23 años de experiencia educativa, en 2019 fue condecorado con la medalla al Mérito Docente "José Santos Valdés". Actualmente es director del Tecnológico Nacional de México, Campus Iztapalapa I. <https://orcid.org/0000-0002-8759-1346>

La originalidad de este trabajo se caracteriza por en rescatar la escuela holística para dar una posibilidad de solución en el rezago de operaciones con fracciones.

La pregunta de investigación es: ¿Cuáles es la metodología adecuada para plantear una didáctica de la escuela holística, para disminuir el rezago existente en operaciones con fracciones en los estudiantes del ITIZ en el curso propedéutico de matemáticas?

La metodología didáctica es utilizar la escuela holística en el propedéutico del ITIZ, consta de tres etapas; diagnóstica, diseño y acción, en donde el alumno realizará actividades para ir desarrollando un aprendizaje significativo mediado por el docente, donde se refuerza los conocimientos de ortografía matemática, lectura guiada, ayuda entre todos, respeto, el compartir conocimiento con el apoyo de las notas de clase, tomando en cuenta los conceptos esenciales. El presente proyecto de investigación cuenta con el acceso al ITIZ del TECNM, con una muestra de 15 alumnos del grupo 8 del propedéutico de alumnos de nuevo ingreso, durante tres semanas del 7 al 25 de agosto del 2023, de la materia de matemáticas.

Se destaca la problemática del rezago existente en el aprendizaje de los cálculos con fracciones en los estudiantes de diferentes niveles educativos. Este rezago puede manifestarse de diversas formas, como dificultades para sumar, restar, multiplicar o dividir fracciones, problemas que involucran fracciones, esto da como resultado un alto índice de errores en las resoluciones de los ejercicios aritméticos en especial las fracciones, los docentes de diferentes niveles tienen problemas de una falta de dominio de conceptos básicos por parte de los estudiantes.

1.1 Marco Teórico

El rezago educativo existente es un aplazamiento de conceptos básicos que debe adquirir cada estudiante para cursar el siguiente nivel escolarizado. Se le atribuye a un conjunto de factores externos e internos a los sistemas escolares, que se deriva de una problemática real en la sociedad inmersa en la cada cultura y país. El rezago, en general, es un nivel educativo que cae por debajo del nivel de sus habilidades mínimas generales que nos marcan las propuestas institucionales. El rezago matemático es la falta de habilidades matemáticas necesarias para el desarrollo en la vida diaria que engloban los niveles básicos de educación como lo menciona Torres (2017).

Acorde con Coleman *et al.* (1966) “el término rezago, se utiliza con el propósito de identificar la problemática que tienen los diferentes sistemas educativos en la determinación del aprovechamiento académico de los estudiantes”. El estudio se conoce con el nombre de “Reporte Coleman” donde se observa en sus análisis que las escuelas desempeñan un papel meramente pasivo en la determinación del rendimiento de sus alumnos.

El conteo desempeña un papel crucial en el aprendizaje de las operaciones aritméticas al establecer una base numérica, desarrollar la comprensión de los números para consolidar habilidades matemáticas fundamentales que sienta las bases para el éxito en matemáticas Baroody (1988) no consideró al número un concepto que se adquiere, sino como la consecuencia de la evolución de experiencias de conteo, por lo tanto, éste es fundamental para la comprensión del número y sus operaciones.

De acuerdo con Piaget, el proceso general de desarrollo cognitivo en los niños (y también en etapas posteriores de la vida) responde a dos principios invariables y profundamente correlacionados: asimilación y acomodación Rafael Linares (2008), sostiene que los estudiantes llegan a la escuela con una gran cantidad de conocimientos informales aprendidos por la familia, los amigos, la televisión, en juegos y en la TICS. A estos conocimientos, en particular numéricos, se les conoce como matemática informal Baroody (1988). Esto da paso intermedio entre el conocimiento intuitivo, limitado e impreciso y el impartido en la escuela, basado en símbolos abstractos. Por lo tanto, la matemática informal es fundamental para el dominio de técnicas básicas y poder enfrentarse con éxito a la matemática formal y más avanzada.

Las aportaciones de la enseñanzas-aprendizajes mencionadas por: la Comisión Europea (2004), Delors (1996), Farstad (2004), Flores-Crespo (2006), plantean el significado que le dan los aprendizajes básicos para la vida y sobre cuáles son. Además, las investigaciones surgen de distintas disciplinas teóricas, como la educativa, la psicológica, la ética y la ciudadanía, que nos aportan una definición de estudio de aprendizajes para la vida, conocimientos, habilidades, valores, actitudes que todos los individuos necesitan para construir su identidad, lograr su realización y desarrollo personal, de cualquier nivel educativo, proyectar un futuro mejor; desarrollar relaciones armónicas, para participar eficazmente en los ámbitos personal, social, profesional y político; enfrentar exitosamente los desafíos de la vida diaria y a las situaciones excepcionales; comprender el mundo para influir en él y transformarlo. Una de las principales razones para promover el aprendizaje colaborativo como estrategia didáctica es que beneficia a los estudiantes con bajo desempeño y por las exigencias del mundo actual, tanto en el ámbito académico como en el laboral.

El término “colaboración” desplazó al más tradicional “cooperación”. En este sentido, si bien no hay un criterio unívoco, e incluso se los llega a usar de modo indistinto, se suele establecer una diferencia entre ambos Dillenbourg (1999). Existe un cierto consenso que define a la cooperación como una división de funciones basada en

una repartición de la tarea, lo cual daría lugar a un segundo momento de ensamblaje grupal. El aprendizaje colaborativo implica priorizar actividades para que los integrantes de pequeños grupos de estudiantes, después de recibir las indicaciones del docente y durante el inicio y el desarrollo de las actividades, intercambien información sobre sus conocimientos previos, así como del análisis que deducen de sus investigaciones Alvarado y Molina(2018).

Los principios de los aprendizajes colaborativos son:

- 1) Primer principio: Interdependencia positiva. Considera el elemento principal de este tipo de aprendizaje: de la organización y la forma de trabajo del equipo dependerá el éxito de este. Cada miembro debe comprender que su trabajo o aporte individual van en beneficio propio y del equipo, lo que conlleva a generar la motivación de cada uno de ellos para generar el conocimiento propio y poder establecer un conocimiento grupal.
- 2) Segundo principio: Interacción estimuladora. Éste se relaciona con facilitar el éxito del otro, a través del trabajo en equipo. Para lograrlo, los alumnos deben entender que la participación de todos es de suma importancia, y que no existe la necesidad de opacar el trabajo del otro. Es importante que se fomente el compartir los recursos de forma eficaz y eficiente para ayudarse tanto en lo académico como en lo personal, así como respaldarse y explicarse uno al otro para ejecutar de buena forma el trabajo a realizar.
- 3) Tercer principio: Habilidades interpersonales y de equipo. El éxito del trabajo grupal, parte de las habilidades sociales, para ello es necesario enseñarlas de forma directa. Partiendo de lo anterior, el aprendizaje colaborativo es más complejo que el competitivo, pues se requiere que se aprendan las prácticas relacionadas con el trabajo grupal.
- 4) Cuarto principio. Responsabilidad individual y grupal. Se debe tomar en cuenta que el trabajo individual es un elemento básico para la construcción del conocimiento. Cada miembro debe asumir íntegramente su tarea, y después compartirla con el grupo para recibir las contribuciones. El objetivo de este aprendizaje es fortalecer a cada miembro. En otras palabras, se realiza un aprendizaje en conjunto para desarrollarse como individuos. La responsabilidad individual y grupal, existe cuando se evalúan el progreso del grupo, los esfuerzos individuales que determinarán el logro de los objetivos grupales.
- 5) Quinto principio: Procesamiento grupal. Este principio está basado en la reflexión que realiza el grupo de forma continua, para determinar los procesos útiles, y las fallas a corregir para garantizar el éxito en las siguientes actividades. Todos los miembros deben evaluar cómo están alcanzando las metas, y cuáles han sido sus aspectos positivos y negativos en el desarrollo de la actividad.

Estos principios serán categorías de análisis

1.2 Descripción de la Escuela holística.

La palabra educación proviene del término “educere”, que significa extraer, es decir sacar el conocimiento desde el interior, se trata de potenciar la sabiduría interior a través de la formación de la personalidad. Es un proceso de evolución de la conciencia, a través de la construcción de significados individuales y compartidos. Holístico es un adjetivo que indica que algo es relativo o pertenece al holismo, se forma a partir del término griego ὅλος (hólos, que en español significa total, todo, entero). La educación holística prepara al alumno para seguir aprendiendo de por vida, con lo que el foco educativo se desplaza hacia las habilidades, las actitudes y la conciencia personal que el alumno necesitará en su vida, que se desarrollará en un mundo cada vez más complejo.

En Gluyas (2015) se plantea un modelo de educación holística en los procesos de enseñanza-aprendizaje de los estudiantes con la finalidad de procurar un currículo académico de corte interdisciplinar. Aquello se realiza para colocar al estudiante en un contexto más amplio y complejo donde desarrolle capacidades integrales entre lo aprendido y la realidad inmediata (cultura, política, convivencia). López (2018) indica que la educación se torna significativa cuando el aprendizaje es un proceso amplio, complejo y holístico donde se intercambie los conocimientos académicos y morales, a diferencia de la educación tradicional. Así, la formación académica y cocurricular permite una formación holística en los estudiantes porque se rescata, desde la compleja interdisciplinariedad, la interacción de los intereses o necesidades de los estudiantes, en cuanto a aprendizaje con la capacidad pedagógica de los docentes.

La educación holística surge a mediados de la década de 1980 en Norteamérica, como respuesta a la cosmovisión dominante de educación convencional. Al respecto, Miller (1992), sostiene que la educación holística no debe definirse como un método o técnica particular; sino como un paradigma, un conjunto de suposiciones básicas y principios que se pueden aplicar de diversas maneras. La educación holística aborda el desarrollo integral de las personas, incluyendo los niveles cognitivos y afectivos. Singh (1996), refiere que comprende el cuerpo, las emociones, la mente y el espíritu; es una educación basada en conceptos de totalidad, integridad y unidad. Según menciona Gallegos (2005), el término holístico proviene del griego holos, que es una forma de comprensión de la realidad en función de totalidades. La conciencia holística concibe a la persona como una unidad de desarrollo, algo diferente y mucho mayor que la suma de sus partes. El aprendizaje holístico promueve la eficacia integrando en la experiencia al

cuerpo, mente y espíritu. Propone una nueva forma de vivir, que supere las contradicciones de la sociedad y modelos que no son acordes al tipo de estudiantes de hoy.

Según la concepción holística de la UNESCO (1996), la educación se sustenta en cuatro pilares del aprendizaje: aprender a ser, conocer, hacer y convivir; que se orientan a las cuatro dimensiones de la educación holista: ciencia, sociedad, ecología y espiritualidad: Aprender a ser, se refiere al autoconocimiento. Aprender a conocer o aprender a aprender, significa potenciar habilidades como prestar atención, escuchar, percibir y desarrollar la curiosidad, intuición y creatividad. También se orienta a desarrollar la capacidad de gestionar el auto-aprendizaje para investigar, crear, proponer y actualizar los conocimientos. Aprender a hacer, alude a proponer cambios sociales a través de acciones coherentes y responsables. Desarrollar la capacidad de trabajar en equipo, para desarrollar proyectos y tomar decisiones para generar bienes y servicios de calidad. Aprender a convivir, se trata de ser tolerantes y respetuosos; valorando las diferencias, erradicando los prejuicios, el dogmatismo, la discriminación, el autoritarismo y los estereotipos. Aprender a ser, se refiere al empoderamiento de las capacidades personales. Puede interpretarse como aprender a ser humano, a través de la adquisición de conocimiento, habilidades y valores que conducen al desarrollo de la personalidad en sus dimensiones intelectual, moral, cultural y física. Esto implica un plan de estudios destinado a cultivar cualidades de imaginación y creatividad. Por su parte Miller (2007), propone tres principios básicos que describen a la educación holística: La primera es la conexión, que incluye la integración de las asignaturas con la comunidad; fomentando un vínculo real y proponiendo a los estudiantes a conectarse con su entorno. La segunda es la inclusión, referido a enfoques educativos centrados en las necesidades de los estudiantes de diversas razas y habilidades, valorando las diferencias y promoviendo el respeto. Y la tercera es el equilibrio, que propone el desarrollo de los aprendizajes, la evaluación, las competencias y la comprobación de logros.

2.

3. METODOLOGÍA

2.1 Método

Es un estudio de enfoque cualitativo, con un diseño de investigación no experimental transversal, donde se obtiene datos en un momento específico; delimitando por cortes de tiempo, el escenario para la toma de datos fue clase frente a grupo en el ITIZ, con una muestra de 15 alumnos del grupo 8 del curso propedéutico, durante tres semanas del 7 al 25 de agosto, de la materia de matemáticas, para lograr ver el tipo de aprendizaje empleado, la técnica utilizada es de observación (propuesta didáctica de la escuela holística), cuestionario diagnóstico, notas de clase.

2.2 Procedimiento

La investigación constó de tres etapas; diagnóstica, diseño y acción, Hernandez (2022).

- 1) Primera etapa: diagnóstica. Se realizó una gestión para el acceso al ITIZ del TECNM, con una muestra de 15 alumnos del grupo 8 del curso propedéutico, durante tres semanas del 7 al 25 de agosto, de la materia de matemáticas. Se dirigió una investigación documental al programa realizado para el propedéutico en la materia de matemáticas donde se plantean 43 temas para darlo en 45 horas, se elaboró un cuestionario diagnóstico antes del curso propedéutico.
- 2) Segunda etapa: diseño. Se elaboran las notas de clase como material de apoyo, se diseñan las estrategias didácticas holísticas de aprendizajes colaborativos.
- 3) Tercera etapa: acción. Los análisis tratan de justificar la problemática planteada. En un segundo sentido, se observa lo fundamental identificado en la situación estudiada, se refiere al uso del lenguaje escrito, la observación y dinámicas de la escuela holística.

3. RESULTADOS

Los resultados de la propuesta didáctica colaborativa y sus principios de la escuela holística, sigue los siguientes pasos, el primer diagnóstica, la segunda de diseño, la tercera de acción:

- 1) Primera etapa: diagnóstica. Para la enseñanza de matemáticas en el curso propedéutico, proporcionaron evidencias de la saturación de contenidos 43 temas para darlos en 45 horas en condiciones ideales y no analizaron la comprensión que se otorga en el nivel superior a la enseñanza de conceptos y al razonamiento matemático, Rivera (2021). El resultado del cuestionario diagnóstico, al inicio del curso propedéutico con una duración promedio de 12 minutos, da como resultado: que el 66% no supieron resolver la fracción, el 21% intento resolverlo con errores y el 13% lo resolvió satisfactoriamente. Existe una falta de atención de los alumnos a las indicaciones y en copiar bien, se muestra la tabla 1 con los resultados.
- 2) Segunda etapa: diseño. Se elaboran las notas de clase como material de apoyo, se diseñan las estrategias didácticas holísticas de aprendizajes colaborativos, consiste en un alumno que domina el tema le enseña a un alumno que no entiende y le tiene que enseñar a otro alumno que no sabe y así sucesivamente.

- 3) Tercera etapa: acción. Se aplicó el cuestionario después de la estrategia didáctica mediada por la escuela holística, fomentando respeto, compartir y confianza para resolver fracciones poniendo un ejercicio con una duración de 10 minutos, para ver el nivel que tienen en operaciones con fracciones a 15 estudiantes del grupo 8 del propedéutico turno vespertino, los resultados obtenidos en el estudio de caso son: el 66% resolvió correctamente el ejercicio y el 10% no lo resolvió como se esperaba, como lo muestra la Tabla 2 ,una consecuencia es la pandemia de nos tocó enfrentar, otra consecuencia es que el 65% de los estudiantes que ingresaron al grupo 8 fueron rechazados de su primera elección de la carrera (UNAM, IPN, UAM) , la falta de interés y compromiso de los estudiantes .

4. CONCLUSIONES

La primera etapa del examen de diagnostica muestra en su análisis la falta de interés y de atención en la resolución del ejercicio, como lo muestra la tabla 1.

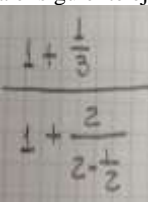

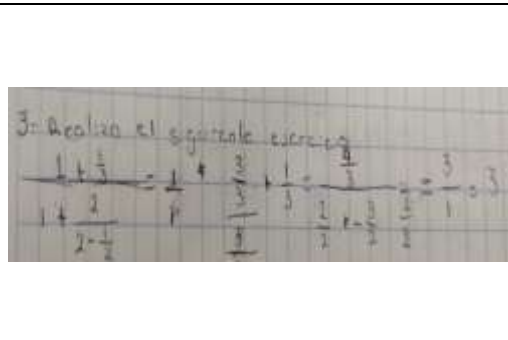
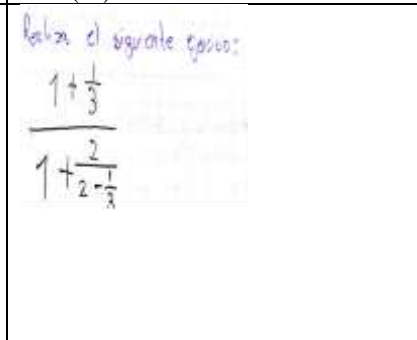
REACTIVOS DEL CUESTIONARIO DIAGNOSTICO	RESPUESTA CORRECTA	ANALISIS DE LAS RESPUESTAS
Realiza el siguiente ejercicio  Solución $\frac{4}{7}$	2 13%	Aprendizaje a corto plazo

Tabla 1. Resultados del cuestionario diagnóstico al inicio del propedéutico, en el estudio de caso de 15 alumnos del ITIZ.

El resultado del cuestionario diagnóstico, antes de las sesiones de enseñanza con una duración promedio de 12 minutos, da como resultado: que el 66% no supieron resolver la fracción, el 21% intento resolverlo con errores y el 13% lo resolvió satisfactoriamente. Existe una falta de atención de los alumnos a las indicaciones y en copiar bien, se muestran los resultados como lo muestra la tabla 1.

La segunda etapa de diseño nos muestra la realizando de las notas de clase abarcando el contenido temático propuesto por la institución (199 páginas). Con 10 temas y 43 subtemas, para impartirlo en tres semanas, tres horas diarias, con un total de 45 horas. Cada subtema se debe dar en 1.04 horas, en condiciones ideales. Se debe administrar las notas de clase como material de trabajo en 13 páginas por día de clase dada real, considerando el trabajo ideal, dando teoría, ejercicios por hacer, se debe considerar que cada estudiante tarde un promedio en realizar un ejercicio 4 minutos. Se concluye una saturación de contenidos y no analizaron las condiciones reales de impartir el curso.

La tercera etapa, consistió en poner en acción las estrategias didácticas holísticas de aprendizajes colaborativos entre los alumnos, se tuvieron respuestas muy positivas como lo muestra la tabla 2.

Respuestas correcta 13% (2)	Respuestas parcialmente correcta 21% (3)	Respuestas Sin responder por que no se acordaron 66% (10)
		

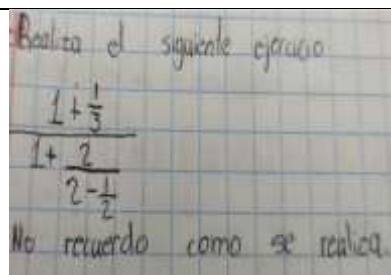
		
Realizo bien el ejercicio	Le falta organización en su solución, confunde sus resultados	Un problema es que copian mal el ejercicio y no se acuerdan al resolver el ejercicio.

Tabla 2. Resultados del cuestionario después de la aplicación de las estrategias didácticas holísticas, en el estudio de caso de 15 alumnos del ITIZ.

El análisis da como resultado una falta: de atención al copiar el ejercicio, de organización al resolver el ejercicio, ganas de esforzarse y recordar.

Concluimos con la construcción de un triángulo de escuela holística (de autoría propia), que es gran ayuda en la enseñanza-aprendiza mediado según la concepción holística de la UNESCO (1996), la educación se sustenta en cuatro pilares del aprendizaje para el trabajo con los alumnos, como lo muestra la figura 1.

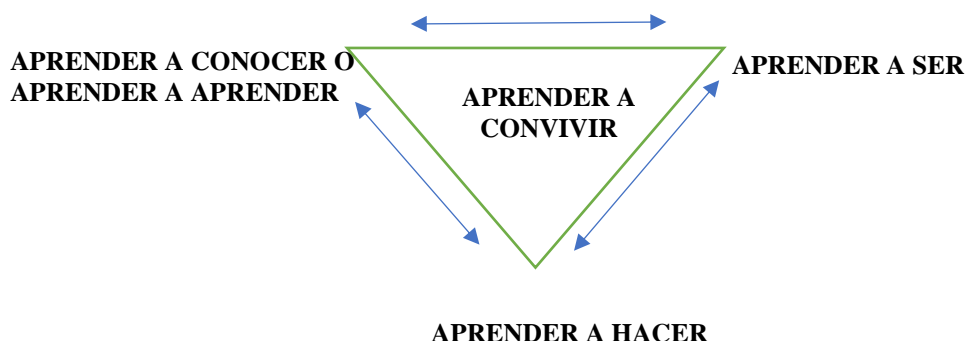


Figura 1. Triángulo unidad pedagógica holística.

Fuente: Elaboración propia con datos de la UNESCO (1966)

La construcción del triángulo metodológico de la escuela holística es una secuencia de saberes vinculadas entre sí que constituyen una unidad pedagógica holística. Cada vértice tiene una razón importante en el trabajo continuo del aula real:

- 1) Aprender a ser, se refiere al autoconocimiento, se refiere al empoderamiento de las capacidades personales.
- 2) Aprender a conocer o aprender a aprender, significa potenciar habilidades como prestar atención, escuchar, percibir y desarrollar la curiosidad, intuición y creatividad. También se orienta a desarrollar la capacidad de gestionar el auto-aprendizaje para investigar, crear, proponer y actualizar los conocimientos.
- 3) Aprender a hacer, alude a proponer cambios sociales a través de acciones coherentes y responsables. Desarrollar la capacidad de trabajar en equipo, para desarrollar proyectos y tomar decisiones para generar bienes y servicios de calidad.
- 4) Aprender a convivir, se trata de ser tolerantes y respetuosos; valorando las diferencias, erradicando los prejuicios, el dogmatismo, la discriminación, el autoritarismo y los estereotipos.

En la tabla 3 presentamos un ejercicio realizado con la pedagogía holística y son destacados los resultados. Se aplicó la técnica de cuadro comparativo donde deben: copiar bien el ejercicio, realizarlo en su estilo propio respetando

su tiempo, ver la aplicación photomath, hacer un análisis de su solución con la photo math y por último escribir donde se aplican las fracciones en la vida cotidiana.

La técnica de la pedagogía holística es el aprendizaje significativo:

apoyarse unos a otros, un alumno que sabe le explica a alguien que no sabe y él le tiene que explicar a alguien que no sabe y así se va la cadena de aprendizaje colaborativo

- 1) Primer principio: Interdependencia positiva (seleccionar al alumno que domina el tema y pedirle que le explique con calma a quien no domina el tema).
- 2) Segundo principio: Interacción estimuladora (el alumno que no domina el tema y empieza a saber cómo se realiza el ejercicio).
- 3) Tercer principio: Habilidades interpersonales y de equipo (el alumno que domina el tema y le enseña al que no domina el tema le da habilidades de trabajo colaborativo).
- 4) Cuarto principio. Responsabilidad individual y grupal (el alumno que no dominaba el tema y tuvo que prestar atención para poder explicarle a otro que no dominaba el tema).
- 5) Quinto principio: Procesamiento grupal (les creó satisfacción el ir explicando poco a poco a cada compañero y crearon un trabajo en equipo).

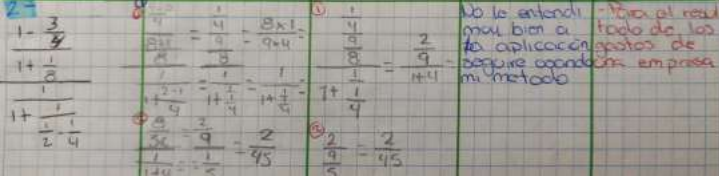
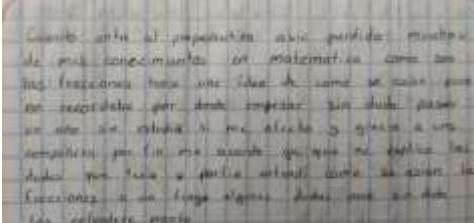
Ejercicio realizado por un alumno	Comentario del uso de la técnica y la pedagogía holística
	

Tabla 3. Ejemplo de un alumno en ejercicio de fracciones logrando un aprendizaje colaborativo de interacción, estimulación, habilidades de equipo, responsabilidad y trabajo en equipo.

Se aplico el cuestionario después de la estrategia didáctica de pedagogía holística, fomentando respeto, compartir y confianza para resolver fracciones poniendo un ejercicio con una duración de 5 minutos, para ver el nivel que tienen en operaciones con fracciones a 15 estudiantes del grupo 8 del propedéutico turno vespertino, los resultados obtenidos en el estudio de caso son: el 66% resolvió correctamente el ejercicio como lo muestra la tabla 3 y el 10% no lo resolvió como se esperaba, una consecuencia es la pandemia de nos tocó enfrentar, otra consecuencia es que el 57% de los estudiantes que ingresaron al grupo 8 fueron rechazados de su primera elección de la carrera (UNAM, IPN, UAM) , la falta de interés y compromiso de los estudiantes .

Análisis de las respuestas del 66% de los estudiantes que resolvieron bien el ejercicio, empleando la pedagogía holística:

- 1) Aprender a ser: El 37% crearon un autoconocimiento al enseñarse uno a otro con sus capacidades personales.
- 2) Aprender a conocer o aprender a aprender: 60% crearon un significado de potenciar sus habilidades de atención, escuchar, percibir y desarrollar la curiosidad en donde se aplican las fracciones.
- 3) Aprender a hacer: Solo el 43% desarrollar la capacidad de trabajar en equipo en ayudarse unos a otros.
- 4) Aprender a convivir: Es difícil enseñarles a ser tolerantes y respetuosos (en sus tiempos de resolver ejercicios, en su trabajo personal, es su estilo propio de resolver el ejercicio), se logró en un 33% de los estudiantes.

Es necesario en la enseñanza y aprendizaje, una buena organización de los docentes e investigadores buscando estrategias diferentes, secuencias fundamentadas, materiales didácticos (digitales o manuales), situaciones didácticas novedosas, para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje, motivando a los alumnos a realizar actividades diferentes a las acostumbradas. De esta manera coadyuvar a reducir el rezago y fortalecer el razonamiento lógico-matemático que apoya el desarrollo de capacidades cerebrales a través de la conexión mente-cuerpo por medio del movimiento y llegar a aprendizajes significativos. Los estudiantes del ITIZ, tiene un aprendizaje continuo y cotidiano en las aulas, los pasillos, el trato con los maestros, compañeros y amigos, pero no siempre están conscientes de lo que han aprendido.

En definitiva, una educación bajo un enfoque holístico pondera el desarrollo de estudiantes con competencias académicas, actitudes positivas y valores sociales aceptables. Es decir, la integralidad educativa de los estudiantes no solo debe centrarse en la adquisición de conocimientos científicos, sino, también, en la enseñanza de valores y

comportamientos morales que formen a un ciudadano competente tanto social como académicamente. Para lograr esto, se precisa de una dirección gerencial educativa desde una perspectiva holística.

A partir de los datos analizados, se propone implementar dentro del proceso enseñanza- aprendizaje el método pedagógico holístico, para promover una educación integral.

Referencias Bibliográficas.

1. Alvarado, A., y Molina, J. (2018). *Experiencias de la incorporación del aprendizaje colaborativo, doblado de papel y tics en la enseñanza de las secciones cónicas*. 34(2), 1–13. <https://doi.org/ISSN: 0378-0524>
2. Baroody, A.J. (1988). *El pensamiento matemático de los niños*. Edit. Visor. Madrid, España.
3. Coleman, J., Campbell, E., Hobson, C., McPartland, J., Mood, A., Weinfeld, F., & Cork, R. (1966). *Equality of Educational Opportunity*. U.S. Government Printing Office.
4. Comisión Europea (2004) Educación y Formación 2010, Competencias Clave para un Aprendizaje a lo largo de la vida, un marco de referencia europeo, Comisión Europea, Dirección General de Educación y Cultura.
5. Delors J. (1996) La educación encierra un Tesoro, México, Ediciones UNESCO
6. Dillenbourg, P. (1999). ¿Qué quiere decir con aprendizaje colaborativo? P. Dillenbourg. *Collaborative learning: Cognitive and Computational Approaches*. Oxford: Elsevier, pp.1-19.
7. Farstad, H. (2004) Las competencias para la vida y sus repercusiones en la educación, Documento de apoyo en el Taller de Calidad de la educación y competencias para la vida de la 47a reunión de la Conferencia Internacional de Educación de la UNESCO,
8. Flores-Crespo, P. (2006) Los retos de México en el futuro de la Educación, México, Consejo de Especialistas para la Educación.
9. Gallegos, R. (2005). Declaración mundial por la educación holista para el siglo XXI. Guadalajara, México. Recuperado de: www.ramongallegos.com
10. Gluyas, R., Esparza, R., Romero, M. y Rubio, J. (2015). Modelo de educación holística: Una propuesta para la formación del ser humano. *Revista de Actualidades Investigativas en Educación*, 15(3), 1-26. <https://doi.org/10.15517/aie.v15i3.20654>
11. Hernandez, N. (2022). La educación superior en México. Edit. Tercer Sol.
12. López, C. (2018). La Educación Holística desde una Perspectiva Humanista. *Revista Scientific*, 3(8), 301-318. <https://doi.org/10.29394/Scientific.issn.2542-2987.2018.3.8.16.301-318>
13. Miller, J. (2007). *The holistic curriculum*. Canadá: University of Toronto Press
14. Miller, R. (1992). *What are schools for: holistic education in American culture?* Brandon, VT: Holistic.
15. Rafael Linares, A. (2008). *Desarrollo Cognitivo: las Teorías de Piaget y de Vygotsky*. Universitat Autònoma de Barcelona.
16. Rivera-Casales, M. S., Mendoza-Rivera, R. J., & Cárdenas-Mendoza, A. (2021). Propuesta de secuencia didáctica utilizando el ábaco Nephualtinzin para los cálculos aritméticos. *RECIE. Revista Caribeña De Investigación Educativa*, 5(2), 7–22. <https://doi.org/10.32541/recie.2021.v5i2.pp7-22>
17. Singh, K. (1996). *Education for the global society, in learning: The treasure within, the report to UNESCO of the International commission on education for the twenty first century*. Paris: UNESCO.
18. Torres Boy, África N., & Nicasio Tovar, D. (2017). ANÁLISIS DEL REZAGO MATEMÁTICO EN ALUMNOS DE NIVEL MEDIO SUPERIOR. *JÓVENES EN LA CIENCIA*, 3(2), 500–504.
19. UNESCO (1996). *The four pillars of education in learning: The treasure within: Report to UNESCO of the international commission on Education for the twenty first century*. Paris: UNESCO.

Macroinvertebrados como Indicadores Bióticos para Determinar la Calidad del Agua en un Segmento del Río Huehuetlán, Puebla, México

Noemi Tlalpa Domínguez¹, Jocelyn Karina García Popoca², M. en C. Hugo Rodolfo Molina Arroyo³, Dra. María Concepción López Téllez⁴, Dr. Ángel Alonso Romero López⁵ y Carlos Montiel Flores⁶

Resumen— En el municipio Huehuetlán el Grande, Estado de Puebla, el río Huehuetlán cruza la Reserva Estatal “Sierra del Tentzo”. Este río, dentro del ANP, recibe las aguas del centro recreativo “Atotonilco”, caracterizado por la presencia de albercas con aguas termales, surgiendo la necesidad de reconocer su efecto sobre el agua del río. Los macroinvertebrados acuáticos, como indicadores bióticos, permiten determinar la calidad del agua, por lo que se planteó utilizarlos para reconocer la calidad del recurso en ese segmento del río. Los organismos fueron recolectados en tres sitios, obteniendo 753 ejemplares pertenecientes a 10 órdenes con 33 familias: Destacaron Veliidae del orden Hemiptera con 180 ejemplares (24%), seguida del orden Odonata con las familias Libellulidae (117 ejemplares; 15%) y la familia Coenagrionidae (113 ejemplares; 15%). Se observaron diferencias entre los sitios muestreados, señalando como “regular” la calidad del agua de esta porción del río Huehuetlán. Se recomienda su análisis permanente.

Palabras clave— Calidad del agua, Macroinvertebrados, Río Huehuetlán, índice de diversidad, indicadores bióticos

Introducción

La Sierra del Tentzo fue declarada Área Natural Protegida (ANP) con carácter de Reserva Estatal en el año 2011, esta cordillera se ubica en el centro del Estado de Puebla y comprende 57,815 hectáreas abarcando 13 municipios (aprox. 1.6% del Estado). Su declaratoria tiene como sustento la importancia que posee al permitir la conservación y protección de hábitats, biodiversidad de especies y paisajes, así como los servicios ecosistémicos y procesos ecológicos que se presentan (SEMADSOT, 2011), sin embargo, su preservación se puede ver amenazada por las actividades antropogénicas, incluyendo el desarrollo urbano y la utilización de sus recursos, entre otros.

El municipio de Huehuetlán el Grande tiene parte de su superficie (parte norte) dentro del ANP, ocupando el tercer lugar en cuanto la superficie dentro de la Reserva con un 13.79%, solo después de San Diego Mesa Tochimiltzingo (15.5%) y Tzicatlacoyan (15.46%). La selva baja caducifolia cubre buena parte de esta área del municipio de Huehuetlán permitiendo la captación de agua para la Sierra con una dirección de flujo de norte a sur, representando una zona de alta captación de agua.

Uno de los cuerpos de agua permanentes más importantes de la Sierra es el escurrimiento conocido como “río Huehuetlán”, nombre que toma el municipio y que cruza desde la Reserva. Este cuerpo de agua también se alimenta por escorrentías en tiempo de lluvias (SIG Puebla, INEGI 2000). El río Huehuetlán sustenta una serie de actividades antropogénicas, destacando las represas para el cultivo de peces, la actividad agrícola y actividades recreativas, todas relacionadas con el uso del recurso. Otra actividad que, si bien no se lleva a cabo en el cauce del río, sí puede impactarlo por que vierte sus aguas en el mismo, es el “Balneario Atotonilco”, centro recreativo de aguas termales que ubicado dentro del ANP (a unos metros del río) presenta 13 albercas, juegos acuáticos, espacios verdes, zona para acampar y palapas.

Como resultado del efecto que tienen las actividades antropogénicas (como los parques acuáticos) sobre ambientes naturales, se han propuesto una serie de estrategias que permiten determinar, en poco tiempo y a bajo costo, el nivel de alteración que se presenta, utilizando para esto componentes del mismo ambiente, tal es el caso de los organismos considerados bioindicadores. Para Roldán G. (1999), “un organismo es un indicador de calidad de agua, cuando este se encuentra invariablemente en un ecosistema de características definidas y cuando su población es porcentualmente superior o ligeramente similar al resto de los organismos con los que comparte el mismo hábitat”.

¹ La estudiante Noemi Tlalpa Domínguez es alumna de la Licenciatura en Biología, de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Edif. 1 BIO 1, Ciudad Universitaria, Puebla, Pue. C.P. 72570, México. (noemi.tlalpa@alumno.buap.mx)

² La estudiante Jocelyn Karina García Popoca es alumna de la Licenciatura en Biología, de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Edif. 1 BIO 1, Ciudad Universitaria, Puebla, Pue. C.P. 72570, México. (jocelyn.garciapo@alumno.buap.mx)

³ El M. en C. Hugo Rodolfo Molina Arroyo es Profesor de la Licenciatura Biología, de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Edif. 1 BIO 1, Ciudad Universitaria, Puebla, Pue. C.P. 72570, México. (rodrolfo.molina@correo.buap.mx)

⁴ La Dra. María Concepción López Téllez es Profesora de la Licenciatura Biología, de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Edif. 1 BIO 1, Ciudad Universitaria, Puebla, Pue. C.P. 72570, México. (concepcion.lopez@correo.buap.mx)

⁵ El Dr. Ángel Alonso Romero López es Profesor de la Licenciatura Biología, de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Edif. 1 BIO 1, Ciudad Universitaria, Puebla, Pue. C.P. 72570, México. (alonso.romerolopez@correo.buap.mx)

⁶ El estudiante Carlos Montiel Flores es alumno de la Licenciatura Biología, de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Edif. 1 BIO 1, Ciudad Universitaria, Puebla, Pue. C.P. 72570, México. (carlos.montiel@alumno.buap.mx)

En específico, los macroinvertebrados acuáticos cuentan con características que los ubican como los mejores bioindicadores para determinar la calidad de agua, su amplia distribución en agua dulce y salada, su amplia diversidad que permite determinar límites de tolerancia a contaminantes, sus ciclos de vida que los ligan al agua durante un periodo largo o bien toda su vida, además de que no se requiere equipo especializado y su recolección e identificación es sencilla (Morales, H. A. 2007; Ortiz, L. L. 2005; Roldan G. 2016).

Para Hanson *et al.* (2010) los macroinvertebrados son aquellos invertebrados que se pueden ver a simple vista o bien que son retenidos por una red de malla de aproximadamente 125µm. La importancia de estos organismos se debe a las interacciones biológicas que efectúan, a su participación en la cadena trófica alimentándose de algunos organismos y sirviendo de alimento para otros, algunos son considerados plagas, y otros sirven de alimento para los seres humanos, por lo que también representan un factor económico importante.

El objetivo del presente trabajo es implementar el análisis de macroinvertebrados acuáticos, como indicadores bióticos, para determinar la calidad del agua de un segmento del “río Huehuetlán” en el Estado de Puebla, el cual está sometido a actividades antropogénicas recreativas.

Metodología

Zona de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en el río Huehuetlán, el cual atraviesa de norte a sur el municipio de Huehuetlán el Grande, el cual se ubica en la parte central del Estado de Puebla. Hidrológicamente este municipio pertenece a la cuenca del río Atoyac.

El segmento del río Huehuetlán que fue considerado para analizar su calidad de agua se estimó en tres puntos los cuales fueron nombrados: “Centro recreativo” (CR), “Río arriba” (RA) y “Río abajo” (RB). El “Balneario Atotonilco”, es un centro recreativo que cuenta con 13 albercas con aguas termales con ubicación (18°45'21.34" N 98°10'32.47" O), por su parte RA y RB se ubican en (18°45'56.32" N 98°10'34.24" O y 18°45'08.94"N 98°10'29.59"O) respectivamente. La distancia entre los puntos de muestreo, a partir del CR fueron de 1100 y 400m hacia RA y RB respectivamente. La altura de los puntos de muestreo fue de 1443msnm para RA, de 1368msnm en el CR y de 1366msnm en el sitio RB

Fase de campo y laboratorio

Durante los meses de marzo y abril del año 2023 se realizaron seis visitas a cada uno de los puntos con un total de 18 muestreos. La recolecta de los macroinvertebrados se llevó a cabo empleando una red de arrastre considerando una distancia de aproximadamente 1.5m de la orilla. Las muestras obtenidas se tamizaron para separar las hojas y el sustrato, permitiendo colectar los macroinvertebrados, a continuación, se colocaron en frascos herméticos etiquetados los cuales contenían Solución Pampel para la fijación de los ejemplares. En esta condición fueron trasladados al laboratorio de Zoofisiología de la Facultad de Ciencias-BUAP. Cabe señalar que durante la recolecta se tomaron algunos parámetros fisicoquímicos del agua.

Ya en el laboratorio, las muestras fueron cambiadas de solución para su preservación, colocándose en alcohol al 70%. La identificación de los ejemplares se llevó a cabo colocándolos en cajas de Petri para su observación en un microscopio estereoscópico con aumentos de 3x y 4x. Se emplearon agujas de disección y pinzas entomológicas. Para la identificación de los organismos se utilizaron claves taxonómicas para macroinvertebrados de agua dulce.

En ecología es de uso común el análisis de los índices de diversidad los cuales incorporan la abundancia relativa de las especies, es sencillo calcularlos y no requieren suposiciones específicas relativas a un cierto tipo de distribución. Para el análisis de la diversidad se consideró el índice de Simpson, el cual expresa la probabilidad de que dos individuos (tomados al azar) pertenezcan a la misma especie. De igual manera se calculó el índice de Shannon el cual mide el contenido de información de cada individuo en muestras obtenidas al azar provenientes de una comunidad ‘extensa’ de la que se conoce el número total de especies S. Cuantifica la variedad de las especies en los ecosistemas y la abundancia relativa con un rango de 0 a 3. Por último, se consideró el índice de Margalef, el cual mide la riqueza específica de un área y la relación entre individuos en un rango de 2 a 5, siendo los valores más cercanos al 2 una diversidad baja y valores cercanos a 5 una diversidad alta. (Bravo-Núñez, E. (1991).

La calidad del agua de los sitios analizados se llevó a cabo aplicando el índice biótico, *Biological Monitoring Working Party (BMWP)*, el cual considera a los macroinvertebrados como indicadores biológicos atribuyéndole a cada familia un valor que va del 1 al 10 considerando su grado de tolerancia a la contaminación. El valor de 10 representa a las familias más sensibles y 1 aquellas que toleran un mayor grado de contaminación. En el presente trabajo se toma el índice BMWP/col, modificado para Colombia por Roldan, G. (2003) (Cuadro 1).

Familias	Puntaje
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blephariceridae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Griptopterygidae, Lampyridae, Odontoceridae, Perlidae, Polymitarcyidae, Polythoridae, Psephenidae	10
Coryphoridae, Ephemerae, Euthyplociidae, Gomphidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Limnephilidae, Oligoneuriidae, Philopotamidae, Platystictidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae	9
Atyidae, Calamoceratidae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydraenidae, Hydroptilidae, Leptoceridae, Naucoridae, Palaemonidae, Pseudothelphusidae, Trichodactylidae, Saldidae, Sialidae, Sphaeriidae	8
Ancylidae, Baetidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Crambidae, Dicteriadidae, Dixidae, Elmidae, Glossosomatidae, Hyalellidae, Hydrobiidae, Hydropsychidae, Leptohiphidae, Lestidae, Ochteridae, Pyralidae	7
Aeshnidae, Ampullariidae, Caenidae, Corydalidae, Dryopidae, Dugesidae, Hyriidae, Hydrochidae, Limnichidae, Lutrochidae, Lymnaeidae, Megapodagrionidae, Mycetopodidae, Pleidae, Staphylinidae	6
Ceratopogonidae, Corixidae, Gelastocoridae, Gyrinidae, Libellulidae, Mesoveliidae, Nepidae, Notonectidae, Planorbidae, Simuliidae, Tabanidae, Thiaridae	5
Belostomatidae, Chrysomelidae, Curculionidae, Ephyridae, Glossiphoniidae, Haliplidae, Hydridae, Muscidae, Scirtidae, Empididae, Dolichopodidae, Hydrometridae, Noteridae, Sciomyzidae	4
Chaoboridae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Stratiomyidae, Tipulidae.	3
Chironomidae (cuando no es la familia dominante), Isotomidae, Culicidae, Psychodidae, Syrphidae	2
Haplaxida, Tubificidae	1

Cuadro 1. Puntuaciones asignadas a las diferentes familias de macroinvertebrados acuáticos para la obtención del *Biological Monitoring Working Party* BMWP/col

Cabe señalar que el mismo autor señala que hay macroinvertebrados que no refieren ningún valor en la bioindicación, lo anterior considerando que su modo de vida o bien las modificaciones que presentan no encajan dentro de los supuestos que se esperan en un organismo bioindicador, algunas de estas familias son: Hidracarina, Chironomidae, Gerridae, Dytiscidae y Veliidae estas últimas reportadas en este trabajo (Álvarez-Arango, L. F. 2005).

Resultados

Con respecto a la diversidad observada en los tres puntos de muestreo en el río Huehuetlán, se reportan un total de 753 organismos pertenecientes a 10 órdenes, entre los que destacan el Orden Coleoptera y el orden Odonata. En total se reportan 33 familias, localizadas de la siguiente manera: 22 familias río arriba (RA), 10 familias en centro recreativo (CR) y nuevamente 21 familias en el punto río abajo (RB). Como se observa hay una marcada disminución (50%) en el número de familias presentes en el área en el cual el río Huehuetlán entra en contacto con la descarga de las aguas del Centro recreativo (Cuadro 2).

Con respecto a la riqueza se determinó que de los sitios con mayor riqueza fueron RA y RB, por otro lado, se observó que el sitio de muestreo con mayor abundancia fue RA, seguido del CR y por último RB.

La familia reportada como más abundante fue Veliidae perteneciente al orden Hemiptera con 180 ejemplares recolectados (24%), seguida de Libellulidae con 117 ejemplares (15 %) y Coenagrionidae con 113 ejemplares (15 %) ambas pertenecientes al orden Odonata, Baetidae perteneciente al orden Ephemeroptera con 69 ejemplares (9 %), Haliplidae perteneciente al orden Coleoptera con 53 ejemplares (7 %), Gomphidae perteneciente al orden Odonata 37 ejemplares (5 %). Las 27 familias restantes presentaron porcentajes menor al 5 % (Figura 1, Figura 2).

Orden	Familias	Río arriba	Centro recreativo	Río abajo	Índice
1) Coleoptera	Dytiscidae	16	10	4	NB
	Elmidae	4	7	1	
	Gyrinidae	1	0	0	
	Haliplidae	50	0	3	
	Hydrophilidae	1	1	3	
	Ptilodactylidae	0	0	7	
2) Diptera	Chironomidae	4	13	8	NB
	Culicidae	1	0	0	
	Ephyridae	1	0	0	
	Tabanidae	0	0	1	
	Dixidae	1	0	0	

3) Ephemeroptera	Baetidae	56	4	9	
	Ephemeridae	2	0	0	
	Leptohyphidae	0	0	2	
	Leptophlebiidae	1	0	0	
4) Haplotaxida	Tubificidae	0	0	1	
5) Hemiptera	Belostomatidae	0	0	2	
	Corixidae	1	0	0	
	Gerridae	16	0	0	NB
	Naucoridae	1	0	0	
	Pleidae	3	0	0	
	Veliidae	180	0	0	NB
6) Odonata	Coenagrionidae	2	81	30	
	Gomphidae	3	30	4	
	Libellulidae	14	81	22	
	Platystictidae	0	0	1	
	Protoneuridae	21	0	1	
7) Podocopida	Cyprididae	0	24	2	NA
8) Sorbeoconcha	Thiaridae	1	0	0	
9) Trichoptera	Hydropsychidae	0	0	9	
	Hydroptilidae	0	0	2	
	Philopotamidae	0	2	6	
10) Veneroida	Sphaeriidae	0	0	1	

Cuadro 2. Macroinvertebrados acuáticos reportados para los tres puntos del segmento de río Huehuetlán que se encuentra relacionado con las aguas termales del Centro recreativo “Atotonilco”. Se señalan como familia no bioindicadora (NB), y como familia no considerada en el índice (NA).



Figura 1. Familias de macroinvertebrados más representativos del segmento del “río Huehuetlán”, en Huehuetlán el Grande, Puebla, México. Veliidae (A), Libellulidae (B), Coenagrionidae (C), Batidae (D) y Haliplidae (E).

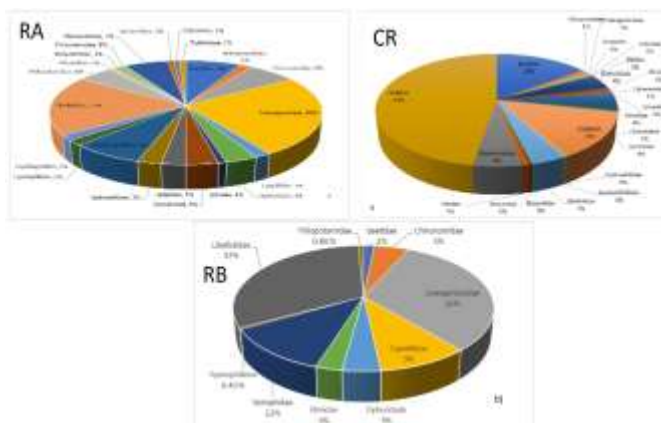


Figura 2. Frecuencia relativa (%) de macroinvertebrados recolectados en el tramo del río Huehuetlan que se encuentra relacionado con las aguas termales del Centro recreativo “Atotonilco”: a) Río arriba (RA), b) centro recreativo (CR), c) Río abajo (RB).

Como resultado del análisis mediante los índices de diversidad estimados, se observó lo siguiente. Por un lado, tomando en cuenta los índices de Shannon y de Magalef se observó que RA y RB la diversidad de macroinvertebrados se considera “media”, por el contrario, en el tramo que estaq en contacto con el agua del centro rereactivo CR la diversidad que se presenta es “baja”. Por otro lado, considerando el índice de Simpson los tres sitios (RA, CR y RB) presentan una diversidad “media” (Tabla. 3).

Al reportar una diversidad “media” se puede hablar de cierto deterioro en el ambiente, sin embargo, el declive verdadero está en el punto dos, sitio en el cual se vierten las aguas termales del Centro recreativo al cause del río. El agua del río fluctua alrededor de los 24°C y el agua de las albercas se ha reportado en 30±0.43°C, incremento de 6 grados, sin embargo, este fenómeno es historico, va más alla del surgimiento del Centro, por lo que deben considerarse también otros parametros fisicoquímicos generados por la actividad humana. Por ejemplo, la dureza del agua, en el caso del río se reportan valores de 230mg/L y en las alberca los valores son de 844±33.7mg/L. Otro ejemplo sería el cloro, el cual puede estar en concentraciones adecuadas en las albercas (por cumplimiento de la Norma), no se tiene claro su efecto en la corriente del río.

Índices de diversidad	Río arriba RA	Centro recreativo CR	Rio abajo RB	Tramo completo
No. de organismos	280	253	120	753
Ordenes	7	6	9	10
Familias	22	10	21	33
Índice de Simpson	0.738	0.766	0.877	0.875
Índice de Shannon	1.820	1.711	2.506	2.454
Índice de Margaleft	3.535	1.626	4.386	4.831

Tabla 3. Indices de diversidad de los macroinvertebrados recolectados en los sitios de muestreo del “rio huehuetlan”, Santo Domingo Huehuetlan el Grande, Puebla, México

La sumatoria de los puntajes de las familias encontradas de cada sitio proporcionó el índice BMWP/col para cada segmento, logrando obtener además la “calidad del agua” que le corresponde y el significado de esta. Para el punto RA se obtuvo un valor del índice de 108 considerando una calidad “Buena”, reconociéndose como aguas muy limpias, no contaminadas, o poco alteradas, en el caso de CR se obtuvo un valor del índice de 49, considerando una calidad “Dudosa”, significando aguas moderadamente contaminadas, finalmente en el sitio RB el valor resultante fue de 116 considerándose nuevamente una calidad del agua “Buena”. Como se puede observar, la actividad humana en el centro recreativo podría estar afectando las poblaciones de macroinvertebrados presentes en ese segmento del río Huehuetlán (Cuadro 4).

Cabe señalar que algunas familias encontradas y reportadas en el tramo de río no son bioindicadores (NB) como Dytiscidae, Chironomidae, Gerridae, Veliidae y otro que no está considerada en el índice (NA) como Cyprididae. Los valores reportados se consideran a partir del resto de las familias.

Punto de muestreo	Índice BMWP/Col	Calidad del agua	Significado
Río arriba, RA	108	Buena	Aguas muy limpias, no contaminadas, o poco alteradas.
Centro recreativo, CR	49	Dudosa	Aguas moderadamente contaminadas
Río abajo, RB	116	Buena	Aguas muy limpias, no contaminadas, o poco alteradas.

Cuadro 4. Valores del índice BMWP/Col, calidad del agua y significado obtenido en cada uno de los puntos de muestreo del “río huehuetlan”, Santo Domingo Huehuetlan el Grande, Puebla, México.

El Balneario de aguas termales “Atotonilco” se ubica en el segmento del Municipio de Huehuetlán el Grande que forma parte del ANP “Sierra del Tentzo”, y aproximadamente a 2.5km de la cabecera municipal. Este Centro recreativo esta administrado por los bienes comunales, agrupación social que ha logrado el desarrollo de este centro turístico para la población local y visitantes de la capital del Estado. Esta actividad recreativa va en aumento presentando su primer efecto sobre el agua termal de los manantiales del sitio, la cual sale del Balneario siendo vertida el “río Huehuetlán”. Por lo anterior resulta necesario mantener un análisis adecuado de la calidad del agua de este segmento del río.

Conclusiones

A partir de la valoración de dos índices de diversidad se observó que la diversidad de macroinvertebrados en los puntos río arriba y río abajo se considera “media”, por el contrario, en el centro recreativo, que recibe las aguas termales, la diversidad es “baja”. Para el índice de Simpson los tres sitios (RA, CR y RB) la diversidad es “media”.

Los valores del índice BMWP/Col, reportados para los tres puntos de muestreo en el “río Huehuetlan” pueden demostrar el efecto de las actividades antropogénicas recreativas en el CR con agua de calidad “aceptable” ligeramente contaminada. Caso diferente se observó a 1100m de distancia en el punto río arriba (RA) con agua de “buena calidad”, similar a la calidad obtenida a 400m de distancia en el punto río abajo (RB).

Para el segmento del “río Huehuetlán” que recibe las aguas termales del Balneario “Atotonilco” se reporta la existencia de familias sensibles a perturbaciones tales como Gomphidae, Ephemeraeidae, Leptohyphidae y Platystictidae, sin embargo, la presencia de familias resistentes a la contaminación como Chironomidae y Tubificidae genera incertidumbre sobre el futuro que puede tener este hábitat toda vez que el centro recreativo está en franco crecimiento.

Se recomienda continuar con el análisis permanente de la calidad del agua del “río Huehuetlán” en este segmento en Santo Domingo Huehuetlan el Grande, Puebla, México. Lo anterior para que los comuneros tomen las medidas pertinentes.

Referencias

- Álvarez-Arango, L. F. “Metodología para la utilización de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad del agua”. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, 2005.
- Hanson, P., Springer, M., & Ramírez, A. “Capítulo 1. Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos”. *Revista de Biología Tropical*, Vol. 58, No. 4, 2010.
- Maroñas, M. E., Marzoratti, G., Vilches, A., Legarralde, T., & Darrigran, G. “Guía para el estudio de macroinvertebrados. II.-Introducción a la metodología de muestreo y análisis de datos”, 2010.
- Morales, H. A. “El uso de macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad de agua”. *Biocenosis*, Vol. 20, 2007.
- Ortiz, L. L. “La bioindicación de la calidad del agua: importancia de los macroinvertebrados en la cuenca alta del río Juan Amarillo, cerros orientales de Bogotá”. *Umbral Científico*, Vol. 7, 2005.
- Roldán P. G. “Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua”. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, vol. 23, No. 88, 1999.
- Roldán, G. “Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica” *Academia colombiana de ciencias exactas, físicas y naturales*. Vol. 40, No. 155, 2016. DOI:10.18257/raccefn.335
- Secretaría de Sustentabilidad Ambiental y Ordenamiento Territorial (SEMADSOT). “Estudio Previo Justificativo para la Declaratoria de la Reserva Estatal Sierra del Tentzo”, 2011. Recuperado de https://smadsot.puebla.gob.mx/images/Estudio_Previo_Justificativo_Tentzo.pdf
- Síntesis de Información Geográfica del estado de Puebla, XII Censo General de Población y Vivienda 2000. INEGI 2000
- Bravo-Núñez, E. “Sobre la cuantificación de la diversidad ecológica” *Hidrobiológica*, Vol. 1, No. 1, 1991.

Evaluación del Volumen y Tipo de Agua que Permitan la Adecuada Germinación y Crecimiento Radicular en Semillas de la Lechuga (*Lactuca sativa*) en Ensayos a 120hr

Nathaniel Usón Hernández¹, Denisse Orozco Gutiérrez², M. en C. Hugo Rodolfo Molina Arroyo³, Dra. María Concepción López Téllez⁴, Dr. Ángel Alonso Romero López⁵, Biól. Emiliano Vázquez García⁶

Resumen—Los protocolos de fitotoxicidad que utilizan semillas de la lechuga *Lactuca sativa* sugieren utilizar como blanco negativo agua destilada (AD) o agua dura reconstituida (ADR) en volúmenes de entre 2 y 5mL, estas variaciones pueden generar incertidumbre debido a que ambos criterios inciden en la posibilidad de obtener una germinación >85% y un crecimiento vigoroso en radícula e hipocótilo esperado en un control negativo. Se establece el volumen y el tipo de agua que permita una mejor germinación y crecimiento en semillas de *Lactuca sativa* a 120hr de exposición. Se colocaron 20 semillas en cajas de Petri de 100mm con 3, 4 y 5mL utilizando AD comercial y ADR por quintuplicado. Respecto a la radícula, el volumen de AD utilizado genera diferencias en el porcentaje de germinación ($p < 0.05$), pero no afecta su crecimiento, respecto al ADR no genera diferencias ($p > 0.05$) en la germinación ni en el crecimiento independientemente del volumen utilizado.

Palabras clave— *Lactuca sativa*, ensayos de toxicidad, control negativo.

Introducción

La contaminación ambiental altera la salud de las poblaciones y el equilibrio de los ecosistemas. Las personas y los animales de vida silvestre pueden estar expuestos a sustancias tóxicas durante su producción, distribución o su utilización ya sea como alimentos, medicamentos, productos de limpieza, insecticidas, entre otros, o bien cuando son vertidos al ambiente. La Organización Mundial de la Salud y la Agencia Estadounidense de Protección del Ambiente (EPA) han estimado que “millones de seres humanos y animales están expuestos niveles elevados de sustancias tóxicas presentes en el agua, suelo, casas, lugar de trabajo o en el ambiente en general” (De Celis *et al.*, 2007).

Como resultado del aumento de la contaminación en el ambiente, se han desarrollado diferentes métodos que permiten evaluar el grado de alteración resultante. En este sentido la medición de los parámetros fisicoquímicos como la temperatura, el pH y el oxígeno disuelto, entre otros, se consideran formas sencillas de valorar sus posibles cambios en el ambiente, o bien el uso de índices de calidad del agua (ICA) que permiten establecer los efectos de la actividad antropogénica sobre la calidad del agua (Morell-Bayard *et al.*, 2015). Posteriormente se pusieron en marcha métodos alternativos que pudieran complementar los tradicionales análisis químicos, los denominados “bioensayos” o “pruebas de toxicidad”, como su nombre lo indica, estos ensayos incluyen organismos vivos en sus pruebas. Este tipo de bioensayos permite medir y analizar la respuesta que presentan los organismos utilizados cuando se exponen a los contaminantes, ya sea reducción en su supervivencia, el crecimiento, alteración en su crecimiento, reproducción o comportamiento (Larraz, 1995).

En específico, en las últimas décadas se han instrumentado los ensayos de fitotoxicidad (bioensayos con plantas) los cuales resultan herramientas rápidas de investigación inicial, permitiendo determinar el efecto tóxico y el grado de toxicidad de los contaminantes a través de respuestas específicas en algún momento del desarrollo de las plantas (Torres, 2003; Pérez *et al.* 2018). Perteneciente a la familia Asteraceae, la lechuga *L. sativa* se caracteriza por ser una planta de fácil germinación, rápido crecimiento y sencillo mantenimiento en condiciones de laboratorio, aunado a lo anterior se ha reconocido que son excelentes bioindicadores, ya que son sensibles a los contaminantes presentes en el ambiente (Torres, *et al.* 2006).

¹ El estudiante Nathaniel Usón Hernández es alumno de la Licenciatura en Biología, de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Edif. 1 BIO 1, Ciudad Universitaria, C.P. 72570, Puebla, Pue., México (nathaniel.uson@alumno.buap.mx)

² La estudiante Denisse Orozco Gutiérrez es alumna de la Licenciatura en Biología, de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Edif. 1 BIO 1, Ciudad Universitaria, C.P. 72570, Puebla, Pue., México. denisse.orozco@alumno.buap.mx

³ El M. en C. Hugo Rodolfo Molina Arroyo es Profesor de la Licenciatura Biología, de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Edif. 1 BIO 1, Ciudad Universitaria, C.P. 72570, Puebla, Pue. México. rodolfo.molina@correo.buap.mx

⁴ La Dra. María Concepción López Téllez es Profesora de la Licenciatura Biología, de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Edif. 1 BIO 1, Ciudad Universitaria, C.P. 72570, Puebla, Pue., México. concepcion.lopez@correo.buap.mx

⁵ El Dr. Ángel Alonso Romero López es Profesor de la Licenciatura Biología, de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Edif. 1 BIO 1, Ciudad Universitaria, C.P. 72570, Puebla, Pue., México. alonso.romerolopez@correo.buap.mx

⁶ El Biól. Emiliano Vázquez García es estudiante de Maestría en Socioecología en El Colegio de Puebla A.C, Av. 41 Pte 505, Gabriel Pastor Ira Sección, C.P. 72420, Puebla, México. emil.socioecologia@gmail.com

Las respuestas que generalmente se evalúan en *Lactuca sativa*, en condiciones de laboratorio, son aquellas que abarcan las etapas iniciales del desarrollo de la planta, periodo en el cual como resultado de la concentración del contaminante, del tiempo de exposición y de la sensibilidad de las semillas y más adelante de las plántulas permiten determinar el efecto tóxico sobre la supervivencia y el desarrollo de las mismas, lo anterior con base en la inhibición en la germinación y la inhibición o retardo en la elongación (crecimiento) de la radícula y del hipocótilo. En específico, al trabajar con este tipo de plantas, lo que se pretende (por protocolo) es lograr en el grupo control (control negativo) una germinación superior al 85%, de preferencia 90% (Sobrero y Ronco, 2004), esto a partir de una elongación en la radícula de mínimo un 1mm para considerarse en el crecimiento (Di Salvatore *et al.*, 2008; Rodríguez *et al.* 2014), si bien hay autores que mencionan que con solo la aparición visible de la radícula ya debe ser considerada (Sobrero y Ronco, 2004; Pérez *et al.* 2018). Lo anterior generalmente en bioensayos a 120hr de exposición.

Los protocolos en toxicología por lo general presentan una alta similitud en términos de materiales, métodos y condiciones ambientales, incluyendo su calibración con controles positivos (principalmente Sulfato de Zinc como tóxico de referencia) lo que permite determinar la sensibilidad de las semillas, arrojando resultados confiables y comparables, contando para ello con guías y criterios nacionales e internacionales, como los propuestos por la EPA, la OECD (Tes N° 208, 2006) o el Instituto de Tecnología del Agua (IMTA) en México. Instancias que proponen los procedimientos a seguir, sin embargo, en el caso de la lechuga se observa que hay aspectos metodológicos variados por lo que se puede optar, y si bien en un inicio parece ventajoso, también pudiera generar incertidumbre cuando se inicia en la implementación de este tipo de bioensayos. El primer aspecto que se menciona es el tipo de agua que se utiliza como diluyente y como control negativo, encontrando que un porcentaje de los autores utiliza agua destilada (Torres y Hernández, 2009; Ratto, *et al.*, 2010; Pérez *et al.* 2018; Urriola *et al.* 2021) y otro grupo de investigadores prefiere utilizar agua dura reconstituida (Bohórquez-Echeverry y Campos-Pinilla, 2007; Sykora *et al.* 2021), por otro lado, se observa que el volumen de agua o muestra a utilizar en los bioensayos también varía, en este caso en un rango que va de entre 2 a 5mL por caja de Petri (Bohórquez-Echeverry y Campos-Pinilla, 2007; Pérez *et al.* 2018; Pernía *et al.* 2018; Sykora *et al.* 2021, Urriola *et al.* 2021).

Desde luego las variaciones que se observan en el montaje de los bioensayos responden al propósito que se persigue en cada caso, a las necesidades y posibilidades de los laboratorios, por lo que en el presente trabajo no se pretende delimitar o encuadrar el método a una línea, lo que se busca es apuntalar, el método o técnica que permita un mejor manejo de los recursos y la obtención de resultados adecuados.

El objetivo del presente trabajo es determinar el tipo de agua, destilada o dura reconstituida, y el volumen de este líquido que resulta más adecuado para lograr una germinación igual o superior al 85% y un crecimiento vigoroso en la radícula y el hipocótilo (como control negativo) en la lechuga *Lactuca sativa* en ensayos de fitotoxicidad a 120hr.

Metodología

Procedimiento

Con la finalidad del determinar cuál es el tipo de agua que resulta más adecuada para conseguir una germinación igual o superior al 85% y un crecimiento vigoroso en la radícula y el hipocótilo de la lechuga (*Lactuca sativa*), ambos factores necesarios en un grupo considerado control negativo, se realizaron bioensayos estáticos a 120hr en los cuales se contrastó agua destilada y agua dura reconstituida en volúmenes de 3, 4 y 5mL por grupo experimental.

El agua destilada se adquirió de la marca comercial “Nacional”. Previo a su utilización se determinaron los siguientes parámetros, el pH (unidades), la dureza (ppm), la alcalinidad (mg/L) y la conductividad (μ S). Por su parte, el agua dura fue preparada con base en la metodología APHA (1998). La solución obtenida se vertió y se almacenó en frascos ámbar de 1L de capacidad. De igual forma, se midieron algunos parámetros fisicoquímicos.

Para determinar el volumen de agua (VA, mL) que permita obtener mejores resultados en la germinación y la elongación radicular y del hipocótilo de *L. sativa* en ensayos de fitotoxicidad, se consideró exponerlas utilizando 3, 4 y 5mL de cada tipo de agua, destilada y dura reconstituida.

Las semillas de *L. sativa* utilizadas en el bioensayo fueron de la marca comercial “Los molinos” (fecha de empaque/caducidad 2023/2024). Estas semillas fueron tomadas al azar entre 3 y 5 mm utilizando claras y oscuras. Solo se separaron aquellas que presuntamente estuvieran fragmentadas. Cada bioensayo inició colocando (distribuyendo) las semillas de *L. sativa* en cajas de Petri de 100mm de diámetro a razón de 20 semillas por placa (Figura 1). Las mismas fueron depositadas sobre papel filtro Whatman número 3, de inmediato se agregó el volumen correspondiente (3, 4 y 5mL) de agua destilada o bien agua dura reconstituida mediante micropipeta (*Labmate htl*). Las cajas de Petri se sellaron con papel Parafilm y se envolvieron con papel aluminio para evitar la luz. Finalmente,

las cajas fueron colocadas en la incubadora de baja temperatura (*Velp Scientifica*), a una temperatura constante de $22 \pm 1^\circ\text{C}$ por 120h. Todos los ensayos se realizaron por quintuplicado.

Concluidas las 120 h se procedió a determinar el porcentaje de germinación (%) y la medición (mm) de la longitud de la radícula y el hipocótilo de cada una de las plántulas. Con este propósito las 20 semillas provenientes de cada caja Petri fueron colocadas sobre papel milimétrico y se fotografiaron. Posteriormente las imágenes fueron procesadas utilizando el software *ImageJ* 1.52 Java (Seneider *et al.* 2012). (Figura 2).

Para determinar el efecto del tipo y del volumen de agua sobre la germinación de las semillas se tomó como criterio la presencia de una radícula igual o mayor a 1mm (Di Salvatore *et al.*, 2008; Rodríguez *et al.* 2014)

Por otro lado, con base en Sombrero y Ronco (2004) el crecimiento de la radícula se consideró desde el nodo (región más engrosada del sistema radicular) hasta el ápice de la raíz, por otro lado, el hipocótilo se consideró desde el nudo hasta el punto de inserción de los cotiledones (Figura 3).



Figura 1. Cajas de Petri de 100mm con semillas de *Lactuca sativa* después de 120hr de exposición en agua destilada y en agua dura reconstituida.

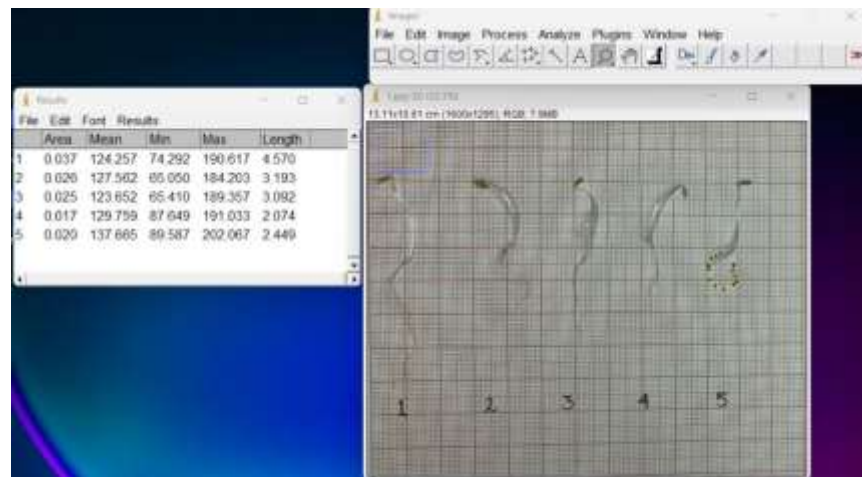


Figura 2. Procesamiento de imágenes para determinar las medidas de la radícula y del hipocótilo en la lechuga *Lactuca sativa* a 120hr de exposición en agua destilada y agua dura reconstituida. *ImageJ* 1.52 Java



Figura 3. Medidas consideradas para determinar la elongación de la radícula e hipocótilo en las plántulas de la lechuga de *Lactuca sativa*. Elaboración propia basada

Análisis de datos

La estadística fue descriptiva, los datos del porcentaje de la germinación y crecimiento de la radícula e hipocótilo se analizaron mediante ANOVA de un factor, con un análisis a posteriori de comparaciones múltiples de Newman-Keuls se determinaron diferencias significativas ($p < 0.05$). Cabe mencionar que los valores porcentuales fueron transformados (arcoseno) para su posterior análisis. El análisis se llevó a cabo mediante el programa estadístico *Statgraphics Centurion XVI*

Resultados

Los parámetros del agua destilada utilizada durante los bioensayos de fitotoxicidad fueron los siguientes: dureza 25ppm, alcalinidad 42mg/L CaCO₃ y conductividad de 0μS. Por su parte, para el agua dura reconstituida los parámetros fueron: dureza 150ppm, alcalinidad 114mg/L CaCO₃ y conductividad de 0.48μS. Como se observa ambas soluciones son acentuadamente diferentes por lo que se espera que tengan un efecto significativo sobre la fisiología de las semillas, su germinación y su elongación.

Agua destilada

Al final de la exposición de 120hr se observó que el agua destilada puede generar cambios significativos ($p < 0.05$) en el porcentaje de germinación según el volumen de agua utilizado, presentándose los mejores porcentajes cuando se utilizan 3 o 4mL con una germinación del 86 y 85% respectivamente.

En ambos casos se obtiene un alto poder germinativo similar al reportado en la literatura, ya que cumple con el requerimiento de protocolos de estudios de fitotoxicidad con *L. sativa*.

Por otro lado, con respecto al crecimiento de la radícula no se observaron diferencias significativas como resultado de los volúmenes de agua utilizados, presentando valores de 1.96, 2.13 y 2.06 cm en 3, 4 y 5mL respectivamente (Cuadro 1).

Comportamiento diferente se observó en el crecimiento del hipocótilo, estructura que se vio modificada en su tamaño (< 0.05) según el volumen de agua destilada que se coloca en la caja de Petri durante 120hr. Los valores observados fueron 2.74, 2.33 y 1.91cm. Como se observa, los mejores porcentajes de germinación también presentan el crecimiento más adecuado.

Vol., mL	Germinación, %	Crecimiento radicular, cm	Crecimiento del hipocótilo, cm
3	86 a	1.96 ± 0.13 a	2.74 ± 0.12 a
4	85 a	2.13 ± 0.15 a	2.33 ± 0.12 b
5	63 b	2.06 ± 0.18 a	1.91 ± 0.15 c

Cuadro. 1. Porcentaje de germinación (G, %) de las semillas de *Lactuca sativa* en diferentes volúmenes de agua destilada (3, 4 y 5mL), crecimiento de la radícula y del hipocótilo. Se muestran valores promedio ± ES. Letras diferentes denotan diferencias significativas ($p < 0.05$), con un nivel del 95.0% de confianza.

Agua dura reconstituida

Respecto al agua dura reconstituida, se observa de manera general, que no hay cambios significativos ($p > 0.05$) sobre el porcentaje de germinación de las semillas, esto independiente al volumen utilizado, sin embargo, al utilizar un volumen de 5mL la germinación alcanza un 85% (Cuadro 2)

Con respecto al crecimiento de la radícula tampoco presenta diferencias significativas por efecto del volumen de agua dura, presentando valores de 2.47, 2.77 y 2.61cm en promedio.

Por último, el crecimiento del hipocótilo se ve favorecido cuando se utiliza agua dura reconstituida, presentando valores promedio de 2.7, 3.39 y 3.55cm respectivamente, siendo el volumen de agua de 4 y 5mL en donde crecen más.

En el volumen de 5mL de agua dura se observa que el porcentaje de germinación es del 85% acompañado del mayor crecimiento observado.

Vol., mL	Germinación, %	Crecimiento radicular, cm	Crecimiento del hipocótilo, favorecidos cm
3	76 a	2.47 ± 0.14 a	2.75 ± 0.17 a
4	78 a	2.77 ± 0.18 a	3.39 ± 0.17 b
5	85 a	2.61 ± 0.17 a	3.55 ± 0.17 b

Cuadro. 2 porcentaje de germinación (G, %) de las semillas de *Lactuca sativa* en diferentes volúmenes de agua dura reconstituida (3, 4 y 5mL), y crecimiento de la radícula y del hipocótilo. Se muestran valores promedio ± ES. Letras diferentes denotan diferencias significativas ($p < 0.05$), con un nivel del 95.0% de confianza.

Conclusiones

La implementación de bioensayos utilizando semillas de la lechuga *Lactuca sativa* ha demostrado su efectividad para determinar, de manera rápida y económica, los efectos de sustancias contaminantes que pueden ser medibles a través de la inhibición de la germinación y la inhibición de la elongación de la radícula y del hipocótilo.

Las semillas de *L. sativa* presentan diferentes niveles de sensibilidad ante el agua destilada y el agua dura reconstituida, lo anterior como resultado de los componentes que en diferentes concentraciones pueden alterar los procesos fisiológicos de las plantas en su primera etapa de desarrollo. En el presente trabajo se observó que el agua dura reconstituida puede favorecer la elongación del hipocótilo las plántulas de *L. sativa*.

Otro aspecto que debe considerarse en la implementación de bioensayos de fitotoxicidad, es el volumen de agua que resulta la más adecuada para hidratar a las semillas y permitir su crecimiento de *L. sativa*. Al parecer en este caso juega un papel más importante el tipo de agua a utilizar (entre destilada y dura reconstituida) que el volumen de la misma.

Recomendaciones

Se sugiere ampliar aquellos estudios que permitan afinar más las técnicas y/o los métodos en los protocolos de investigación de *Lactuca sativa*, lo que permitirá obtener todo el provecho de esta herramienta.

Referencias

APHA. "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th Edition, American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environmental Federation", Washington DC, 1998.

Bohórquez-Echeverry, P., & Campos-Pinilla, C. "Evaluación de *Lactuca sativa* y *Selenastrum capricornutum* como indicadores de toxicidad en aguas". *Universitas Scientiarum*, Vol. 12 No. 2, 2007.

De Celis, R., Bravo, A., Preciado, V. y Díaz A. "La contaminación ambiental y nuestra salud". *Ciencia*, 2007 Obtenido de <https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/index.php/ediciones-antiores/35-vol-58-num-1-enero-marzo-2007/ambiente-y-salud/73-la-contaminacion-ambiental-y-nuestra-salud>.

Larrain, A. "Criterios ecotoxicológicos para evaluar alteraciones ambientales y establecer parámetros de control: Importancia de los Bioensayos de Toxicidad". *Revista Ciencia y Tecnología del Mar*. Cona (Nº Especial), 1995.

Di Salvatore M., Carafa A.M. y Carratù G. "Assessment of heavy metals phytotoxicity using seed germination and root elongation tests: a comparison of two growth substrates". *Chemosphere*, Vol. 73, 2008.

Morell-Bayard, A. D. L. C., Bergues-Garrido, P. S., & Portuondo-Ferrer, E. R. "Valoración de los parámetros fisicoquímicos de las aguas del río San Juan en los períodos húmedo y seco de 2014". *Ciencia en su PC*, Vol. 1, 2015.

OECD (Organization for Economic Co-operation and Development). "OECD Test No. 208: *Terrestrial Plant Test: Seedling Emergence and*

Seedling Growth Test". OECD Publishing, Paris, 2006.

Pérez, N., Balanzó, A., González, Y., González-Pérez, Y. & Marcos, A. "Evaluación de los residuales de coproporfirinas III y sus efectos ambientales (Parte II)". *Tecnología Química*, Vol. 38, No. 3, 2018. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852018000300004&lng=es&tlng=es

Pernía, B., Rojas-Tortolero, D., Sena, L., De Sisto, A., Inojosa, Y., & Naranjo, L. "Fitotoxicidad de HAP, crudos extra pesados y sus fracciones en *Lactuca sativa*: una interpretación integral utilizando un índice de toxicidad modificado". *Revista internacional de contaminación ambiental*, Vol. 34, No. 1, 2018. <https://doi.org/10.20937/rica.2018.34.01.07>

Ratto S.E., Vanier M., Pierini V., Giuffrè L. "Bioensayo de toxicidad aguda con *Lactuca Sativa* en sedimentos contaminados del río Reconquista en disposición final". Buenos Aires, Argentina, 2010.

Rodríguez, A., Robles, C. Ruíz, R., López, E., Sedeño, J. y Rodríguez A. "Índices de germinación y elongación radical de *Lactuca sativa* en el biomonitorio de la calidad del agua del río Chalma". *Revista internacional de contaminación ambiental*, Vol. 30 No. 3, 2014. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992014000300007&lng=es&tlng=es.

Schneider, C. A., Rasband, W. S., & Eliceiri, K. W. "NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis". *Nature Methods*, Vol. 9, No. 7, 2012. doi:10.1038/nmeth.2089

Sobrero, M.C. y A. Ronco. "Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas. Estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones". En Capítulo 4.4. "Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.)". México: IMTA, 2004. Canadá: IDRC, Castillo Morales, G. (ed.).

Sykora, V., Clavijo, A., Calvo, D., Kronberg, M. F., Diaz, S., Gómez, C., Munarriz, E., & Rossen, A. "Aplicación de bioensayos ecotoxicológicos para evaluar la calidad del agua del arroyo Cañuelas (Buenos Aires, Argentina)". *Tecnología Y Ciencias Del Agua*, Vol. 12 No.1, 2021. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2021-01-07>

Torres, M. "Empleo de los ensayos con plantas en el control de contaminantes tóxicos ambientales". *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, Vol.41, 2003. Recuperado de <https://repepidemiologia.sld.cu/index.php/hie/article/view/767/792>

Torres, M., García, M., Hernández, N., & Fernández, M. "Toxicidad aguda de lixiviados acuosos mediante un ensayo con *Lactuca sativa* L." *Higiene y sanidad ambiental*, Vol. 6, 2006.

Torres, M., y Hernández, N. "Determinación toxicológica en aguas de río mediante el empleo de un bioensayo con planta" *Hig. Sanid. Ambient.* Vol. 9, 2009.

Urriola, L., Montes, K., y Díaz, M. "Evaluación de la fitotoxicidad de abonos orgánicos comerciales usando semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y pepino (*Cucumis sativus*)". *Revista Semilla Del Este*. Vol. 1 No. 2, 2021.

Aplicación de Tecnología Inmersiva para Fomentar el Interés en Astronomía en Educación Básica: UNAM-Observatorio Astronómico Nacional en San Pedro Mártir

M.en C. Ivan Zavala Ibarra¹, M.en I. Erica Lugo-Ibarra¹, M en I. Gerardo Sierra Diaz².

Resumen—Este trabajo presenta la creación y aplicación de un modelo de realidad virtual diseñado para que estudiantes de educación básica exploren un observatorio astronómico, incluyendo el telescopio y equipamiento técnico. El modelo se complementa con una dinámica de aprendizaje que facilita la comprensión de conceptos claves relacionados con el proceso de observación astronómica. Para su desarrollo, se empleó el motor de videojuegos Unreal Engine, cuyo código fuente es de libre acceso. Las especificaciones técnicas del recinto y del telescopio se ajustan a la infraestructura de un Observatorio real. La primera fase del modelo permite el acceso al edificio de telescopio e identificar elementos, mientras que la versión final contempla una versión web accesible al público en general. La etapa inicial ha sido presentada con éxito en eventos de divulgación científica, promoviendo el interés por las ciencias y tecnologías entre estudiantes de educación básica.

Palabras clave— Astronomía, realidad virtual, entorno de aprendizaje, aprendizaje virtual, inmersión.

Introducción

La incorporación de tecnologías inmersivas en los procesos de enseñanza-aprendizaje facilitan la construcción del conocimiento, ya que permiten acercar al estudiante al objeto de estudio desde una dimensión experimental que mejoran su comprensión de los elementos sustantivos de la materia de estudio.

En este contexto, la importancia de aprovechar las tecnologías de realidad virtual para acercar a los estudiantes, especialmente desde la formación básica, al estudio de la astronomía tiene un puente de atención no solo en el estudio de los fenómenos que ocurren en el universo, sino en la ingeniería, tecnológica y los procesos de desarrollo tecnológico (Percy, 1998).

La observación del universo, en un sentido general, está al alcance de todos, la curiosidad por la existencia de estrellas, satélites, planetas, galaxias y otros objetos que lo habitan es sin duda un interés compartido (Limón Rugerino, 2019). En el ámbito académico, el estudio de vocaciones científicas, como en este caso la Astronomía, despierta poco interés por los estudiantes, especialmente en educación básica. Al respecto generar propuestas de enseñanza que permitan a los estudiantes conocer y comprender el estudio de la Astronomía así como su relación con la tecnología y la instrumentación, representa una oportunidad de contribuir a la generación de vocaciones profesionales en la ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas.

La Astronomía es sin duda piedra angular del progreso tecnológico a lo largo de la historia, tiene mucho que contribuir al futuro y ofrecer a los seres humanos un sentimiento fundamental de pertenencia a nuestro lugar en un inimaginablemente, vasto e increíble Universo (Finley, 2013). Es por esta razón que el plan estratégico de la Unión Astronómica internacional (IAU) para el 2010-2020 se centra en tres grandes áreas: tecnología y habilidades, ciencia, educación e investigación y cultura y sociedad (IAU,2010).

Estudios recientes muestran las ventajas de incorporar herramientas de realidad virtual en la enseñanza de conceptos astronómicos en estudiantes de educación básica, donde se han presentado avance en el desarrollo y comprensión de lenguaje científico al reconocer elementos del universo, expresar ideas y explicaciones sobre eventos astronómicos, por mencionar algunos (Pérez-Lisboa *et al* 2020; Silva-Diaz *et al* 2021; Vargas-Salazar, 2022).

En este contexto, este trabajo presenta como estrategia la aplicación de tecnología inmersiva, para crear un primer acercamiento en los estudiantes de educación básica, presentando de forma sencilla y accesible el entorno de recinto de observatorio así como los elementos tecnológicos que permiten el desarrollo y estudio de la Astronomía. Para ello, el modelo se fundamenta en las actividades que se realizan en el Observatorio de San Pedro Mártir (OAN-SPM), en Baja California, unidad académica del Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México.

¹ El M. en C. Iván Zavala Ibarra, es Académico, responsable de Computo del Observatorio Astronómico Nacional San Pedro Mártir en Baja California, Instituto de Astronomía, de la UNAM. izavala@astro.unam.mx

¹ La M. en I. Erica Lugo-Ibarra, es Académica, responsable de la Gerencia de Proyectos del Observatorio Astronómico Nacional San Pedro Mártir en Baja California, Instituto de Astronomía, de la UNAM. elugo@astro.unam.mx (**autor corresponsal**)

² El M. en I. Gerardo Sierra Diaz, es Académico, responsable de Diseño Mecánico, del Instituto de Astronomía, Unidad Ensenada, UNAM. gerardo@astro.unam.mx

El Observatorio Astronómico Nacional San Pedro Mártir

El OAN-SPM, se localiza a 2030m sobre el nivel del mar, en el área natural protegida del Parque Nacional Sierra San Pedro Mártir en Baja California México, el sitio es considerado por la comunidad astronómica internacional uno de los cuatro mejores lugar del mundo para realizar observación astronómica (Imagen 1).



Imagen 1. Localización del Observatorio Astronómico Nacional San Pedro Mártir, en el Parque Nacional de la Sierra San Pedro Mártir en Baja California. La imagen muestra además de los recintos de telescopios, al cóndor de California (*Gypnogyps californianus*) y venado bura, fauna emblemática del Parque. Imágenes colaboración de: Felipe León, Ilse Plachu Frayn, Erica Lugo.

Actualmente, el OAN SPM se compone por diez telescopios cuyos diámetros son 2.1m, 1.5m, 1.3m (tres telescopios), 1.0m, 0.84m, 0.60m, 0.50 m y un arreglo de seis telescopios de 0.28m. (IAUNAM, 2023).

En esta primera etapa, el modelo presenta la distribución interior del Telescopio 84cm, así como el recorrido desde este recinto hasta el emblemático Telescopio 2.1m. En la imagen 2, se muestra en color amarillo el camino y el edificio que alberga al telescopio 84cm, además de los telescopios que lo rodean DDOTI y COATLI; de esta forma el estudiante, tiene la oportunidad de conocer estos recintos adiciones durante el recorrido, además de la naturaleza del bosque compuesta por arbustos y diversas clases de pinos.



Imagen 2. Ubicación del Telescopio 84cm y el trayecto descrito en el modelo virtual hacia el Telescopio 2.1m.

Metodología: Construcción del modelo virtual y dinámica de aprendizaje

Consideraciones de planeación educativa para el diseño del modelo y dinámica.

En la planeación del modelo de realidad virtual, se integraron los *elementos* propuestos por Ramaprabha & Sathik, (2012), para escenarios de aprendizaje con *entorno altamente inmersivo* (Diagrama 1). Al respecto, Toca Torres y Carrillo Rodríguez (2019) y Rent et al (2015), precisan que lo modelos altamente inmersivos capta la atención del usuario al ser extremadamente sonora, el usuario interactúa con escenas virtuales por medio de dispositivos como guantes de datos, controladores de juego o los lentes de RV (Head-Mounted Display HMD), estos últimos proporcionan experiencias de inmersión completa aislando cualquier contacto visual del mundo.

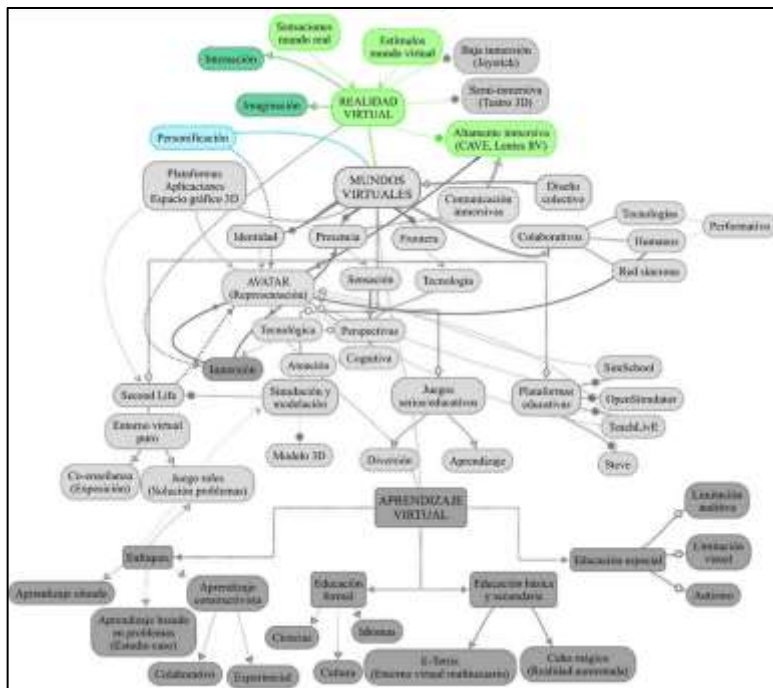


Diagrama 1. Clasificación de tipos de realidad virtual dependiendo del nivel de inmersión y conciencia del usuario, propuesto por Toca Torres y Carrillo Rodríguez (2019).

Elementos del escenario en Modelo de Recorrido Virtual

Como referencia para la definición del escenario del modelo, considera *como usuario de interés* a los niños y niñas de educación básica (Nivel Primaria, grados de 1 al 6 de educación). Lo anterior, considerando como referencia los resultados obtenidos en investigaciones recientes que demuestran una estrecha relación entre la aplicación de modelos de realidad virtual en este segmento de educandos con respecto al incremento de su interés, motivación y desarrollo de actitudes positivas hacia el estudio de las ciencias, las matemáticas e ingeniería (Silva-Díaz, 2021; Truchly et al., 2018; Vera, Ortega y Burgos, 2003).

Esquema general para el desarrollo de la dinámica de aprendizaje

El ejercicio de aprendizaje se diseñó y planeó, en esta etapa inicial del proyecto, para presentarse en eventos específicos de divulgación donde, el entorno está compuesto por: 2 facilitadores (un explica la dinámica y contenido de la exposición y el otro capacita en el uso de los elementos tecnológicos), la participación de los estudiantes del nivel básico es voluntaria, el *entorno o espacio esta controlado* en términos de: tiempo de participación (15min), orden de participación y definición del objetivo de la dinámica. El diagrama 2, presenta la organización de la interacción en la dinámica de los participantes. Tenemos 3 participantes: 1) los facilitadores, son los responsables de explicar el proceso de observación astronómica y conceptos de interés, 2) los estudiantes y 3) los docentes responsables del grupo.

Entorno diseño del Recorrido Virtual

El diseño del recorrido se realizó con el Unreal Engine, es uno de los motores de juego más utilizados y populares en la actualidad, desarrollado por la compañía Epic Games. Se basa en código C++ y tuvo su primera versión en 1998, aunque no fue hasta 2015 que se volvió accesible de forma gratuita y pública. Este motor de juego proporciona un entorno integral para el desarrollo, incorporando herramientas esenciales para la creación de juegos y simulaciones.

Ofrece un amplio abanico de funciones, que incluyen un editor de video, estudio de sonido, programación de código y renderización de animaciones, entre otras características destacadas y experiencias positivas en aplicaciones para diseño de entornos de aprendizaje (Quintero-Guerrero et al 2008; Guerrero – Pena et al 2009; UE, 2023).

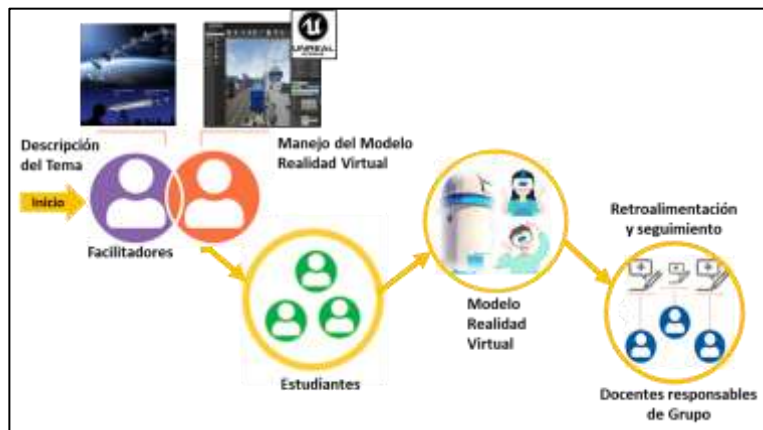


Diagrama 2. Modelo de interacción entre los participantes de la dinámica de aprendizaje.

La dinámica de aprendizaje (imagen 3), se desarrolla en 4 fases: Fase 1) presentación de contenido, Fase 2) interacción con la tecnología, Fase 3) imaginación-estimulo mundo virtual y fase 4) el cierre con la retroalimentación.



Imagen 3. Esquema general para el desarrollo de la dinámica de aprendizaje del recorrido virtual.
Imágenes 1) Mara Salazar/Barbara Castrejón DGDC UNAM, 2) Edgar Cadena Zepeda IA-UNAM.

Fase 1. Presentación del contenido. El facilitador presenta un video explicativo del proceso de observación astronómica, utilizando como ejemplo el proyecto Colibri (Colibri, 2023). Se mencionan los conceptos y elementos que componen al edificio y al instrumento. Asimismo, se realizan preguntas, y se exhorta a los estudiantes a responderlas una vez concluido el recorrido.

Fase 2. Interacción con la Tecnología. El facilitador capacita al estudiante en el uso de los lentes, el control y lo introduce en el escenario y explica los comandos de acción.

Fase 3. Imaginación. El facilitador realiza preguntas de reto al participante, y a partir del resultado se define el tipo de recorrido a realizar. Hay 2 opciones de recorrido, al interior del edificio y al exterior explorando los edificios de telescopios disponibles en el escenario. La duración de la experiencia es de 15min.

Fase 4. Retroalimentación. Al finalizar, los facilitadores realizan preguntas a los estudiantes, y se otorga un premio simbólico (souvenir del observatorio) a quienes respondan correctamente. Los facilitadores establecen agenda de

contacto con los docentes responsables de grupo para concretar actividades de colaboración que permitan el seguimiento del proyecto en la segunda etapa, que incluye visita a las instalaciones del observatorio.

Resultados

El modelo se ha presentado en tres foros de divulgación en Baja California (imagen 4): La Noche de las Ciencias (NocheCiencias,2023); Día Mundial de Guardabosques 2023 y Expo Ambiente 2023(Torres, 2023); donde el interés y entusiasmo de los estudiantes fue notable. Durante el experimento, el facilitador planteaba preguntas a los estudiantes para evaluar su comprensión de los conceptos presentados en la Fase 1. Estas preguntas se centraban en la identificación de objetos específicos o en la diferenciación de elementos según su función. Por ejemplo: '¿Puedes señalar el Telescopio?', 'Identifica el Observatorio', '¿Dónde está ubicado el espejo primario?', 'Señala el telescopio de operación robótica', entre otras cuestiones similares. La mayoría de los estudiantes demostró una notable facilidad para identificar estos elementos.



Imagen 4. Presentación del modelo en eventos de divulgación.

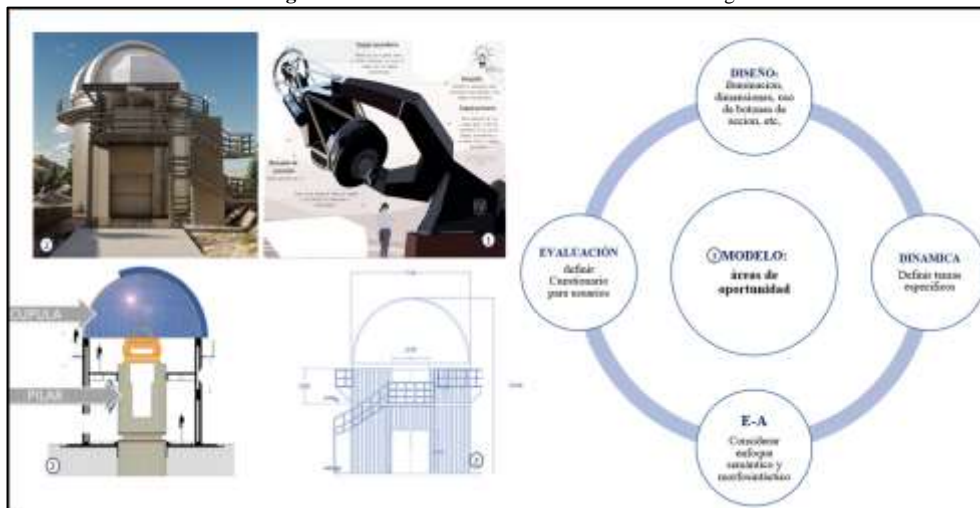


Imagen 5. Elementos de mejora para el Modelo de Recorrido virtual. 1) Victoria P (2018), 2) Colibrí (2023), 3) colaboración propia.

Sin embargo, durante la entrevista de retroalimentación, los estudiantes realizaron importantes sugerencias que representan áreas de oportunidad para mejorar el diseño del modelo, entre ellas destacan: habilitar botones de acción para identificar los componentes del telescopio, las características dimensionales del edificio, incluso la identificación de la flora y fauna que rodea a los recintos, por mencionar algunas. La imagen 5, presenta un bosquejo de las ayudas visuales propuestas por los estudiantes, y que se encuentran en proceso de incorporación.

Conclusiones

El modelo del recorrido virtual aun esta en proceso de construcción y definición, sin embargo, estos primeros ejercicios de interacción con los usuarios se observan que:

- El empleo de realidad aumentada y simuladores, junto con estrategias de aprendizaje dinámicas, representa una oportunidad clave para despertar el interés de los estudiantes y permitirles ser partícipes activos en la asimilación del conocimiento mediante la tecnología disponible.
- La planificación del entorno educativo debe ser integral, considerando la estrategia más adecuada según el tipo de contenido, tiempo disponible, espacio y tamaño del grupo. En grupos numerosos (+10 estudiantes), se recomienda el uso de espacios abiertos para asegurar una mejor audición y garantizar áreas libres de obstáculos para los usuarios.
- En esta primera fase, nos centramos en dos aspectos cruciales: la percepción de los usuarios sobre las características del modelo y las instrucciones de uso, así como su nivel de interés en los conceptos y procesos presentados. Durante entrevistas aleatorias, la mayoría expresó que el tiempo disponible no era suficiente para asimilar completamente el contenido. Por consiguiente, estamos desarrollando una dinámica educativa más específica, basada en el modelo de microenseñanza, para facilitar una mejor comprensión. Esto permitirá la definición de instrumentos de evaluación centrados en valorar el dominio de los conceptos y términos expuestos.
- Los resultados de esta primera etapa del modelo concuerdan con estudios similares que buscan fomentar el interés por las ciencias y la tecnología en estudiantes de educación básica. El recurso virtual se convierte así en un elemento didáctico recreativo que posibilita tanto a docentes como a estudiantes enseñar y aprender de manera lúdica.

La segunda fase del modelo incluye la configuración de procesos específicos de operación de un telescopio, también del proceso de observación remota, incorporando características de objetos de estudio como planetas, galaxias, nebulosas, agujeros negros entre otros. También se incorporarán elementos del entorno exterior, como flora y fauna del sitio, y las dimensiones estructurales de la infraestructura astronómica. Finalmente, se considerara realizar adecuación al modelo para ampliar la participación de usuarios e incluir a estudiantes de secundaria y bachillerato.

Referencias

- COLIBRI, (2023).** GFT-Colibri Telescope. Disponible en https://www.colibri-obs.org/?page_id=745&lang=es
- IAUNAM (2023).** Instituto de Astronomía, Observatorio Astronómico Nacional San Pedro Martir. Disponible en <https://www.astrosen.unam.mx/>
- John R. Percy (1998).** "The teaching of astronomy." International Astronomical Union Symposium 1998: The Light Elements and their Evolution Natal, Brazil, November 21-27, 1999. Eds. L. da Silva, R. de Medeiros & M. Spite ASP ISBN 1 58381 048 -X 1 Jan 2000.
- NocheCiencias (2023).** La Noche de las Ciencias edición 2023. Disponible en <https://noheciencias.mx/>
- Limon Rugerino (2019).** "¿Por qué enseñar astronomía debería ser una prioridad en la educación?". Observatorio. Instituto para el Futuro de la Educación, ITESM. Disponible en <https://observatorio.tec.mx/edu-news/por-que-ensenar-astronomia-deberia-ser-una-prioridad-en-la-educacion/>
- Quintero Guerrero, C. D., Sierra Ballen, E. L., & Sarmiento Manrique, W. J. (2008).** Diseño de un prototipo de sistema de realidad virtual inmersivosimplificado. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 18(1), 35-50.
- Percy, J. R. (1998).** Astronomy education: An international perspective. In International Astronomical Union Colloquium (Vol. 162, pp. 2-6). Cambridge University Press. Recuperado de: http://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/760F90CA2CD44A5D4C864D89B7916850/S025292110011468Xa.pdf/astronomy_education_an_international_perspective.pdf
- Pérez-Lisboa, S; Gloria Ríos, C.; Castillo Allaria, J. (2020).** Realidad Aumentada y simuladores: astronomía para niños y niñas de cinco años Alteridad. Revista de Educación, vol. 15, núm. 1, pp. 25-35.
- Rosenberg, M.; Russo, P. (2010).** "La Astronomía en la vida cotidiana". International Astronomical Union (IAU). EU-UNAWWE, Observatorio de Leiden /Universidad de Leiden, The Netherlands, Georgia Bladon, Lars Lindberg Christensen (ESO, Germany). Disponible en https://www.iau.org/public/themes/astronomy_in_everyday_life/spanish/
- Ramaprabha, T.; Sathik, Mohamed (2012).** The efficiency enhancement in non immersive virtual reality system by haptic devices. International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, Jaunpur, v. 2, n. 3, p. 113-117, 2012.
- REN, Shuo et al. (2015).** Design and comparison of immersive interactive learning and instructional techniques for 3D virtual laboratories. Presence, Cambridge, v. 24, n. 2, p. 93-112, 2015.
- Silva-Díaz, F; Carrillo-Rosúa, J; Fernández-Plaza, J (2021).** *Uso de tecnologías inmersivas y su impacto en las actitudes científico-matemáticas del estudiantado de Educación Secundaria Obligatoria en un contexto en riesgo de exclusión social**. Educar 2021, pag 120-138/ vol. 57/1.
- Truchly, P.; Medvecky, M.; Podhradsky, P. y Vanco, M. (2018).** Virtual Reality Applications in STEM Education. 2018 16th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA). <https://doi.org/10.1109/iceta.2018.8572133>
- Torres, M. (2023). "Celebraron con éxito la Expo Ambiente 2023. Diario Digital Industrial News BC. Disponible en <https://www.industrialnewsbc.com/2023/10/25/celebraron-con-exito-la-expo-ambiente-2023/>
- Guerrero Peña, D., Trefftz Gómez, H., & Anaya, R. (2009).** Juegos en la enseñanza de la ingeniería del software. Tecnológicas, (22), 43-60.
- UR(2023).** Unreal Engine, disponible en <https://www.unrealengine.com/en-US>
- Vera, G.; Ortega, J.A. y Burgos, M.A. (2003).** La realidad virtual y sus posibilidades didácticas. Revista Etic@net, 2(2).

Agradecimiento

El grupo de trabajo agradece a la Dra. Karina Lugo Ibarra (Facultad Ciencias Marinas, UABC), por su valiosa colaboración y participación en la implementación y presentación del modelo. También expresa su agradecimiento a al Instituto de Astronomía y al Observatorio Astronómico Nacional de San Pedro Mártir, así como al Dr. Lester Fox Machado (Jefe del OAN SPM), a Dr. Joel Herrera V (Secretario Técnico del OAN SPM), M.C. Francisco Murillo Bracamontes (Jefe de Instrumentación).